

Robert LEGENDRE

**Mémento
de
Maintenance
Electrique**

Robert LEGENDRE

Mémento de Maintenance Electrique

Editeur : 979-10-96361

ISBN : 979-10-96361-03-8

EAN : 9791096361038

R.LEGENDRE 38 Rue Taine 75012 PARIS Tél 01 43 40 54 56
Legendre38@yahoo.fr

Préface

La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé.

Nous dirons également que : **maintenir du matériel, ce n'est pas dépanner ou guérir ; c'est effectuer des opérations (dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration, etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production.**

Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au **coût global optimum**.

Mais la Maintenance est avant tout une fonction technique où la connaissance des matériels et les bonnes manières d'intervenir sont primordiales.

Or les règles d'organisation et de gestion, avec une primauté de l'informatique, ont envahi le monde de la fonction de maintenance au détriment parfois d'une simple documentation technique de base.

C'est pourquoi nous avons décidé de réaliser les mémentos techniques de maintenance électrique et mécanique. Pour cette réalisation nous avons profité de nos propres connaissances et expériences, mais aussi de documentations techniques anglo-saxonnes qui existent encore outre-manche et outre-atlantique.

Certes ce mémento technique de maintenance électrique est loin d'être exhaustif, mais nous espérons qu'il répond bien à l'essentiel des préoccupations techniques en maintenance d'une manière que nous espérons assez pratique.

R. LEGENDRE



Tous droits de traduction, de reproduction et d'adaptation réservés pour tous pays.

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes des articles L.122-4 et L.122-5 d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective », et, d'autre part, que « les analyses et courtes citations » dans un but d'exemple et d'illustration, « toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite ». Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, sans autorisation de l'éditeur ou du Centre français de l'exploitation du droit de copie, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal

Sommaire	Page
1^{ère} Partie : Distribution électrique.....	7
Principaux moyens de production.....	8
Transport et distribution.....	9
Principaux régimes de liaison à la terre.....	10
Schémas de liaison à la terre (SLT)	12
▪ Définitions.....	12
▪ Schéma TT.....	13
▪ Schéma IT.....	14
▪ Schéma TN.....	18
Courant continu / alternatif.....	19
2^{ème} Partie : Dépannages.....	20
Instruments de tests.....	21
▪ Vérificateur d'absence de tension VAT.....	22
▪ Indicateur à lampe.....	23
▪ Volmètre.....	23
▪ Ampèremètre.....	23
▪ Pince ampèremétrique.....	24
▪ Ohmmètre.....	24
▪ Multimètre analogique.....	25
▪ Multimètre numérique (DMM).....	25
▪ Oscilloscope.....	26
▪ Megohmmètre.....	27
▪ Perturbographe.....	27
▪ Thermomètre.....	28
▪ Telluromètre.....	30
▪ Analyseur de la qualité des réseaux électriques.....	30
▪ Cosphimètre.....	30
▪ Tachymètre.....	31
▪ Normes de sécurité des appareils de mesure.....	31
Tests et contrôles.....	32
▪ Tests de continuité.....	33
▪ Contrôles d'isolement.....	34
▪ Tests d'un capteur.....	38
▪ Tests de composants électroniques.....	39
▪ Mesures de terre et de continuité.....	45
Méthode de dépannage.....	52
▪ Méthode générale.....	53
▪ Redémarrage sans cause identifiée.....	58
▪ Panne sur API.....	59

	Page
▪ Défaillances en électronique.....	63
▪ Défaillances d'un moteur.....	73
▪ Défaillances d'un démarreur.....	87
▪ Cas type.....	89
3^{ème} Partie : Analyse des causes et remèdes de défaillances.....	90
Localisation des défaillances électriques.....	91
▪ Défaillances provenant du réseau d'alimentation générale.....	91
▪ Défaillances liées aux installations.....	91
Types de défaillances.....	92
Aides aux diagnostics des défaillances répétitives.....	95
▪ Comment trouver la cause.....	96
▪ Parasites, micro-coupures, harmoniques.....	100
▪ Défaillances dus aux réglages des capteurs.....	108
▪ Défaillances dus aux protections.....	110
▪ Cas types.....	110
Règles de l'art en maintenance.....	113
▪ 10 règles de l'art en électricité.....	114
▪ Moteurs électriques (17 règles).....	115
▪ Contrôle des convertisseurs analogiques.....	143
▪ Protection des automates programmables.....	145
▪ Précautions avec les détecteurs.....	146
▪ Précautions avec les cellules photoélectriques.....	148
Maintenance préventive en électricité.....	149
▪ Moyens de contrôles divers.....	150
▪ Moyens de contrôles non destructifs assez simples.....	151
▪ Thermographie.....	156
▪ Essais électriques.....	159
▪ Mesures de vibrations.....	163
Standards de maintenance préventive.....	169
▪ Introduction.....	170
▪ Plan de maintenance préventive.....	171
▪ Gammes de maintenance préventive.....	171
▪ Standards.....	173
4^{ème} Partie : Documentation pratique.....	197
Sécurité.....	198
▪ Dangers de l'électricité.....	199
▪ Principes généraux de prévention.....	203
▪ Consignation et déconsignation.....	205
▪ Plan de prévention.....	208
▪ Visites réglementaires.....	211
▪ Atex.....	213
▪ Formation obligatoire.....	221
▪ Evaluation des risques.....	223
▪ Habilitations électriques (FR).....	226

	Page
Techniques spéciales	228
▪ Maîtrise du facteur de puissance.....	229
▪ Réparation d'un moteur électrique.....	247
▪ Colles en maintenance.....	253
▪ Onduleurs.....	262
▪ Pose des conducteurs et câbles.....	274
Codification, symboles et normes	276
▪ Symboles pour schémas électriques.....	277
▪ Symboles pour schémas électroniques.....	287
▪ Symboles en hydraulique.....	292
▪ Symboles en pneumatique.....	295
▪ Dénominations des conducteurs et câbles.....	297
▪ Indices de protection IP et IK.....	316
▪ Normes de maintenance.....	317
▪ Langage.....	320
Lois et valeurs physiques	323
▪ Unités de mesure.....	324
▪ Algèbre et géométrie.....	330
▪ Notions fondamentales d'électricité.....	336
▪ Définitions et lois générales d'électricité.....	339
5^{ème} Partie : Matériels courants	350
Moteurs	351
▪ Moteurs à courant continu.....	352
▪ Moteurs asynchrones – généralités.....	357
▪ Moteurs asynchrones triphasés à cage.....	361
▪ Moteurs asynchrone triphasés à rotor bobine.....	365
▪ /Moteurs asynchrone à double cage.....	368
▪ Moteurs asynchrones monophasés.....	369
▪ Moteurs asynchrones diphasés.....	371
▪ Moteurs synchrones.....	372
▪ Modes de freinage des moteurs.....	374
▪ Moteurs brushless.....	378
▪ Fixation des moteurs.....	382
▪ Remarques maintenance.....	383
Appareils complémentaires aux moteurs	385
▪ Thermistances.....	386
▪ Dynamo tachymétrique.....	388
▪ Codeurs.....	392
▪ Variateur de vitesse.....	394
Protections	396
▪ Fonction de sectionnement.....	397
▪ Protections contre les courts-circuits.....	400
▪ Protections contre les surcharges.....	407
▪ Protections des personnes.....	410
Production et transformation d'électricité	413
▪ Dynamo.....	414
▪ Alternateur.....	415
▪ Transformateur.....	418

	Page
Appareillage électrique	423
▪ Condensateurs.....	424
▪ Contacteurs.....	427
▪ Bobine.....	430
▪ Potentiomètre.....	432
▪ Electro-aimant.....	434
▪ Bilame.....	436
▪ Temporisateur électrique.....	438
▪ Redresseur.....	441
Equipements de commande	442
▪ Systèmes automatisés de production.....	443
▪ Processeur.....	465
▪ Automate programmable industriel API.....	473
▪ Commande numérique.....	491
▪ Régulateur PID.....	494
Composants électroniques	498
▪ Diode.....	499
▪ Transistor.....	502
▪ Thyristor.....	506
▪ Montage.....	508
▪ Carte électronique.....	509
▪ Carte de puissance.....	513
▪ Optocoupleur.....	517
Capteurs	519
▪ Capteurs et transmetteurs.....	520
▪ Détecteurs de proximité et de position.....	524
▪ Capteurs de température.....	538
▪ Mesures de pression.....	542
▪ Mesures de niveau.....	546
▪ Capteurs de débit.....	547
▪ Autres capteurs.....	551
Supports	556
▪ Armoires électriques.....	557
▪ Bus de terrain.....	560
▪ Réseaux.....	565

Première partie

Distribution électrique

	Page
Principaux moyens de production.....	8
Transport et distribution.....	9
Principaux régimes de liaison à la terre.....	10
Schémas de liaison à la terre (SLT).....	12
Courant continu / alternatif.....	19

Principaux moyens de production

L'électricité est produite à partir de différentes sources :

- ✓ l'uranium (83,4 % de la production en France) ;
- ✓ l'eau (7,4 %) ;
- ✓ le charbon, le gaz et le pétrole (8,2 %) ;
- ✓ le vent ;
- ✓ le rayonnement solaire.

Dans les 3 premiers cas, l'énergie primaire est transformée en énergie mécanique par des turbines dans des centrales.

Les turbines sont couplées à des alternateurs qui produisent l'énergie électrique sous forme de tensions triphasées.

Centrales nucléaires

L'uranium est le combustible utilisé dans les centrales nucléaires.

Lorsqu'il est percuté par un neutron, le noyau de l'uranium 235 se casse en deux noyaux plus petits. Cette fission dégage de l'énergie sous forme de chaleur. En se cassant, l'atome libère deux ou trois neutrons qui vont à leur tour casser d'autres noyaux ; c'est ce que l'on appelle la réaction en chaîne.

La chaleur fournit de la vapeur sous pression qui fait tourner la turbine couplée à un alternateur.

La production d'un gros réacteur nucléaire est de 1500MW.

Centrales hydro-électriques

Dans ce cas, un barrage retient l'eau et en stocke d'énormes quantités.

L'eau s'engouffre dans une conduite forcée à la sortie de laquelle la pression et la vitesse entraînent la rotation d'une turbine couplée au rotor d'un alternateur.

En France, l'énergie produite par les barrages avoisine 70 milliards de kilowattheures par an.

Centrales thermiques

Un combustible (pétrole, charbon, gaz...) est brûlé et chauffe un générateur de vapeur. Cette vapeur est détendue dans une turbine où elle passe d'une pression de 165 bars à une basse pression d'environ 50 millibars. La détente de la vapeur entraîne la turbine et l'alternateur qui produit l'électricité.

La production d'une centrale thermique peut aller jusqu'à 700MW.

Eoliennes

Une éolienne transforme la puissance du vent en puissance de rotation.

Couplé à l'axe des pales, un alternateur produit les tensions triphasées. Un dispositif de régulation permet d'obtenir une vitesse de rotation constante afin de garantir la bonne fréquence (50Hz).

Une éolienne peut produire une puissance de 1MW.

Energie solaire

Il existe deux procédés.

1^{er} Procédé : on utilise des miroirs pour concentrer le flux d'énergie vers un foyer où de l'eau est vaporisée pour entraîner un alternateur.

2^{ème} Procédé : on utilise des cellules photovoltaïques pour transformer directement la lumière en électricité.

Pour des raisons techniques et financières l'utilisation de l'énergie solaire est assez limitée.

Transport et distribution

Shéma général du transport d'électricité

L'effet Joule ($p_j = R.i^2$) entraîne des pertes d'énergie que l'on cherche à limiter. Sachant que la puissance transmise est $p = u.i$, on cherche une forte valeur de tension u pour entraîner une faible valeur d'intensité i .

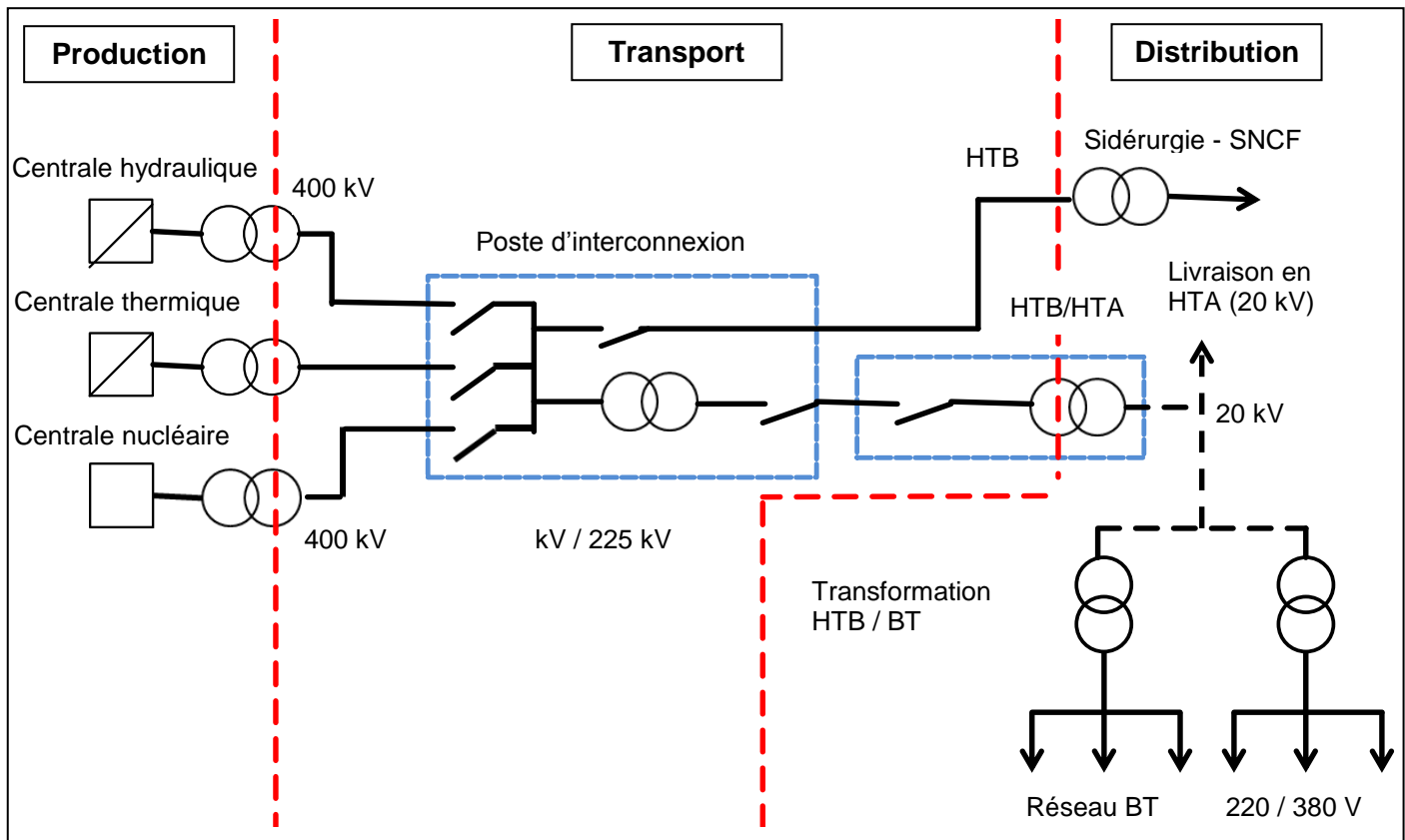
Il y a donc une nécessité d'élever la tension en sortie des centrales et de l'abaisser pour son utilisation ; cela nécessite l'utilisation de transformateurs.

Comme l'augmentation ou l'abaissement d'une tension continue est assez difficile à réaliser, on fait appel à une tension alternative sinusoïdale qui est alors triphasée en raison de la conception des machines électriques.

La tension en sortie d'un alternateur de centrale est de l'ordre de 20kV (HTA).

Un transformateur branché en sortie de l'alternateur produit une tension de 400kV (THT). L'électricité est alors transportée sur de grandes distances.

Les lignes THT alimentent des postes de répartition où la tension est abaissée à 225 kV (HTB) pour alimenter le réseau régional de distribution.



A partir d'un poste de distribution, la tension HTB est ensuite abaissée en une tension de ligne HTA pour être acheminée jusqu'aux postes de transformation en 20kV ou 15kV.

En fin de parcours, elle est abaissée par le poste de transformation en une tension de type BT.

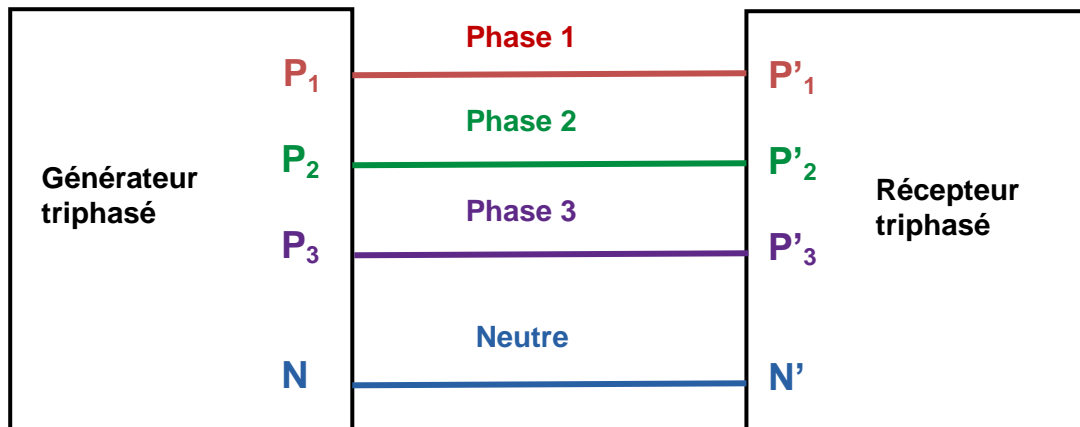
	Très Basse Tension	Basse Tension		Haute Tension	
	TBT	BTA	BTB	HTA	HTB
Domaines Alternatif	≤ 50	$50 < U \leq 500$	$500 < U \leq 1k$	$1k < U \leq 50k$	$U > 50k$

Principaux régimes de liaison à la terre

Distribution triphasée

Définition

Un circuit triphasé est constitué d'un générateur (réseau de distribution) et d'un récepteur. Les trois conducteurs de phase véhiculent l'énergie, d'où l'appellation « triphasé ». Le conducteur de neutre est en général au potentiel 0V et ne peut pas être utilisé.



Courants et tensions

Dans un système triphasé, il y a 6 tensions et 4 courants :

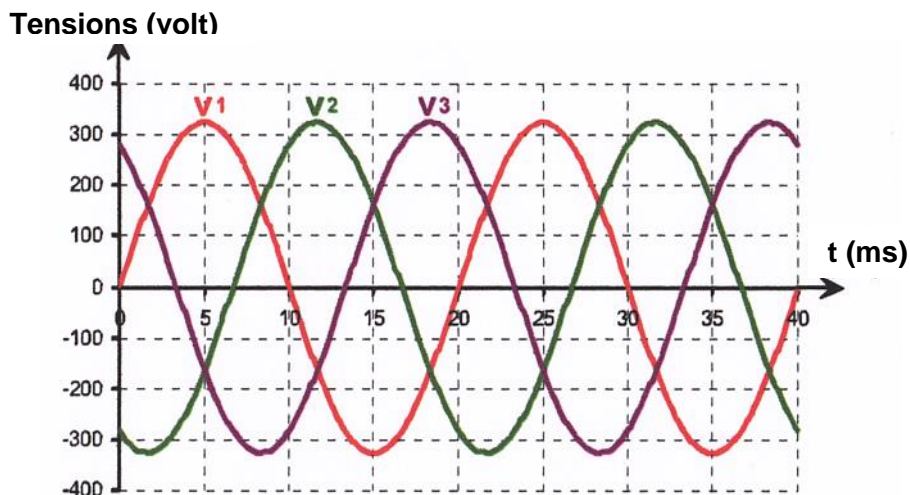
- ✓ Entre phases et neutre, v_1 , v_2 et v_3 sont les **tensions simples**.
- ✓ Entre 2 phases on obtient les **tensions composées** :

$$U_{12} = V_1 - V_2$$

$$U_{23} = V_2 - V_3$$

$$U_{31} = V_3 - V_1$$
- ✓ Les **courants de ligne** sont i_1 , i_2 et i_3 .
Le **courant de neutre** est nul et on a la relation : $i_1 + i_2 + i_3 = i_N (= 0)$

Ci-après figure le chronogramme des tensions simples v_1 , v_2 et v_3 .



Les tensions sont sinusoïdales de valeur efficace $V = \frac{V_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{325}{\sqrt{2}} = 230 \text{ V}$ et de fréquence

$$F = \frac{1}{T} = \frac{1}{20 \cdot 10^{-3}} = 50 \text{ Hz}$$

La tension v_2 est en retard de $1/3$ de période soit -2π rad ou -120° par rapport à v_1 .

On a le même retard entre v_3 et v_2 et entre v_1 et v_3 ce qui donne :

$$v_1(t) = V\sqrt{2} \sin(\omega t) \quad v_2(t) = V\sqrt{2} \sin(\omega t - 2\pi/3) \quad v_3(t) = V\sqrt{2} \sin(\omega t - 4\pi/3)$$

Schéma de Fresnel

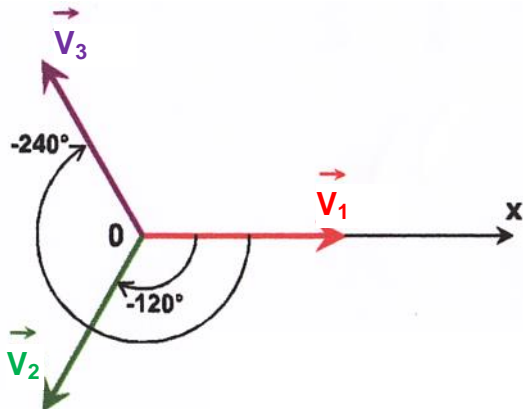
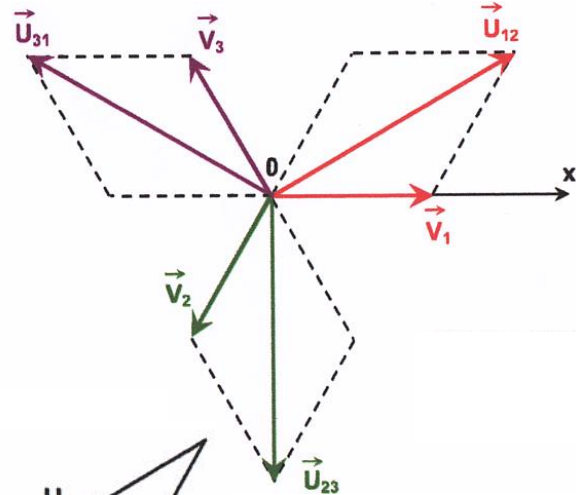
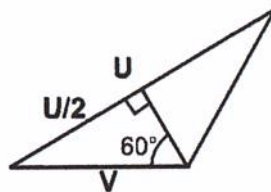


Schéma de Fresnel complété



Considérons le triangle formé par U et V.

$$\text{On a : } \frac{U}{2} = V \cos 60^\circ = V \frac{\sqrt{3}}{2}$$



Ce qui donne la relation fondamentale : $U = V\sqrt{3}$

Pour le réseau de distribution domestique, on a $V = 230\text{V}$ entre phase et neutre, et $U = 230\sqrt{3} = 400 \text{ V}$ entre deux phases.

Schémas de Liaison à la Terre (SLT)

Définitions

La majorité des accidents est due aux défauts d'isolement des récepteurs. La masse des récepteurs doit être reliée à la terre, et pour assurer cette liaison il existe plusieurs solutions qui sont dans la famille des **Schémas de Liaison à la Terre (SLT)** que l'on appelle également « **régimes de neutre** ». Ces schémas sont définis par les normes CEI 60364 et NF C15-100.

Un SLT se définit par le mode de raccordement à la terre du secondaire du transformateur de distribution HT/BT et la façon de relier les masses des installations à la terre (conducteur jaune-vert appelé PE).

Chaque SLT est identifié par deux lettres :

- La première lettre indique la situation du neutre du transformateur par rapport à la terre :
 - T pour neutre raccordé à la terre.
 - I pour neutre isolé de la terre.
- La deuxième lettre indique la situation des masses du récepteur :
 - T pour masse reliée à la terre.
 - N pour masse reliée au neutre.

Avec la combinaison de ces deux lettres on obtient trois configurations possibles

SLT	Neutre du transformateur	Masse du récepteur
TT	Terre	Terre
TN	Terre	Neutre
IT	Isolé ou Impédant	Terre

Les schémas des liaisons à la terre (SLT) sont définis par les normes françaises :

- La **norme NF C15-100** est, pour la France, la déclinaison des normes internationales CEI et CENELEC relatives aux installations électriques des bâtiments et des locaux d'habitation.
- La **norme NF C13-100** traite des installations électriques des postes de livraison d'énergie électrique alimentés par le réseau HTA de distribution publique sous la tension nominale comprise entre 1 kV et 33 kV. Elle n'a pas d'équivalent CEI ou CENELEC.
- La **norme NF C13-200** contient les règles de conception et de réalisation des installations électriques de tension comprise entre 1 kV et 63 kV. Elle n'a pas d'équivalent CEI ou CENELEC.

Les définitions, entre guillemets, des schémas de liaison à la terre sont extraites du décret n° 88-1056 du 14 novembre 1988 (version consolidée au 22 juin 2001) pris pour l'exécution des dispositions du livre II du code du travail en ce qui concerne la protection des travailleurs. Ce décret définit les conducteurs participant à la protection des travailleurs :

- Le conducteur de terre assurant la fonction de conducteur de protection reliant la borne principale de terre à la prise de terre.
- Le conducteur « PEN » mis à la terre et assurant à la fois les fonctions de conducteur de protection et de conducteur de neutre.
- Le conducteur principal de protection « PE » auquel sont reliés les conducteurs de protection des masses, le conducteur de terre et éventuellement les conducteurs de liaisons équipotentiels.

Les ouvrages de production et de distribution d'énergie électrique placés sous le régime de la concession sont soumis aux dispositions de l'arrêté du 17 mai 2001 (consolidé 2009)

Schéma TT

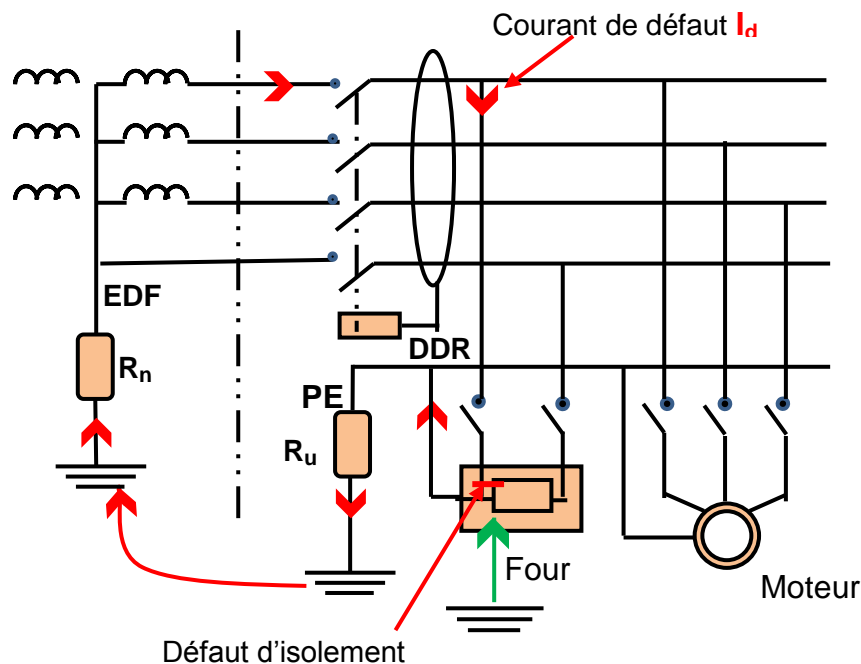
T : liaison du neutre à la terre

T : liaison des masses à la terre

« Type d'installation dans lequel un point de la source d'alimentation, généralement le neutre, est relié directement à une prise de terre et dans lequel les masses sont reliées directement à la terre, d'où il résulte qu'un courant de défaut entre un conducteur de phase et la masse, tout en ayant une intensité inférieure à celle d'un courant de court-circuit, peut cependant provoquer l'apparition d'une tension de contact supérieure à la tension limite conventionnelle de sécurité ».

C'est le schéma le plus simple. Il est utilisé par EDF pour toute la distribution BTA publique. Dans ce cas, le neutre de la distribution est mis à la terre à travers une prise de terre de résistance R_n . Les masses sont mises à la terre à travers une prise de terre de résistance R_u .

L'emploi d'un disjoncteur différentiel à courant résiduel (**DDR**) est obligatoire en tête d'installation. La coupure a lieu lors d'un défaut d'isolement lorsque le courant de défaut I_d est supérieur à la sensibilité du **DDR**.



Une masse est « une partie conductrice accessible d'un matériel électrique, susceptible d'être touchée, et qui n'est pas normalement sous tension, mais peut le devenir lorsque l'isolation principale est défectueuse ».

La règle suivante est commune à trois SLT (TT, TN, IT) :

Toutes les masses simultanément accessibles doivent être reliées entre elles par un conducteur de protection nommé PE lequel est relié à la terre par une prise de terre.

Cela signifie que toutes les enveloppes métalliques des appareils, les carcasses des moteurs, les bâtis des machines, etc., doivent être reliés à la terre par un conducteur nommé PE. Ce conducteur doit porter obligatoirement et exclusivement la double coloration jaune et verte.

Seul le schéma TT admet d'utiliser les charpentes et bâtis de machines pour assurer la continuité des conducteurs de mise à la terre.

Schéma IT

I : neutre isolé (impédant)

T : liaison des masses à la terre

« Type d'installation dans lequel la source d'alimentation est isolée de la terre ou présente un point, généralement le neutre, relié à la terre par une impédance de valeur suffisamment élevée pour qu'un premier défaut d'isolement entre un conducteur de phase et la masse ne provoque pas l'apparition d'une tension de contact supérieure à la tension limite conventionnelle de sécurité ».

C'est le régime utilisé dans la majorité des entreprises industrielles, car il assure la meilleure continuité de service.

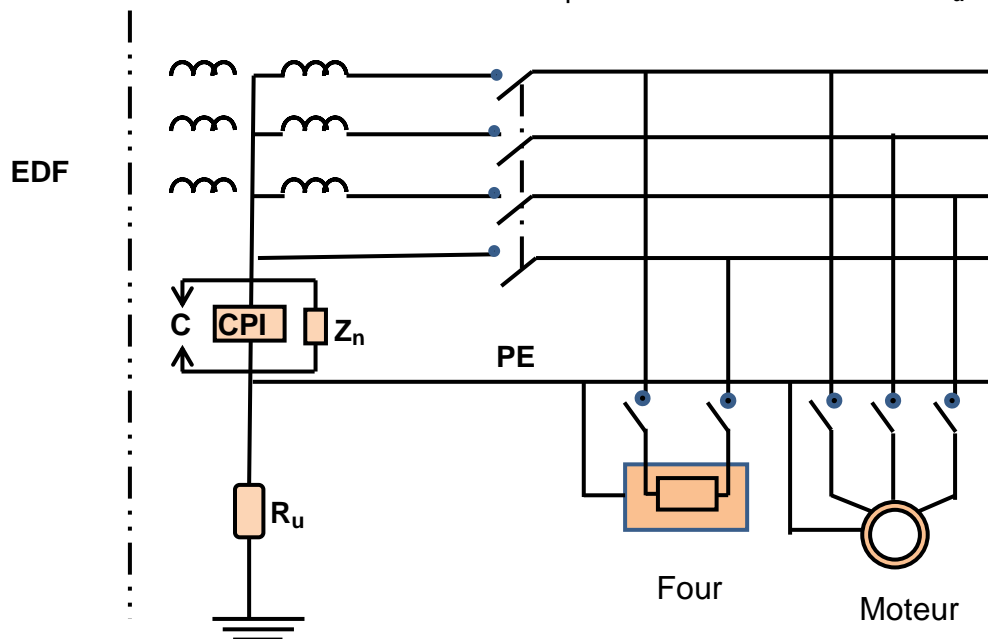
Le transformateur est la propriété de l'entreprise, et l'EDF assure la livraison en HT. Le neutre du transformateur est isolé de la terre, ou mis à la terre avec une grande impédance Z_n

L'impédance peut être :

- essentiellement inductive ;
- essentiellement résistive ;
- mixte.

Le facteur de mise à la terre est le rapport entre l'impédance homopolaire et l'impédance directe du réseau. Il doit être supérieur à 3.

Les masses sont mises à la terre à travers une prise de terre de résistance R_u .



Un contrôleur permanent d'isolement (**CPI**) est nécessaire pour signaler tout défaut d'isolement (alarme sonore).

Un limiteur de surtension (**C**) est aussi nécessaire.

Il est recommandé de ne pas distribuer le conducteur neutre sinon de le protéger.

Rappelons qu'une *masse* est « une partie conductrice accessible d'un matériel électrique, susceptible d'être touchée, et qui n'est pas normalement sous tension, mais peut le devenir lorsque l'isolation principale est défaillante ».

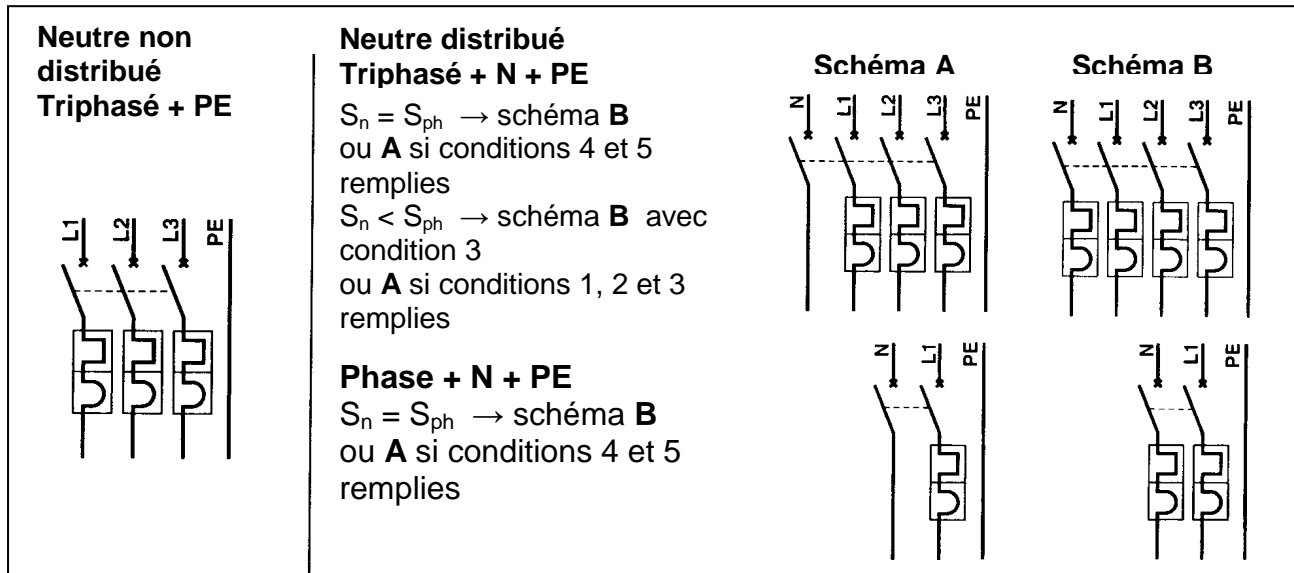
La règle suivante est commune à trois SLT (TT, TN, IT) :

Toutes les masses simultanément accessibles doivent être reliées entre elles par un conducteur de protection nommé PE lequel est relié à la terre par une prise de terre.

Cela signifie que toutes les enveloppes métalliques des appareils, les carcasses des moteurs, les bâtis des machines, etc., doivent être reliés à la terre par un conducteur nommé PE. Ce conducteur doit porter obligatoirement et exclusivement la double coloration jaune et verte.

Seul le schéma TT admet d'utiliser les charpentes et bâtis de machines pour assurer la continuité des conducteurs de mise à la terre.

Disjoncteurs assurant à la fois les fonctions de protection, de commande et de sectionnement



Condition 1 : La puissance absorbée entre phase et neutre est supérieure de 10 % de la puissance totale transportée.

Condition 2 : Le courant maximal susceptible de traverser le neutre est inférieur au courant admissible dans ce conducteur.

Condition 3 : La protection du neutre est adaptée à sa section.

Condition 4 : Le circuit considéré fait partie d'un ensemble de circuits terminaux :

- protégés par des dispositifs dont les réglages, ou les calibres, ne diffèrent pas plus du simple au double ;
- l'ensemble étant protégé en amont par un dispositif à courant différentiel résiduel dont la sensibilité est au plus égale à 15% du courant admissible du plus faible des différents circuits.

Condition 5 : Le disjoncteur est associé à un dispositif à courant différentiel résiduel.

Contrôleur permanent d'isolement CPI

Il donne l'alarme pour un premier défaut d'isolement. Il ne coupe l'alimentation en électricité qu'en cas de deuxième sur une autre phase (ce qui n'est pas le cas si un autre défaut est sur la même phase).

Le CPI est prévu pour effectuer la mesure pendant que le réseau est sous tension. Il injecte un courant continu entre la terre et le réseau dont le neutre est isolé (réseau IT ou îlot IT). A partir de la mesure du courant de fuite, le CPI détermine avec précision la valeur réelle de la résistance d'isolement du réseau. Il y a un seuil d'alarme qui est prédéterminé par l'utilisateur.

Mais comme le CPI injecte une tension DC, il s'affranchit de la capacité du réseau et **il ne sait pas localiser le défaut**.

Le nom commercial le plus connu est Vigilohm.



Système amélioré

Un système amélioré est conçu pour que plusieurs appareils fonctionnent simultanément. L'appareil de base est un CPI qui injecte un courant alternatif de basse fréquence de 2,5 Hz entre le réseau et la terre et dont le neutre est isolé (IT).

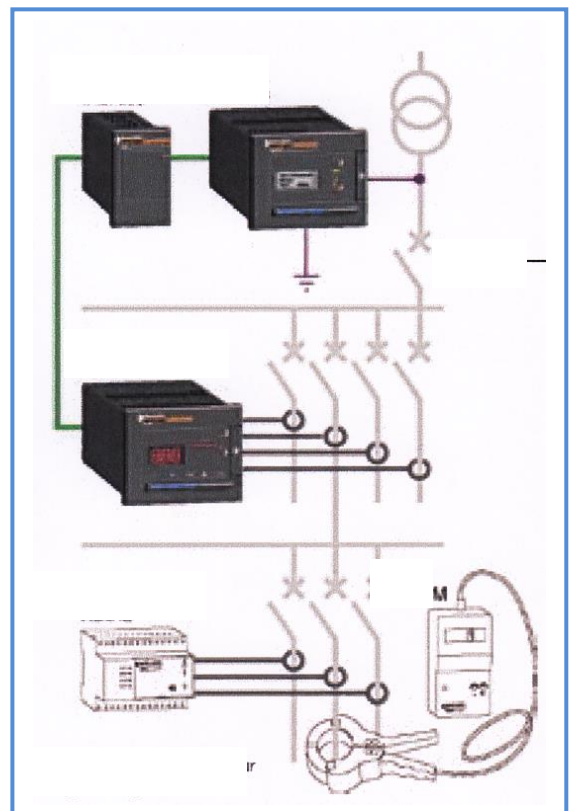
L'appareil étant en tête d'alimentation on peut travailler avec des détecteurs automatiques et il est possible de connecter **jusqu'à 12 tores par détecteur**. La **signalisation des départs fautifs est ainsi individualisée**. Ces détecteurs sont des récepteurs ayant pour but de scruter le 2,5 Hz sur chacun des départs raccordés à un tore.

Il est possible d'installer un interface entre le bus du système et le superviseur.

Kit mobile de recherche

L'installation des tores facilite les recherches, mais on ne peut pas en installer partout.

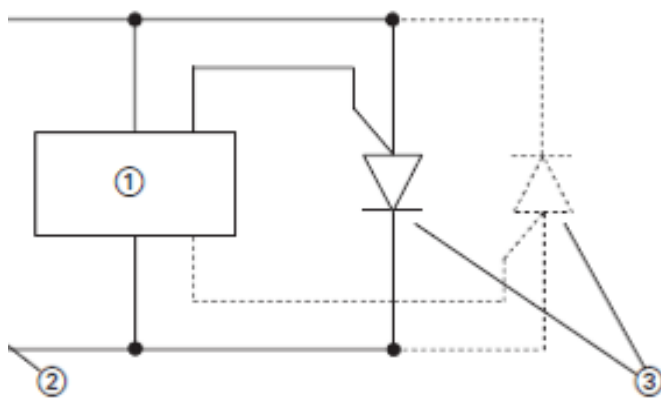
Le kit mobile de recherche comble cette lacune. Il est composé d'un générateur qui applique entre réseau et terre une tension de 2,5 Hz et d'un récepteur qui s'associe à une pince adaptée au diamètre de câble.



Limiteur de surtension

Le limiteur de surtension est composé d'une commutation parallèle d'un varistor métal-oxyde avec deux thyristors antiparallèles qui sont déclenchés par une électronique de déclenchement. Dans les conditions normales, le limiteur de surtension a une résistance très haute entre les circuits protégés et la terre. En cas d'augmentation de la tension, provoquée par une condition atmosphérique ou une panne dans le système, l'élément à valve s'ouvre et conduit la surtension

vers la terre. Après le rétablissement de la tension normale, l'élément à valve se referme. Le limiteur de surtension peut supporter de hautes tensions instantanées.



1 : Electronique de déclenchement

2 : Varistor métal-onyde

3 : Thyristors

Le varistor metal-onyde modifie sa résistance en fonction de la tension d'entrée U . Cela est effectué sans retard sensible (de l'ordre de la nanoseconde). Le varistor metal-onyde prend ainsi en charge la protection contre les surtensions de courte durée, comme elles peuvent se produire par exemple dans le réseau à la suite de décharges de foudre ou de manoeuvres de couplage. Les surtensions de durée supérieure, dans la plage de la milliseconde jusqu'à plusieurs heures, ne peuvent pas être limitées par le varistor metal-onyde pour des raisons énergétiques. Pour celles-ci des thyristors, qui peuvent ponter le varistor metal-onyde avec une temporisation et protègent ainsi contre la surcharge thermique, sont mis en oeuvre dans le cas présent. La temporisation elle-même dépend de la tension d'entrée U appliquée au limiteur de surtension et se situe typiquement dans une plage de quelques centaines de microsecondes.

La durée de la surtension est ainsi décisive

Schéma TN

T : liaison du neutre à la terre

N : liaison des masses au neutre

« Type d'installation dans lequel un point de la source d'alimentation, généralement le neutre, est relié à la terre et dans lequel les masses sont reliées directement à ce point de telle manière que tout courant de défaut franc entre un conducteur de phase et la masse soit un courant de court-circuit ».

Le transformateur est la propriété de l'entreprise.

Les masses sont reliées au conducteur PE ou PEN mis à la terre en différents points de l'installation.

Lors d'un défaut d'isolement, la coupure se fait par protection contre les surintensités : disjoncteurs, fusibles. Il y a une augmentation des risques d'incendie lors de forts courants de défauts.

Ce montage donne une économie lors des installations ; il est interdit pour des sections inférieures à 10 mm

Schéma type TN-S

« Type d'installation TN dans lequel le conducteur neutre et le conducteur de protection sont séparés ».

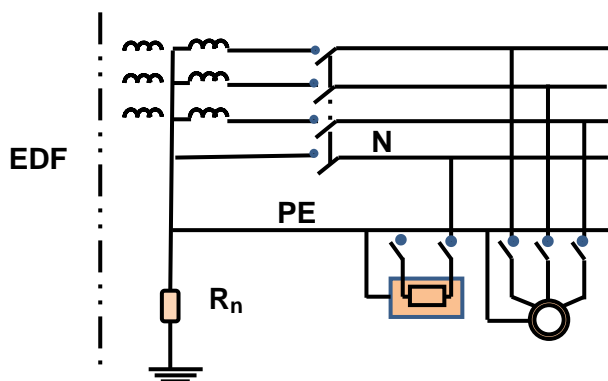
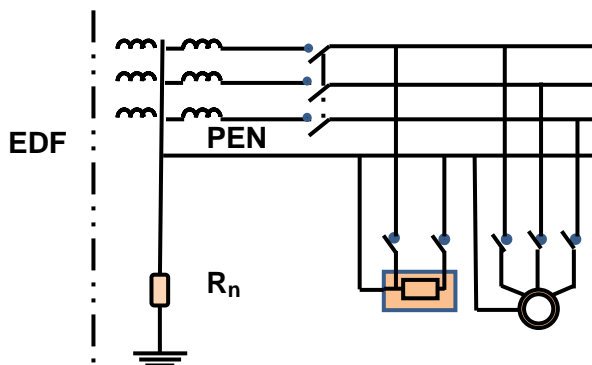


Schéma type TN-C

« Type d'installation TN dans lequel le conducteur neutre et le conducteur de protection sont confondus en un seul conducteur PEN ».



Rappelons qu'une *masse* est « une partie conductrice accessible d'un matériel électrique, susceptible d'être touchée, et qui n'est pas normalement sous tension, mais peut le devenir lorsque l'isolation principale est défaillante ».

La règle suivante est commune à trois SLT (TT, TN, IT) :

Toutes les masses simultanément accessibles doivent être reliées entre elles par un conducteur de protection nommé PE lequel est relié à la terre par une prise de terre.

Cela signifie que toutes les enveloppes métalliques des appareils, les carcasses des moteurs, les bâtis des machines, etc., doivent être reliés à la terre par un conducteur nommé PE. Ce conducteur doit porter obligatoirement et exclusivement la double coloration jaune et verte.

Seul le schéma TT admet d'utiliser les charpentes et bâtis de machines pour assurer la continuité des conducteurs de mise à la terre.

Courant continu / alternatif

Alternatif et continu sont les deux adjectifs qui permettent de définir deux types de courant électrique. Quelles sont leurs caractéristiques et leurs applications ?

Le courant continu (CC ou DC pour direct current) est un courant électrique dans lequel les électrons circulent continuellement dans la même direction, c'est-à-dire du pôle négatif vers le pôle positif. Sa vitesse de déplacement est de plusieurs mètres par heure et sa propagation se fait à la vitesse de la lumière.

Le courant alternatif (CA ou AC pour alternative current) est l'autre type de courant électrique. Les électrons circulent de manière alternative dans les deux sens du circuit. En fait, c'est la rotation d'un alternateur qui génère un mouvement de va et vient des électrons. Dans ce cas, le déplacement des électrons se limite à quelques millièmes de millimètre. Le courant alternatif est mesuré par sa fréquence (en hertz). En Europe, la fréquence est de 50Hz, le courant effectue donc 50 allers-retours par seconde.

Transport de l'électricité et applications

Dans la majorité des cas, le transport de l'électricité se fait avec du courant alternatif. En effet, l'intensité de celui-ci étant limitée, la déperdition de chaleur et d'énergie (effet Joule) est moins importante qu'en courant continu.

Sur de très longues distances ou dans des cas de câbles enterrés ou sous-marins, le courant continu est privilégié. En effet, pour transporter de l'électricité en CC, il suffit de deux câbles, alors que trois câbles sont nécessaires pour effectuer le transport en CA.

Deuxième partie

Dépannages

	Page
Instruments de test.....	21
Tests et contrôles.....	32
Méthodes de dépannage.....	52

Instruments de test

	Page
Vérificateur d'absence de tension.....	22
Indicateur à lampe.....	22
Voltmètre.....	23
Ampèremètre.....	23
Pince ampèremétrique.....	24
Ohmmètre.....	25
Multimètre analogique.....	25
Multimètre numérique (DMM).....	26
Oscilloscope.....	27
Mégohmmètre.....	27
Perturbographe.....	27
Thermomètres.....	28
Telluromètre.....	30
Analyseurs de la qualité des réseaux électriques.....	30
Cosphimètre.....	30
Tachymètres.....	31
Normes de sécurité des appareils de mesure.....	31

Vérificateur d'absence de tension VAT

Un vérificateur d'absence de tension VAT (appelé aussi détecteur à grande impédance) est un instrument portable qui permet notamment :

- de vérifier l'absence de tension sur chaque conducteur actif ;
- de repérer la position de la phase et du neutre ;
- de vérifier la continuité des fils de terre et le raccordement à la terre ;
- de tester le déclenchement du disjoncteur différentiel.

Ce dispositif émet un signal visuel et sonore lorsqu'il détecte la présence de tension.

Parfois on utilise un dispositif pratique à néon pour détecter la tension. L'appareil est constitué d'un indicateur à néon et d'une résistance chutrice en série. Lorsque la partie frontale conductrice est placée sur un conducteur actif, il donne une indication. Mais le dispositif n'est pas fiable.

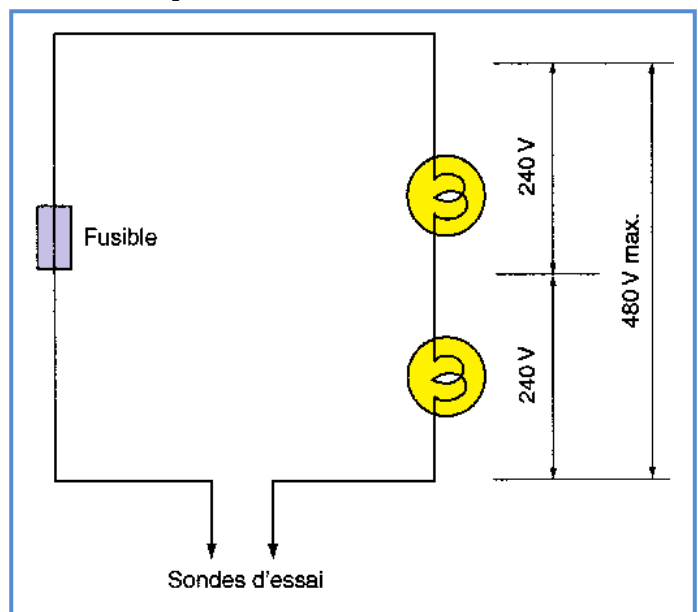


On utilise également un dispositif appelé *tournevis testeur à néon* qui permet de détecter le potentiel électrique ou d'effectuer un test de polarité. L'intensité lumineuse augmente si un doigt est placé sur le dessus du manche ou si ce dernier est mis à la terre.

Indicateur à lampe

L'indicateur à lampe est l'outil le plus basique utilisé par un électricien pour un dépannage. Il est constitué de deux lampes de 240 V, 25 W, connectées en série, avec un fusible et deux sondes.

L'utilisation des deux lampes est recommandée, car le détecteur peut parfois être soumis à la tension du réseau (380V/400V/480V) lors des essais. Si une seule lampe est utilisée, elle peut être défaillante et indiquer par erreur que le circuit n'est pas actif. Par précaution, un détecteur de tension doit être contrôlé avant et après le test.



Les indicateurs à lampe sont utilisés pour contrôler :

- la présence d'un potentiel actif ;
- la polarité de l'alimentation, soit l'emplacement des points actifs, du neutre et des bornes de terre ;
- les phases similaires lors du déphasage préparatoire à la mise en parallèle de deux alimentations ;
- les fusibles fondus ;
- l'intégrité du moteur et de l'alimentation triphasée.

Voltmètre

Le voltmètre est un appareil qui permet de mesurer la différence de potentiel (tension) entre 2 points.

Il permet de tester un circuit sous tension.

Pour faire la mesure le voltmètre est toujours connecté en parallèle ou en dérivation par rapport à 2 points de test du circuit (voir schéma ci-après). Le voltmètre peut être utilisé pour le courant continu (CC) ou pour le courant alternatif (CA), et pour différentes plages de tension.

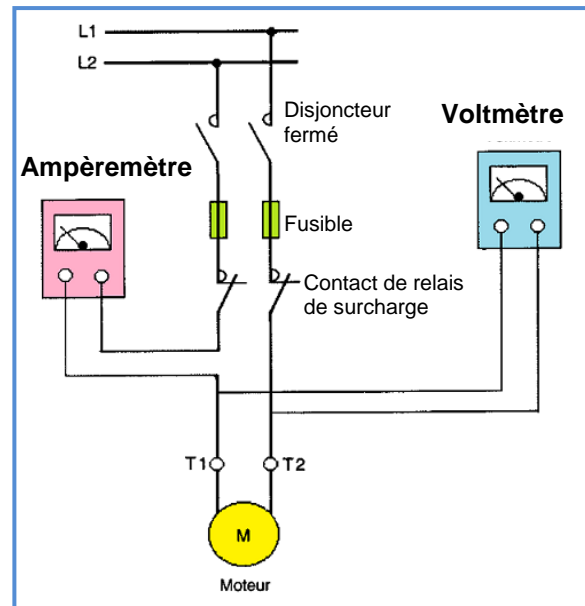
En principe chaque appareil est conçu pour une plage de tension particulière qu'il faut respecter pour la sécurité de l'utilisateur et de l'appareil. Pour une mesure de haute tension on peut utiliser conjointement un abaisseur de tension. Mais actuellement les multimètres numériques ont une fonction qui sélectionne automatiquement la plage de tension appropriée.

On utilise le voltmètre pour vérifier :

- ✓ la continuité électrique dans un circuit ;
- ✓ l'intégrité d'une tension mono ou triphasée ;
- ✓ l'intégrité des composants tels que les relais ;
- ✓ l'intégrité de la mise à la terre.

Ne connectez jamais un voltmètre à un circuit ayant une tension supérieure à la valeur nominale de l'instrument, sous peine d'endommager l'appareil.

De nombreux voltmètres analogiques ont au moins deux plages de tension qui peuvent être lues sur une même échelle. Par précaution choisissez toujours une plage supérieure à ce qui est nécessaire pour éviter d'endommager l'appareil. L'une des raisons pour lesquelles les voltmètres ont plusieurs plages est que les mesures sont plus précises dans la moitié supérieure de l'échelle.



Ampèremètre

L'ampèremètre est un appareil qui mesure l'intensité du courant circulant dans des circuits fermés à basse tension. Pour cela, il suffit de connecter l'ampèremètre en série dans le circuit fermé.

Pour étendre la gamme de mesure de l'ampèremètre, un de courant y est relié. Un facteur multiplicateur est alors appliqué à la charge mesurée.

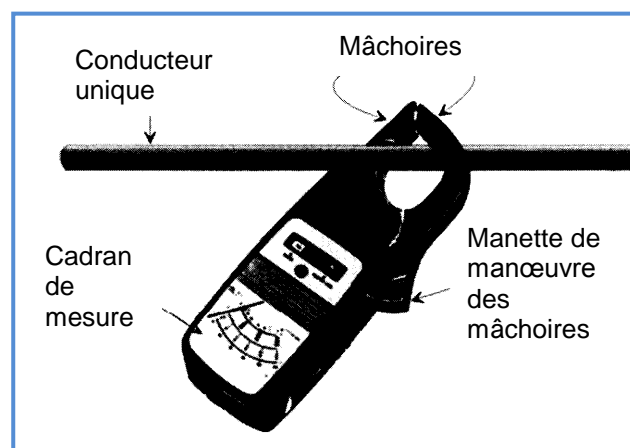
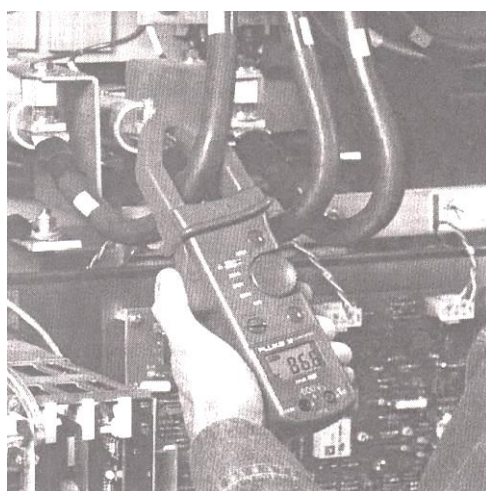
Pince ampèremétrique

La pince ampèremétrique est un appareil portatif qui permet de contrôler le passage du courant dans un conducteur sans aucune manœuvre de déconnexion.

Cet appareil s'adapte à différentes gammes de courant alternatif ou continu. Il est également doté d'une fonction d'enregistrement qui permet de conserver les valeurs. De plus, il peut être utilisé comme voltmètre en utilisant des sondes supplémentaires fournies pour les tests.

Lors de l'utilisation de la pince ampèremétrique, il faut veiller à ce que la pince soit complètement fermée et exempte d'entrefer, sinon les mesures peuvent être erronées.

Les champs magnétiques peuvent affecter la lecture du courant. Pour minimiser ce problème, essayez d'éviter l'utilisation de la pince près de transformateurs, de moteurs, de relais et de contacteurs.



Maintenance

La pince ampèremétrique est un instrument essentiel en maintenance, et pourtant elle est peu utilisée. De fait, il y a trop de déclenchements électriques inexpliqués. Après avoir réenclenché une protection thermique d'un moteur, on devrait contrôler s'il n'y a pas un déséquilibre de phases du à un desserrage à la boîte à bornes, avec la pince ampèremétrique.

Ohmmètre

Un ohmmètre est un instrument qui permet de mesurer la résistance électrique d'un circuit ou d'un composant. L'unité de mesure est l'ohm : Ω .

Il y a 2 possibilités :

Mesure d'un courant avec un générateur d'intensité

Dans ce cas le générateur impose une intensité I à travers la résistance inconnue R , et on mesure la tension V apparaissant aux bornes de l'instrument.

Un tel montage ne permet pas de mesurer avec précision des résistances dont la valeur excède quelques $k\Omega$ car le courant dans le voltmètre n'est alors plus négligeable. Le montage est donc complété par un générateur de courant auxiliaire asservi à la valeur de la tension mesurée par le voltmètre et chargé de délivrer le courant dans le voltmètre



Mesure d'un courant avec un générateur de tension

On utilise un ampèremètre pour mesurer le courant I circulant dans une résistance R à laquelle on applique une faible tension V définie.

Cette méthode est utilisée dans les ohmmètres analogiques munis de galvanomètre à cadre mobile (Un galvanomètre est l'un des modèles d'ampèremètre de type analogique)

Multimètre analogique

Pour réaliser différents tests et vérifier la tension alternative ou continue, le courant, la résistance, la fréquence, la continuité du circuit ou l'intégrité d'un dispositif, le multimètre est un instrument très utile.

Il est constitué d'un ampèremètre, d'un voltmètre et d'un ohmmètre. C'est un outil de base pour le dépannage.

Les précautions suivantes doivent être respectées :

- ✓ Pour empêcher toute surcharge, commencez par la plage la plus élevée de l'appareil, puis diminuez-la progressivement.
- ✓ Pour une plus grande précision, la plage sélectionnée doit faire chuter la déviation dans la moitié supérieure.
- ✓ Vérifiez la polarité du circuit avant de réaliser un test, en particulier lors des mesures de tensions ou de courants continus.
- ✓ Lors de la vérification de la résistance dans un circuit, l'alimentation du circuit doit être coupée, sinon la tension qui traverse l'appareil peut l'endommager.



Multimètre numérique (DMM)

Les fonctions de base des multimètres numériques sont identiques à celles des multimètres analogiques, mais :

→ Ils offrent :

- une plus grande précision,
- un affichage de meilleure qualité,
- des capacités de gestion de données.

→ Il y a la possibilité d'ajouter des accessoires pour effectuer des mesures complémentaires :

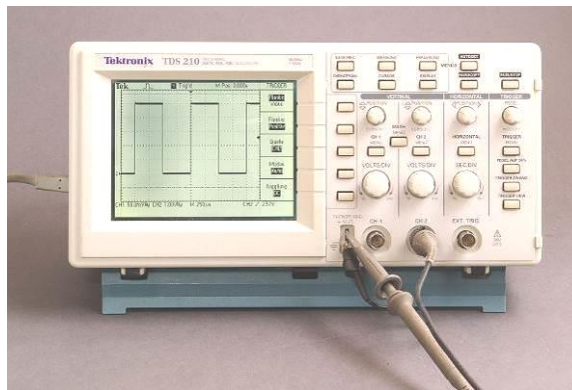
- puissance,
- facteur de puissance,
- énergie,
- harmoniques,
- température,
- intensité de la lumière,
- humidité relative,
- dioxyde de carbone (CO_2),
- flux d'air ,
- des fonctions de vérification rapide permettant de tester les diodes, les transistors, les condensateurs, etc., sont également disponibles.



Les précautions suivantes doivent être respectées :

- ✓ avant de connecter la sonde d'essai qui mène au circuit, vérifier que la bonne fonction est choisie pour la quantité à mesurer,
- ✓ vérifiez que les sondes d'essai sont correctement insérées dans les fiches appropriées,
- ✓ vérifiez la position du sélecteur si le multimètre ne possède pas une fonction de plage automatique,
- ✓ si la plage appropriée pour une mesure donnée est inconnue, commencez par la plage la plus élevée de l'appareil, puis diminuez-la progressivement.
- ✓ débranchez les fiches de test du circuit que vous testez lorsque vous changez la plage de mesures,
- ✓ déchargez tous les condensateurs avant de prendre des mesures de capacitance avec un multimètre,
- ✓ pensez à changer fréquemment les piles du multimètre (les piles sont souvent de l'ordre de 2000 à 3000 heures)..

Oscilloscope



L'oscilloscope est un instrument très utile ; il est utilisé pour mesurer les tensions (CA/CC) et pour afficher les ondes en fournissant des informations sur leur durée, leur fréquence et leur forme.

L'oscilloscope *double trace* permet de consulter deux courbes à la fois sur deux canaux différents, afin d'établir une comparaison entre les durées, les amplitudes et les formes / distorsions.

Les oscilloscopes à mémoire permettent d'enregistrer les formes d'onde en vue d'une analyse extérieure . Cette fonction de mémoire est très utile, car elle propose aussi un curseur qui donne la valeur de la variable mesurée à un instant donné.

On distingue :

- les **oscilloscopes analogiques**, ou oscilloscopes cathodiques, qui utilisent directement un multiple de la tension d'entrée pour produire la déviation du spot sur écran,
- les **oscilloscopes numériques** qui transforment d'abord la tension en nombre, l'affichage est reconstruit après coup.

Le signal à mesurer est visualisé sur un écran. La trace de l'oscilloscope est déterminée par deux composantes : une horizontale et une verticale.

La composante horizontale est en abscisse : c'est le temps ou une tension. La composante verticale est en ordonnée ; c'est la tension appliquée par l'utilisateur.

Le mode NY permet :

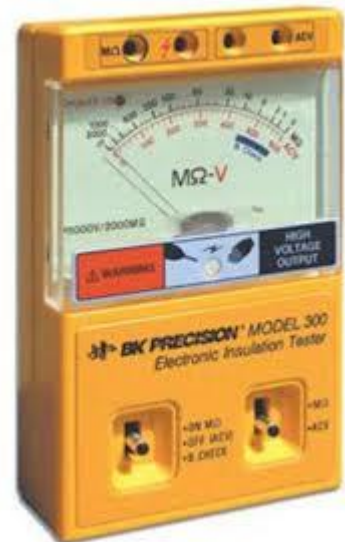
- ✓ de visualiser des caractéristiques de dipôle, à la condition qu'une des tensions soit l'image du courant qui traverse le dipôle ;
- ✓ de visualiser un déphasage entre deux tensions sinusoïdales.

Mégohmmètre

Le mégohmmètre est utilisé pour mesurer la résistance de l'isolation en mégaohms (millions d'ohms). Il est conçu pour mesurer les très hautes résistances comme celles que l'on trouve dans les isolations de câble, de moteur, de .

Le mégohmmètre permet d'appliquer une tension élevée au circuit à tester. Cette tension engendre un courant de fuite, ce qui permet de tester l'isolement. C'est un instrument portable équipé d'une alimentation haute tension intégrée.

Dans un mégohmmètre à génératrice à courant continu, une vis de réglage permet d'ajuster l'induit, de façon à produire des tensions de 500 V, 1000 V, 2500 V selon le modèle utilisé.



Maintenance

Le mégohmmètre est un outil essentiel pour le contrôle d'isolement des moteurs. Voir plus loin la règle de l'art « Contrôle d'isolement d'un moteur ».

Perturbographe Ou Onduleur UPS

C'est un des appareils de surveillance du réseau électrique.

Il enregistre en permanence la forme du signal électrique sur différents points de raccordement (par exemple 2 ou 3 sources de tension et 2 ou 3 sources de courant) et permet d'afficher la tension à un moment donné.

Il existe 2 modes de travail distinct :

- Le **mode court** qui enregistre les variations de tension et de courant sur des périodes de 3 sec (ou moins selon la fréquence choisie). Ce mode court permet de détecter les perturbations comme les variations de tension et les harmoniques.
- Le **mode long** qui permet d'enregistrer la tension à plus long terme.

Dans tous les cas, l'enregistrement peut être permanent ou déclenché par une absence ou une baisse de courant (ou de tension). La fréquence d'échantillonnage varie de 1 à 10 fois/sec.

Thermomètres

Thermomètres à résistances

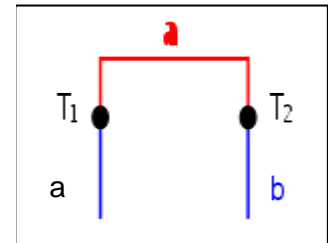
Ils opèrent suivant le principe que la résistance d'un métal varie en proportion directe de sa température. Ils sont normalement utilisés pour les températures jusqu'à 815°C.

Thermocouples Ou Couples thermoélectriques

Ce sont des couples de matériaux dont l'effet Seebeck est utilisé pour la mesure de température. Leur principal défaut est leur imprécision : il est difficile d'obtenir une précision inférieure à 0,1°C - 0,2°C.

Explication :

Les deux métaux a et b, de natures différentes, sont reliés par deux jonctions (formant ainsi un thermocouple) aux températures T_1 et T_2 . Par effet Seebeck, le thermocouple génère une différence de potentiel qui dépend de la différence de température entre les jonctions, $T_1 - T_2$. Les thermocouples ne mesurent pas une température, mais une différence de température.



Pour mesurer une température inconnue, l'une des deux jonctions doit être maintenue à une température connue, par exemple celle de la glace fondante (0 °C).

La jonction des deux métaux est appelée « soudure chaude » ; c'est celle qui sera exposée à la T° à mesurer.

L'autre, appelée « soudure froide », n'est autre que la connexion de la sonde thermocouple avec le module de traitement ou un bornier d'armoire intermédiaire ; on placera cette soudure froide dans un milieu calorifugé et surtout équipé d'une régulation de température. La T° étant connue, on corrigera le signal de sortie du module de traitement des signaux

Exemple :

- T_1 la soudure chaude mesure 90 °C
- T_2 la soudure froide est exposée à 20 °C :
 - Le signal non corrigé (non prise en compte de la soudure froide) sera de 70 °C
 - Le signal corrigé est de 90 °C (on ajoute la température de la soudure froide au 70 °C calculé précédemment).

Pour la soudure froide, l'une des 2 techniques suivantes est souvent utilisée :

- ✓ Emploi du point de fusion de la glace, 0 °C à pression atmosphérique normale. Ceci est de l'eau pure avec de la glace d'eau pure également, dans une bouteille isotherme, dont l'ouverture est isolée.
- ✓ La deuxième solution est de mettre les jonctions cuivre/thermocouple dans un boîtier isotherme, auquel on aura mis une sonde de platine qui pourra nous dire la température exacte de l'ensemble (prise par mesure 4 fils par voltmètre et table de conversion).

Différents types

À base de métaux usuels

- **Type E**
Composition : Chromel (alliage nickel+chrome (10 %)) / Constantan (alliage nickel + cuivre (45 %))
Usage de -40 °C à 900 °C
- **Type J**
Composition : fer / Constantan (alliage nickel+cuivre)
Usage de -180 °C à 750 °C. Sa table de référence s'étend au delà de 1 000 °C.
- **Type K**
Composition : Chromel (alliage nickel + chrome) / Alumel (alliage nickel + aluminium (5 %) + silicium)
Usage de -180 °C à 1 200 °C. Sa table de référence s'étend à 1 370 °C.
- **Type N**
Composition : Nicrosil (alliage nickel + chrome (14 %) + silicium (1,5 %)) / Nisil (alliage nickel + silicium (4,5 %) + magnésium (0,1 %))
Usage de -270 °C à 1 280 °C.
- **Type T**
Composition : cuivre / Constantan (alliage cuivre + nickel)
Usage de -250 °C à 400 °C

À base de métaux nobles

- **Type R**
Composition : platine-rhodium (13 %) / platine
Usage de 0 °C à 1 700 °C
- **Type S**
Composition : platine-rhodium (10 %) / platine
Usage de 0 °C à 1 700 °C
- **Type B**
Composition : platine-rhodium (30 %) / platine-rhodium (6 %)
Usage de 0 °C à 1 800 °C

À base de métaux réfractaires

- **Type C (Ou W5)**
Composition : tungstène-rhénium (5 %) / tungstène-rhénium (26 %)
Usage de 20 °C à 2 300 °C.
- **Type G (Ou W)**
Composition : tungstène / tungstène-rhénium (26 %)
Usage de 0 °C à 2 600 °C.
- **Type D (Ou W3)**
Composition : tungstène-rhénium (3 %) / tungstène-rhénium (25 %)
Usage de 0 °C à 2 600 °C

Thermomètre infra-rouge ou thermomètre à laser

Un thermomètre infrarouge est un instrument de mesure de la température de surface d'un objet à partir de l'émission de lumière de type corps noir qu'il produit. Un tel thermomètre est parfois appelé à tort *thermomètre laser* s'il est aidé d'un laser pour viser.

Le procédé consiste à mesurer l'énergie lumineuse (située dans l'infrarouge) sur un détecteur permettant de la convertir en un signal électrique. Cette méthode permet de mesurer la température à distance.



Certaines précautions sont à prendre :

- la lentille de l'appareil doit être propre ;
- le champ de mesure doit être libre de toutes interférences : absence de poussière, d'humidité, de vapeur ou de gaz étrange ;
- si de la poussière ou de la rouille est présente sur la surface de l'objet à mesurer, la mesure se fera sur ces particules.

Tout thermomètre infrarouge doit être calibré : quelle valeur de température perdue par mètre de distance (généralement 0°C à 1°C par mètre).

C'est essentiel si l'on veut mesurer à distance la température d'un moteur.

Telluromètre

Le Telluromètre est un instrument permettant de mesurer la résistivité du sol, et la résistance des prises de terre d'un réseau électrique.

Sur les instruments actuels, la source de courant alternatif lisée à partir d'un générateur électronique piloté par un oscillateur. La mesure de la résistance de terre est faite par calcul à partir de la valeur du courant injecté dans la terre entre la prise de terre et un ou plusieurs points de référence.

Analyseurs de la qualité des réseaux électriques

Ce sont des appareils similaires du point de vue de leur construction aux multimètres numériques ; mais contrairement aux DMM qui mesurent une seule propriété des circuits électriques à la fois, les analyseurs de qualité du réseau électrique ont deux sondes permettant de mesurer simultanément la tension et l'intensité. Ils peuvent également mesurer la fréquence et les harmoniques.

Cette interface entre le distributeur et le client que constitue le transformateur est le point stratégique. C'est à cet endroit précis que l'industriel peut mesurer la qualité du réseau du fournisseur, mais c'est également l'endroit où ce dernier pourra vérifier que le client n'apporte pas de perturbations sur le réseau.

Il existe différents schémas et deux approches : la première consiste à surveiller et enregistrer en permanence le réseau. Pour ce genre de mesure, il faut des appareils en poste fixe à des points stratégiques : auprès du point de livraison.

La seconde, souvent privilégiée en dehors des très grosses entreprises, consiste à résoudre les problèmes quand ils arrivent. Elle nécessite uniquement des appareils portables.

Une norme, l'EN 50160, donne les valeurs minimales des différents paramètres qui servent à définir la qualité du réseau électrique et qui encadrent les mesures. Elle définit des critères de tension : les variations des creux, les surtensions, le flicker, les microcoupures, la fréquence.

Cosphimètre

On sait que le facteur de puissance est le rapport entre la puissance active (watts) et la puissance apparente (volts-ampères). Il dépend de la différence d'angle de phase entre l'intensité et la tension.

Les cosphimètres triphasés sont installés dans les tableaux de contrôle. De nombreux fournisseurs d'électricité pénalisent leurs clients si le facteur de puissance tombe en dessous de 0,928.

Tachymètres

Le tachymètre est un appareil qui mesure la vitesse de rotation d'un équipement. Il y a plusieurs types.

Tachymètre à lame vibrante

Pour mesurer la vitesse, on maintient le tachymètre contre l'équipement. Cette vitesse est indiquée par la vibration d'une lame d'acier qui est ajustée pour une certaine vitesse standard.

Stromboscope

L'appareil dirige une lumière sur une pièce en rotation sur laquelle figure une marque couleur contrastée (trait ou ruban). La vitesse de rotation en tours/min est lue depuis un indicateur. On l'utilise là où il est difficile ou impossible d'entrer en contact avec l'élément en rotation.

Tachymètre électrique

Cet appareil comprend un petit générateur dont la tension générée est une mesure de la vitesse.

Normes de sécurité des appareils de mesure

Pour protéger la personne qui utilise l'appareil de mesure et classer les différents appareils selon leur application, la CEI a défini les catégories suivantes, la catégorie IV offrant le niveau le plus élevé.

- Catégorie IV : réseaux de distribution, branchements et protection contre les surintensités pour les grandes installations.
- Catégorie III : distribution triphasée et monophasée au sein d'un local.
- Catégorie II : appareils électroménagers, points d'éclairage, prises de courant.
- Catégorie I : équipements électroniques protégés contre le courant transitoire.

La norme CEI 61010 fournit des directives aux constructeurs pour que les normes de sécurité applicables aux appareils soient respectées.

Un appareil de catégorie III est adapté à la plupart des tests effectués par les électriciens.

Maintenance

Tous ces instruments ne sont pas essentiels dans un service maintenance pour les mesures les plus courantes.

Ceux qui nous paraissent vraiment nécessaires sont les suivants :

- ✓ VAT, vérificateur d'absence de tension.
- ✓ Indicateur à lampe ;
- ✓ Multimètre numérique avec ses accessoires (avec des ampèremètres, voltmètres, ohmmètres si on ne veut pas trop multiplier les multimètres).
- ✓ Pince ampèremétrique.
- ✓ Mégohmmètre.
- ✓ Thermomètre infrarouge.
- ✓ Tachymètre.

Le nombre est fonction de l'importance du service de maintenance.

Quand d'autres mesures sont nécessaires, on peut alors faire appel à une société spécialisée en électricité.

Tests et contrôles

	Page
Tests de continuité.....	33
Contrôles d'isolement.....	34
Tests d'un capteur.....	38
Tests des composants électroniques	39
Mesures de terre et de résistivité	45

Tests de continuité

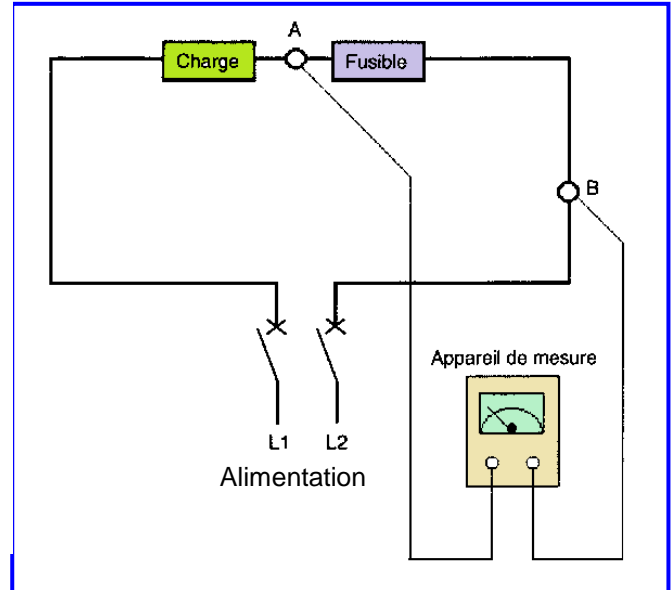
Test de continuité hors tension

Dans ce cas le contrôle de la continuité doit être réalisé sur un circuit hors tension.

Pour réaliser ce test, on peut utiliser un ohmmètre ou un multimètre qui sont constitués d'une pile et d'un appareil de mesure permettant d'afficher la valeur de la résistance.

Lorsque l'appareil affiche zéro, cela signifie que le circuit entre les deux fils d'essai a une résistance nulle, et donc qu'il est continu. S'il est ouvert la valeur ohmique affichée est infinie.

Attention : un ohmmètre ou un multimètre de faible puissance peut indiquer une excellente continuité dans un circuit qui présente pourtant un défaut de circuit ouvert : câble partiellement brûlé par exemple.



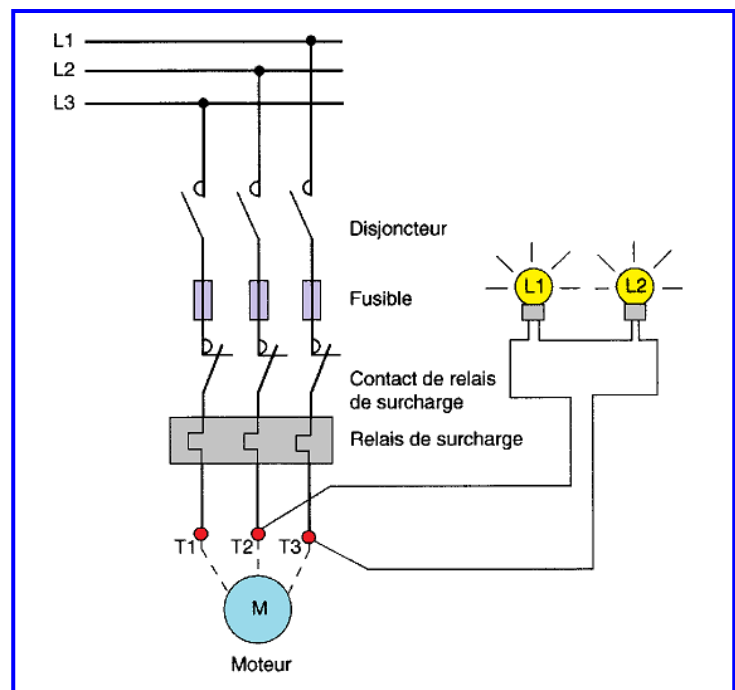
Malgré cela, il se peut que le courant ne circule pas lorsqu'une tension est appliquée. Ce genre de défaut peut être détecté en contrôlant la charge à l'aide de mesures de tension.

Test de continuité sous tension

Le test s'effectue généralement hors tension, mais dans certaines circonstances la recherche de défauts n'est possible que si le circuit est sous tension.

Tester un circuit sous tension demande une prudence extrême et doit être pratiqué uniquement sur des circuits BT avec des équipements de protection EPI. Des précautions particulières doivent être prises pour empêcher tout contact accidentel du technicien avec les parties actives. Les sondes et outils doivent être isolés au maximum.

Comme le montre la figure ci-contre, la continuité du trajet électrique peut être contrôlée avec un instrument à lampes témoin.



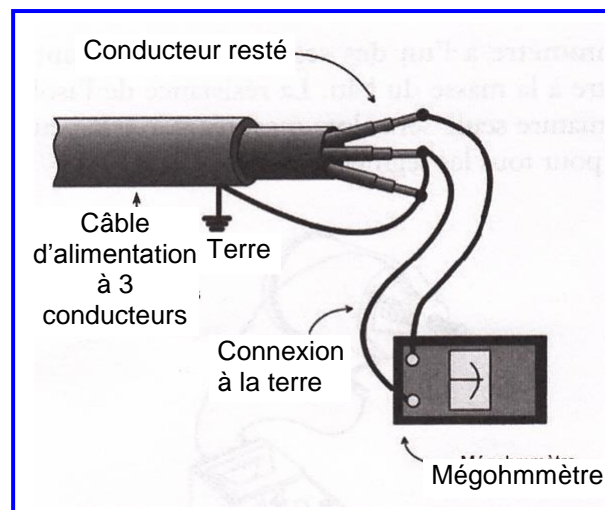
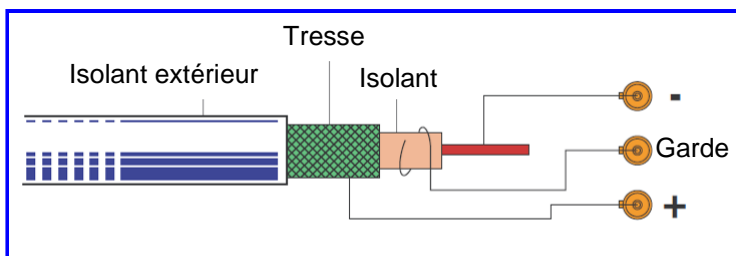
Contrôles d'isolement

Pour assurer le bon fonctionnement et une parfaite sécurité des appareils et installations électriques, tous les conducteurs sont isolés : gaine pour les câbles, vernis pour les bobinages. Quand la qualité de ces isollements s'amointrit, des courants de fuite peuvent circuler d'un conducteur à l'autre et, selon l'importance des défauts d'isolement (le pire défaut étant le court-circuit), provoquer des dégâts plus ou moins graves.

Un matériel présentant un défaut d'isolement peut tomber en panne, brûler ou provoquer un défaut sur l'installation elle-même et par conséquent, déclencher des dispositifs de protection, c'est-à-dire la coupure de toute l'installation...

Test des câbles de puissance

Après déconnexion des deux extrémités du câble, testez les conducteurs l'un après l'autre en connectant l'une des pinces du mégohmmètre au conducteur testé et en connectant les autres connecteurs à la terre et à l'autre pince de l'instrument.



Dans le cas d'isollements élevés (supérieurs à 1 GΩ), les mesures peuvent être parfois faussées par la circulation de courants de fuite qui cheminent à la surface des isolants, au travers de l'humidité et des poussières superficielles.

Le technicien souhaite souvent ne qualifier que la qualité intrinsèque des isolants. Pour faire une mesure exacte, il lui faut donc éliminer ce courant de fuite superficiel qui diminue la résistance affichée sur le mesureur pour ne garder que le courant transversal circulant à l'intérieur de l'isolant.

Cette opération s'effectue simplement en connectant la borne de garde du mesureur d'isolement à un point situé entre les points de test " + " et " - ".

Cette borne de garde vient shunter le circuit de mesure, et réinjecte donc le courant de surface sur un des points de test, sans passer par la mesure. La garde sera connectée sur une surface susceptible d'être le siège de circulation de courants de surface, non caractéristiques des isolants : de la surface isolante d'un câble, d'un transformateur . Il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance de la circulation possible du courant de test au travers de l'élément testé pour choisir le meilleur emplacement pour la connexion de la borne de garde

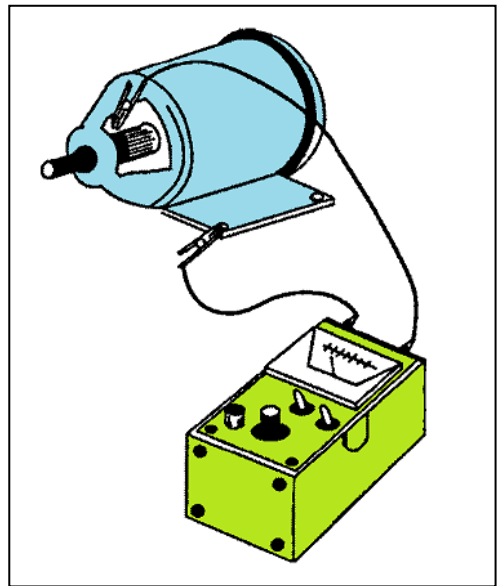
Tests d'isolement d'un moteur à courant continu

Pour tester un moteur avec un mégohmmètre, déconnectez-le d'abord de la source d'alimentation.

Pour contrôler la qualité de l'isolement de l'ensemble des composants, connectez la pince de l'ohmmètre à la terre sur la machine et la pince positive à la couronne des balais.

Pour contrôler l'isolement du champ ou de l'armature seule, vous devez désolidariser les balais du connecteur. Connectez alors l'une des pinces au support du moteur et l'autre pince à l'un des balais ; vous alors la résistance d'isolation du champ.

Les balais étant toujours désolidarisés, connectez l'une des pinces à l'un des segments collecteur et l'autre à la masse du bâti. La résistance de l'armature seule sera mesurée ; vous pouvez répéter ce contrôle pour tous les segments du collecteur.



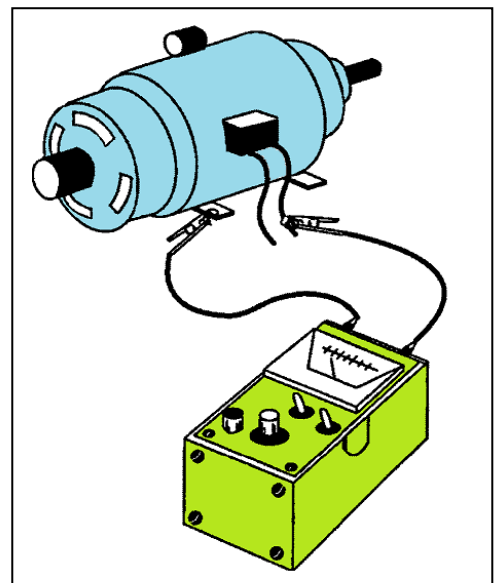
Tests d'isolement d'un moteur à courant alternatif

Pour tester un moteur avec un mégohmmètre, déconnectez-le d'abord de la source d'alimentation.

Pour contrôler la qualité de l'isolement de l'ensemble des composants, connectez la pince de l'ohmmètre à la terre sur la machine et la pince positive à l'une des lignes du moteur.

Ensuite on peut contrôler l'isolement des conducteurs en mettant la pince négative à la terre et la pince positive à la borne T_1 puis à la borne T_2 , T_3 . Si la résistance d'isolement d'une branche affiche une valeur très basse, on peut conclure qu'il existe un défaut d'isolement.

L'isolement des phases individuelles de l'enroulement du moteur triphasé ne peut être testé que si les 6 fils de l'enroulement sont dégagés. L'enroulement testé doit être connecté à une pince du testeur et les deux autres enroulements reliés entre eux et connectés au cadre du moteur mis à la terre.



Tests d'isolement des disjoncteurs

Déconnectez le disjoncteur de la ligne électrique et connectez la pince négative (noire) du mégohmmètre au châssis ou à la terre, et la pince positive (rouge) à chaque borne à tour de rôle en effectuant les mesures.

On peut aussi ouvrir le disjoncteur et mesurer la résistance de l'isolation entre les bornes en plaçant une pince sur une borne et l'autre pince sur une seconde borne.

Tests d'isolement des interrupteurs à commande manuelle

Déconnectez complètement ces appareils du réseau et des relais. Mesurez la résistance de l'isolation entre la masse et chaque borne, puis entre bornes.

Tests d'isolement des interrupteurs à commandes électriques (contacteurs)

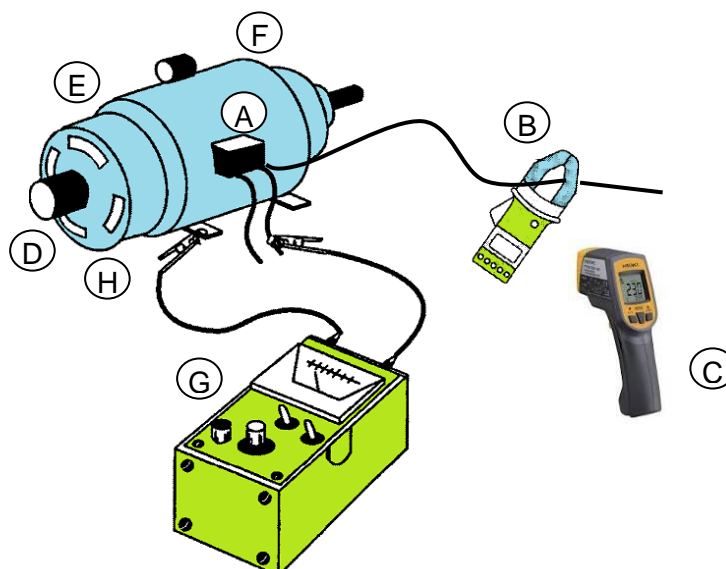
Déconnectez complètement ces appareils du réseau et des relais. Mesurez la résistance de l'isolation entre la bobine et les contacts. Pour la bobine, connectez une pince du mégohmmètre à l'une de ses connexions et connectez l'autre pince à la masse. Ensuite faites un test entre les bornes de la bobine et l'armature de l'électroaimant.

Contrôle d'isolement, circuit fermé

Les tests précédents se font avec le courant coupé. Il est possible de contrôler l'isolement de câbles en circuit fermé.

Comme indiqué pour le schéma IT, il existe un kit mobile de recherche qui permet de le faire. Il est composé d'un générateur qui applique entre réseau et terre une tension de 2,5 Hz et d'un récepteur qui s'associe à une pince adaptée au diamètre de câble.

Contrôles d'un moteur



- (A) Les desserrages aux boîtes à bornes des moteurs sont l'une des principales causes de défaillances des moteurs. Au moins pour les moteurs moyens et importants, il est judicieux de faire un contrôle de ces serrages une fois par an.
- (B) Après avoir dépanné en intervenant sur un disjoncteur thermique ou magnétique, il faut rechercher la cause de la panne. C'est très souvent un déséquilibre de phases du à un desserrage. Il faut donc obligatoirement revenir une pince ampèremétrique pour faire ce contrôle.
Notons que l'utilisation de la pince ampèremétrique présente un autre intérêt. En effet, la charge approximative d'un moteur triphasé peut être déterminée en marche. Pour cela il faut pincer successivement l'instrument sur chacun des conducteurs.
- (C) Il est nécessaire de contrôler régulièrement la température du moteur avec un thermomètre infrarouge ; rappelons que la température généralement admise est de 55°C au-dessus de la température ambiante.
- (D) La grille arrière du moteur doit être maintenu propre ; sinon le moteur chauffe. Dans la très grande majorité des cas, un nettoyage et un soufflage de la grille et du ventilateur sont suffisants une fois par an. Mais cela dépend de l'ambiance et des conditions de travail de l'atelier. Par exemple, là où l'on fait des essie-tout et des mouchoirs en papier, de l'ouate de cellulose se dépose. C'est à chaque équipe que l'on doit passer la main pour enlever les dépôts ; sinon le moteur chauffe. On doit imposer des vérifications de la réalisation de ce travail coutumier.
- (E) Certains moteurs nécessitent une lubrification des paliers, soit à la graisse, soit à l'huile. Voir à ce sujet la règle de l'art : « Lubrification d'un moteur électrique ».
- (F) L'état des paliers doit être régulièrement contrôlé soit par analyse de vibrations (4 points), soit avec l'appareil de mesure d'ondes de chocs, soit avec l'appareil de mesure d'ultrasons.
- (G) Pour les moteurs moyens et importants, un contrôle d'isolement est nécessaire une fois par an.
Il est nécessaire pour tous les moteurs (surtout ceux en position verticale) placés à l'extérieure ou dans des atmosphères pénétrantes (sidérurgie par ex.) tous les 6, voire 3, mois.
- (H) Pour les moteurs à courant continu et les moteurs asynchrones à rotor bobiné, il ne faut pas oublier de contrôler régulièrement les balais. Ceux-ci ne peuvent être remplacés qu'au maximum par tranche de 1/3 du nombre total (quand c'est possible par rangée quand il y en a trois).
Cela est vrai également pour les balais des dynamos tachymétriques.

Par ailleurs, il convient de nettoyer régulièrement les moteurs ne serait-ce que pour éviter l'entrée de matières abrasives dans les roulements.

Pour les moteurs importants et critiques les contrôles suivants sont souvent recommandés :

- Essai de résistance des enroulements.
- Essai de Résistance d'Isolement électrique
- Essai Index de Polarisation
- Essai d'écart à la loi d'ohm CC (HiPot)

- Essai de surtension transitoire

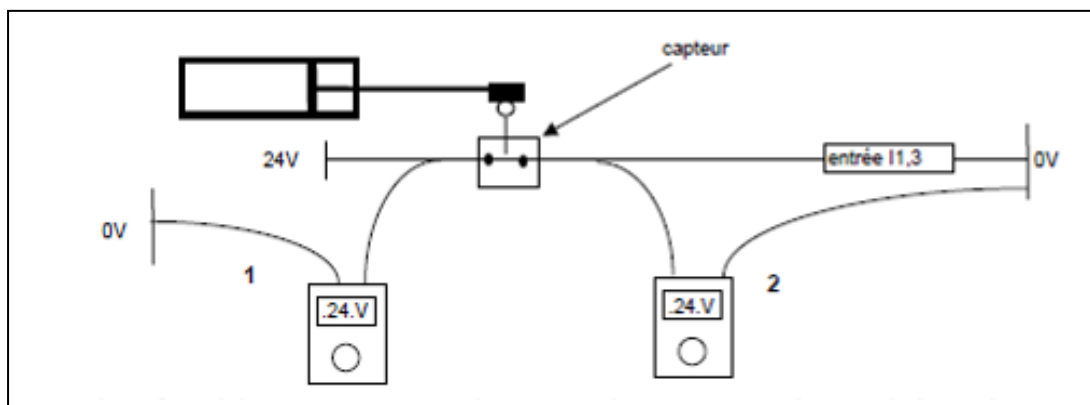
Maintenance

La durée de vie utile d'un moteur dépend en grande partie de la qualité de sa maintenance. La maintenance est d'autant plus importante dans le contexte actuel, car les moteurs sont conçus aujourd'hui selon des caractéristiques nominales précises et des paramètres optimisés. Par conséquent, tout écart de maintenance est susceptible d'affecter leur performance.

Voir dans le chapitre consacré aux moteurs toutes nos remarques concernant ceux-ci.

Test d'un capteur

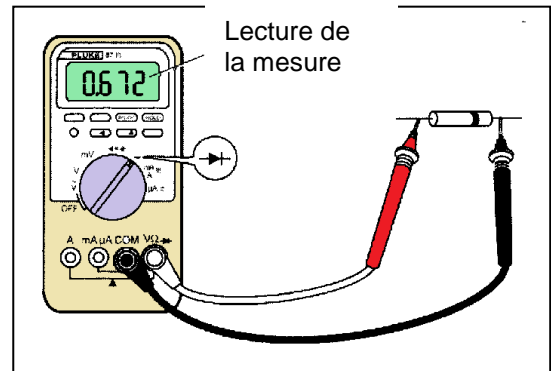
Exemple : dans cette configuration de test, le contact du capteur est censé être fermé.
Si le capteur est bien fermé, la mesure au test 2 donne normalement 24V aux bornes de l'entrée.
Si on obtient une mesure de 0V, c'est que le capteur est défaillant ou mal réglé, ou qu'une connexion est défaillante au niveau du capteur.



Tests des composants électroniques

Tester les diodes

Une diode peut être testée avec un multimètre numérique (éventuellement un ohmmètre). Il faut sélectionner le test des diodes et connecter les fiches de test aux entrées V et COM, puis mettre la pointe de la sonde rouge avec l'anode et la pointe de la sonde noire avec la cathode de la diode.



Le multimètre affiche une valeur comprise entre 0,5 et 0,9 V. Les cordons d'essai du multimètre sont ensuite inversés par rapport à l'anode et la cathode. Dans ce cas, la diode est assimilée à un circuit ouvert et quasiment toute la tension interne du multimètre apparaît. La valeur affichée est généralement comprise entre 2,5 et 3,5 V.

Une diode défectueuse est assimilée à un circuit ouvert ou à un circuit fermé dans les 2 sens.

Le premier cas est le plus courant : la diode oppose une très grande résistance et le multimètre affiche 0 V dans les deux sens si la diode est court-circuitée.

Il peut arriver qu'une diode défectueuse apparaisse comme une diode résistive, auquel cas le multimètre indique la même résistance dans les deux sens.

Si le multimètre ne possède pas d'une fonction spéciale pour tester les diodes, on peut cependant faire une vérification en mesurant la résistance de la diode dans les deux sens. Le sélecteur est réglé sur « Ohm ». On peut aussi utiliser un ohmmètre.

Les valeurs réelles des résistances mesurées ne sont pas importantes. L'essentiel est de vérifier que l'écart de résistance est significatif lorsque la diode est polarisée en sens direct et lorsqu'elle est polarisée en sens inverse. Si c'est le cas (valeurs très différentes) c'est que la diode fonctionne correctement.

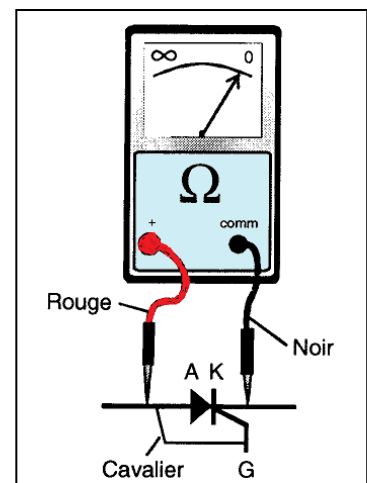
Tester les RCS

Un RCS est une diode équipée d'une borne de gachette supplémentaire.

Le RCS ne fonctionne que s'il est polarisé en sens direct et déclenché à partir d'une impulsion appliquée à la gachette. On peut donc le contrôler comme on le fait avec une diode : avec un multimètre ou un ohmmètre.

Le cordon positif (rouge) de l'instrument de mesure est connecté à l'anode du RCS et le cordon négatif (noir) à la cathode. L'instrument de mesure doit alors afficher une valeur infinie. Sans déconnecter l'instrument de mesure on utilise un cavalier pour court-circuiter la borne de la gachette du RCS avec le cordon positif de l'instrument. On doit alors lire une importante diminution de résistance.

Lorsque le cavalier est enlevé le dispositif peut continuer de conduire le courant ou devenir passant suivant les propriétés du RCS et l'instrument de mesure.

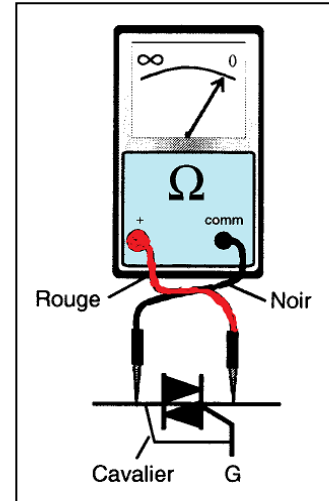


Tester les triacs

Un triac est constitué de deux RCS montés en parallèle. On va donc tester les deux RCS l'un après l'autre.

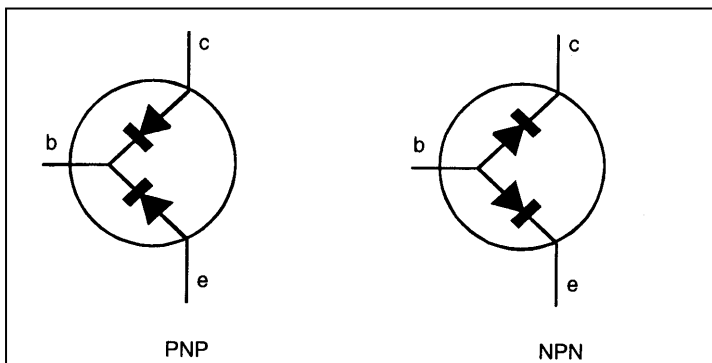
Pour cela, en premier le cordon positif de l'instrument de mesure est connecté à l'un et on applique la procédure précédente pour vérifier l'un des deux RCS.

Puis on inverse les 2 raccordements et on applique la même procédure pour vérifier le second RCS.



Tester les transistors à jonctions polaires (BJT)

Les transistors BJT sont constitués de trois couches de matériau, de type PNP ou NPN. Un transistor est représenté sous la forme d'une combinaison de deux diodes.



b : base

e : émetteur

c : collecteur

La fonction du multimètre numérique pour tester les diodes peut être utilisée pour tester les transistors.

Par exemple pour tester un transistor PNP, le cordon négatif (noir) du multimètre est appliqué à la base du transistor et le cordon positif (rouge) est appliqué à l'émetteur puis au collecteur. Le multimètre doit afficher une résistance faible dans les deux cas. Si maintenant on inverse les deux cordons, le multimètre doit afficher une valeur élevée dans les deux cas.

La procédure de test appliquée aux transistors NPN est identique sauf que le multimètre affiche une valeur élevée lorsque le cordon noir est appliqué à la base, et une valeur faible lorsque le cordon rouge est appliqué à la base.

Le transistor est défectueux si les deux jonctions PN montrent approximativement la même résistance dans les deux sens ; C'est vrai aussi avec un ohmètre.

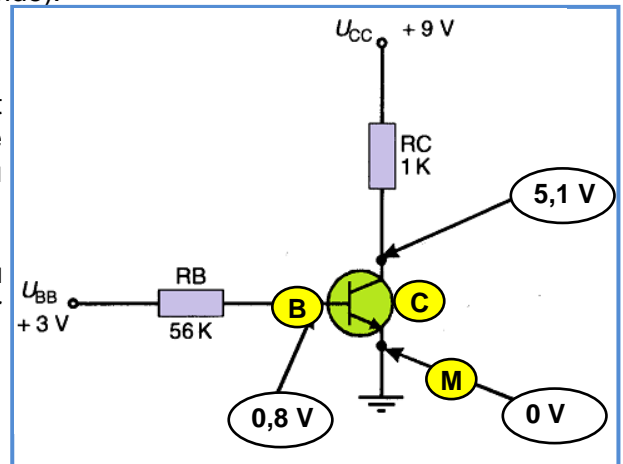
Rappelons que le rapport entre le courant de base I_b et le courant du collecteur I_c égal à β . Certains appareils numériques sont équipés d'une fonction qui permet de vérifier la valeur β in-circuit, en temps réel. Dans ce cas, il n'est plus nécessaire de déconnecter le transistor du reste du circuit.

Dépanner les transistors BJT polarisés

Parfois le transistor lui-même n'est pas défectueux mais il fonctionne mal en raison d'un défaut dans les circuits externes (très souvent une soudure froide).

Imaginons un étage amplificateur dont les tensions et les valeurs des composants sont indiquées sur le schéma ci-contre. Les tensions aux bornes du transistor doivent être mesurées.

- Si la tension au point B est de quelques millivolts au lieu de 0,8 V, cela signifie que la base du transistor est ouverte. Dans ce cas il faut contrôler :
 - la soudure à la base du transistor,
 - les soudures au niveau de RB,
 - la valeur de RB,
 - tout circuit externe menant à la base.



- Si la tension au point C est de quelques millivolts à la borne du collecteur, cela signifie que le collecteur n'est pas relié au reste du circuit. Dans ce cas il faut contrôler :
 - la soudure au connecteur du transistor,
 - les soudures au niveau de RC,
 - la valeur de RC,
 - tout circuit externe menant au connecteur.
- Si la connexion de masse est ouverte, on constate une tension à l'émetteur de +2,5 V ou plus ; cela vient du fait de la résistance du voltmètre utilisé pour la mesure. Dans ce cas il faut contrôler la soudure au niveau de l'émetteur

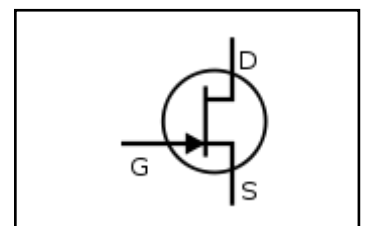
Tester les transistors à effet de champ (FET)

Les transistors à effet de champ (FET) sont plus difficiles à tester que les transistors à jonctions bipolaires (BJT). Il faut d'abord distinguer s'il s'agit d'un FET à jonction (JFET) ou d'un FET à onydes métalliques (MOSFET). Il faut ensuite savoir s'il s'agit d'un système à canal P ou à canal N

Un transistor à effet de champ (FET pour *Field Effect Transistor*) est un dispositif semiconducteur de la famille des transistors. Sa particularité est d'utiliser un champ électrique pour contrôler la forme et donc la conductivité d'un « canal » dans un matériau semiconducteur. Il concurrence le transistor bipolaire dans de nombreux domaines d'applications, tels que l'électronique numérique. Un transistor à effet de champ est un composant à trois broches : la Grille, le Drain et la Source. On considère que la commande du transistor se fait par l'application d'une tension V_{GS} négative dans le cas d'un type N, positive dans le cas d'un type P.

Transistor JFET

Un transistor de type JFET (Junction Field Effect Transistor ou transistor à effet de champ à jonction) présente une grille reliée au substrat. Dans le cas d'un canal dopé N, le substrat et la grille sont fortement dopés P+ et physiquement reliés au canal. Le drain et la source sont des îlots très fortement dopés N+ dans le canal, de part et d'autre de la grille. Dans le cas d'un canal dopé P, les dopages de chaque partie sont inversés, ainsi que les tensions de fonctionnement.



Transistors JFET
canal N

Les transistors JFET peuvent être contrôlés à l'aide d'un ohmmètre, en testant les jonctions PN entre la gâchette et le drain d'un côté et entre la gâchette et la source de l'autre. Si le transistor JFET fonctionne correctement, les deux jonctions PN se comportent comme des diodes ordinaires, opposant une résistance élevée dans un sens et faible dans l'autre. La résistance entre le drain et la source doit être ensuite mesurée. L'appareil de mesure doit indiquer une valeur de résistance qui dépend des propriétés du transistor JFET.

Transistor MOSFET

Un transistor de type MOSFET (Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor) présente une grille métallique électriquement isolée du substrat par un diélectrique de type SiO_2 .

Ces transistors se divisent en deux catégories:

les MOSFET à enrichissement. Ils sont les plus utilisés du fait de leur non conduction en l'absence de polarisation, de leur forte capacité d'intégration ainsi que pour leur fabrication plus aisée.

les MOSFET à appauvrissement. Ceux-ci se caractérisent par un canal conducteur en l'absence de polarisation de grille ($V_{GS} = 0$).

Le transistor est caractérisé par la charge de ses porteurs majoritaires qui détermine s'il est de type P ou N. Les symboles du MOSFET permettent de différencier son type et sa catégorie. Les lettres sur les trois électrodes correspondent au drain, à la source et à la grille.

MOSFET à enrichissement type N	MOSFET à enrichissement type P	MOSFET à déplétion type P	MOSFET à déplétion type N

Tester un transistor MOSFET

Montage DARLINGTON
NPN

être est une tâche très délicate, en raison de la très fine couche d'isolation qui sépare la jonction de gâchette et le canal.

Cette propriété confère au MOSFET une impédance d'entrée extrêmement élevée, mais le rend très vulnérable, même lorsque des tensions statiques minimales se développent aux bornes du transistor. En fait, un MOSFET peut être endommagé, même par un léger contact du doigt. C'est la raison pour laquelle ce type de dispositif se présente sous forme de boîtier reliant entre elles toutes les bornes, ce qui empêche les tensions statiques de se développer.

Les MOSFET peuvent être testés avec prudence à l'aide d'un ohmmètre basse tension, réglé sur la gamme la plus élevée possible.

Les MOSFET à appauvrissement (D-MOSFET) qui fonctionnent correctement présentent une certaine continuité entre la source et le drain. Cependant, il ne doit pas y avoir de résistance entre les bornes de gâchette et de drain, et les bornes de gâchette et de source.

Les MOSFET à enrichissement (E-MOSFET) qui fonctionnent correctement ne montrent aucune continuité entre les bornes.

Il n'est pas recommandé de dessouder un transistor à effet de champ. Après avoir examiné les composants endommagés ou les mauvaises soudures, les tensions du drain et de la source doivent être mesurées par rapport à la masse.

Une tension de drain presque égale à la tension d'alimentation est un défaut typique.

Une tension de drain nettement inférieure à la valeur normale est également un défaut typique.

L'origine est souvent une soudure sèche.

Tester les amplificateurs opérationnels

Les amplificateurs opérationnels sont des dispositifs complexes et sophistiqués, faisant l'objet de nombreuses pannes internes. Mais, l'amplificateur opérationnel en tant que tel ne peut pas être testé. En cas de problème interne, il est impossible de le dépanner et de le réparer ; la seule solution est de remplacer l'amplificateur.

Les circuits d'amplificateur opérationnel ne contiennent que quelques composants internes. Un circuit est généralement composé d'une résistance d'entrée, d'une résistance de rétroaction et d'un potentiomètre pour compenser la tension de décalage. Si le circuit fait apparaître des défauts, les composants externes doivent être contrôlés en premier. Des soudures sèches ou composants brûlés ou dépassant les limites de tolérance peuvent être à l'origine du problème. Si ce n'est pas le cas, les contacts de l'amplificateur opérationnel doivent être contrôlés/

Si tout semble bien fonctionner, il se peut que l'amplificateur lui-même soit défectueux et doive être remplacé.

Voici quelques-uns des défauts typiques rencontrés dans les circuits des amplificateurs opérationnels.

- Tension d'alimentation
C'est le premier paramètre à contrôler. Une tension d'alimentation appropriée et une masse doivent être présentes. (comme dans n'importe quelle procédure de dépannage de circuit)
- Résistance de rétroaction ouverte
Ce défaut résulte d'une tension de sortie sévèrement limitée lorsque l'amplificateur opérationnel fonctionne selon son gain en tension maximal (le circuit s'apparente à un amplificateur en boucle ouverte)
- Résistance de rétroaction court-circuitée
Dans cette situation, le signal de sortie a la même amplitude que le signal d'entrée.
- Résistance d'entrée ouverte
Dans le cas d'un inverseur, il n'y a pas de signal de sortie, car il n'y a pas de signal d'entrée. Dans le cas d'un amplificateur non-inverseur le gain est égal à 1 et la tension de sortie suit exactement la tension d'entrée. Donc l'amplificateur agit comme un suiveur de tension.
- Potentiomètre mal ajusté
Ce défaut se manifeste par l'écrtage de la valeur de crête positive ou négative de la tension de sortie.

Résumé

- ➔ La plupart des multimètres numériques sont équipés de fonctions spécifiques pour tester les diodes et les transistors bipolaires. Toutefois, lorsque ces fonctions ne sont pas disponibles, la majorité des composants électroniques peuvent être testés à l'aide d'un ohmmètre ordinaire.
- ➔ Lorsqu'une diode fonctionne correctement, l'ohmmètre doit passer d'une valeur élevée à une valeur faible, et inversement, chaque fois que les cordons d'essai sont inversés par rapport à l'anode et à la cathode.
- ➔ Le RCS est testé de même manière, sauf qu'un cavalier est utilisé entre la gâchette et l'anode pour le déclencher. Lorsque le dispositif est déclenché, sa résistance chute de façon significative.
- ➔ Les triacs sont testés comme les RCS mais dans les deux sens : et les cordons d'essai de l'appareil de mesure sont inversés et la procédure est répétée.
- ➔ Les transistors à jonctions bipolaires sont quant à eux considérés comme deux diodes connectées en série. Chaque diode est testée séparément.
- ➔ Les transistors à effet de champ sont plus difficiles à tester. Certaines précautions particulières doivent être respectées pour ne pas endommager le dispositif en raison de l'accumulation de charge statique.
- ➔ Les transistors à effet de champ à jonction JFET peuvent être représentés par deux diodes connectées en série et une résistance connectée parallèlement à ces dernières. Chaque diode est testée séparément. La valeur de la résistance est aussi mesurée.
- ➔ Pour rechercher des défauts dans les circuits de transistor polarisé, les tensions approximatives aux bornes du transistor sont d'abord calculées. Les tensions sont ensuite mesurées. Tout écart par rapport aux valeurs calculées est analysé de façon logique ce qui permet de détecter le problème.
- ➔ Les amplificateurs opérationnels ne peuvent pas être testés comme les autres dispositifs. Tous les composants externes et les soudures doivent être contrôlés. Si le circuit est toujours défectueux, le dispositif doit être remplacé.

Mesures de terre et de résistivité

Réalisation d'une prise de terre

Pourquoi faut-il une prise de terre ?

C'est par souci de sécurité que la législation a rendu obligatoire l'installation d'une prise de terre. Elle évite des élévations dangereuses de potentiel des masses et une mise sous tension accidentelle de masses métalliques ou conductrices pouvant être touchées par un individu. Quand une tension anormale (ou « tension de défaut ») est créée, l'écoulement via la prise de terre du « courant de défaut » associé, permettra le déclenchement si nécessaire des dispositifs de protection. Une prise de terre doit toujours donc être associée à un dispositif de coupure, sinon elle n'a pratiquement aucun intérêt.

Quelle valeur de résistance de terre faut-il trouver ?

Dans une installation aux normes et pour garantir la sécurité des individus, il faut que les dispositifs de protection se déclenchent dès qu'une « tension de défaut » circulant dans l'installation dépasse la tension limite acceptée par le corps humain. Dans le but de minimiser les risques, nous considérerons :

U limite = 25V AC

De plus, de façon générale, dans les installations domestiques, le dispositif de coupure différentiel (DDR) associé à la prise de terre accepte une élévation de courant de 500 mA.

Par la loi d'Ohm, $U=RI$

On obtient : $R = 25 \text{ V} / 0,5 \text{ A} = 50 \Omega$

Pour garantir la sécurité des individus et des biens, il faut que la résistance de la prise de terre soit inférieure à 50Ω : $R_{\text{terre}} < 50 \Omega$

Réalisation d'une prise de terre

La réalisation d'une bonne prise de terre (i.e. dont la résistance est $< 50 \Omega$) dépend de trois éléments essentiels :

- la nature de la prise de terre
- la nature et la résistivité du terrain
- le conducteur de terre

Nature des prises de terre

Conformément à la norme NF C 15-100, les prises de terre peuvent être de l'un des types suivants :

- piquets ou tubes métalliques verticaux
- rubans ou câbles enfouis horizontalement
- plaques métalliques
- ceinturages métalliques à fond de fouilles
- armatures de bétons noyées dans le sol
- canalisations métalliques de distribution d'eau (avec l'accord du distributeur d'eau)
- etc...

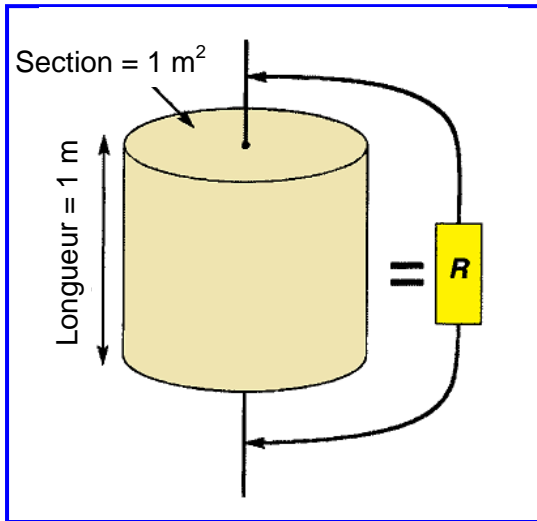
La résistance de la prise de terre ainsi constituée dépendra de sa forme, de son implantation dans le terrain donc de la résistivité de celui-ci.

Notion de résistivité

La résistivité d'un terrain s'exprime en ohm.mètre ($\Omega.m$).

Elle correspond à la résistance théorique d'un cylindre de terrain de $1 m^2$ de section et de 1 m de longueur.

Elle traduit la résistance d'un terrain face à la circulation d'un courant.



La résistivité est très variable selon les régions et la nature des sols car elle dépend du taux d'humidité et de la température (le gel ou la sécheresse augmente la résistivité).

Nature du terrain	Résistivité (en $\Omega.m$)
Terrains marécageux	de quelques unités à 30
Limon	20 à 100
Humus	10 à 150
Marnes du jurassique	30 à 40
Sable argileux 50 à 500	50 à 500
Sable siliceux	200 à 3000
Sol pierreux nu	1500 à 3000
Sol pierreux recouvert de gazon	300 à 500
Calcaires tendres	100 à 300
Calcaires fissurés	500 à 1000
Schistes	50 à 300
Micaschistes	800
Granits et grès en altération	1500 à 10000
Granits et grès très altéré	100 à 600

Principe de la mesure

Quatre électrodes sont disposées en ligne sur le sol et équidistantes d'une longueur a .

Entre les deux électrodes extrêmes (E et H), on injecte un courant de mesure I grâce à un générateur.

Entre les deux électrodes centrales (S et ES), on mesure le potentiel ΔV grâce à un voltmètre.

L'appareil de mesure utilisé est un ohmmètre de terre classique qui permettra l'injection d'un courant et la mesure de ΔV . La valeur de la résistance R lue sur l'ohmmètre permettra de calculer la résistivité par la formule de calcul simplifiée suivante :

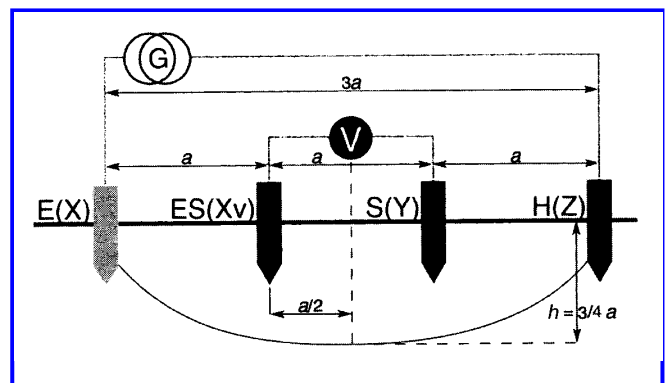
$$\rho = 2\pi a R$$

Avec ρ : résistivité en $\Omega.m$ au point situé sous le point O, à une profondeur de $h = 3a / 4$.

a : base de mesure en m

R : valeur (en Ω) de la résistance lue sur l'ohmmètre de terre

EDF préconise une mesure avec $a = 4m$ minimum.



Mesure de résistance d'une prise de terre existante

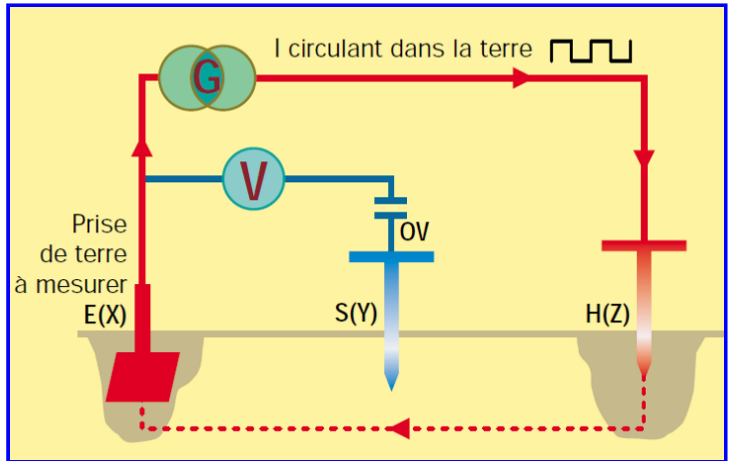
Nous nous positionnons actuellement dans la configuration où la prise de terre existe déjà et nous voulons vérifier qu'elle répond correctement aux normes de sécurité. Nous voulons donc vérifier que $R_{\text{terre}} < 50 \Omega$

On fait circuler à l'aide d'un générateur approprié G, un courant alternatif (i) constant à travers la prise auxiliaire H dite « prise d'injection courant », le retour se réalisant par la prise de terre E.

On mesure la tension V entre les prises E et le point du sol où le potentiel est nul au moyen d'une autre prise auxiliaire S dite « prise de potentiel 0V ».

Le quotient de la tension V, ainsi mesurée par le courant constant injecté (i), donne la résistance recherchée.

$$R_E = U_{ES} / I_{EH}$$



Plusieurs méthodes existent et peuvent être appliquées selon la configuration.

Méthode en triangle

Elle ne doit pas être considérée comme une méthode de référence, car sa précision est moindre que celle obtenue par la méthode « dite des 62 % » décrite ci-après.

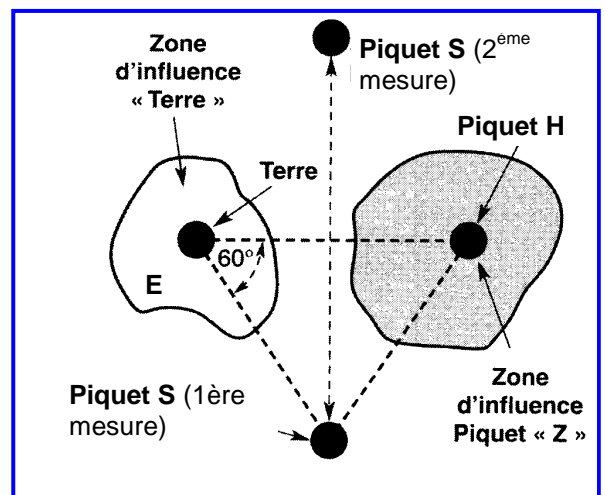
- la prise de terre E et les piquets S et H forment un triangle équilatéral (si possible)
- effectuer une première mesure en plaçant S d'un côté, puis une seconde mesure en plaçant S de l'autre côté.

Si les valeurs trouvées sont très différentes, le piquet S est dans une zone d'influence. Il faut alors, augmenter les distances et recommencer les mesures.

Si les valeurs trouvées sont voisines, à quelques % près, la mesure peut être considérée comme correcte.

Toutefois, cette méthode fournit des résultats incertains. En effet, même lorsque les valeurs trouvées en sont voisines, les zones d'influence peuvent se chevaucher.

Pour s'en assurer, recommencez les mesures en augmentant les distances.



Mesure de boucle Phase-PE (uniquement en Schéma TT)

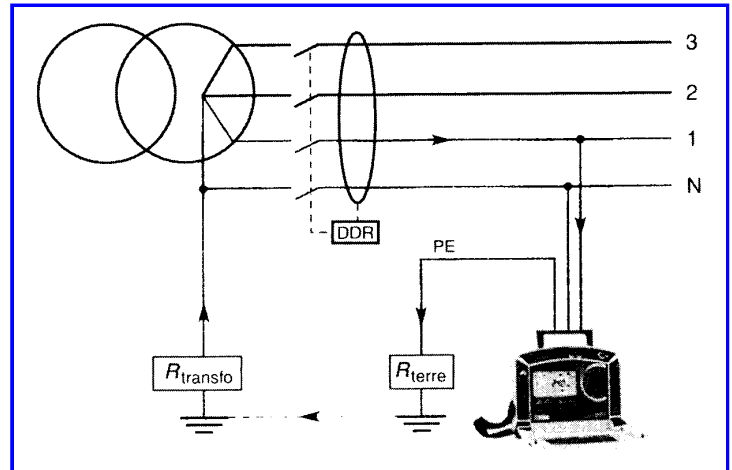
Le but est de mesurer rapidement la terre en milieu urbain sans planter de piquets.

La mesure inclut :

- terre à mesurer,
 - terre du ,
 - résistance interne du ,
 - résistance des câbles,
- soit environ la terre à mesurer.

C'est une mesure par excès : la valeur réelle est toujours inférieure.

L'erreur de mesure (par excès) introduite par cette méthode va dans le sens d'une sécurité accrue.



La norme NF C 15-100 considère que la valeur de la résistance de boucle (résistance de terre par excès) peut être prise en compte à la place de la résistance de terre, pour satisfaire aux règles concernant la protection contre le risque de contacts indirects

Mesure avec Pince de terre

Certaines installations électriques disposent de multiples mises à la terre en parallèle.

Dans les établissements équipés de matériels électroniques sensibles, un maillage des conducteurs de terre reliés à des terres multiples permet d'obtenir un plan de masse sans défaut d'équipotentialité. Pour ce genre de réseau, il est possible d'optimiser la sécurité et la rapidité des contrôles au moyen d'une pince de terre.

Dans ce cas, il n'est pas nécessaire d'isoler l'installation (par ouverture de la barrette de terre), ni de planter des piquets. Un simple enserrage du câble relié à la terre permet de connaître la valeur de la terre ainsi que la valeur des courants qui y circulent.

Une pince de terre est constituée de deux enroulements : un enroulement générateur et un enroulement récepteur.

- L'enroulement « générateur » de la pince développe une tension alternative au niveau constant E autour du conducteur enserré ; un courant $I = E / R_{\text{boucle}}$ circule alors à travers la boucle résistive.
- L'enroulement « récepteur » mesure ce courant.
- Connaissant E et I, on en déduit la résistance de boucle.

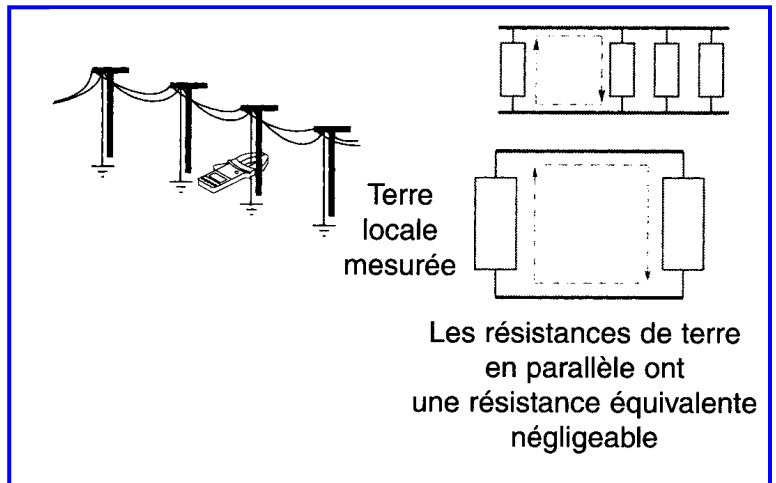
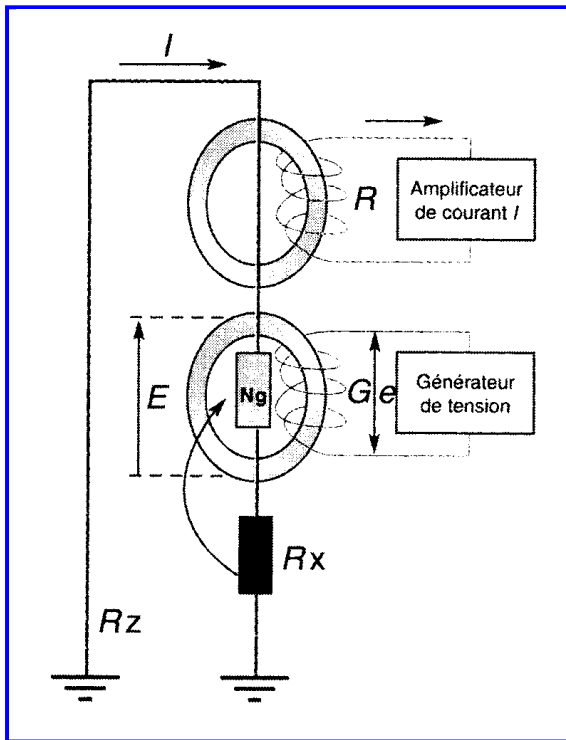
Nous sommes dans le cas d'un réseau de terres en parallèles. Sachant que « n » résistances en parallèle équivalent à une résistance R_{aux} de valeur négligeable, on peut mesurer la valeur de la terre locale R_n :

$R_{\text{boucle}} = R_n + R_{\text{aux}}$ (avec R_{aux} = résistance équivalente à $R_1 \dots R_n$ en parallèle)

Comme $R_n \gg R_{\text{aux}}$ On obtient $R_{\text{boucle}} \approx R_n$

La pince de terre est utilisée pour les mesures de résistance de terre :

- au niveau des s MT/BT,
- des bâtiments faradisés,
- des lignes de télécommunication
- et pour la continuité des boucles « fond de fouille »...



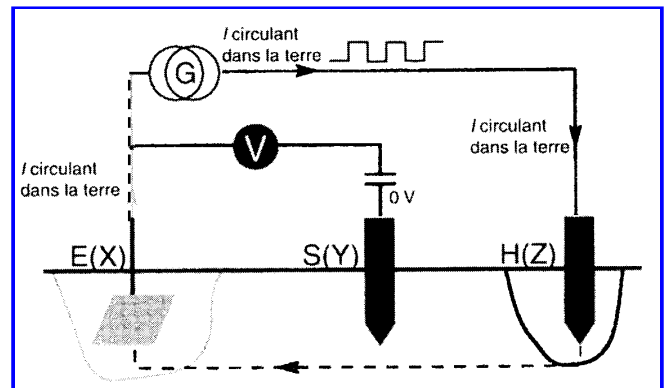
Méthode des 62 %

C'est la seule méthode qui donne des résultats fiables.

Cette méthode nécessite l'emploi de deux électrodes (ou « piquets ») auxiliaires pour permettre l'injection de courant et la référence de potentiel 0V.

La position des deux électrodes auxiliaires, par rapport à la prise de terre à mesurer E(N), est déterminante.

Pour effectuer une bonne mesure, il faut que la « prise auxiliaire » de référence de potentiel (S) ne soit pas plantée dans les zones d'influences des terres E & H, zones d'influence créées par la circulation du courant (i).



Des statistiques de terrain ont montré que la méthode idéale pour garantir la plus grande précision de mesure consiste à placer le piquet S à 62 % de E sur la droite EH.

Il convient ensuite de s'assurer que la mesure varie peu en déplaçant le piquet S à $\pm 10\%$ (S' et S'') de part et d'autre de sa position initiale et ceci toujours sur la droite EH.

Si la mesure varie, cela signifie que (S) se trouve dans une zone d'influence : il faut donc augmenter les distances et recommencer les mesures.

Pour que la mesure soit correcte, il convient d'espacer le piquet H de la terre à mesurer d'au moins 25 mètres.

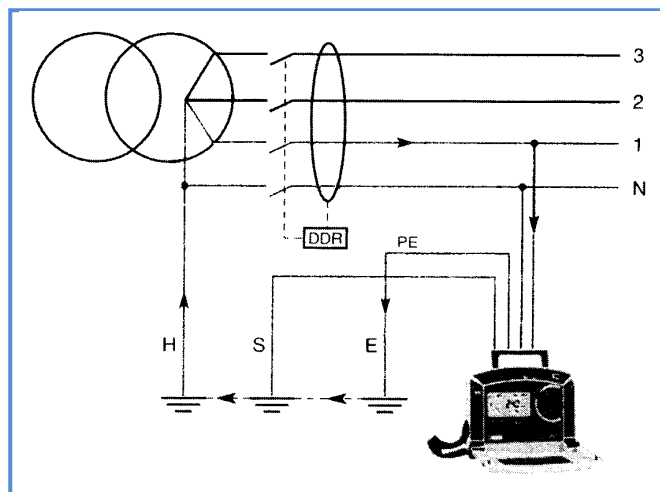
Méthode variante des 62 % (un piquet) uniquement en Schéma TT ou IT impédant

Cette méthode n'exige pas la déconnexion de la barrette de terre et ne nécessite l'utilisation que d'un seul piquet auxiliaire (S).

Le piquet H est ici constitué par la mise à la terre du transformateur de distribution et le piquet E par le conducteur PE accessible sur le conducteur de protection, ou la barrette de terre.

Le principe de mesure reste le même que pour la méthode des 62 % :

Le piquet S sera positionné de façon à ce que la distance S-E soit égale à 62 % de la distance globale (distance entre E et H). S se situera donc normalement dans la zone neutre dite « Terre de référence 0 V ».



La tension mesurée divisée par le courant injecté donne la résistance de terre.

Les différences avec la méthode des 62 % sont :

- L'alimentation de la mesure se fait à partir du réseau et non plus à partir de piles ou batteries.
- Un seul piquet auxiliaire est nécessaire (piquet S) ce qui rend plus rapide la préparation de la mesure.
- Il n'est pas nécessaire de déconnecter la barrette de terre du bâtiment. C'est un gain de temps et cela garantit le maintien de la sécurité de l'installation

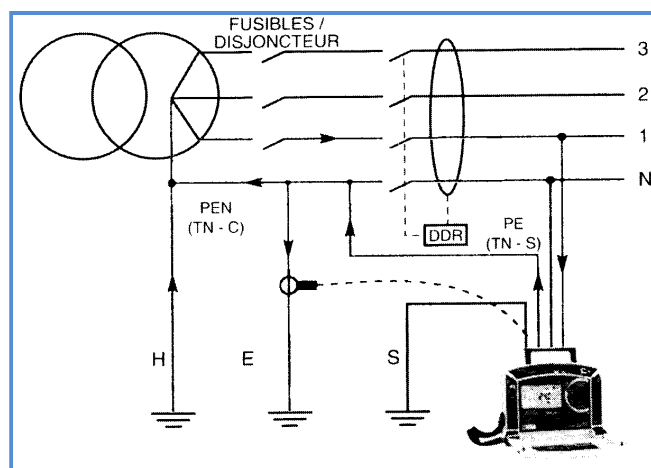
Méthode variante des 62 % en schéma TN

Dans ce schéma, les terres sont fonctionnelles et non de sécurité puisque les courants de défaut se rebouclent principalement dans le neutre.

On peut quand même mesurer sélectivement chaque mise à la terre du PEN grâce à une pince de courant associée au multimètre.

La terre globale n'a pas vraiment de sens.

La tension de défaut et l'impédance de la boucle Phase-PE sont plus intéressantes.



Mesure de couplage

Un fort couplage entre deux terres peut engendrer des conséquences fâcheuses pour la sécurité des personnes et/ou du matériel.

L'écoulement d'un courant de défaut par la masse M du réseau MT peut provoquer une élévation du potentiel du sol et donc de la terre du neutre du réseau BT et par conséquent mettre en danger la vie des personnes et des matériels utilisant le réseau BT.

Lors d'un coup de foudre sur le MT/BT, l'élévation de potentiel instantané peut-être de plusieurs kV.

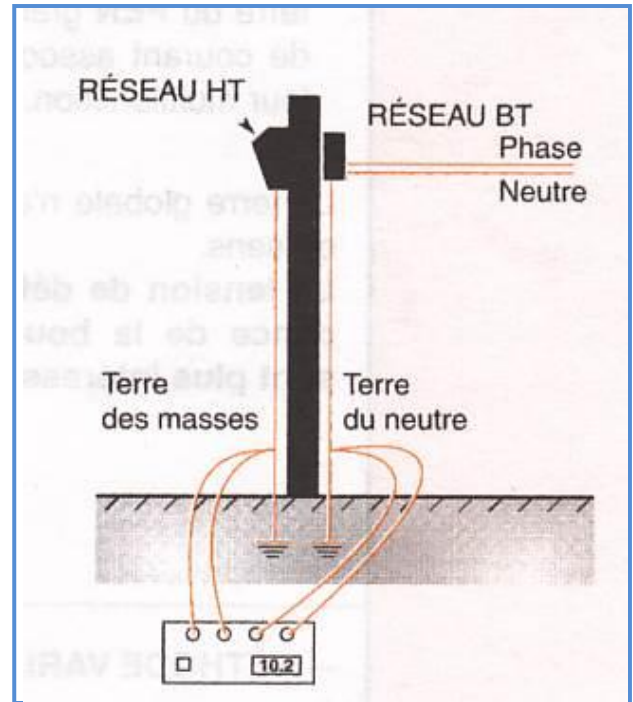
Méthode :

- Mesurer la terre des masses (méthode 62%)
- Mesurer la terre du neutre (méthode 62%)
- Mesurer la résistance masses/neutre

$$R_{\text{couplage}} = (R_{\text{masses}} + R_{\text{neutre}} - R_{\text{masse/neutre}})/2$$

Coefficient de couplage =

$$R_{\text{couplage}}/R_{\text{masses}} < 0,15 \text{ (à EDF)}$$



Pour cette mesure, il nous paraît vraiment nécessaire de s'adresser à une société spécialisée.

Méthode de dépannage

	Page
Méthode générale.....	53
Redémarrage sans cause identifiée.....	58
Panne sur API.....	59
Défaillances en électronique.....	63
Défaillance d'un moteur.....	73
Défaillance d'un démarreur.....	87
Cas type.....	89

Méthode générale

En vérité du fait de l'étendue et de la complexité de la technique il n'y a pas de méthode structurée de dépannage.

On ne peut que prévoir les moyens pouvant aider le technicien de dépannage, et recommander le bon comportement devant une panne.

Documentation

Avec les techniques actuelles il est sans doute utile de prévoir une ou plusieurs tablettes mobiles pour le dépannage, le format très proche de A4.

Le contenu de ces tablettes est :

- Schémas électriques ;
- Descriptions de tests et contrôles.
- Outils d'aide au diagnostic.
- Informations diverses.

**Tablette
de
Dépannage**

Schémas électriques

Il s'agit de reprendre les schémas électriques existants sous forme informatique ou sous forme papier à scanner ou faire scanner.

Mais bien sûr il faut faire une sélection importante. Les schémas sélectionnés sont à classer suivant la nomenclature.

Ce travail pourrait être fait par un technicien de dépannage chevronné.

Descriptions de tests et contrôles.

Cela pourrait être le contenu du chapitre précédent à compléter.

Outils d'aide au diagnostics.

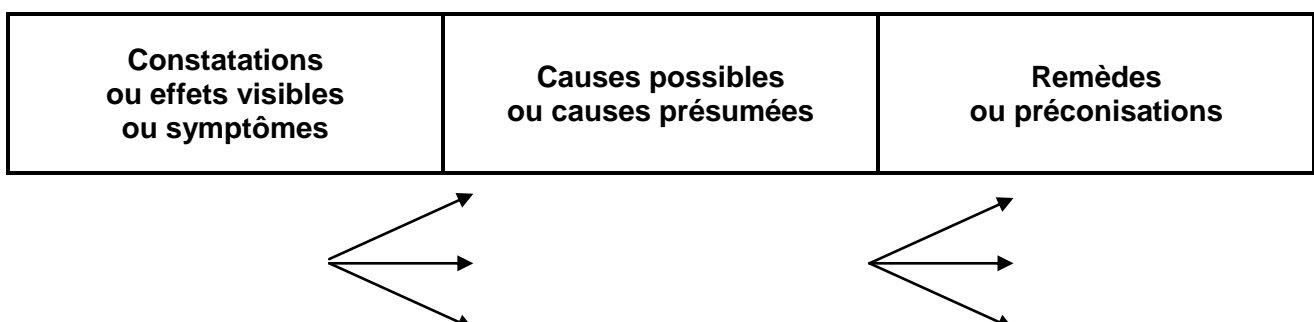
Ces outils (check-lists, etc.) sont généralement fournis par les constructeurs. Beaucoup d'entre eux peuvent être établis par la fonction Méthodes Maintenance.

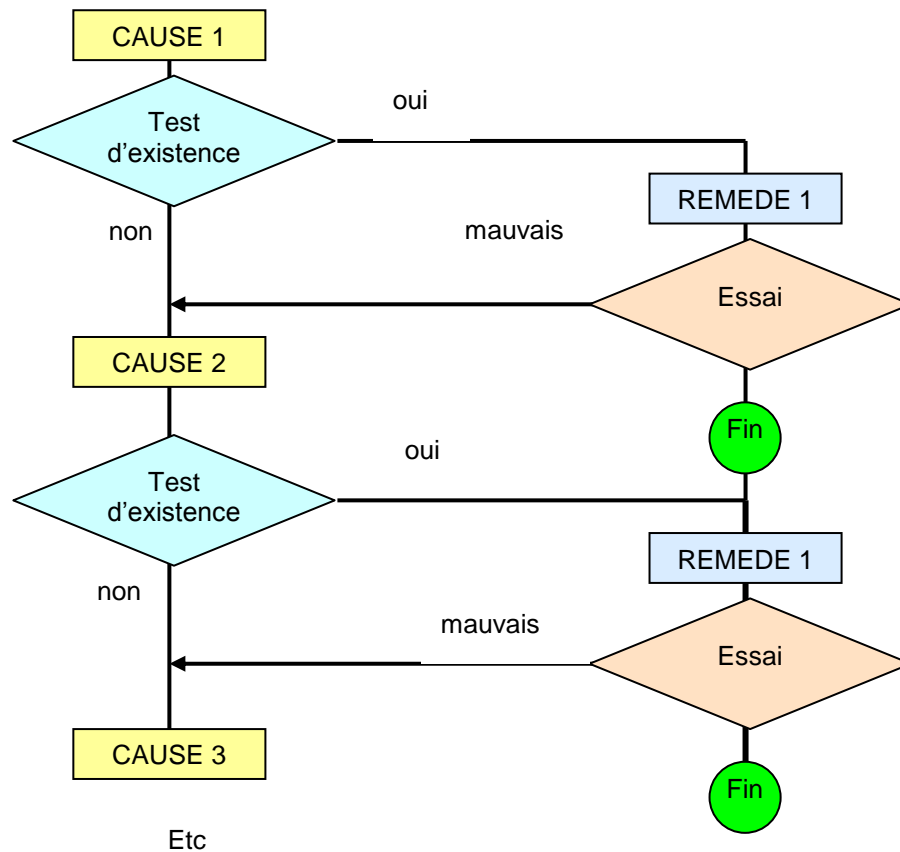
Les schémas fonctionnels et dessins

Extraits du Dossier Technique, les schémas électriques, hydrauliques, mécaniques..., les dessins techniques servent de supports visuels à un raisonnement logique.

Les tableaux « effets – causes – remèdes »

Ces tableaux sont parfois très longs, à un symptôme pouvant correspondre m causes, et à chaque cause n remèdes.





Gammes types de depannage

L'établissement d'une gamme-type de dépannage ne peut être rentable que :

- dans le cas de famille de pannes semblables,
- dans le cas de pannes répétitives (dont l'élimination est techniquement impossible ou trop coûteuse)

Une gamme type comporte :

- les opérations de démontage et de nettoyage,
- les remplacements provisoires d'éléments défectueux (ou remise en état provisoire),
- les opérations de remontage.

En outre, suivant les cas :

- une liste d'outillages,
- les cotes de réglage ou de contrôle,
- les mesures de sécurité,
- les temps alloués par opérations,
- la désignation des pièces à remplacer,
- la qualification et le nombre des exécutants.

Gammes de dépannage

Nous ne recommandons l'établissement de gammes de dépannages qu'après l'étude et la mise en place de tous les autres moyens d'organisation.

Mais on peut profiter des gammes proposées par les constructeurs, bien sûr.

Formation du personnel de dépannage

- ➔ Le personnel de dépannage doit connaître les outils dont il dispose. Il faut donc lui laisser le temps d'en prendre connaissance (durée durant laquelle il n'a pas à intervenir).
- ➔ Un nouvel embauché doit accompagner un dépanneur expérimenté durant quelque temps pour bien prendre connaissance des installations.
- ➔ Le personnel de dépannage doit être bien informé des procédures de sortie des pièces de rechange. Particulièrement pour les interventions de nuit, en l'absence de magasinier il doit savoir comment renseigner les sorties. Il arrive trop souvent que celles-ci sont mal ou pas mentionnées ce qui perturbe la gestion du stock.
- ➔ Il n'y a pas beaucoup de formations par un organisme extérieur. Nous conseillons la formation à la « Méthode MAXER » qui s'appuie sur de nombreux exemples.

Méthode d'intervention

En premier lieu il est **IMPERATIF** que le technicien de dépannage appelé respecte les 2 règles suivantes :

1. **VOIR L'OPERATEUR CONCERNE** pour prendre connaissance des faits.
2. **ALLER SUR PLACE POUR VOIR LE MATERIEL** concerné (et non l'armoire électrique par exemple).

Ensuite, si nécessaire :

- S'assurer qu'aucune sécurité n'est enclenchée (bouton poussoir ou cable), particulièrement s'il s'agit d'un équipement étendu en longueur ou en hauteur (plusieurs niveaux). Si c'est le cas, s'informer des raisons et agir en conséquence.
- Réfléchir aux éléments suivants :
 - **Les antécédents :**
Un événement ayant précédé une panne en est souvent la cause. Exemple : un équipement ne démarre pas le lundi matin alors qu'il fonctionnait le vendredi soir, l'antécédent est probablement une intervention de maintenance le WE...
 - **Disparités de lieu :**
Deux systèmes identiques utilisés ne fonctionnent pas de la même façon. Ce sont les matières premières qui étant différentes expliquent le problème
 - **Disparités de temps :**
Un système s'arrête de fonctionner en marche automatique, et fonctionne en marche manuelle. Il faut chercher ce qui est l'élément qui explique la disparité
 - **Concomitances :**
Un événement est toujours présent quand le phénomène est constaté, souvent à des périodes

cycliques. Exemple : une bascule donne des résultats aberrants à 11H45 tous les jours. C'est un cariste qui va déjeuner qui passe à côté et génère des vibrations dans le sol.

- **Simultanéité :**

Si deux phénomènes apparaissent simultanément, c'est qu'il y a une grande chance qu'il y ait une cause commune.

- Si aucune cause de panne n'apparaît, il faut alors faire appel à la documentation (tablette) et chercher.

En cas d'intervention (remplacement de pièce ou resserrage par exemple) **il ne faut pas oublier la procédure de consignation.**

Remarque générale

Les causes aux défaillances ne sont pas toujours techniques.

Un certain nombre d'entre elles sont liées : au process, à la matière, au mode opératoire d'exploitation, à des erreurs humaines, à l'environnement.

Pour aider la recherche des causes techniques et des solutions à y apporter, nous présentons ci-après quelques thèmes :

- Rzdémarrage sans cause identifiée
- Panne sur API
- Défaillances en électronique
- Défaillances d'un moteur
- Défaillances d'un démarreur
- Cas type

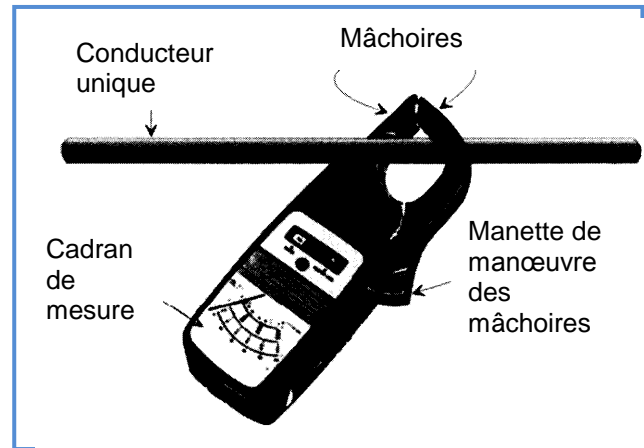
Redémarrage sans cause identifiée

Après avoir réenclenché une protection thermique d'un moteur, on devrait contrôler s'il n'y a pas un déséquilibre de phases du à un desserrage à la boîte à bornes, avec la pince ampèremétrique.

C'est vrai pour tous les cas de réenclenchements de disjoncteurs.

Sinon les pannes reviennent forcément.

Un contrôle avec ohmmètre est possible, mais il faut arrêter la marche du matériel.



Maintenance

La pince ampèremétrique est un instrument essentiel en maintenance, et pourtant elle est peu utilisée. De fait, il y a trop de déclenchements électriques inexpliqués. Après avoir réenclenché une protection thermique d'un moteur, on devrait contrôler s'il n'y a pas un déséquilibre de phases du à un desserrage à la boîte à bornes, avec la pince ampèremétrique.

Panne sur API

Lorsqu'il y a une panne sur un Automate Programmable Industriel (API) il ne faut pas se précipiter pour changer une carte d'entrée ou de sortie.

Il faut avant tout faire une relance (« reset ») de l'automate.

En effet avec les nouvelles techniques il y a de plus en plus de parasites, micro-coupures et harmoniques qui ne font que passer. Souvent une relance suffit.

Il est conseillé de protéger tout API par un onduleur :

- Onduleur avec batterie en ligne qui protège des 3 éléments perturbateurs.
- Onduleur avec batterie en parallèle (moins cher) qui ne protège pas des micro-coupures.

Si l'API ne redémarre pas, il faut d'abord suivre ses indications.

Les automates offrent un écran de visualisation où l'on peut voir l'évolution des entrées / sorties

Un dysfonctionnement peut avoir pour origine :

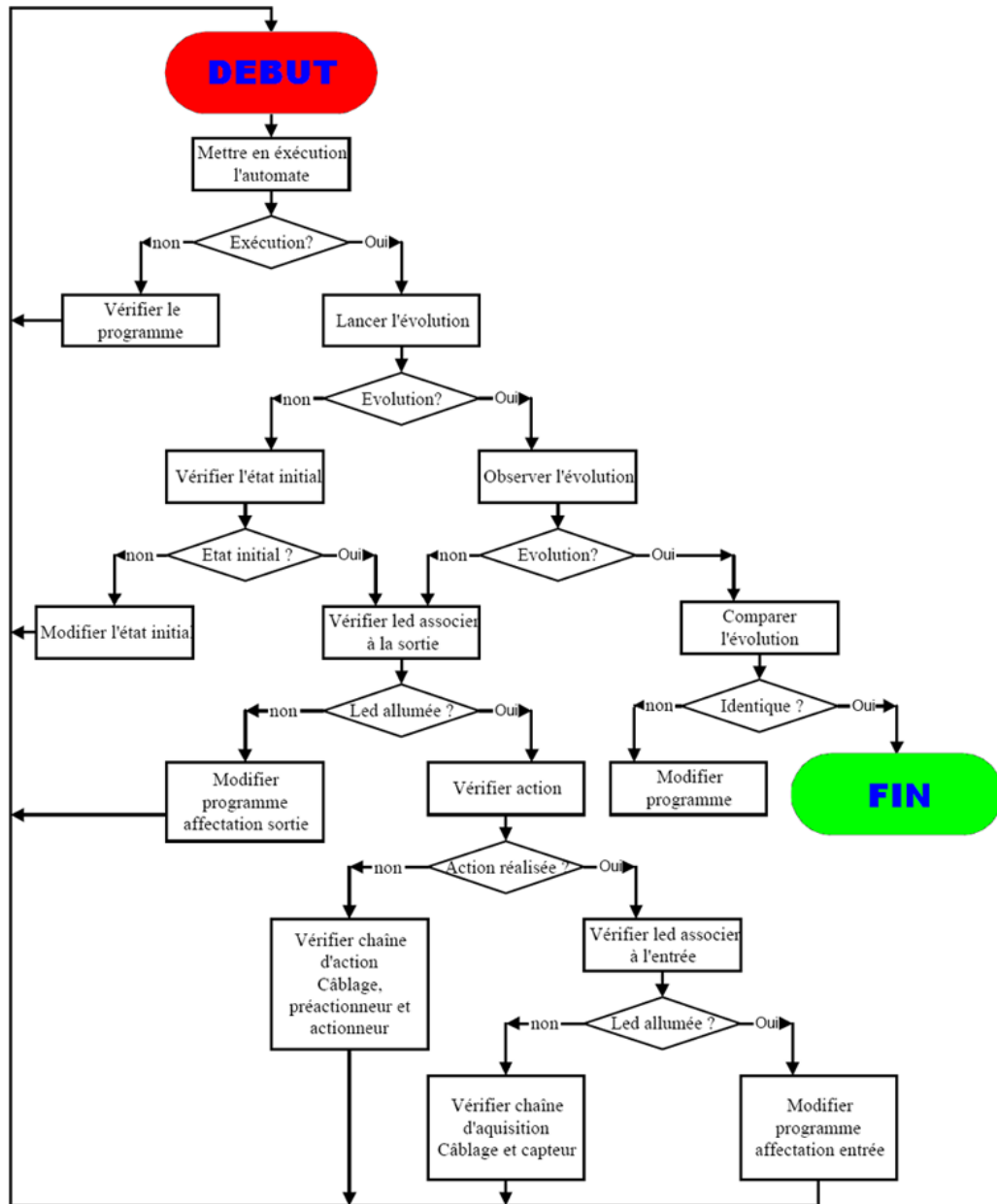
- Un composant mécanique défaillant (préactionneur, actionneur, détecteur,...).
- Un câblage incorrect ou défaillant (entrées, sorties).
- Un composant électrique ou électronique défectueux (interface d'entrée ou de sortie).
- Une erreur de programmation (affectation d'entrées-sorties, ou d'écriture).
- Un système non initialisé (étape, conditions initiales...).
-

Il faut aussi voir le bus de terrain quand il y a un.

Dans la majorité des cas, il s'agit d'une défaillance d'un capteur ou détecteur, d'un préactionneur ou actionneur, ou d'un problème de connectique.

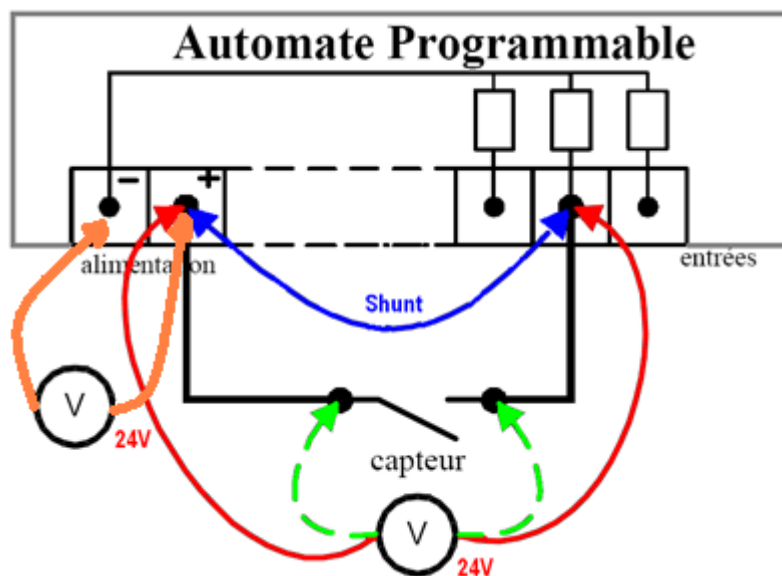
Sinon les aides figurées ci-après peuvent servir.

Maintenance Diagnostic API



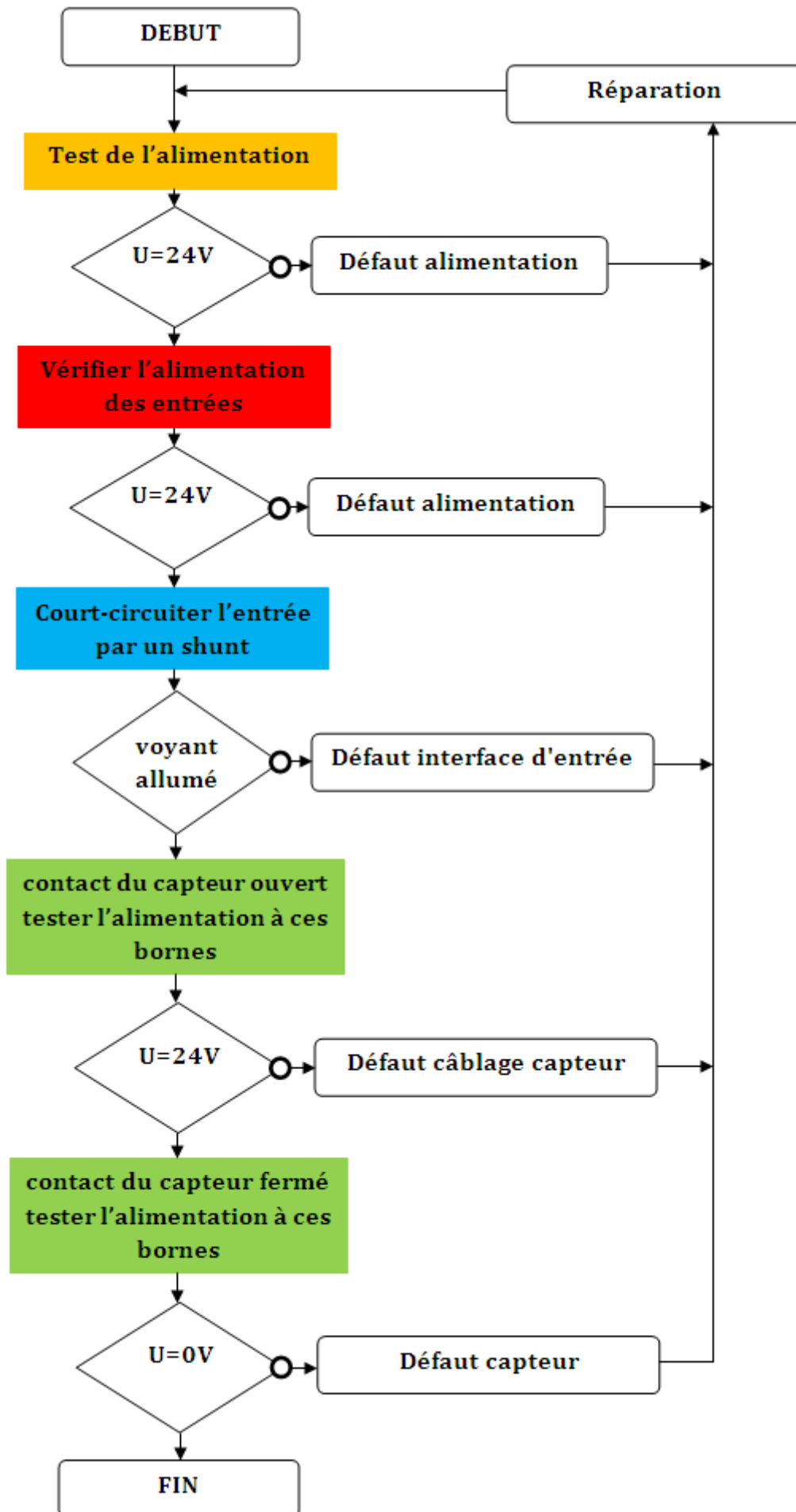
Maintenance

Vérification entrée-masse...



Cette vérification se réalise à l'aide d'un voltmètre-ohmètre et d'un shunt (morceau de fil électrique).

- Vérifier l'alimentation des entrées à l'aide d'un voltmètre.
- Pour vérifier le capteur et son câblage, tester aux différents points indiqués, contact du capteur ouvert, contact du capteur fermé.
- Pour vérifier l'interface d'entrée court-circuiter le capteur par un shunt, le voyant d'entrée doit s'allumer.

Maintenance Vérification cablage

Défaillances en électronique

La fonction test diode, symbolisée par un dessin de diode sur le sélecteur de fonctions du **multimètre** permet de mesurer la tension de seuil dans le sens passant et bloquant (tendant vers l'infini dans ce cas) d'une jonction mesurée entre ses bornes. Il est utilisable pour évaluer l'état des diodes bien sur, mais également celui des transistors, qui apparaissent aux yeux de l'instrument, comme deux diodes montées tête-bêche (entre la base et le collecteur et la base et l'émetteur).

La deuxième fonction bien utile (hormis le voltmètre, ohmmètre et tout ce qui s'en suit) est la fonction testeur de continuité. C'est tout simplement un signal sonore qui est émit par le multimètre si la résistance électrique d'un circuit est inférieure à la centaine d'ohms en général. C'est donc une fonction ohmmètre améliorée, bien pratique pour vérifier la présence ou l'absence de courts-circuits, de faux contacts... Cette fonction, parfois combinée au test diode ou à un des calibre de l'ohmmètre, est symbolisée par un pictogramme ressemblant au mode "alarme" d'une montre digitale. Sur la photo, il s'agit de la deuxième icône entre le symbole ohm et le symbole de la diode.

Voyons à présent quelques méthodes pour rechercher une panne, l'identifier et tester le, ou les composants pouvant êtres incriminés dans celle-ci.

Méthodologie de recherche d'une panne :

- **Observez les symptômes de la panne.** Essayez de les constater par vous même plutôt que de vous les faire décrire. Car la personne vous confiant l'appareil en panne peu très bien avoir omis quelque détail qui a toute son importance pour débiter correctement l'investigation. Ce qui arrive souvent ! ...Un médecin essaye plutôt de demander directement à son patient ce qu'il ressent plutôt qu'à une tierce personne.
- **Vérifiez à l'œil nu** dans un premier temps si quelques composants, soudures ou pistes de circuit imprimé n'auraient pas noircis ou ne seraient pas ébréchés. Attention, aux dépôts de poussières pouvant faire penser que certains composants ont cramé alors qu'il n'en est rien. **Essayez de sentir si le composant suspect a une odeur de brûlé**, genre plastique fondu.

Caractéristiques des pannes pour un type de composant électronique donné :

- **Introduction :**

Généralement un composant électronique, lorsqu'il tombe en panne, adopte un comportement caractéristique à son espèce : Court-circuit, circuit ouvert (coupé), etc... Voici la liste que j'ai établie, la plus exhaustive qu'il soit de quelques comportements spécifiques à chacune de ces familles de composants. Les composants C.M.S. de par leur minuscule taille présentent des cas particuliers qui seront vus comme une famille à part :

- **Les diodes :**

La diode est le semi-conducteur le plus simple. Généralement la ou les jonctions (diodes

doubles, ponts de diodes...) de ceux-ci se mettent plus ou moins en court-circuit. En cas de panne, au test diode ou à l'ohmmètre, (valable pour les diodes classiques, zéner, schotky, tunnel...) le sens bloquant de la diode présentera une tension de seuil très faible (entre zéro et 200 millivolts), il en est généralement de même pour le sens passant (la chute de tension mesurée sera peut être même encore plus faible, (0,1V par exemple...)). Attention aux diodes schotky qui présente naturellement des tension de seuil pouvant frôler les 200 millivolts. Dans ce cas une diode en bon état aura son sens bloquant, bien bloquant (valeur infinie)...

Le test peu se faire "in situ", c'est à dire directement en mesurant la résistance du composant (circuit hors tension bien sur). Mais si vous suspectez un court-circuit, il faudra re-tester la diode une fois celle-ci dessoudée, car sinon, vous mesurez en plus la résistance du circuit qui dans certains cas peu être très faible (diode de roue libre montée en parallèle d'un transformateur ou d'une self par exemple. Dans de rare cas, elle peut présenter une tension de seuil infinie dans les deux sens, du à un courant très important ayant fissuré et entièrement détruit physiquement la diode.

Il existe un cas particulier avec les diodes de très fortes puissances (10 A, 100 A...). Dans ce cas la diode peu paraître coupée, ou bien sembler bonne à l'ohmmètre (sens passant et bloquant ok), même testé en dehors du circuit ! Elle présente néanmoins un courant de fuite et est à changer. Ces cas sont rares fort heureusement et plutôt rencontrés en électrotechnique.

Enfin, il faut savoir que la mise en court-circuit d'une diode, sa défaillance, donc, ou d'un pont de diodes, (composé de deux à six diodes) provoque généralement une panne ailleurs : Fusible, résistance de puissance, transistor...

- **Les transistors :**

Le transistor est un semi-conducteur généralement composé de deux jonctions, qui apparaissent aux yeux de l'instrument de mesure, comme deux diodes montées tête-bêche (entre la base et le collecteur et la base et l'émetteur). Vous y appliquerez donc les mêmes tests qu'avec les diodes, en testant toutes les combinaisons réalisables avec ces composants à trois pattes (soit 3 tests passant, trois tests bloquants, donc six en tout). Vous trouverez alors si tout va bien deux valeurs tournant autour de 0,6V, correspondant aux deux jonctions et éventuellement une valeur de 1,2V si les deux jonctions se suivent.

Une voir les deux jonctions d'un transistor peuvent se mettre plus ou moins en court-circuit. Comme pour les diodes, en testant, vous ne devez pas trouver de court-circuit, mais attention lors des tests "in situ". (Cf. les précautions de test à prendre avec les diodes). Les transistors de puissance ; ceux montés sur radiateurs ; ceux présents dans les alimentations (quelles qu'elles soient) ravissent la palme d'or dans la catégorie "défaillance". Vous pouvez commencer par eux vos investigations histoire de gagner du temps !

- **Les résistances :**

Les résistances de faible puissances (1/8, 1/4 voire 1/2W), celles que l'on retrouve en très très grande quantité sur les circuits imprimés, sont rarement assujettis aux pannes (sauf suite à la défaillance d'un semi-conducteur ou alors dus à un très gros défaut de fabrication ou de conception du montage !). Les résistances de puissance sont plus sujettes aux pannes, pour les même raisons que cités précédemment, mais également parce qu'elles sont amenées physiquement à dissiper de la chaleur, et parfois un peu trop pour elles :

Elles vont donc soit se couper, c'est à dire se mettre en circuit ouvert, soit carrément changer de valeur (généralement pour prendre une valeur supérieure).

Les tests des résistances à l'ohmmètre, directement sur le circuit sont fiables pour les faibles et moyennes valeurs (quelques dizaines à centaines de kilo ohms). C'est moins vrais pour celles de fortes valeurs, car la résistance du circuit en lui même n'est plus négligeable. Ces dernières présentent peu de risques de panne toutefois. Les valeurs que vous mesurez sur le circuit devraient "tomber" dans des valeurs standards et familières (gamme E12), même sans prendre la peine d'identifier le code couleur de la résistance testée : Par ex. 22, 27 330 1 10 100 120... Attention aux inductances (repérées L(xx) sur la sérigraphie) qui parfois peuvent ressembler physiquement à des résistances (valeurs ohmiques très très faibles dans ce cas).

- **Les condensateurs chimiques polarisés :**

Les condensateurs électrochimiques sont la cause d'un nombre relativement important de pannes répondant généralement à deux critères : 1) La panne survient au minimum trois ans suivant la fabrication de l'appareil (Cas de condensateurs de mauvaise qualité, ou dimensionnés trop juste). 2) La panne se déclare et empire progressivement avec le temps. Les symptômes de mauvais fonctionnement peuvent disparaître au bout de quelques minutes après la mise en marche de l'appareil (mais tout en empirant au fil des jours, semaines ou mois de cycles d'utilisation de l'appareil). Dans ce cas on parle de "panne de chauffe". Généralement un condensateur en fin de vie se repèrera plus à l'œil et à l'expérience qu'à la mesure instrumentale.

Néanmoins, en dessoudant le condensateur du circuit et en le soumettant au capacimètre, on peut arriver à voir une baisse significative de sa capacité, pouvant entraîner la panne : Par ex. Nous lisons au capacimètre 0,7 μF au lieu de 1 μF , ce qui peut suffire à déclencher une panne. Car en effet, c'est plutôt la résistance interne du condensateur (appelée **Résistance Série Équivalente**) qui augmente avec l'âge (fuite, ou altération de l'électrolyte). Cette résistance commencera à influencer sur la capacité que lorsqu'elle sera déjà bien critique. Le test du capacimètre tendra plutôt à confirmer l'implication ou non du dit composant dans la panne. Le vrai test, si l'on ne dispose pas d'un testeur de R.S.E., est, (et très, très souvent cela suffit)... L'observation. Le condensateur malade va se mettre à chauffer, et de ce fait son enveloppe plastifiée de couleur verte, marron noir ou bleu va commencer à se rétracter par le haut. C'est un signe d'usure, et c'est pourquoi dans certains appareils, il y a des traces de marqueur sur le sommet des condensateurs : C'est pour mieux apprécier ce rétreint.

Dans les cas extrêmes, la pression dans le condensateur augmentant, celui-ci peut s'ouvrir par le sommet (via des événements de sécurité) en faisant un bruit d'explosion de petit pétard (Reproductible en branchant par mégarde un condensateur à l'envers...), voir faire "tomber la chemise !", c'est à dire éjecter leur enrobage d'aluminium, ce qui est visuellement impressionnant ! Il peut également gonfler à sa base et l'on verra éventuellement apparaître de l'électrolyte (un acide) sur le circuit imprimé.

En chauffant, le condensateur malade récupérera tant bien que mal ses caractéristiques nominales (soyons clair, il est en fin de vie tout de même), et la panne peut disparaître au bout de quelques minutes de marche. Les gros condensateurs (capacité supérieure à 220 μF servent généralement de filtrage d'alimentation, de ce fait, une faible dérive de leurs caractéristique n'est pas trop préjudiciable au bon fonctionnement du montage. En revanche les petites valeurs, et de préférence travaillant en haute tension: 63V, 250V... Peuvent facilement "planter" une alimentation à découpage ou une électronique de traitement de signal...

Concernant les condensateurs de filtrage d'alimentation, leur défaillance provoquera des parasites (audio, vidéo...) ou des fonctionnements erratiques de l'appareil.

- **Les autres types de condensateurs (non polarisés) :**

Infiniment plus fiables, les condensateurs non électrochimiques, quel que soient leur technologie et nomenclatures : Tantale, plastique, polyéthylène, polycarbonate, céramique, LCC, X2, mylar, etc. manifesteront le plus souvent physiquement leur mécontentement, et ce, par des fissures ou des éclatements. Ceci est particulièrement vrai pour les condensateurs travaillant en haute tension (ceux estampillés 600 volts, ou 250V AC par exemple...). Se référer éventuellement aux pannes des alimentations à condensateur série décrites plus loin dans ce document.

- **Les batteries ou piles de sauvegardes :**

Les accumulateurs ou piles de sauvegardes soudés sur les circuits imprimés vont généralement fuir et couler, corrodant du même coup les pistes avoisinantes, l'accu. Dans ce cas, faites le remplacement et les réparations nécessaires. Si l'accu ou la pile est vide (comparez sa tension nominale inscrite sur celui-ci avec celle du voltmètre), démontez-le de l'appareil et rechargez-le extérieurement (A ne pas faire si c'est une pile !!). Si il ne tient pas la charge, remplacez-le. Sinon, orientez-vous vers le circuit de recharge de l'accumulateur qui doit être défectueux (absence de tension aux bornes de l'accu lorsque le circuit est branché). L'un peut être la cause de l'autre... J'ai vu dans un circuit d'éclairage de secours le régulateur rechargeant les accus griller suite à la défaillance de ces derniers (Il faut dire qu'ils avaient 20 ans). Une pile à plat est à changer... Tout simplement !

- **Les bobines et les transformateurs :**

Les bobines, selfs, inductances, solénoïdes... bref, peu importe le nom que l'on leur donne peuvent, (il en est de même pour les transformateurs) soit se mettre en court-circuit partiel ou total, soit se couper. Cela ne concerne que les bobinages de puissances, mais tous les types de transformateurs opérants avec de fortes tensions (110V, 230V...). Pour un transformateur, c'est généralement son bobinage le plus fin, (généralement le primaire) qui va couper, suite à une surtension ou une surcharge du secondaire. Des vibrations mécaniques importantes provoqueront les mêmes conséquences. Les bobines sont sujettes à ces mêmes incidents, pour les mêmes causes. Une bobine en court-circuit partiel va s'échauffer, dégager de la fumée (c'est dû au vernis isolant recouvrant le fil du bobinage, qui fond) et dégager une forte odeur de brûler. Une petite bobine le fera mais de façon moins spectaculaire.

- **Les moteurs :**

Les moteurs verront un ou plusieurs de leur bobinages se court-circuiter partiellement (odeurs de brûlé (c'est dû au vernis isolant recouvrant le fil du bobinage, qui fond), étincelles, fonctionnement au ralenti, vernis des bobines noirci), ou bien verront un ou plusieurs de leur bobinages coupés. Dans les deux cas, à moins de refaire faire le bobinage (long et coûteux) il vaut mieux trouver un autre moteur. Autre panne, le remplacement des charbons en cas d'étincelage ou de perte de puissance (mais avec les bobines intactes) est plus facile... Reste enfin le problème d'usure ou d'encrassement du palier (axes) : Le démonter si possible, le nettoyer à l'essence et le graisser ou lubrifier.

- **Les électrovannes, les électroaimants :**

En plus des problèmes décrits avec les bobines, il y a le risque de blocage mécanique du à la corrosion de la partie mobile du dispositif qu'il convient de dégripper et lubrifier correctement.

- **Les contacteurs, interrupteurs, potentiomètres et relais :**

En cas de faux contacts, de contacts de relais ou autre interrupteurs noircis et charbonnés, nettoyer et brosser légèrement les pièces touchées et pulvériser du nettoyant "spécial contacts" en bombe. Pour les potentiomètres, vous pouvez arriver à les "récupérer" en pulvérisant du nettoyant "spécial contacts" en bombe pour supprimer les craquements (en audio) et les faux contacts. Les pièces mécaniques endommagées ou usées sont évidemment à changer ou à réparer.

- **Les circuits intégrés :**

Sauf si il s'agit d'une panne évidente (composant fissuré, ou autres composants jugés en bon état), munissez-vous de préférence de la datasheet du composant sur le site du constructeur sur Internet et vérifiez au voltmètre, et ou à l'oscilloscope la bonne alimentation et la présence des bon signaux aux broches de celui-ci. Les circuits intégrés tombent quand même moins souvent en panne que les transistors ou autres diodes du reste du montage.

- **Les composants montés en surface (C.M.S. ou M.S.D.) :**

Les composants C.M.S. on l'avantage de "pouvoir montrer" visuellement leur défaillance. Cette dernière se traduit souvent par une fissure, ou littéralement une explosion du boîtier du composant ! En effet, la jonction semi-conductrice ou l'élément résistif ou capacitif n'est protégé que par peu ou pas du tout de matière (gain de place), nous voyons donc directement ce qui à pus arriver à une jonction ou une résistance détruite !

Dans un premier temps, repérez sur la sérigraphie du circuit imprimé en panne si il existe des composants C.M.S. de forme rectangulaire blanc, gris foncé ou vert) nommés "F(xx)". Si oui, il y a de fortes chances qu'ils (s'agissent de fusibles). Dans ce cas, si ils sont coupés (résistance supérieure à quelques ohms), pontez-les ou remplacez-les par des composants semblables.

Les transistors, diodes, condensateurs, inductances, circuits intégrés et autre semi-conducteurs se comportent de manière analogue à leurs grands frères. Attention, certains transistors sont en fait des doubles diodes avec une broche commune (sérigraphiés D(xx), et non pas Q(xx)/T(xx) pour les transistors).

Recherchez des fissures, mêmes très légères par éclairage rasant pour bien les voir, pour identifier un composant douteux et faites vos mesures au multimètre pour confirmer ou infirmer l'état de panne. Un composant C.M.S. grillé peut tout à fait être remplacé par son homologue en gros boîtier classique, si vous n'avez rien d'autre.

Les pavés gris, bleus ou jaunes sont généralement des petits condensateurs non polarisés : Risque de panne quasi nul.

Les rectangles noirs, très plats, avec ou sans numéro écrit en blanc dessus sont généralement des résistances. Le numéro correspondant à leur valeur ohmique est telle que par exemple : "1001" = **100 X 10** = 1 Kohm ; "272" = **27 X 100** = 2,7 Kohms... etc.

Les condensateurs chimiques sont les gros cylindres verticaux argentés ou bleus avec pour

valeurs par exemple : "150 16" soit : 150 μ F / 16 V. La zone noire étant du côté de la cathode (-). En fin de vie, ils gonflent comme leurs grands frères...

Les selfs sont généralement de couleur gris foncé / noir et sont plus épais que les résistances C.M.S. : 2 mm environ.

- **Les soudures :**

Se référer aux rubriques ci après, "fonctionnement par intermittence, faux contact" et "Les circuits imprimés".

- **Les circuits imprimés :**

Ces pannes courantes sont souvent liées aux faux contacts et aux soudures défectueuses, aux composants ou connecteurs malmenés ayant arraché les pastilles auxquelles ils sont soudés, à la corrosion des pistes, aux faux contacts, soudures fissurées ayant entraînés un charbonnage entre la pastille et la patte du composant... Bref, ce sont des défauts observables de visu et/ou au testeur de continuité et facilement réparables en faisant des pontages ou en agrandissant la surface d'une pastille par exemple en grattant le vernis autour d'elle pour l'agrandir. Les coulures de piles et autres batteries sur le circuit imprimé sont également la cause de corrosion de pistes. Les arcs électriques dus par exemple à la foudre peuvent endommager les isolants (plastiques) dans ce cas il faut bien nettoyer et brosser légèrement les pièces touchées et pulvériser du nettoyant "spécial contacts" en bombe.

Types de pannes courantes en fonction des symptômes sur un appareil quelconque :

- **Fonctionnement par intermittence, faux contact :**

Constitue environ **un tiers des pannes** électroniques. L'appareil va fonctionner de temps à autre et réagira (en bien ou en mal) aux (petites!) tapes que l'on lui fera subir. Pour localiser plus précisément la panne, tapotez un peu partout le circuit imprimé de l'appareil en panne avec le manche isolant d'un gros tournevis pour essayer de voir si le comportement de l'appareil change (l'image d'une TV qui disparaît par exemple...). La panne se manifeste au plus tôt après 2 à 3 années d'utilisation de l'appareil. La cause en est les soudures qui "sèchent" c'est à dire qui deviennent mat et terne et/ou se fissurent (il faut parfois utiliser la loupe pour pouvoir les débusquer). En effet, le procédé de soudure industriel "à la vague" n'est pas très généreux en étain et certaines soudures lâchent prématurément.

Ce sont plus particulièrement celles soumises à des contraintes mécaniques ou thermiques (composants volumineux, connecteurs, transistors ou résistances d'échauffants). Il suffit de refaire les soudures en y ajoutant de l'étain pour redonner une seconde jeunesse à ces dernières. Attention le nouvel étain sans plomb aux normes RoHs apparaît immédiatement comme mat après la soudure. Néanmoins, celles ci sont fiables, ne vous inquiétez pas ! En cas de doute sur une fissure craquelée ou non, cela ne coûte rien de rajouter un peu d'étain, mais gare aux court circuits pour le patachon !

- **Rien ne se passe à la mise sous tension :**

C'est la deuxième cause la plus fréquente de pannes. Dans un premier temps, pensez à vérifier les piles, et/ou si il y a du courant électrique dans la prise. Beaucoup de personnes m'ont apportées un appareil à dépanner, avec comme remède simplement les piles à changer ! Si l'appareil a une alimentation séparée (bloc secteur) vérifiez que vous mesurez bien une tension à sa sortie. Faites cela tout en tortillant le câble pour dénicher d'éventuels faux contacts dans les connecteurs ou le câble parfois malmenés.

Si vous pensez que c'est l'alimentation en elle même qui est en panne, sachez qu'il en existe trois types :

1. **A transformateur** : Très fiable. Parfois lourd et encombrant pour les moyennes et haute puissances. Pour équipements de 0,5 à 500 W: Petit et moyen matériel Hi Fi, Amplificateur audio (pas de parasite H.F. du au découpage), Démodulateurs, chargeurs, radio réveils, caméscopes, radio, DVD.... Isolée galvaniquement entre la haute et la basse tension.
2. **A découpage** : Moyennement fiable à fiable. Utilisé massivement dans les équipements de 25 à 1000 W et plus : TV, Imprimantes, PC, Chargeurs, magnétoscopes, DVD... Isolée galvaniquement entre la haute et la basse tension, mais une partie de son électronique est située dans la partie haute tension, non isolée.
3. **A condensateur série** : Fiable, utilisé pour les très faibles puissances, de 0 à 1 W : Détecteurs de mouvements, thermostats électroniques, dispositifs divers inclus dans de l'électroménager. Pas d'isolation galvanique entre la haute et la basse tension.

Alimentation à transformateur classique :

Composant de l'alimentation (Numérotation décroissante allant de la haute tension à la basse tension régulée et filtrée)	Rôle	Fiabilité relative / reste du circuit	Type de panne, symptômes	Si tout va bien, à sa suite on a...
1 Cordon secteur	Alimenter	95%	Coupure	230V aux bornes de l'appareil
2 Fusible	Protection	80%	Grillé, faux contacts du support	230V aux bornes de l'interrupteur
3 Interrupteur	Commuter	80%	Faux contact	230V aux bornes du transfo
4 Transformateur	Abaissier la tension alternative	90%	Primaire coupé ou beaucoup plus rarement en court-circuit (risque de panne (court-circuit) plus loin)	basse tension(s) alternative(s) au secondaire (entre 5 et 50 volts...)
5 Diodes ou pont à diodes	AC =>DC	80%	court-circuit partiel ou total ou beaucoup plus rarement, diode coupée	Tension continue +/- stable lissée par le condensateur
6 Condensateur de filtrage		98%	Lisser la tension de sortie	
7 Régulateur de tension	Réguler à	80%	Circuit ouvert ou Court-	Tension continue régulée

	une valeur donnée		circuit, tension incorrecte, instable	standard (9V, 5V 12V...)
--	-------------------	--	---------------------------------------	--------------------------

Alimentation à découpage :

Composant de l'alimentation (Numérotation décroissante allant de la haute tension à la basse tension régulée et filtrée)	Rôle	Fiabilité relative / reste du circuit	Type de panne, symptômes	Si tout va bien, à sa suite on a...
1 Cordon secteur	Alimenter	95%	Coupure	230V aux bornes de l'appareil
2 Fusible	Protection	80%	Grillé, faux contacts du support, Très probable court-circuit ailleurs	230V aux bornes de l'interrupteur
3 Interrupteur	Commuter	80%	Faux contact	230V aux bornes du filtre secteur
4 filtre secteur	Filtrer les parasites	99%	Sans objet	230V aux bornes des résistances
5 Résistances de puissances (optionnelles)	Limitent le courant d'appel	37%	Grillent si le pont ou les transistors se court-circuitent	230V aux bornes pont à diodes
5 Diodes ou pont à diodes	AC =>DC	30%	Court-circuit partiel ou total ou beaucoup plus rarement, diode coupée	300V continu +/- stable et lissée par le condensateur
6 Condensateur de filtrage	Lisser la tension	95%	Gonflé, fuites, explosion...	En cas de panne: Tension 300V très instable
7 Gestionnaire d'alimentation	Gérer la commandes des circuits, assurer la protection	85%	Plus alimenté (résistance grillée) ou défaillance quelconque	Signaux de commandes arrivant aux transistors de puissance
8 Transistor(s) hacheur(s)	Commander le/les transformateur(s) à découpage(s)	25%	Court-circuit partiel ou total ou beaucoup plus rarement, diode coupée	Test diode Ok et fusible intact, primaire(s) du transformateur alimenté(s)
9 Transformateur à découpage	Abaisser la tension alternative ayant été hachée	90%	Primaire coupé ou beaucoup plus rarement en court-circuit (risque de panne (court-circuit) plus loin)	Basse tension(s) alternative(s) au secondaire (entre 5 et 50 volts...)
10 Composants 5,6,7 du tableau précédent	Cf. tableau précédent	96%	Cf. tableau précédent	

- **Dans le cas du transformateur** : Vérifiez les fusibles et changez les si besoin. Contrôlez le primaire du transformateur (le bobinage relié au 230V), il doit avoir une résistance comprise entre 3Kohm (très petits transformateurs), à 100 ohms ou moins, pour les plus gros transformateurs. Vérifiez que le pont à diodes n'est pas non plus en court-circuit, que des résistances fusibles (généralement de puissances) n'ont pas grillées, et que l'électronique alimentée n'est pas en court-circuit. (Ce qui peut griller le primaire d'un transformateur). La foudre ou une surtension peut également le griller...

- **Dans le cas de l'alimentation à découpage** : Attention ! Une partie de son électronique est située dans la partie haute tension, non isolée. Il y a un condensateur haute tension de 350V, généralement de 100µF situé au primaire de l'alimentation. Une fois l'alimentation débranchée du secteur, Si aucun dispositif de décharge de ce condensateur n'a été prévu, il y a risque d'électrocution ! Mesurez et déchargez le cas échéant ce condensateur dans une résistance de 1 mégohm mise en parallèle sur celui-ci.

Si le **fusible est grillé**, l'alimentation est très certainement endommagée. (C'est un court-circuit dans l'alimentation qui a provoqué la fusion du fusible). Il vous faut donc trouver la panne avant de chercher simplement à remplacer le fusible. Vérifiez le pont à diodes, les diverses diodes (surtout de puissances) et les transistors (surtout de puissances). Attention, il faudra sûrement les dessouder avant de les tester pour s'affranchir des bobinages et autres transformateurs qui perturberaient la mesure au test diode (Voir plus haut les chapitre "diodes" et "transistors").

Si le **fusible n'est pas grillé**, faites les vérifications ci-dessus, et en plus, vérifiez les résistances de puissances, une ou plusieurs ont pu griller, ce qui a "sauvé" le fusible. Au besoin, changez le contrôleur d'alimentation. Vérifiez avant tout qu'il est lui même bien alimenté (procurez vous la datasheet sur Internet). Généralement ces composants à 8 ou 16 broches, tirent leur alimentation du 230V via une résistance de puissance qui peut griller, et/ou une alimentation à condensateur. Vérifiez dans tout les cas l'état des condensateurs de l'alimentation (voir plus haut le chapitre "condensateurs électrochimique polarisés"), et en particulier ceux de faible valeur (1 à 22µF), car il est possible que l'alimentation disjoncte suite à une dérive de son circuit de protection (On entend souvent un tout petit "nip, nip, nip, nip...": Elle cherche à démarrer mais n'y arrive pas).

Attention, une alimentation à découpage refusera presque toujours de démarrer si elle n'alimente pas une charge (Si elle tourne à vide donc). Il s'agit d'une sécurité. Cette règle est d'autant plus importante pour les alimentations de PC. Car il est facile, raisonnable et logique de séparer l'alimentation défectueuse à réparer ou à tester, du PC que l'on ne souhaite pas voir partir en fumée. Dans le cas d'une alim PC, il faut mettre une résistance tournant autour des 20 ohms entre le 5V et la masse pour autoriser le démarrage de celle-ci. (Envoyer un signal sur la broche PS-On). Dans le cas d'autre appareils, généralement l'alimentation est solidaire (sur le même circuit imprimé) du reste du montage; il n'y a donc pas trop de problèmes de ce côté.

- **Dans le cas d'une alimentation à condensateur série** : Souvent la diode zéner qui suit le gros condensateur se met en court-circuit. Elle est chargée de réguler la tension produite par le gros condensateur. Ce dernier, généralement de 100nF à 2µF, faisant office ici de résistance. Il se peut aussi que le condensateur soit cassé (généralement physiquement !) Ou que la ou les résistances de puissances soient grillées. **Attention** ! Dans tout les cas, si le condensateur est grillé, le remplacer par un modèle utilisable en **COURANT ALTERNATIF 240 V AC**, (Gamme X2) et NON PAS par un modèle du genre "1µF 600V" utilisable **seulement** en courant continu **DC**. Ces derniers risquent de prendre feu ou d'exploser. Certains appareils pas cher en sont pourtant équipés !! **Attention** également au fait que **ces alimentations n'isolent pas la partie basse tension du secteur** : Si la phase se retrouve sur la masse de l'alimentation, il y a un risque d'électrocution si vous touchez la masse de votre montage basse tension.

- **La panne disparaît (progressivement ou non) après quelques (dizaines de) minutes de fonctionnement :**

Il s'agit vraisemblablement d'une "panne de chauffe". Sans doute un ou des condensateurs usés ou une soudure sèche qui provoquent la panne. Dans ce cas, se référer aux chapitres "Les condensateurs chimiques polarisés" et "Les soudures" décrits plus haut dans cette page. Si la panne ne semble pas provenir de là il peut s'agir d'un composant semi-conducteur qui soit en défaut partiel. À l'aide d'une bombe de givrant, (disponible dans tous les magasins électroniques) sur votre appareil en marche, (fonctionnant à nouveau, après "son temps de chauffe"), refroidissez les circuits électroniques (circuits intégrés, transistors, diodes...) susceptibles de chauffer (attention en mettant les doigts pour sentir la chaleur, de ne pas vous électrocuter !) . Si la panne réapparaît après avoir refroidi le composant. Vous avez trouvé la panne !

- **La panne survient après quelques (dizaines de) minutes de fonctionnement :**

Il s'agit vraisemblablement d'une "panne de chauffe". Sans doute un ou des condensateurs usés ou une soudure sèche qui provoquent la panne. Après avoir vérifié condensateurs et soudures, appliquez la stratégie inverse que celle décrite précédemment : En pulvérisant votre givrant (appareil en marche et ayant tourné un peu jusqu'à ce que la panne se manifeste) Il devrait se remettre à fonctionner si vous avez givré le composant défectueux.

- **Odeur de brûlé, de plastique fondu, bref "de chaud" :**

Il s'agit vraisemblablement d'un court-circuit de bobinage (Moteur ou TV à tube cathodique par exemple...) ou d'un composant chauffant excessivement et ayant ou étant en train de griller. Repérez éventuellement un dégagement de fumée : bobines en court-circuit, résistances surchargées et surchauffantes, transistors en court-circuit. Déterminez, si il y en a, la provenance de l'odeur, appareil éteint et débranché. Cherchez des traces de brûlures, de calcinations, de composants fondus.... **Attention à la poussière** qui peut provoquer : Des odeurs de brûlé, et laisser des traces marron de poussière chauffées sur les parois internes de l'appareil. Ce ne sont pas des symptômes de pannes, mais jetez un coup d'œil aux silhouettes des composants dans tous les cas, ne sait t'en avoir jamais...

Défaillance d'un moteur

Procédure d'expertise d'un moteur

Procédez dans l'ordre suivant

Vérifier s'il y a blocage mécanique :

- ⇒ externe : la machine entraînée s'est-elle coincée ?
- ⇒ interne : blocage du rotor, usure des paliers, encrassements..



Vérifier s'il y a des défauts entérieurs au moteur :

- ⇒ ligne d'alimentation – mauvais contact de l'interrupteur – fusibles fondus ou desserrés – rupture d'une connexion de ligne.



Vérifier l'état des connexions :

- ⇒ entrées et sorties des rotors et stators – contact des balais.



Si le moteur a été révisé, vérifier les branchements.



Si ces vérifications n'ont rien donné, il faut alors déterminer les symptômes des perturbations :

- ⇒ Y a-t-il un dégagement de fumée ? (caractéristique d'un défaut d'isolation)
- ⇒ Y a-t-il des étincelles ?
- ⇒ Les sécurités déclenchent-elles ?
- ⇒ Le moteur démarre-t-il en charge ? Comment ?
- ⇒ Le moteur démarre-t-il à vide ? Si oui :
 - tourne-t-il à la vitesse normale, trop vite, trop lentement ?
 - supporte-t-il la mise en charge ou s'effondre-t-il à ce moment ?
 - quelle est l'intensité lors de ces différents essais ?
 - la sécurité déclenche-t-elle ?



Voir alors : « Diagnostic défaillance d'un moteur électrique »

Ne pas oublier qu'une température n'est pas anormale tant qu'elle ne dépasse pas 55°C au-dessus de la température ambiante.

Diagnostic défaillance tout type de moteur		
Symptôme	Causes possibles	Remèdes - conseils
Les paliers chauffent	Courroie trop tendue	Vérifier tension ; détendre courroie.
	Roulements détériorés	« Ecouter » les roulements. Changer le roulement
	Graissage insuffisant	Vérifier – Graisser ou remplacer l'huile
	Poussée axiale exagérée	Vérifier l'échauffement en désaccouplant
	Défaut d'alignement	Si l'alignement est mauvais, des vibrations sont perçues
	Vibrations importantes : partie tournante déséquilibrée ou coussinets usagés	Evaluer le jeu radial pour détecter l'origine
Le moteur vibre Sans poulie ou manchon, il ne présente aucune vibration	La poulie ou le manchon a du jeu sur l'arbre	Mesurer le jeu. Remplacer poulie ou manchon à cote juste
	Poulie ou manchon mal équilibré	Faire tourner à la main pour détecter le défaut. Faire équilibrer
	Courroie qui n'est pas droite	Observation – Aligner la courroie – La remplacer éventuellement
	L'alignement des deux machines accouplées est défectueux	Vérifier l'alignement puis le rectifier
Le moteur vibre même sans poulie ou manchon	Le rotor n'est pas équilibré (balourd provenant d'une soudure)	Essai d'équilibrage

Diagnostic défaillance spécifique Tout type de moteur asynchrone triphasé		
Symptôme	Causes possibles	Remèdes - conseils
<i>Le moteur ne démarre pas et ne fait aucun bruit</i>	Interrupteur principal ouvert	Le fermer
	Panne de secteur (les lampes ne s'allument pas)	Attendre retour du courant
	Coupure du circuit de 2 phases au moins	Vérifier la plaque à bornes. Essai de continuité électrique
<i>Le moteur ne démarre pas mais « grogne » d'une façon caractéristique</i>	Coupure accidentelle du circuit d'une phase	Faire un essai de continuité électrique Vérifier les connexions
<i>Le disjoncteur déclenche</i>	Court-circuit franc, ou masse franche, sur le circuit stator	Démontage de la plaque à bornes
<i>Le moteur chauffe seulement en service normal</i>	Le moteur est surchargé	Mesurer le courant en charge. Si plus élevé que celui indiqué par plaque moteur, chercher cause intérieure
	Circuit de ventilation obturé partiellement. Débit d'air insuffisant	Le courant mesuré ne dépasse pas celui de la plaque. Vérifier, souffler énergiquement tout le moteur, le dégager s'il est enfermé
	Marche en monophasé. Le moteur ronfle, et une fois arrêté ne peut plus démarrer	Si fusible fondu : le remplacer. Sinon, faire un essai de continuité électrique et vérifier toutes les connexions

Diagnostic défaillance spécifique Tout type de moteur asynchrone triphasé à cage		
Symptôme	Causes possibles	Remèdes - conseils
Le moteur baisse beaucoup en vitesse dès qu'il est chargé et tend à s'arrêter (couple moteur trop faible)	Moteur surchargé	Si le courant absorbé en charge est plus élevé que celui indiqué sur la plaque signalétique : rechercher cause extérieure
	Mauvais couplage à la plaque à bornes	Vérifier sur la plaque signalétique
	Tension trop faible	Si nécessaire envisager un renforcement de la section des canalisations
	Brasures défectueuses sur rotor à cage	Démontage et vérification du rotor
Le moteur ne démarre pas mais son bruit magnétique est normal, ou il n'atteint pas sa vitesse (couple de démarrage insuffisant, ou couple résistant trop élevé)	Mauvaise disposition des barrettes de la plaque à bornes (couplage en triangle)	Vérification sur la plaque signalétique
	Tension trop faible	Si nécessaire envisager un renforcement de la section de canalisation
	Machine à entraîner en mauvais état ou trop importante pour le moteur	Vérifier l'état mécanique de la machine. Voir pour remplacement par moteur plus puissant
Le moteur chauffe à vide ou à très faible charge Le bruit magnétique est très important et anormal Par suite d'un défaut électrique, le courant absorbé est exagéré	Mauvais couplage à la boîte à bornes (couplage en triangle)	Vérification sur la plaque signalétique
	Tension d'alimentation trop forte	Voir en amont
	Soudures ou brasures rotoriques défectueuses (si le moteur est très chaud)	Démontage, vérification du rotor
	Court-circuit, ou branchement défectueux des sections de bobinage du stator (lors d'une réparation)	Démontage et essai du stator

Diagnostic défaillance spécifique Tout type de moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné		
Symptôme	Causes possibles	Remèdes - conseils
<i>Le moteur chauffe à vide ou à très faible charge</i> Bruit magnétique très important et anormal (courant absorbé enagéré)	Mauvais couplage à la boîte à bornes (couplage triangle)	Vérification sur la plaque signalétique
	Tension d'alimentation trop forte	Voir en amont
	Court-circuit ou branchement défectueux dans le bobinage du stator (lors d'une réparation)	Démontage et essai du stator
	Coupure d'une phase rotor (s'il est très chaud)	Réaliser un essai de continuité électrique
	Masse sur l'enroulement rotorique (si le rotor est très chaud)	Réaliser un essai d'isolement
<i>Le moteur ne démarre pas ou n'arrive pas à atteindre sa vitesse, mais le bruit magnétique est normal</i> A vide et désaccouplé, il atteint sa vitesse (couple de démarrage insuffisant, ou couple résistant trop élevé)	Mauvais couplage à la plaque à bornes (couplage triangle)	Vérification sur la plaque signalétique
	Tension trop faible	Si nécessaire envisager un renforcement de la section de canalisation
	Mauvais contact ou coupure sur une phase du rotor	Vérifier l'état des balais et les connexions allant au démarreur Voir si la résistance du démarreur n'est pas coupée, ou encore de son maintien en circuit pendant le fonctionnement du moteur. Sinon, il y a dénudage de conducteurs
	La machine à entraîner est en mauvais état ou trop importante pour le moteur	Vérifier l'état de la machine Remplacer éventuellement le moteur par un plus puissant

Le moteur baisse beaucoup en vitesse dès qu'il est chargé (couple moteur trop faible)	Moteur surchargé	Si le courant absorbé en charge est plus élevé que celui indiqué sur la plaque : rechercher la cause extérieure
	Mauvais couplage à la plaque à bornes	Vérification sur la plaque signalétique
	Tension trop faible	Si nécessaire envisager un renforcement de la section de canalisation
	Mauvais contact aux balais, aux connexions allant au démarreur, ou dans le dispositif de mise en court-circuit	Vérifier l'état des balais et de toutes les connexions du circuit rotorique
	Une partie du démarreur est restée accidentellement en service	Mettre le démarreur sur la position de court-circuit
	Les connexions entre bagues et démarreur sont trop longues ou trop résistantes	Rapprocher le démarreur du moteur et renforcer la section des câbles

Diagnostic défaillance d'un moteur à courant continu		
Symptôme	Causes possibles	Remèdes - conseils
Le moteur ne démarre pas	Interrupteur principal ouvert	Le fermer
	Panne de secteur (les lampes ne s'allument pas)	Attendre retour de courant
	Coupure accidentelle sur le circuit de l'induit, ou oxydation des contacts	Faire un essai de continuité électrique
	Défaut de polarité des masses polaires (après remontage défectueux)	Faire un essai de polarité
En charge le disjoncteur déclenche (courant absorbé exagéré)	Coupure accidentelle du circuit inducteur, ou connexions défectueuses	Faire un essai de continuité électrique
	Couple résistant trop élevé en raison d'un grippage de paliers (moteur / machine)	Vérifier le degré de graissage
Le moteur tourne trop lentement (couple moteur trop faible)	Diminution de la résistance de l'inducteur par erreur de branchement	Mesure de la résistance de l'inducteur
	Couple résistant élevé : mauvaise utilisation de la machine entraînée	Investigation
	Diminution de la tension d'alimentation par augmentation de la résistance du circuit induit	Mesure de U aux bornes de l'induit
La vitesse du moteur oscille	Appui intermittent des balais sur le collecteur	Vérification des balais

Echauffement excessif du collecteur (défauts des balais et porte-balais)	Etincelles aux balais	Voir « Etincelles aux balais »
	Pression exagérée des balais en raison de ressorts trop raides	Essai de pression des balais
	Balais d'une trop grande dureté	Evaluation de l'échauffement
Echauffement anormal de la carcasse du moteur	Court-circuit dans l'inducteur en raison d'un vernissage insuffisant des bobines	Mesure de résistance des bobines
	Masse sur l'inducteur (après un remontage)	Essai d'isolement
	Puissance mécanique nécessaire plus élevée que celle présumée	Si le courant absorbé en charge est plus élevé que celui indiqué sur la plaque moteur : rechercher la cause extérieure
	Débit d'air insuffisant	Vérifier le circuit de ventilation et souffler tout le moteur. Le dégager s'il est enfermé
Echauffement anormal de l'induit	Court-circuit dans l'induit	Essai statique
	Masse sur l'induit par glissement des caniveaux isolants	Essai d'isolement
Etincelles aux balais	Masse sur l'induit en raison d'un possible défaut d'isolement du collecteur	Essai d'isolement
	Collecteur défectueux	Vérifier l'état du collecteur
	Coupure d'une section de l'induit par dessoudage d'un conducteur au collecteur	Essai statique
	Court-circuit dans l'induit en raison d'un isolement insuffisant entre sections	Essai statique

	Mauvais calage des balais par desserrage de la couronne porte-balais	Recherche de la ligne neutre
--	--	------------------------------

Étincelles aux balais

Tout d'abord avant d'enlever les balais il faut s'assurer du bon état du collecteur (partie de l'induit où frottent les balais) il faut que toute les lames du collecteur aient une couleur uniforme si ce n'est pas le cas il faut faire un contrôle de l'induit plus approfondi.

Il y a plusieurs causes pour que les balais fassent des étincelles.

Blocage du balai dans le porte balai

A cause de la poussière qui s'agglomère, provoqué par l'usure du balai, celui-ci se coince dans le porte balai et ne circule donc plus et en s'usant n'appuie plus suffisamment pour faire bon contact et donc fait des flammes.

Solution : Il suffit d'enlever le balai après avoir repéré son sens (très important) et à l'aide d'un petit chiffon essuyer d'une part le balai et d'autre part l'intérieur du porte balai (surtout pas de toile émeri)

Mauvaise pression du ressort

Si le ressort n'exerce pas une pression suffisante le balai fait mauvais contact et « crache ». Le ressort peut avoir été avachi par une surchauffe du balai provoqué par un usage trop intensif de la machine.

Solution : (provisoire) Il suffit parfois d'étirer le ressort pour augmenter la pression.

(Définitive) c'est de remplacer les balais (par tiers) : Il peut n'y avoir que le ressort de l'un d'eux qui a chauffé mais la surface de contact risque d'avoir été abîmée par les étincelles.

Jeu du balai dans le porte balai

Un jeu trop excessif fait partir le balai « en crabe » et le frottement sur le collecteur le font vibrer et sauter et donc provoque des étincelles de mauvais contact.

Solution : changer les balais (par tiers)

Balai neuf

Lorsque l'on change le balai il faut s'assurer que celui-ci est d'origine et notamment que la qualité soit la même. Il faut savoir qu'un balai a été calculé en fonction de l'intensité qu'il doit véhiculer (qui s'exprime en Ampères par millimètres carré) et de la vitesse de rotation du collecteur de l'induit.

Si on remet n'importe quoi : un balai trop « gras » va s'user très vite et un balai trop « dur » va user le collecteur prématurément.

Parfois même le balai neuf fait quelques étincelles et c'est presque normal car il faut qu'il se rode (prenne la forme du collecteur). Si le bout du balai neuf est plat il faut d'abord le roder à la toile émeri. Pour cela on passe une toile émeri très fine entre le balai et le collecteur et on fait faire un mouvement de va et vient manuellement à l'induit.

Porte balai qui a pris du jeu

Un porte balai doit être bien rigide par rapport à la carcasse du moteur. Celui-ci peut être vissé, serti ou dans la masse. Dans tous les cas il faut vérifier qu'il ne tremble pas. Si la machine a travaillé en usage intensif la surchauffe des porte balais peut aussi les avoir décentrés et ainsi de ne plus présenter le balai dans l'axe provoquant les étincelles de mauvais contact.

Roulement qui a pris du jeu dans sa cage

Si un roulement a du jeu et ou qu'il a trop de jeu dans le logement de la flasque l'induit « danse » et fait provoquer des étincelles au collecteur.

Induit ou (et) inducteurs grillé(s)

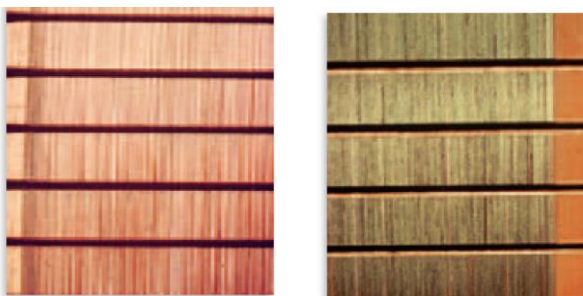
L'induit ou les inducteurs (ou les deux) grillés provoquent une sur intensité aux balais qui se mettent à cracher.

Patine sur collecteur ou bagues de moteur

La patine est un mélange complexe d'oxydes métalliques, de carbone et d'eau, qui se dépose sur la bague ou le collecteur. L'examen de la patine peut permettre d'établir un diagnostic sur l'état de santé de votre machine électrique tournante.

Les planches ci-après donnent quelques aspects typiques et courants de patines et de défauts de collecteurs, ainsi que la signification de ces différents types de patines et de défauts.

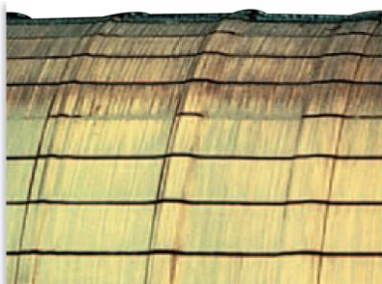
Etat correct



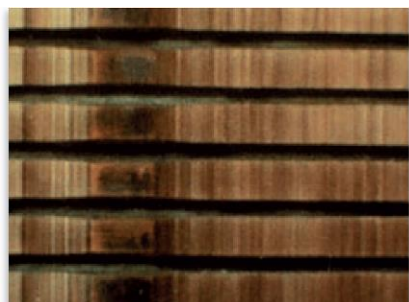
Coloration uniforme allant du marron clair au marron foncé.

Fonctionnement satisfaisant.

Collecteur ou bague à remplacer

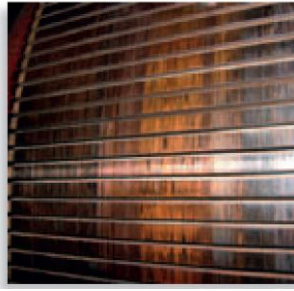


Vue d'un collecteur permettant d'apprécier l'usure du métal piste par piste ; Cette usure peut apparaître après un fonctionnement très long.

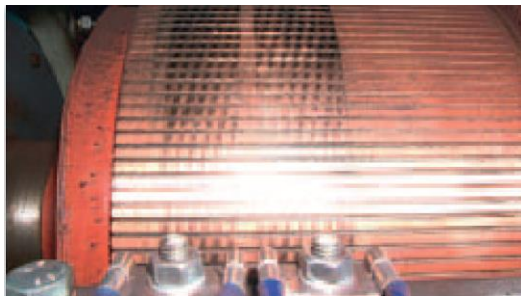


Vue d'un collecteur dans le cas d'une usure anormale du métal par quinconçage incorrect des balais, qualité inadaptée, pollutions diverses...

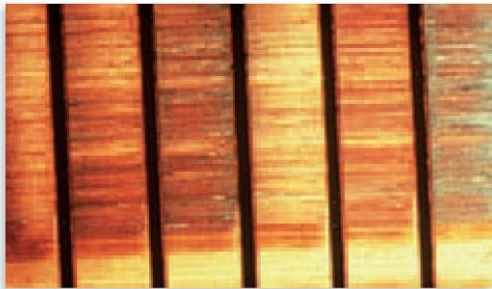
Rectification ou pierrage nécessaire



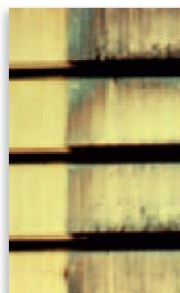
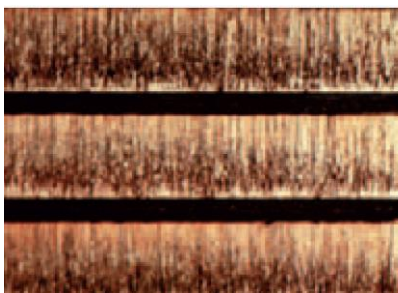
Taches de formes, colorations et dimensions diverses, sans caractère de périodicité.
Causes les plus fréquentes : collecteur déformé ou malpropre, bague ovalisée.



Patine non uniforme, effet "pas de vis"
Cause la plus fréquente : défaut d'usinage du collecteur suite à une maintenance mal effectuée.



Taches foncées à bords francs suivies ou non de taches plus claires à bords estompés
Cause la plus fréquente : défaut affectant une lame ou un groupe de lames et occasionnant le soulèvement du balai.

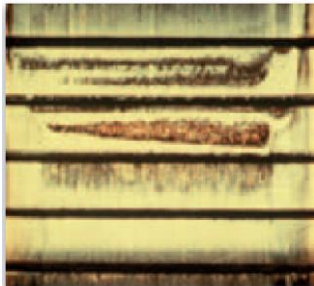


Lames tachées au milieu ou sur les bords
Ombrage sur le milieu des lames ou frangeant les deux bords de lames
Cause la plus fréquente : rectifications défectueuses du collecteur.



Piqûres d'étincelles fortes
Cause la plus fréquente : passage d'un courant de haute fréquence.

Cause à rechercher



Brûlures par étincelles sur bords ou au centre des lames.

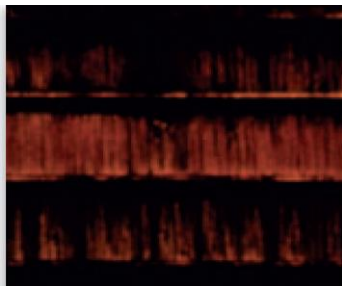
Cause : étincelle sous balais.



Patine "trouée"

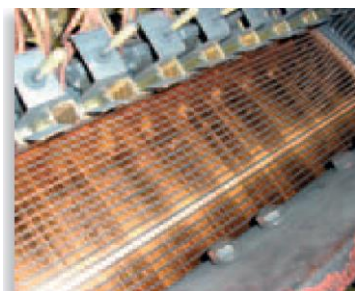
Petites taches claires, en nombre variable et réparties au hasard sur une piste normalement patinée.

Cause : étincelle sous balais.



Frange foncée due à une lame en retrait

Nettoyage nécessaire



Patine striée : raies ou bandes plus ou moins larges, alternativement claires et foncées, sans usure de cuivre.

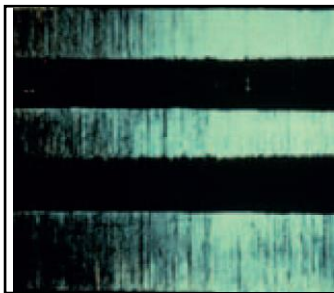
Causes : humidité excessive, vapeurs huileuses ou gaz agressifs dans l'air ambiant, balais sous-chargés



Forte présence de corps gras (huile, graisse) sur la patine

Cause la plus fréquente : balai encrassé par cette pollution lors d'une maintenance.

Gratter ou fraiser les micas du collecteur



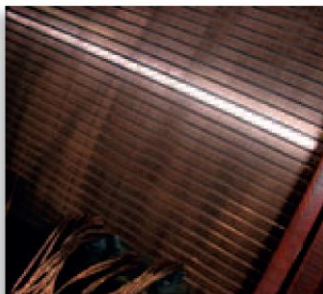
Franges foncées dues à des micas saillants

Chanfreiner les arêtes des lames à 45° sur 0,2 à 0,5 mm



Taches foncées et localisées dues à des bavures

Changer le type de balais



Patine décapée avec des bandes décapées couleur cuivre ou très légèrement patinées.
Causes les plus fréquentes : les mêmes que pour la patine striée, mais aggravées ou prolongées. Egalement, nuance de balais inappropriée.

Fraisage d'une lame nécessaire



Frange foncée due à une lame saillante

Léger ponçage nécessaire



Lames alternativement claires et foncées
Encadrées d'un nombre variable de lames claires, les lames foncées sont d'aspect poli, mat ou charbonneux.

Ce schéma se reproduit sur tout le tour du collecteur. C'est un motif répétitif.

Les causes les plus fréquentes sont d'origine électrique. Elles sont liées au mode de bobinage d'induit, avec commutations successives des conducteurs dans l'encoche.

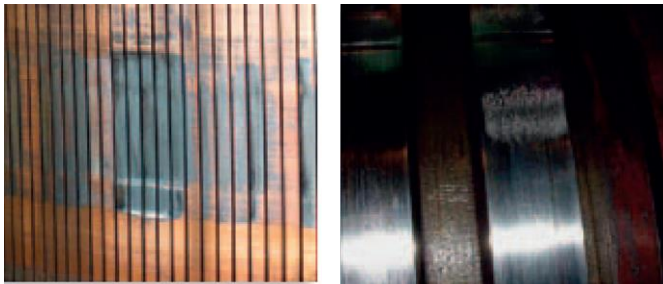


Image de balai sur collecteur et bague
Tache foncée ou noire reproduisant la face frottante du balai sur le collecteur ou sur bague.

Causes les plus fréquentes : surcharge accidentelle ou marquage électrolytique lors d'un arrêt prolongé de la machine.

Voir les 2 règles de l'art :

- Pierrage d'un collecteur
- Nettoyage des collecteurs et bagues

Défaillances d'un démarreur

Symptôme	Causes possibles	Remèdes - conseils
Formation d'arcs à travers les contacts	Problème de soufflage	Vérifier le type de soufflage à l'aide du schéma de câblage
	Noter la longueur de course des contacts si aucun soufflage n'est utilisé	L'augmentation de la longueur de course des contacts augmente le pouvoir de coupure
	Surcharge	Vérifier la valeur nominale par rapport à la charge
	Si un dispositif de soufflage est utilisé, la boîte de soufflage est peut-être mal positionnée	Vérifier que la boîte de soufflage est correctement installée
	Le soufflage en dérivation est peut-être ouvert	Vérifier la valeur nominale. A remplacer en cas d'application inappropriée
	Le soufflage en série est peut-être court-circuité	Vérifier le circuit de soufflage
	Bobine de soufflage inefficace	Vérifier la polarité et inverser la bobine si nécessaire
Echec de fermeture du contacteur	Panne de tension d'alimentation	Vérifier les fusibles, le sectionneur
	Tension faible	Vérifier l'alimentation. Vérifier que la tension des fils est correcte
	Bobine en circuit ouvert	A remplacer
	Boutons poussoirs, verrouillages ou contacts de relais défaillants	Ajuster pour avoir un mouvement correct, un fonctionnement souple et une pression de contact correcte
	Parties mécaniques endommagées ou mal montées	Nettoyer et ajuster pour garantir un fonctionnement normal
	Contact de relais de surcharge ouvert	Repositionner le relais
	Connexions desserrées ou fil rompu	Vérifier le circuit
	Connexion de bouton poussoir incorrecte	Vérifier à l'aide du schéma de câblage
Echec d'ouverture du contacteur	Bouton poussoir, verrouillage ou contact de relais n'ouvrant pas le circuit de la bobine	Ajuster pour garantir un fonctionnement correct
	Bouton poussoir incorrectement connecté	Vérifier la connexion à l'aide du schéma de câblage et rectifier.
	Soudage des contacts	Voir « corrosion, soudage des contacts »
	Dysfonctionnement mécanique en raison de dommages, corrosion.	Nettoyer les pièces mécaniques, vérifier la mobilité.

		Supprimer l'obstruction par tout corps étranger. Remplacer
Echec d'ouverture du contacteur (suite)	Spire usée dans le circuit magnétique	Spire à remplacer
	Magnétisme résiduel maintenant l'armature mobile du relais fermée	Spire à remplacer
	Courant de fuite	Vérifier l'isolement
Corrosion / soudage de contact	Pression du ressort inappropriée . Surchauffe ou formation d'arcs à la fermeture	Ajuster pour obtenir une pression de contact correcte. Eventuellement remplacer le ressort.
	Fonctionnement lent	Resserrer toutes les connexions. Si le problème continue, déplacer la commande pour diminuer les vibrations.
		Aligner les alignements Nettoyer et ajuster mécaniquement.
	Broutement des contacts en raison de vibrations externes	Vérifier pression de contact de l'auxiliaire de commande. Remplacer éventuellement le ressort.
	Conditions anormales de fonctionnement	Si les conditions de fonctionnement sont difficiles, il faut alors remplacer les contacteurs ouverts par un dispositif à bain d'huile ou étanche aux poussières.
Panne fréquente de bobine	Tension élevée	Vérifier la tension d'alimentation par rapport à la tension nominale
	Espace dans le circuit magnétique	Vérifier la course de l'induit. Nettoyer les faces polaires
	La température ambiante est peut-être élevée	Vérifier la température nominale du démarreur par rapport à la température ambiante
		Remplacer la bobine par une bobine de valeur nominale adaptée
Equipement brûlé en raison de l'échauffement de la résistance de démarrage	Démarrage fréquent	Utiliser une résistance de plus grande capacité
Contacteur magnétique à courant alternatif bruyant	Montage incorrect	Nettoyer les faces polaires. Ajuster les pièces mécaniques
	Bobine-écran cassée	Remplacer
	Tension faible	Vérifier l'alimentation et le calibre des fils

Cas Type

En tant qu'ingénieur conseil, j'intervenais dans une usine sidérurgique importante.

Ce jour là, j'étais près d'un opérateur d'une ligne de laminage (double skin-pass).
A un moment il me dit qu'il réduisait la vitesse de 20% du moteur d'entraînement du laminoir (1500 KW) car il chauffait. Puis il appella la Maintenance.

Au bout de quelques minutes je vois venir 2 électriciens et 1 mécanicien.
Je les suis. Ils passent devant le moteur et vont directement à l'armoire électrique.
Moi, je m'arrête devant le moteur et le regarde d'un œil critique. Je vois des tuyaux qui partent des paliers. Ils me conduisent à un petit système de refroidissement :

- Tuyauterie en serpentin.
- Grille en nid d'abeille.
- Ventilateur.

Je passe mon doigt sur la grille et ramasse un centimètre de crasse (vapeur d'huile avec de la poussière de laminage).

J'ai donc trouvé la cause : manque de refroidissement en raison d'un encrassement.

Etant ingénieur conseil je ne dis rien pour voir ce qu'il se passe. Mais il ne se passe rien car les techniciens ne trouvent pas la cause.

Après 24 heures j'en avise alors le Chef Maintenance qui prend les dispositions pour régler le problème.

Je permets de lui conseiller :

- Avec le Chef de Fabrication décider de nettoyages mensuels et systématiques de ce système de refroidissement et de tous ses semblables.
- De voir son Personnel et de lui recommander pour toute panne :
- **VOIR L'OPERATEUR CONCERNE** pour prendre connaissance des faits.
- **ALLER SUR PLACE POUR VOIR LE MATERIEL** concerné (et non l'armoire électrique par exemple).

Troisième partie

Analyses des causes et remèdes des défaillances

	Page
Localisation des défaillances électriques.....	91
Types de défaillances.....	92
Aides aux diagnostics de défaillances répétitives....	95
Règles de l'art en maintenance.....	113
Maintenance préventive en électricité.....	149
Standards de maintenance préventive.....	169

Localisation des défaillances électriques

Défaillances provenant du réseau d'alimentation générale

- ➔ Arrêt d'arrivée de courant, suivi ou non de réenclenchement immédiat automatique (D.R. sur défaut fugitif).
- ➔ Chute de tension fugitive ou durable, sur une phase ou sur les 3 phases.
- ➔ Surtensions accidentelles
 - liées à l'exploitation (réglage transfo par en.) ;
 - liées aux orages (coups de foudre).
- ➔ Chutes de fréquences (surcharges du réseau)
- ➔ Micro-coupures et parasites perturbant les automates programmables et l'informatique.

Défaillances liées aux installations

- ➔ Coupures dues à des défauts de connectique.
- ➔ Défaillances dues au réglage, à la position ou à l'état de capteurs.
- ➔ Défaillances dues à des déséquilibres de phases :
 - liées à la présence d'un four à arc ou d'une soudeuse monophasée ;
 - liées à des desserrages de connexions.
- ➔ Défauts francs ou fugitifs sur la distribution : courts-circuits, mauvais isollements avec courant de fuite.
- ➔ Défauts dus à la présence de câbles à courant faible près de câbles basse tension.
- ➔ Présence d'harmoniques (courant de freinage sortant d'une alimentation à thyristors).

Types de défaillances

Notre expérience nous a conduit à distinguer 3 types de défaillances du matériel :
Défaillances extrinsèques – Défaillances dispersées – Défaillances intrinsèques

Une défaillance extrinsèque a une cause qui est spécifique à un organe, à une fonction, à un produit où elle apparaît ; cette cause n'est pas due à la dégradation normale d'un organe.

La défaillance peut survenir plusieurs fois par an.

Notre démarche consiste à analyser systématiquement le phénomène du point de vue physique.

Le chapitre « **Aides aux diagnostics de défaillances** » apporte des solutions en termes de causes et remèdes pour ce type de défaillance.

Les défaillances dispersées ont une cause qui est générale à plusieurs organes, ou plusieurs fonctions, ou plusieurs produits où elles apparaissent.

Il s'agit de trouver un point commun à des défaillances semblables. Ce point commun est **très souvent une ou plusieurs règles de l'art** non respectées.

Le chapitre « **Règles de l'art en maintenance** » présente de nombreuses règles de l'art.

Une défaillance intrinsèque a pour cause l'usure ou dégradation normale d'un organe.

En général, elle nécessite le remplacement de l'organe et elle ne survient qu'au maximum une fois dans l'année.

On évite les pannes par la maintenance préventive.

Les chapitres « **Contrôles de maintenance préventive** » et « **Standards de maintenance préventive** » apportent les réponses d'ordre technique quant à ce besoin.

Il existe également des défaillances inopinées qui se manifestent en dehors des données habituelles. Etant causées par une variation inattendue des conditions de fabrication, il faut simplement prendre des mesures de remise en état pour revenir à l'état normal.

Examen des historiques sur une période de six à douze mois

- Fonctions
- Organes
- Produits

DEFAILLANCES

- Franches
- Ralentissements
- Micro-Arrêts

Extrinsèques

Par défaillance

1. Description physique du phénomène

2. Conditions nécessaires

3. Éléments répondant aux conditions nécessaires

CAUSE PROBABLE
(90 % des cas)

Dispersées

Par groupe de défaillances

POINT COMMUN
(80 % règles de l'art)

Intrinsèques

Uniques dans la période

PREVENTIF
(à examiner)

V é r i f i c a t i o n

SOLUTION

M i s e e n o e u v r e

Il existe également des défaillances inopinées qui se manifestent en dehors des données habituelles. Etant causées par une variation inattendue des conditions de fabrication, il faut simplement prendre des mesures de remise en état pour revenir à l'état normal.

Si vous avez des historiques de pannes nous vous proposons de les transférer sur Excel comme le montre l'exemple de la page 36. Puis vous créez deux colonnes. Sur la première colonne vous identifiez les types de pannes :

- ✓ R : R1, R2, R3,...pour les défaillances répétitives ;
- ✓ D : D1, D2, D3,... pour les défaillances dispersées ;
- ✓ P : P1, P2, P3, ... pour les défaillances intrinsèques.

Il est conseillé de faire les classements dans cet ordre, en lisant bien les commentaires des dépanneurs et en les interprétant.

A titre d'information, concernant les défaillances dispersées les thèmes les plus courants sont les suivants.

Mécanique :

Desserrages, vibrations
Détériorations de mécanismes
Problèmes de graissage, grippages
de paliers, échauffements
Fréquents remplacements de
roulements
Fuites
Problèmes hydrauliques
Casses et bris d'arbres notamment
Problèmes fréquents sur pompes
Pertes de vitesses

Electricité :

Déclenchements de lignes
automatisées ou pertes de fonctions
Déclenchements généraux ou sur
circuits
Arrêts moteurs sans remplacements
Arrêts moteurs avec remplacements
Pertes partielles de fonctions
Problèmes de détecteurs
Défauts de câblages, connectique
Fonctions défaillantes
Micro-arrêts

Après classements des résultats, grâce à Excel, on obtient un véritable plan de fiabilisation.

Remarquons par ailleurs qu'une majorité des défaillances (répétitives, dispersées, intrinsèques) peuvent faire l'objet d'un suivi préventif.

C'est le cas de la majorité des défaillances mécaniques. Ce n'est pas le cas en électricité pour les défaillances dues à des parasites, micro-coupures, harmoniques, etc...

Aides aux diagnostics de défaillances répétitives

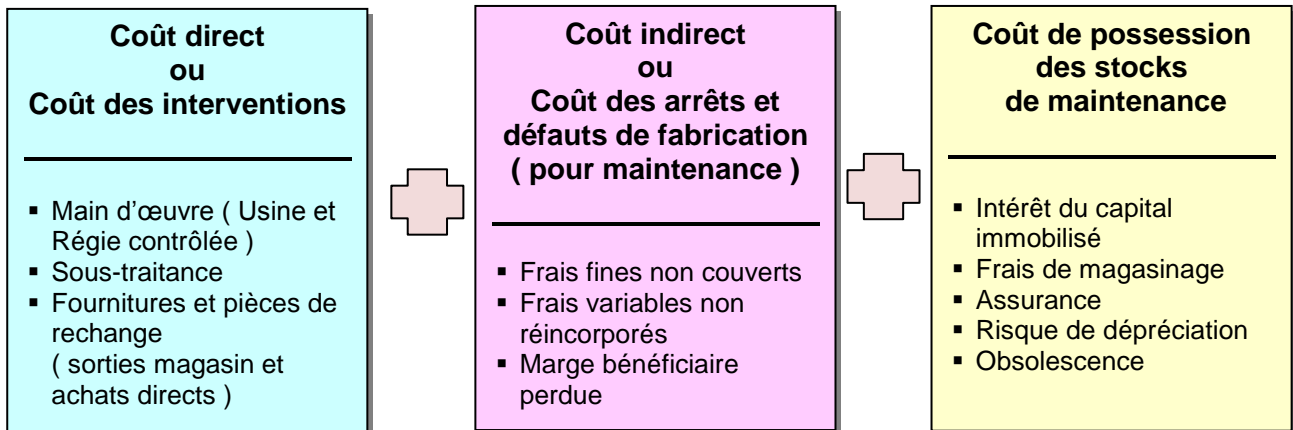
	Page
Comment trouver la cause.....	96
Parasites, micro-coupures, harmoniques.....	100
Défaillances dues aux réglages des capteurs.....	108
Défaillances dues aux protections.....	110
Cas type.....	111

Comment trouver la cause

Raisons

Comme dit précédemment la maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien dans un état spécifié ou en mesure d'assurer un service déterminé, et que : **maintenir du matériel, ce n'est pas dépanner ou guérir ; c'est effectuer des opérations (dépannage, graissage, visite, réparation, amélioration, etc.) qui permettent de conserver le potentiel du matériel pour assurer la continuité et la qualité de la production.**

Bien maintenir, c'est assurer ces opérations au **coût global optimum**.



Chacun de ces trois éléments est en relation avec les deux autres.

Depuis le début du XX^{ème} siècle, on est passé successivement du dépannage à l'entretien, puis à la maintenance.

Dépannage et Entretien reposent sur une attitude de défense par rapport aux événements dus au matériel, alors que la Maintenance repose plus sur une attitude d'attaque face à ces événements.

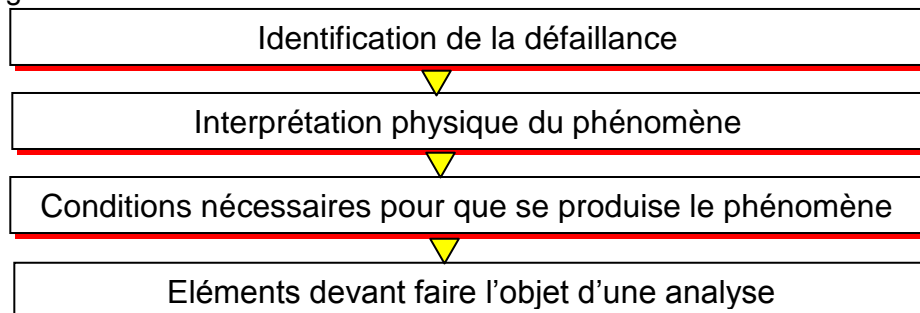
Le passage de l'Entretien à la Maintenance implique :

- d'abord comme pour l'Entretien la **compétence technique** ;
- la volonté de supprimer les pannes dans un but essentiellement **économique** ;
- enfin la **motivation** des hommes.

C'est une **position offensive d'attaque** sur l'imprévu ; on cherche à tendre vers une **situation maîtrisée = objectif zéro panne**.

La raison de ce chapitre est là : il faut toujours chercher à éliminer les défaillances, ou au moins réduire leurs effets. C'est pourquoi les défaillances répétitives ou importantes nécessitent que l'on réalise des **analyses causales** « après-coup ».

La méthode que nous proposons est simple et expérimentée à travers de multiples applications en France et à l'Etranger :



Identification de la défaillance

Il faut décrire le problème (QQOQCC) en répondant aux questions suivantes :

QUI ?	<i>Qui s'aperçoit de la défaillance ? Qui intervient ?</i>
QUOI ?	<i>Qu'est-ce qui est cassé, usé, corrodé ? Avec quoi intervient-on ?</i>
OU ?	<i>Quel endroit, quel circuit, quelle zone ? Y-a-t'il un équipement similaire sur lequel ne survient pas la défaillance ?</i>
QUAND ?	<i>Quels jours ? Quelles heures ? Depuis quand ? Pendant quelle opération ?</i>
COMMENT ?	<i>Est-ce une fissure ? une usure asymétrique ?.....etc.</i>
COMBIEN ?	<i>de jeu, de pression, d'usure... ? Trouvez l'unité qui rend le mieux compte de l'état d'usure : tonnes ou unités produites entre 2 défaillances, mm de corrosion par an,...</i>
REMEDE ⇒	<i>Comment fait-on pour redémarrer quand la défaillance apparaît ? Quelle réparation éventuelle fait-on ?</i>

Il s'agit dans cette étape de recueillir tous les éléments pour identifier le problème et de contrôler leur exactitude.

Le plus possible, on prendra en compte les constatations faites par les opérateurs d'exploitation.

Dans certains cas, il est utile de réunir un groupe de personnes concernées.

Interprétation physique du phénomène

Exemples :

- S'il y a corrosion : est-ce une corrosion chimique, atmosphérique, galvanique, par cavitation ou tout simplement une érosion ?
- S'il y a casse : est-ce une casse par torsion, par cisaillement, par fatigue, par choc... ?
- Est-ce une carbonisation due à un apport thermique excessif, etc...

Le plus possible, on prendra en compte les constatations faites par les réparateurs.

Dans certains cas, on devra :

- attendre une nouvelle défaillance pour faire un relevé de l'état de l'organe,
- utiliser des moyens particuliers tels que la photographie, des relevés de pressions, de températures, etc...
- faire une analyse par un laboratoire.

Par expérience, on constate que très souvent on découvre la cause simplement par l'identification de la défaillance et l'interprétation physique du phénomène.

Dans ce cas, bien sûr il ne faut pas poursuivre l'analyse.

Conditions nécessaires pour que se produise la défaillance

On répond à cette question, en prenant en compte à la fois l'interprétation physique du phénomène et les caractéristiques propres de l'organe étudié.

Exemples :

- S'il y a carbonisation due à un apport thermique excessif, les conditions nécessaires pour que se produise la défaillance peuvent être : manque de lubrification, refroidissement insuffisant, pression trop forte,...
- Si un arbre est cassé par torsion (on le voit à l'examen) la condition nécessaire est qu'il y ait un blocage dans la chaîne cinématique.
- Si est cassé par flexion (non alternée) la condition est qu'il y ait une poussée entre deux paliers, etc...

A ce stade, on peut utiliser une « Aide au diagnostic » pour trouver plus rapidement la cause.

Éléments devant faire l'objet de l'analyse

Les réponses aux 2 questions précédentes vont guider le choix des différents éléments à prendre en considération dans l'analyse.

Une sélection est donc à faire parmi la liste exhaustive ci-après :

- L'organe défaillant lui-même.
- Les autres organes (ou sous-ensembles) en relation directe, ou indirecte dans la mesure où ils sont très proches, avec l'organe défaillant :
 - en amont,
 - conjoints,
 - en aval.
- Les fluides utilisés pour le fonctionnement de l'organe défaillant : huile, graisse, eau, produit de blocage pour garnitures mécaniques de pompes, etc...
- Les énergies utilisées pour le fonctionnement de l'organe défaillant : électricité, air comprimé, vapeur, etc...
- Les produits en relation avec l'organe défaillant, ou avec les autres organes (il convient d'avoir de bonnes connaissances technologiques pour préciser les caractéristiques des produits pouvant avoir une influence sur les organes : corrosion, érosion, encrassement, agression mécanique, etc...)
 - en fonctionnement normal,
 - lors d'opérations spéciales.
- Le système de commande et régulation.

Si nécessaire, on précisera certains points clés concernant :

L'utilisation

- La marche normale, semi-automatique, manuelle
- Les réglages pour changements de produits
- Les nettoyages
- Les redémarrages
- Les opérations particulières

Le milieu

- la température et ses variations
- le son et les vibrations
- la lumière avec ses variations
- les poussières
- l'humidité

On examinera alors si la variation d'un de ces éléments est liée à une condition nécessaire.

Remarque générale

Les causes aux défaillances ne sont pas toujours techniques.

Un certain nombre d'entre elles sont liées : au process, à la matière, au mode opératoire d'exploitation, à des erreurs humaines, à l'environnement.

Pour aider la recherche des causes techniques et des solutions à y apporter, nous présentons ci-après quelques thèmes :

- Parasites, micro-coupures, harmoniques
- Défaillances dues aux réglages des capteurs
- Défaillances dues aux protections
- Cas type

Et nous vous conseillons de lire les remarques « maintenance » mentionnées pour certains des équipements décrits plus loin.

Parasites, micro-coupures, harmoniques

Parasites délectrique

- ✓ Ouverture et fermeture d'interrupteurs, qui s'accompagnent d'arcs électriques.
- ✓ Eclairage grand pourvoyeur de parasites.
- ✓ Présence d'un cable de faible ampérage près d'un cable de puissance.
- ✓ Variations dus à des arcs électriques.
- ✓ Ondes perturbantes (télécommandes...)
- ✓ Variations de fréquence du secteur.
- ✓ Variations d'amplitude du secteur, ces variations pouvant aller jusqu'à de véritables « microcoupures ».
- ✓ Etc...

Parmi les différentes perturbations, en nombre les parasites sont les plus importants.

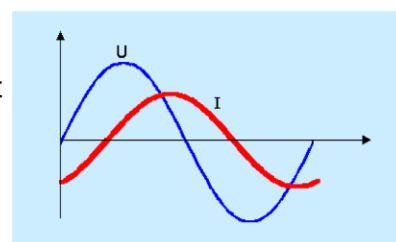
Micro-coupures

Les micro-coupures sont essentiellement dues au fournisseur d'électricité.

- ➔ Chaque jour, le fournisseur change de réseau suivant l'importance des consommations. Cela crée des coupures de 1/30 ou 1/60 seconde.
- ➔ Les perturbations sur les lignes haute tension sont aussu sources de coupures.

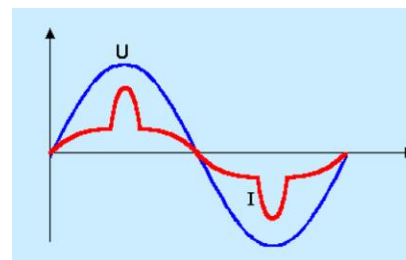
Harmoniques

Une charge est dite « **linéaire** » si le courant qu'elle absorbe est sinusoïdal lorsqu'elle est alimentée par une tension sinusoïdale. Ce type de récepteur ne génère pas d'harmonique.



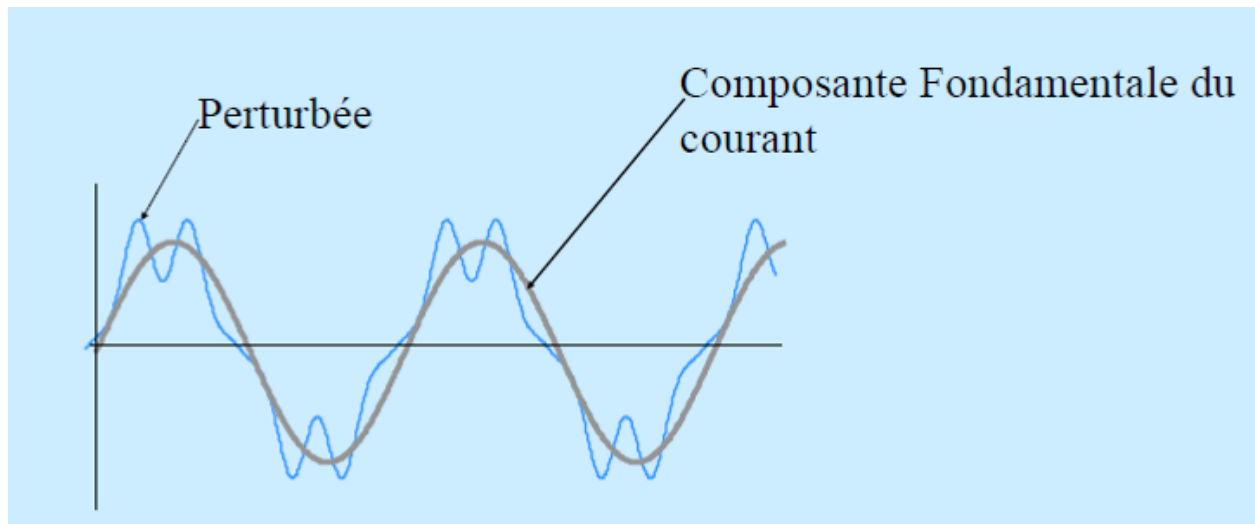
Une charge est dite « **non linéaire** » si le courant absorbé n'est pas sinusoïdale lorsqu'elle est alimentée par une tension sinusoïdale.

Ce type de récepteur est générateur d'harmoniques.



Les charges non linéaires déforment les signaux électriques du courant et de la tension.

Hier la majorité des charges utilisées sur le réseau électrique étaient des charges linéaires. Aujourd'hui beaucoup de récepteurs présents déforment les signaux électriques du courant et de la tension. Les signaux analysés s'éloignent de l'allure sinusoïdale de départ.



Les harmoniques sont des fréquences multiples de la fréquence fondamentale (100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, etc...).

n est le rang de la composante harmonique.

- Rang 3 : courant supplémentaire de 150 Hz (3 fois 50 Hz)
- Rang 5 : courant supplémentaire de 250 Hz (5 fois 50 Hz)
- Rang 7 : courant supplémentaire de 350 Hz (7 fois 50 Hz)
- Rang 11 : courant supplémentaire de 550 Hz (11 fois 50 Hz)
-

Responsables de cette pollution

→ Le premier groupe (Charges monophasées) comprend :

- Lampe basse consommation dite à économie d'énergie.
- Tube fluorescent.
- Lampe à décharge gazeuse à basse et haute pression.
- Ballast électronique pour éclairage.
- Equipements médicaux.
- Téléviseurs.
- Ordinateurs.
- Imprimantes et photocopieurs.
- Onduleurs.

→ Le deuxième groupe (Charges triphasées) comprend :

- Variateurs de vitesse pour moteurs.
- Redresseur (convertisseur alternatif-continu)
- Hacheur (convertisseur continu-continu : dispositif de l'électronique de puissance).
- Soudeuse.
- Four à arc.
- Chargeur de batterie.
- API, UPS.

Effets des harmoniques

Elles peuvent conduire à des déclenchements intempestifs, à des échauffements, à des vibrations et des bruits acoustiques, à des perturbations sur les lignes à courant faible. L'incident peut vite se transformer en casse de machine ou en incendie, ayant des conséquences plus graves.

Les harmoniques haute fréquence (CEM), quant à elles, peuvent déclencher des capteurs alors que les consignes sont normales, avec les conséquences que cela peut avoir sur les process.

D'une manière plus détaillée, les effets plus ou moins importants sont les suivants :

→ Effets immédiats :

- Perturbation des systèmes électroniques.
- Dégradation du facteur de puissance.
- Réduction de la puissance des moteurs.
- Différence de potentiel entre masses.
- Surcharges des câbles, s et moteurs.
- Bruits et vibrations.
- Surdimensionnement de certains composants.

→ Effets à moyen et long terme :

- Réduction de la durée de vie des moteurs.
- Réduction de la durée de vie des transformateurs.
- Vieillessement accéléré des isolants et diélectriques.

→ Effets sur le neutre :

Les harmoniques de rang trois sont des fréquences multiples des valeurs 3, 6, 9, 12... Elles sont très préjudiciables à la qualité du courant, car les courants d'harmoniques 3 peuvent s'additionner dans les conducteurs neutres d'un système de distribution d'électricité triphasé.

Les conducteurs neutres en surcharge représentent un risque potentiel d'incendie car, contrairement aux conducteurs de phase, ils ne sont pas toujours protégés par un dispositif de protection contre les surintensités ; souvent même leur section est inférieure à celle des phases. Les harmoniques de rang 3 peuvent surcharger les conducteurs neutres du système, même lorsque les charges ont été équilibrées entre les 3 phases.

C'est pourquoi la NFC 15-100 recommande que « sur un circuit triphasé à 4 fils où la majeure portion est composée de charges non linéaires, et où des courants harmoniques sont présents dans le conducteur neutre jusqu'à un taux de 15%, le neutre devra avoir une section égale à celle des phases et être protégé par un dispositif de protection contre les surcharges ».

Par ailleurs, les neutres communs, partagés par deux ou trois circuits de dérivation monophasés sont interdits.



Mesure des harmoniques

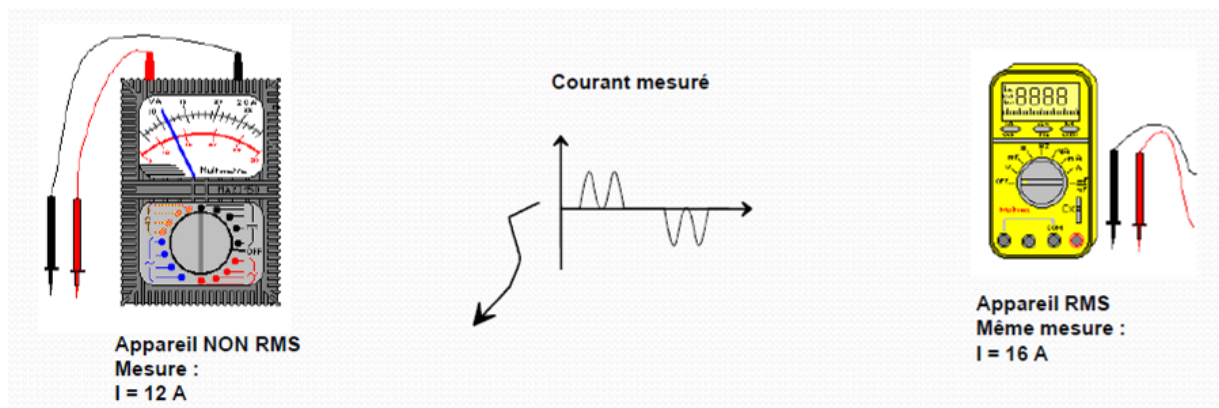
Le taux de courants harmoniques est le rapport de l'ensemble des courants harmoniques du signal (distorsion) sur la valeur efficace du signal.

$$\text{Taux de courants harmoniques} = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + I_9^2 + \dots}}{I_{\text{fondamental}}} \times 100$$

Ce taux peut être calculé par rang d'harmonique.

Pour faire la mesure des harmoniques il est nécessaire d'avoir des instruments de mesure RMS (Root Mean Square).

Ces appareils font la mesure du signal, quelque soit sa forme sinusoïdale ou déformée.



La valeur totale du courant (courant RMS) est égale à : $\sqrt{I_1^2 + I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots}$

Perturbations électriques

Le tableau ci-après est une synthèse des causes, conséquences des perturbations électriques, ainsi que du matériel affecté.

Les applications informatiques (informatique de gestion ou informatique industrielle) sont concernées par tous les types de perturbations, alors qu'en général l'alimentation d'équipements à courants forts pâtit surtout des coupures et micro-coupures.

Causes	Conséquences	Matériel affecté
<p><u>Imperfection du réseau électrique</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Microcoupures par les manœuvres sur le réseau de 10ms à 100ms (ouvertures et fermetures de sectionneurs, disjoncteurs, protections) ▪ Surtensions transitoires par la foudre. ▪ Coupures franches de quelques secondes à quelques heures par ruptures de câbles. ▪ Variations de fréquence (surtout dans les pays où le réseau est peu important) ▪ Baisses de tension (surtout en entrémités de lignes et pendant les tranches horaires de forte consommation) <p><u>Pollution par l'utilisateur</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Chutes passagères de tension par le démarrage de fortes charges (moteurs, fours...) ▪ Renvoi d'harmoniques sur le réseau par l'emploi de systèmes d'électronique de puissance (alimentation à découpage, variateurs électroniques, ballasts électroniques...) ▪ Emission d'ondes électroniques avec induction de parasites sur les câbles du réseau (lors de l'utilisation de champs magnétiques importants ou de machines fonctionnant en haute fréquence) ▪ Mauvaise séparation des câbles courants forts et courants faibles. Les cheminements (sur tablettes ou racks) doivent être différenciés conformément aux règles de l'art. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Parasites ▪ Harmoniques ▪ Variations de tension ▪ Microcoupures ▪ Coupures ▪ Variations de fréquence 	<p><u>Equipements à courants faibles</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Informatique générale ▪ Informatique industrielle : <ul style="list-style-type: none"> - Systèmes numériques à commande centralisée. - Automates programmables. - Commandes numériques. - Etc. <p><u>Equipements à courants forts</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Moteurs électriques pour fonctions sensibles telles que ascenseurs, presses d'injection, robots de soudage, etc. ▪ Equipements thermiques pour fonctions sensibles. ▪ Eclairage de lieux publics. ▪ Divers, tels que scanners.

Perturbations		Parasites	Harmoniques	Variations de tension	Micro-coupures < 20 ms	Micro-coupures > 20 ms	Coupures	Variations de fréquence
Solutions								
Solutions sans autonomie	Filtre							
	d'isolement							
	Régulateur ferrorésonnant de tension							
	Régulateur électrodynamique de tension							
	Conditionneur ferrorésonnant de réseau							
	Conditionneur électronique de réseau							
Solutions avec autonomie	Onduleur « stand by »							
	Onduleur Chopper							
	Onduleur « on line »							
	Groupe tournant							

Solutions

Séparations par transformateurs

Il est très souhaitable d'avoir des transformateurs par types d'équipements, en séparant notamment :

- Equipements de production
- Circuits d'éclairages.
- Fours à arc et soudeuses.
- Informatique de gestion

Améliorations d'installations

Eviter que des fils de courant faible longent des fils basse tension ; préférer les croisements à 90°.

Eviter les télécommandes de ponts roulants ; préférer les commandes par cables.

Installations d'onduleurs.

- Onduleur avec batterie en ligne qui protège des 3 éléments perturbateurs.
- Onduleur avec batterie en parallèle (moins cher) qui ne protège pas des micro-coupures.

Installation de filtres

Les filtres présentent une solution moins coûteuse que les onduleurs. Mais ils ne protègent pas des micro-coupures et ce n'est pas une solution totalement sûre.

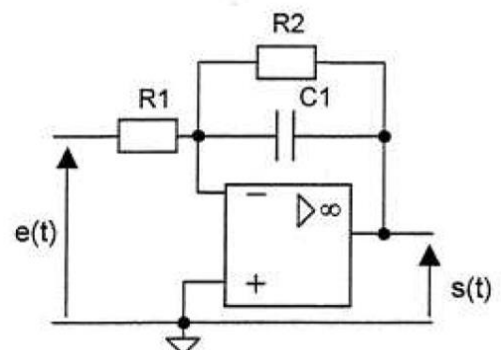
Il y a 4 sortes de filtres :

- Les Filtres Passe-Bas (ne laissent passer que les fréquences basses)
- Les filtres Passe-Haut (ne laissent passer que les fréquences hautes)
- Les Filtres Passe-Bande (ne laissent passer qu'une plage de fréquences)
- Les Filtres Coupe-Bande (ne laissent pas passer une plage de fréquence)

Ces filtres peuvent être de deux types :

Filtres actifs

- Filtres installés en parallèle.
 - Le filtrage s'effectue en injectant des courants opposés aux courants harmoniques.
- ✓ Cette méthode est encore coûteuse.
 - ✓ Ce type de filtre utilise des composants électroniques très sensibles pas très bien adaptés au milieu industriel.
 - ✓ La consommation d'énergie est importante.
 - ✓ Il faut des phases équilibrées pour un bon rendement.

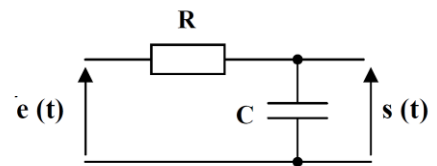


Filtres passifs

Ils ne sont composés que d'éléments passifs : résistances, condensateurs, bobines

Les résultats des performances données par le CETIM sont les suivants :

- ✓ Une réduction moyenne du courant RMS de l'ordre de 32,7 %
- ✓ Une réduction moyenne de la puissance apparente KVA de l'ordre de 32,7%.
- ✓ Une réduction moyenne du taux d'harmoniques de l'ordre de 92,7 %.
- ✓ Une amélioration moyenne du facteur de puissance de 50,2%.



Maintenance

Les perturbations électriques ont un impact important sur :

- les équipements de commande en générant des perturbations non maîtrisables ;
- les consommations de courant ;
- l'importance du facteur de puissance, et donc les problèmes avec le fournisseur d'électricité ;
- les risques majeurs, tels que l'incendie.

Avec le développement de l'automatisation, ils iront en augmentant.

La mesure et l'étude des meilleures solutions ne peuvent être faites que par de très, très bons électriciens.

Pour cela, **il faut faire appel à des sociétés spécialisées en électricité et électronique dans ces domaines**. La connaissance par un organisme agréé n'est pas suffisante.

Défaillances dues aux capteurs

Défaillances dues à la valeur

Quand les instruments et appareils de mesure, de réglage ou d'alarme, n'ont pas de valeurs de fond, de réglage ou d'alarme précisées, étalonnées et respectées, on assiste à des défaillances des produits, des équipements et des fonctions apparaissant de manière très anarchique.

Il s'agit de définir les valeurs de fond, de réglage ou d'alarme des instruments et appareils, et :

- qui doit les établir ;
- qui et comment les contrôler ;
- qui et comment les étalonner.

Les instruments et appareils en question sont :

1. Les instruments et appareils de mesure et d'alarme qui sont en relation directe avec le matériel, tels que : thermocouples et thermostats, débitmètres, tachymètres, analyseurs, conductivimètres, etc.. Par contre sont exclus de cette étude : blocs de régulation, transmetteurs, relais divers, etc..
2. Les instruments et appareils de réglage que le personnel d'exploitation est appelé à manipuler quotidiennement : vannes de réglage manuelles, volants de réglages, potentiomètres, contrôleurs de débits, etc...

.....

I. Il s'agit d'abord de faire une double identification :

- par relevés systématiques sur le terrain, en mettant en évidence les manques d'échelles de mesure quand elles apparaissent ;
- par positionnement des relevés sur les plans et schémas, avec mise en évidence des différences.

II. Ensuite, on soumet à la Fabrication, à la Maintenance, au Contrôle de la Qualité, avec un délai de réponse, un tableau sur lequel figure la liste de tous les instruments et appareils de mesure et d'alarme, pour que chacun donne sa propre connaissance de la situation :

Pour les instruments et appareils de mesure et d'alarme :

- la responsabilité d'établissement des valeurs de fond et d'alarme,
- pour chaque produit les valeurs d'alarme,
- la responsabilité d'étalonnage (ex : Service technique),
- la fréquence d'étalonnage et les moyens nécessaires,
- la responsabilité de contrôle (en : Fabrication),
- la fréquence de contrôle et les moyens nécessaires (ex : début de poste par chef d'équipe)

Pour les instruments et appareils de réglage :

- la responsabilité d'établissement des valeurs de réglage,
- pour chaque produit les valeurs de réglage,
- la responsabilité d'étalonnage (enx: Service technique),
- la fréquence d'étalonnage et les moyens nécessaires,
- la responsabilité de réglage (ex : Fabrication),

Défaillances dues aux capteurs

- la fréquence de réglage et les moyens nécessaires.

III. Quand ce bilan est fait, on réunit Fabrication, Maintenance et Contrôle de Qualité, pour décider :

- des responsabilités pour les postes non couverts,
- des délais pour l'établissement des valeurs, des fréquences et des moyens pour les postes non couverts.

IV. En final, on publie :

- un tableau récapitulatif,
- un tableau par responsable.

Remarques :

- Il faut tendre à une standardisation des valeurs. Par exemple, il est gênant d'avoir des indications en bars ou en PSI.
- On peut utiliser des tableaux comme figuré ci-après, ou inclure l'ensemble dans le plan de maintenance préventive.

a.- Tableau des instruments et appareils de mesure ou d'alarme (schéma de principe)

TABLEAU DES APPAREILS DE MESURE OU D'ALARME								Folio :	
Fonction de l'appareil	Localisation - Repère	Suivant produit				Etalonnage		Contrôle	
		R	Produit	Valeur de fond	Valeur d'alarme	R	Fréquences & Moyens	R	Fréquences & Moyens
				

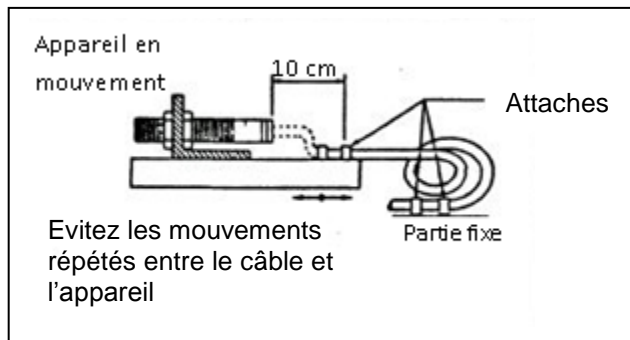
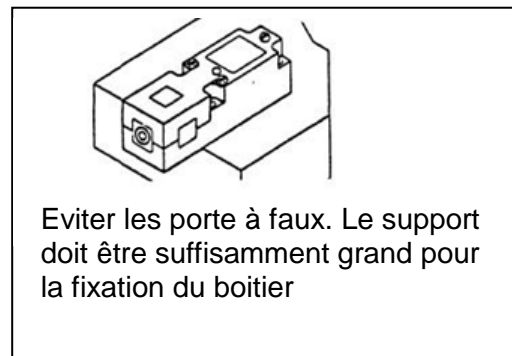
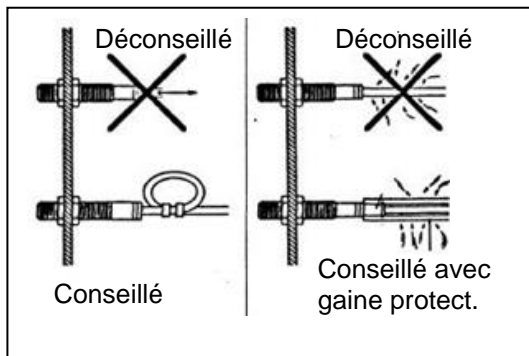
b.- Tableau des instruments et appareils de réglage (schéma de principe)

TABLEAU DES APPAREILS DE REGLAGE							Folio :	
Fonction de l'appareil	Localisation - Repère	Suivant produit			Etalonnage		Réglage	
		R	Produit	Valeur de réglage	R	Fréquences & Moyens	R	Modalités de réglage
				

Défaillances dues aux protections

En principe, le matériel de commande est protégé électriquement et mécaniquement. Il est essentiel que les protections soient respectées et réglées.

- ➔ Périodiquement on doit vérifier que les calibrages prévus sont respectés. Il arrive assez fréquemment qu'en dépannage, on remplace un fusible ou un disjoncteur par un élément d'un ampérage supérieur faute de disponibilité d'une pièce de calibre identique. C'est évidemment dangereux d'où la nécessité de contrôles périodiques.
- ➔ Le Responsable de Maintenance doit fixer la norme (% de l'ampérage d'un moteur) pour les protections thermiques.
- ➔ On doit veiller à protéger les capteurs contre les agressions diverses. De même les limiteurs de couple électroniques doivent être correctement réglés.

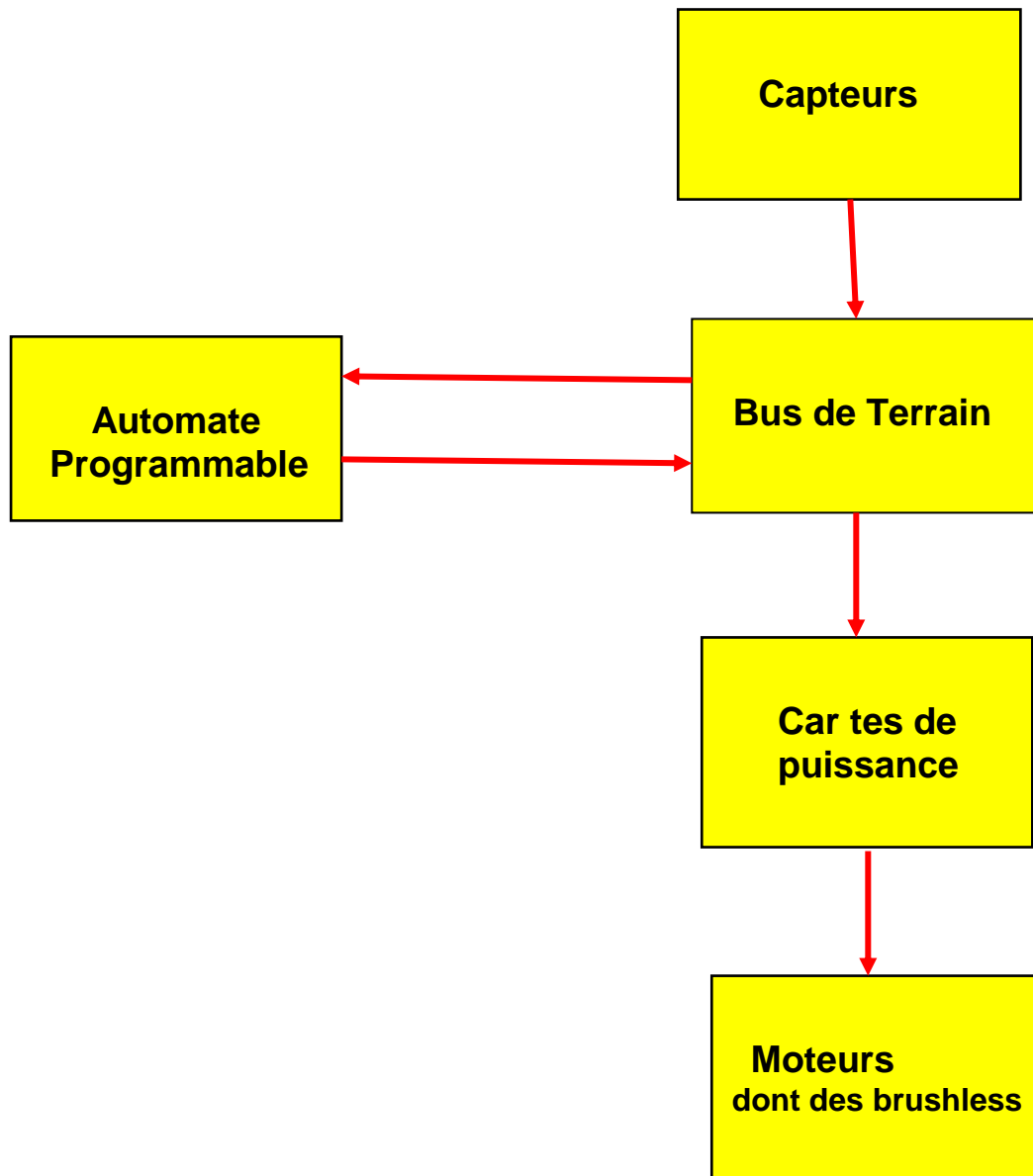


Cas type

Il s'agit d'une usine de 1200 personnes avec 130 d'entre elles en maintenance dont 8 électroniciens.

Dans l'atelier principal il y a 12 machines très automatisées.

La commande de chaque machine est représentée suivant le schéma ci-après. Les cartes de puissance sont plusieurs dans une même armoire pour chaque machine. Il y a un système de refroidissement car les cartes chauffent.



Le Chef Maintenance me contacte et me demande de l'aider à résoudre une panne répétitive qui pénalise l'atelier et toute l'usine en niveau de production.

Le fichier des pannes, tenu par la maintenance, m'indique que les électroniciens interviennent sur les cartes de puissance et indiquent :

« Aérer carte » le plus souvent ou parfois « remplacer carte ». « Aérer carte » signifie que une carte a été sortie puis remise en place.

J'ai l'occasion de déjeuner avec les 8 électroniciens au restaurant d'entreprise. Ils me disent ne pas trouver la cause de la défaillance ; ils pensent qu'il y a un phénomène condensateur. Quand je leur dis que l'électronique n'est pas ma spécialité, ils doutent fortement de ma réussite.

Je vais voir un opérateur de fabrication pour le questionner.

Il me dit :

« Il y a souvent un arrêt de l'automate programmable. Je fais une relance (un reset). Parfois cela ne repart pas et je vais alors donner un coup de pied à la porte de l'armoire des cartes de puissance. Souvent alors cela repart. Quand ce n'est pas le cas, j'appelle la maintenance ».

Cette information m'est confirmée par 2 autres opérateurs.

J'en tire alors la conclusion suivante :

- Les pertes de disponibilité sont bien plus importantes que ce qui renseigné par le fichier de maintenance.
- Il y a 2 types de panne (et pas 1) :
 - Une perturbation électrique qui arrête l'API.
 - Un problème de connectique dans l'armoire.

Pour le premier problème je recommande de mettre un onduleur avec la batterie en ligne sur deux machines, puis d'étendre la solution aux 12 machines si les résultats sont positifs.

Pour le deuxième problème, avec un technicien maintenance j'examine une armoire (la machine est bien sûr arrêtée et consignée).

Les cartes ont des picots sur une tranche ; ces picots s'enclipsent dans des trous du fond de panier. On examine ce fond de panier avec une règle pour constater qu'il est gondolé (en raison de la chaleur). A ce moment là, la cause était trouvée.

Je recommande alors de changer tous les fonds de panier.

Six mois après le Chef Maintenance m'a dit qu'il n'y avait plus de problème dans cet atelier.

Maintenance

Ce cas n'est pas unique. Plusieurs fois un Chef Maintenance m'a demandé de résoudre un ou plusieurs problèmes, et il m'a suffi de voir des opérateurs pour les résoudre ; je n'exagère pas beaucoup.

Je ne comprends pas pourquoi des électriciens, mécaniciens ont tendance à trop travailler en vase clos. Pour un dépannage ou la résolution d'une panne répétitive, il faut toujours voir l'opérateur et le questionner sur tous les détails.

Règles de l'art en maintenance

	Page
10 règles générales en électricité.....	114
Moteurs électriques.....	115
Contrôle des convertisseurs analogiques.....	143
Protection des automates programmable.....	145
Précautions avec les détecteurs.....	146
Précautions avec les cellules photoélectriques.....	148

10 Règles générales en électricité

Un déclenchement électrique (disjoncteur – thermique – fusible), non exliqué mécaniquement, a forcément une cause électrique.

Différentes règles de base doivent être respectées.

- ➔ Quand aucune cause n'est trouvée, il faut vérifier s'il n'y a pas un déséquilibre de phases. L'utilisation de la **pince ampèremétrique** s'impose.
Sinon la défaillance reviendra forcément , une, deux, plusieurs fois, si on ne recherche pas la cause maintenant.
- ➔ Un moteur génère des vibrations.
Il est impératif de contrôler périodiquement les serrages aux boites à bornes :
 - annuellement pour les moteurs importants et moyens,
 - tous les 2 ou 3 ans pour les autres.
- ➔ Dans l'urgence des dépannages, il arrive que l'on ne remplace pas un fusible, un disjoncteur, un thermique à l'identique. Cela peut entraîner des déclenchements intempestifs par la suite.
2 mesures s'imposent :
 - Lors d'un déclenchement vérifiez les protections.
 - Au moins une fois par an vérifiez les protections dans les armoires et coffrets là où il y a des vibrations.
- ➔ Contrôlez périodiquement les **connexions**, même si on pratique la thermographie. Il est de plus en plus conseillé (par les fabricants de moteurs et les sociétés de maintenance) de serrer les connexions avec des tournevis dynamométriques.

Couple de serrage des vis et écrous acier					
Pas	4,60 Nm	5,8 Nm	8,8 Nm	10,9 Nm	12,9 Nm
M2,5	0,26				
M3	0,46				
M5	2	4	6	9	10
M6	3	6	11	15	17
M8	8	15	25	32	50
M10	19	32	48	62	80
M12	32	55	80	101	135
M14	48	82	125	170	210
M16	70	125	190	260	315
M20	125	230	350	490	590
M22	160	300	480	640	770
M24	200	390	590	820	1000
M27	360	610	900	1360	1630

- ➔ Remplacez régulièrement les filtres, et contrôlez la ventilation des **armoires électriques**.
- ➔ Pour les **contacteurs et relais** ayant une grande cadence de fonctionnement prévoyez des remplacements systématiques
- ➔ Veillez que les **câblages électriques**, notamment des capteurs, se fassent plutôt par le bas.
- ➔ Vérifiez régulièrement les entrefers des **moteurs-freins**.
- ➔ Les **armoires électriques** doivent toujours rester fermées.
- ➔ Il ne faut jamais avoir un câble de courant faible près d'un câble de puissance.

Moteurs électriques

	Page
Connaissance des moteurs électriques asynchrones.....	116
Manutention des moteurs électriques.....	119
Installation d'un moteur.....	121
Pose et raccordement d'un moteur électrique.....	123
Arrêt prolongé d'un moteur électrique.....	126
Contrôle d'isolement d'un moteur.....	127
Mesure de l'index de polarisation.....	128
Relevé des entrefers.....	129
Lubrification d'un moteur électrique.....	131
Moteurs freins.....	132
Dégraissage des collecteurs et bagues.....	133
Rodage des balais.....	134
Rodage des balais avec pierre ponce.....	135
Pierrage du collecteur.....	136
Stockage des moteurs.....	138
Entrainement à vitesse variable.....	139
Mise en service des variateurs de vitesse.....	141

Connaissance des moteurs électriques asynchrones

Types de moteurs asynchrones

- triphasés à cage,
- triphasés à rotor bobiné,
- triphasés à double cage,
- monophasés,
- diphasés,

auxquels il convient d'ajouter le cas particulier des moteurs-freins.

Informations de base

➤ Nombre de pôles, vitesse

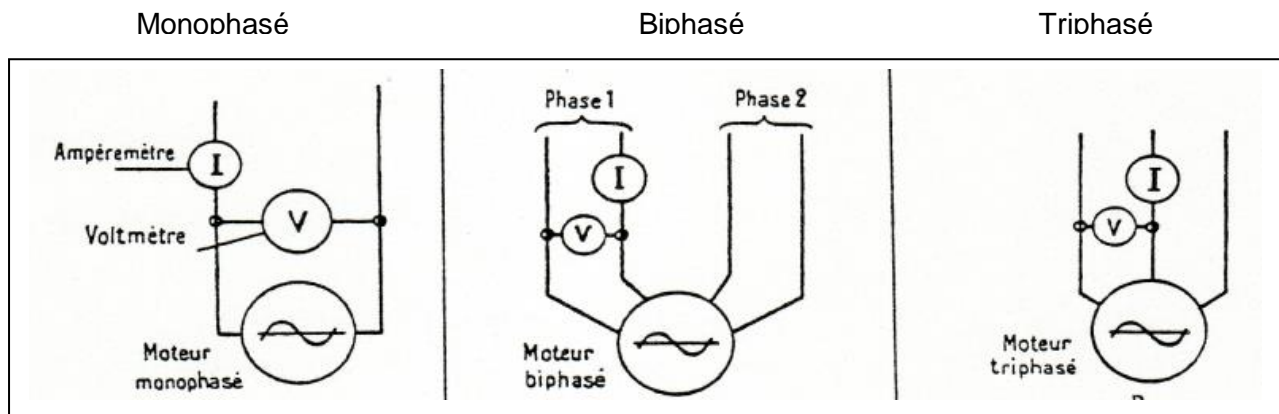
La vitesse à vide V (tr/min) d'un moteur asynchrone est donnée par la formule : $V = \frac{f \times 120}{P}$

f étant la fréquence du courant alternatif et P le nombre de pôles.

Pour la fréquence habituelle $f = 50$, cette vitesse est la suivante :

2 pôles3000 tr/min
4 pôles1500 tr/min
6 pôles1000 tr/min
8 pôles750 tr/min

➤ Intensité du courant consommé



$$I = \frac{P}{U \cos \varphi}$$

$$I = \frac{P}{2 U \cos \varphi}$$

I en ampères; P en watts; U en volts.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi}$$

Sens de rotation

Le refroidissement des moteurs est indépendant de leur sens de rotation, sauf pour quelques moteurs deux pôles de grosse puissance.

Lorsque l'alimentation réseau est raccordée aux bornes du stator, repérées U, V et W, d'un moteur triphasé et que l'ordre des phases du réseau est L1, L2, L3, le moteur tourne dans le sens horaire vu côté accouplement. Le sens de rotation peut être inversé en permutant au choix deux des trois phases raccordées au démarreur ou au moteur.

Mais il est vivement conseillé de vérifier le sens de rotation avant de connecter le moteur au matériel à entraîner.

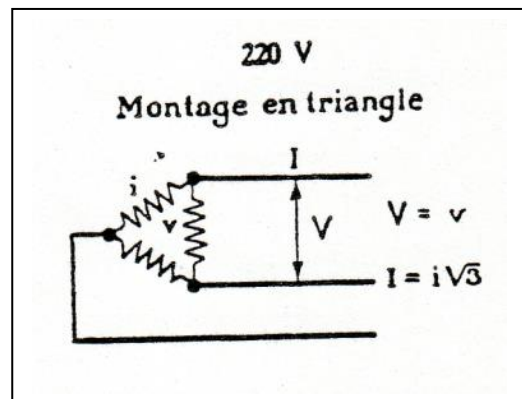
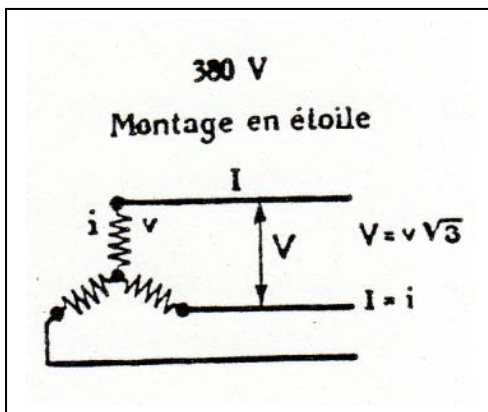
Démarrage des moteurs

➤ Démarrage direct

La méthode la plus simple pour démarrer un moteur asynchrone à cage consiste à le raccorder directement au réseau d'alimentation. Ce mode de démarrage présente, entre autre, l'inconvénient d'engendrer un courant de démarrage élevé.

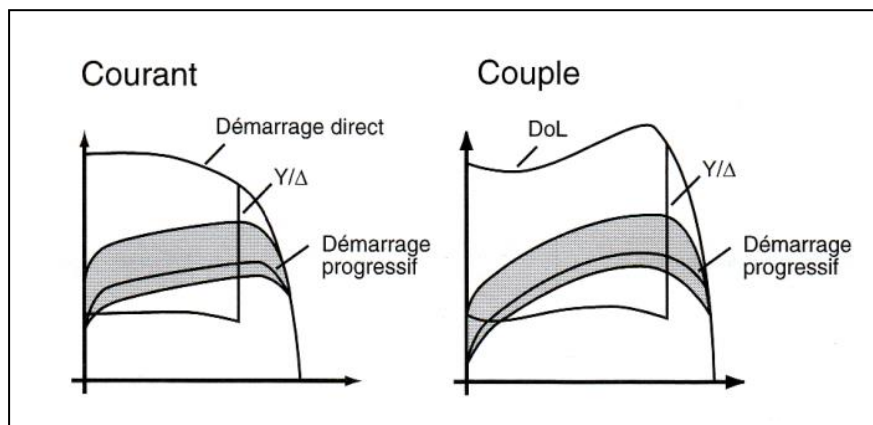
➤ Démarrage étoile/triangle (Y/Δ)

S'il faut limiter le courant de démarrage d'un moteur du fait des caractéristiques de l'alimentation, la méthode Y/ Δ peut être utilisée. Le courant de démarrage est réduit de 30% par rapport à un démarrage direct.

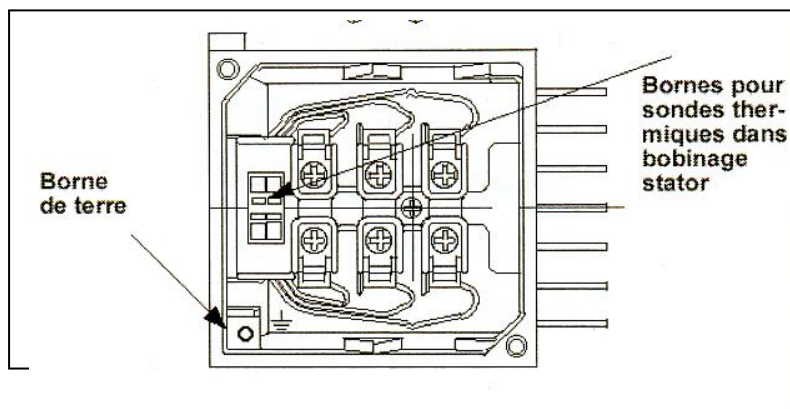


➤ Démarreurs progressifs

Un démarreur progressif limite le courant de démarrage tout en assurant un démarrage sans à-coup. En adaptant automatiquement et en continu la tension moteur aux besoins réels, un démarreur progressif permet des économies d'énergie, plus particulièrement lorsque le moteur entraîne une charge légère.

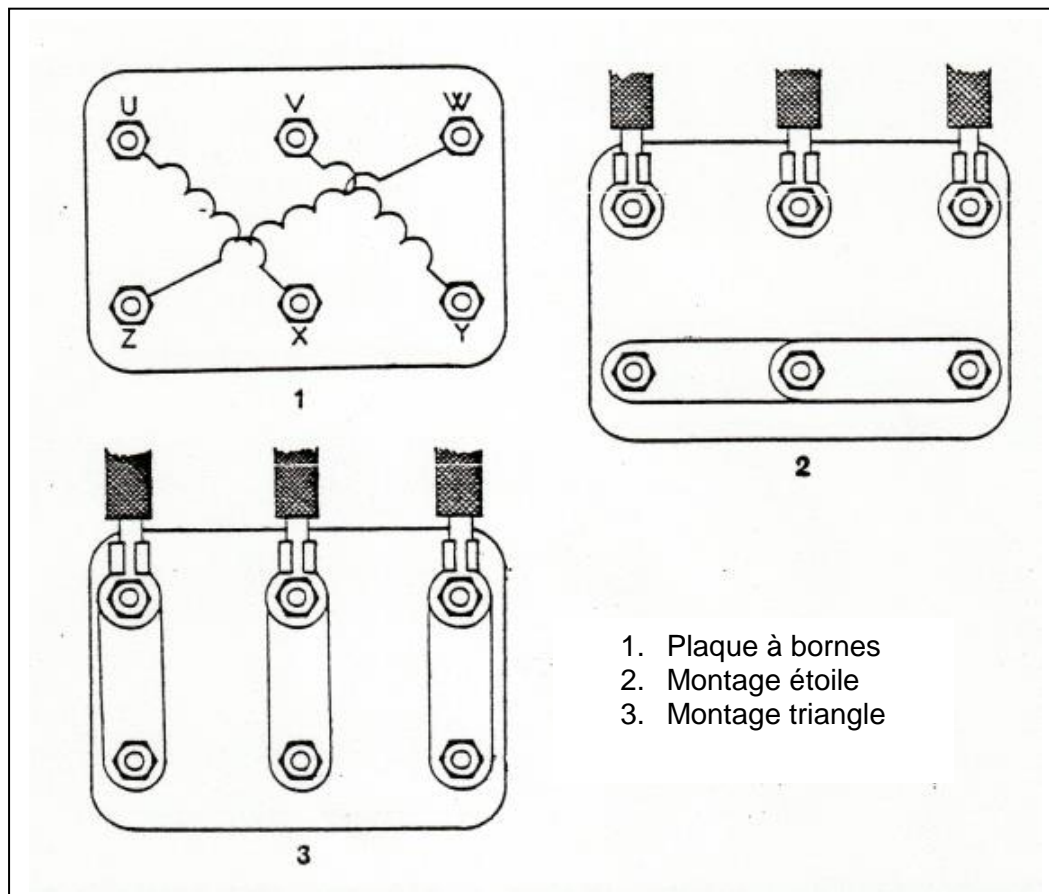


Plaque à bornes – moteur à cage



La disposition des bornes est normalisée et doit permettre le montage des phases en étoile ou en triangle par simple déplacement de trois barrettes conductrices.

La disposition des bornes est normalisée et doit permettre le montage des phases en étoile ou en triangle par simple déplacement de trois barrettes conductrices



Manutention des moteurs électriques

La manutention des moteurs électriques doit s'effectuer dans des conditions de sécurité absolue, tant pour les machines elles-mêmes que pour les personnes qui participent à la manutention. Les conditions de sécurité dépendent de la masse et des dimensions du moteur, de la fragilité des organes et du but de la manutention : pose, dépose, mise sur camion ou wagon, simple déplacement.

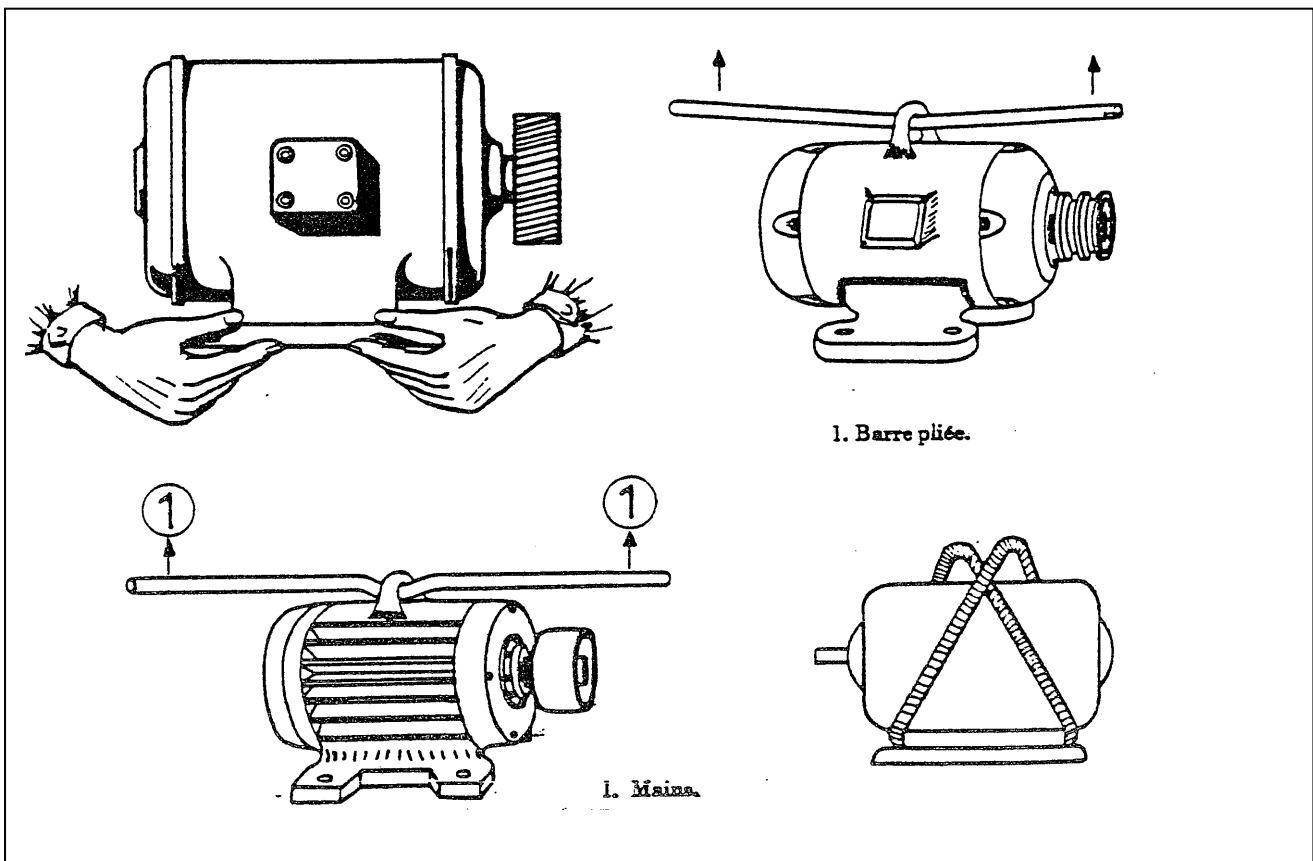
Dans toute opération de manutention il faut :

- **choisir un appareil de manutention adapté à la charge ;**
- **ne jamais dépasser la limite de sécurité des câbles utilisés ;**
- **protéger les câbles des arêtes vives au moyen de planchettes ;**
- **ne jamais mettre un pied ou une main sous la machine sans y introduire une cale plus épaisse que le membre engagé ;**
- **ne jamais stationner sous une charge.**

Moteurs de petite puissance

Les moteurs de petite puissance (jusqu'à 5 Kw) peuvent se déplacer sans engin mécanique. Jusqu'à 30 Kg de masse, et sur de courtes distances, la manœuvre s'effectue à bras d'homme. Il suffit de passer les mains sous le moteur et de le transporter en l'appliquant bien contre soi. Ne jamais saisir un moteur par ses organes mobiles et par ses protecteurs.

Au-delà de 30 Kg, et jusqu'à 80 Kg de masse, le transport sur de courtes distances doit se faire par deux personnes qui utilisent une barre passée dans un anneau prévu sur la machine ou sous une élingue. La barre doit avoir une forme spéciale ou être tout simplement pliée pour éviter le glissement.



Moteurs lourds

Au-delà d'une masse de 80 Kg le déplacement des moteurs demande le recours à des engins mécaniques.

Engins de levage

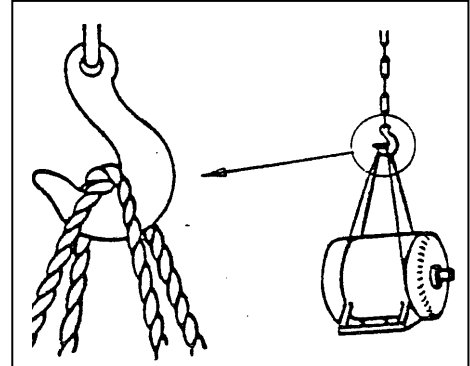
Chaque fois que cela est possible, il faut avoir recours à des systèmes de levage tels que potence, chèvre, portique, grue ou pont roulant. Ces moyens permettent d'élever le moteur à une certaine hauteur ou de le déplacer sur grande longueur sans risque. La première précaution à prendre est de veiller particulièrement à l'amarrage du moteur.

Certains moteurs possèdent un anneau de levage. A défaut d'anneau de levage, on amarre le moteur au moyen d'un cordage en chanvre ou d'une élingue. La section des élingues doit être en rapport avec le poids du moteur. On admet généralement 10N/mm pour les élingues en chanvre et 60N/mm pour les élingues en acier.

Les cables de levage doivent être placés sur la carcasse même du moteur et, pour éviter le cisaillement, en dehors des arêtes vives.

L'angle formé par les élingues ne doit pas être trop grand et ne jamais dépasser 120°.

L'opération de levage doit s'effectuer lentement et sans à-coup.



Déplacement sur rouleaux

Selon l'importance du moteur, on peut utiliser des rouleaux constitués par des tubes d'acier de 40 à 60mm de diamètre.

Il faut toujours utiliser trois rouleaux de manière à faire passer le dernier vers l'avant au fur et à mesure du déplacement. Le moteur doit toujours être fixé sur des madriers de sapin. Si le moteur est de grosses dimensions, on utilise un levier pour le déplacement.

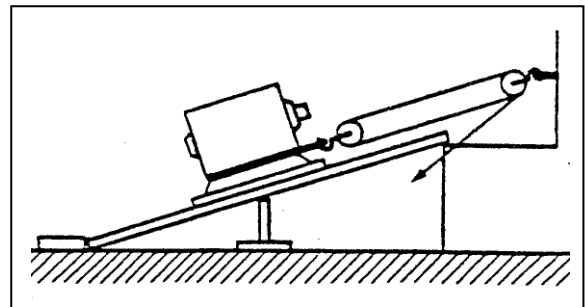
Chaque fois que cela est possible on utilise des chariots spécialement conçus pour la manutention.

Plan incliné

Pour élever les moteurs à des hauteurs inférieures à 1,5 m on peut utiliser, en l'absence d'autre moyen de levage, un plan incliné avec un palan.

Selon la masse du moteur il faut utiliser des rouleaux, ou simplement laisser glisser les madriers sur le plan incliné. L'absence de rouleaux constitue une sécurité, en cas de rupture de l'attelage, car le moteur ne peut faire marche arrière.

Le plan incliné est constitué par des bastings au milieu desquels il faut placer un support pour éviter une trop grande fléxion.



Il faut absolument éviter tout choc quand l'arbre du moteur est porteur d'un codeur ou d'une dynamo tachymétrique, ces appareils étant fragiles.

Installation d'un moteur

Contrôle et réception

L'installation et la maintenance de chaque moteur se feront conformément aux instructions de la notice technique jointe à la livraison.

A la livraison, vérifiez l'état du moteur ; tout dommage doit être immédiatement signalé au transporteur.

Vérifiez toutes les valeurs de la plaque signalétique, plus particulièrement la tension et le couplage (Etoile ou triangle)

Démontez l'éventuel dispositif d'immobilisation du rotor (protection pendant le transport) ; tournez l'arbre à la main pour vérifier qu'il tourne librement.

Alignement des accouplements

Les moteurs doivent être alignés avec précision ; l'alignement est particulièrement important dans le cas de moteurs à accouplement direct. Un défaut d'alignement peut provoquer la détérioration des roulements, des vibrations, voire la rupture des bouts d'arbres. En cas d'un bruit de roulement ou de vibrations, vérifiez immédiatement l'alignement.

Il y a trois méthodes possibles (voir fiches spécifiques) :

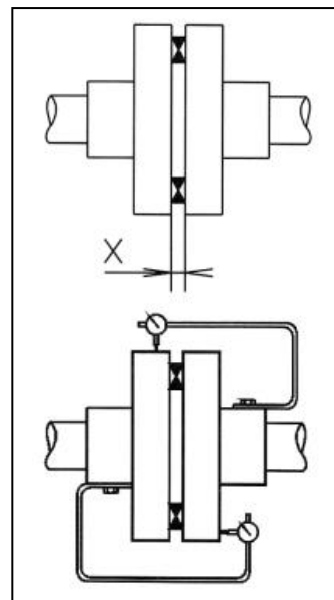
- lignage laser ;
- méthode des comparateurs ;
- utilisations de règle, calibre à lame, calibre en coin..

Pour un petit moteur, si on ne veut pas faire appel à l'une de ces méthodes, il importe de procéder comme suit :

Pour vérifier si les arbres sont parallèles, mesurez avec une jauge d'épaisseur la distance x entre les bords intérieurs des demi-accouplements sur un point de la circonférence. Tournez ensuite les deux demi-accouplements ensemble sur 90° , sans modifier la position relative des arbres et remesurez exactement au même point. Mesurez à nouveau la distance après rotation sur 180° et 270° . En principe, l'écart entre la mesure maxi et la mesure mini ne doit pas dépasser 0,05 mm.

Pour vérifier si les deux arbres sont dans l'axe, placez une règle en acier parallèle aux arbres sur la circonférence tournée d'un demi-accouplement et mesurez le jeu entre la circonférence de l'autre demi-accouplement et la règle en quatre points comme pour vérifier le parallélisme. L'écart entre la mesure maxi et la mesure mini ne doit pas dépasser 0,05 mm.

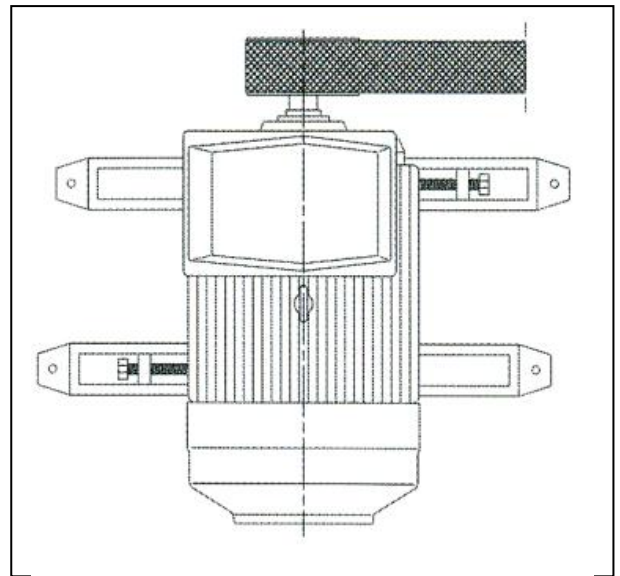
Lorsque vous alignez un moteur sur une machine dont la carcasse atteint une température différente de celle du moteur en service normal, les écarts de hauteur d'arbre doivent être pris en compte. Pour le moteur, l'augmentation de la hauteur est d'environ 0,03 % entre la T° ambiante et la T° de fonctionnement à puissance mani. Voir à ce propos les valeurs de dilatation données par le constructeur.



Alignement des poulies

Les moteurs d'entraînement à courroie doivent être montés sur des glissières comme illustrés ci-contre.

La glissière côté courroie doit être positionnée pour que la vis de tension se trouve entre le moteur et la machine entraînée. La vis de l'autre glissière doit être de l'autre côté.



Pose et raccordement d'un moteur électrique

Consignation

Ne jamais oublier le respect des règles de sécurité en vigueur dans l'entreprise :

- permis de travail éventuel ;
- consignation pour la protection :
 - de celui qui installe,
 - de ceux qui utilisent.

Raccordement électrique

Le raccordement de la ligne électrique à la boîte à bornes des machines doit être souple. Il faut éviter toute traction entre les conducteurs et les bornes. On utilise souvent des gaines souples, flexibles, qui sont fixées par raccords, d'une part à la canalisation, et d'autre part à la boîte à bornes du moteur.

Dans certains cas les conducteurs sortent du moteur qui ne possède pas de plaque à bornes et le raccordement s'effectue dans une boîte fixée à l'extrémité de la canalisation.

Avant de mettre le moteur sous tension pour la première fois, il faut s'assurer qu'il est en parfait état mécanique, en particulier qu'il tourne librement à la main.

Un sens de rotation est-il désiré ? Avec le moteur asynchrone triphasé il n'est pas possible de connaître à l'avance le sens de rotation. **Donc, à la première mise en route il ne faut pas accoupler le moteur à la machine à entraîner si un mauvais sens de rotation peut entraîner des détériorations ; ceci vaut à chaque remplacement pour les moteurs > 5 CV.**

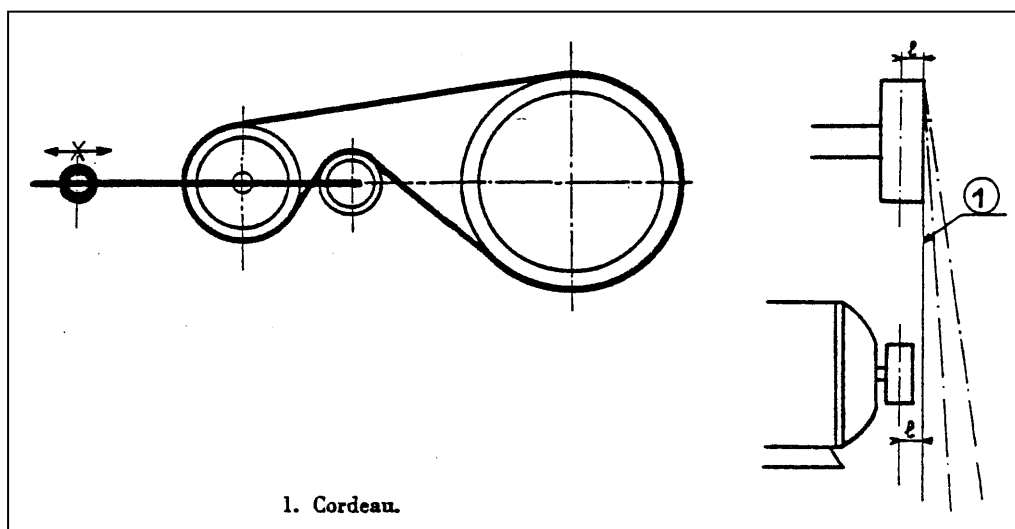
Entrainement

Entrainement par courroie

L'alignement doit être fait de telle façon que la courroie reste bien en position durant la marche.

La pose d'une courroie nécessite que :

- les deux poulies se trouvent sur le même alignement ;
- sa tension soit suffisante pour éviter le glissement, mais sans excès car cela pourrait endommager les roulements du moteur. Il faut la contrôler avec un **tensiomètre** (voir Mécanique).

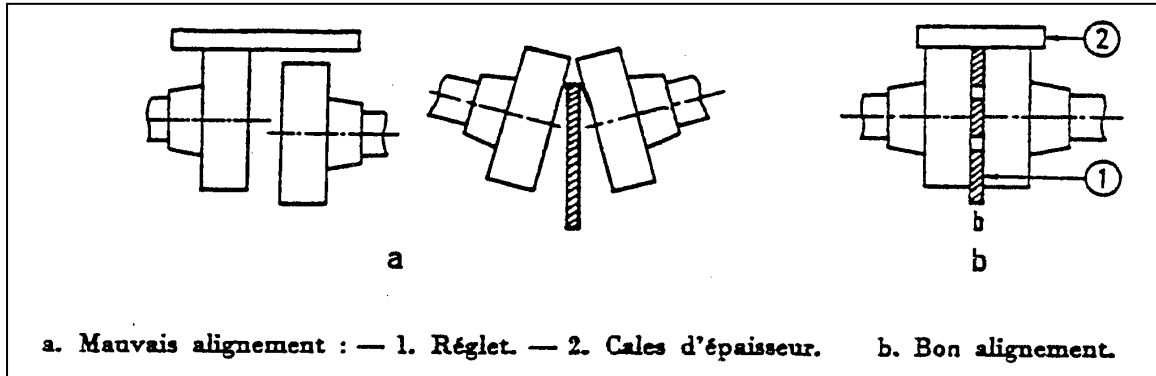


Entrainement par manchon d'accouplement

Accouplement rigide

Le manchon est constitué de deux plateaux clavetés sur les bouts d'arbres et boulonnés ensemble.

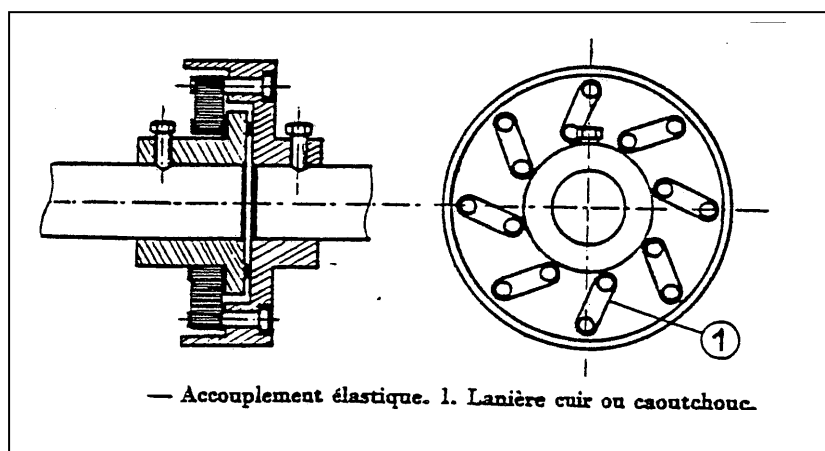
Ce mode d'accouplement **exige un alignement parfait des arbres.**



Il est conseillé de faire une mesure de vibrations pour vérifier le bon alignement.

Accouplement élastique

Il existe plusieurs systèmes de manchons élastiques. Le plus courant est constitué par deux plateaux qui comportent des doigts d'entraînement. Le mouvement est transmis par l'intermédiaire de petites courroies qui réunissent les doigts d'entraînement.

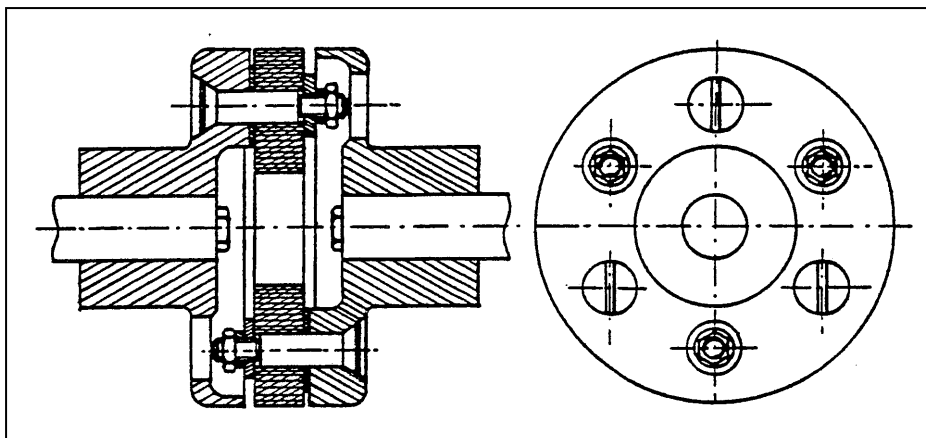


Les manchons élastiques sont utilisés lorsque certains à-coups peuvent se produire pendant la marche ou au démarrage.

Accouplement semi-élastique

L'un des plateaux est percé de six trous en général, l'autre comporte un nombre identique de doigts qui s'encastrent dans les trous.

Les doigts sont constitués par un axe en acier entouré de rondelles de cuir ou en caoutchouc.



On laisse un intervalle de quelques millimètres entre les plateaux.

Ce montage assouplit l'accouplement et admet quelques tolérances dans l'alignement des arbres.

Entrainement par engrenage

Ce procédé est utilisé dans les machines compacte où le moteur électrique est placé à l'intérieur même du carter.

L'alignement doit être parfait pour éviter l'usure prématurée des dentures.

Il est conseillé de bien le vérifier :

- par contrôle au bleu sur les dentures ;
- par une mesure de vibrations sur moteur et sur paliers de roue entraînée.

Arrêt prolongé d'un moteur électrique

Le danger essentiel pour un appareil électrique arrêté est l'action de l'humidité. Celle-ci peut provoquer des court-circuits par pontage de deux conducteurs ou par destruction de l'isolant. Aussi faut-il en cas d'arrêt prolongé ou de stockage :

- éviter les contacts inopinés avec l'eau et les autres liquides (lavage, inondation, pluie...) ;
- conserver les stocks dans leurs emballages ;
- aérer les locaux et entrepôts par temps chaud et sec, fermer les ouvertures par temps froid et humide ;
- éviter les condensations.

Avant le redémarrage, mesurez la résistance de l'enroulement par rapport à la masse dans les conditions hygrométriques et de températures de fonctionnement. Un enroulement sain donne une lecture en centaines ou milliers de mégohms. La norme ANSI/IEEE 43 IEEE, indique pour l'essai de résistance d'isolement des Machines Tournantes comme minimum acceptable, une mesure d'1 mégohm plus 1 mégohm par kV de la tension nominale des moteurs. La résistance minimum acceptable pour un moteur de 460 V, est par exemple de 1.46 mégohm.

Si le séchage est nécessaire, on emploiera l'un des procédés suivants.

- ✓ Entraîner le moteur, à vitesse normal, dans un local bien aéré et non poussiéreux au moyen d'une autre machine. De temps en temps, contrôler la résistance d'isolement jusqu'à ce que la valeur prescrite soit obtenue.
- ✓ Faire travailler le moteur sous tension réduite (au quart ou cinquième de la tension normale) en ayant soin de choisir une tension suffisante pour qu'à vide le moteur atteigne sa vitesse normale. Le séchage peut être accéléré par une installation supplémentaire d'air chaud.
- ✓ Si les deux solutions indiquées ci-dessus ne peuvent être réalisées, le séchage peut être fait à l'arrêt.

On couvre le moteur de bâches ou on l'entoure d'un coffrage approprié. L'air chaud est obtenu au moyen de résistances électriques et d'un ventilateur. Il est prudent d'utiliser des résistances largement dimensionnées qui ne soient pas portées au rouge afin d'éviter tous risques d'incendie dans le local où se fait l'opération.

La température de l'air chaud ne doit pas dépasser 80°C et ne doit atteindre que progressivement cette valeur, afin d'éviter que l'humidité vaporisée par l'air chaud ne se condense sur les parties encore froides du moteur.

Contrôle d'isolement d'un moteur

Dans ce test, le châssis du moteur est mis à la terre et l'instrument d'essai (mégohmmètre) impose une tension CC sur les enroulements du moteur. La lecture de l'instrument est réalisée en mégohms.

Un enroulement sain donne une lecture en centaines ou milliers de mégohms. La norme ANSI/IEEE 43 IEEE, indique pour l'essai de résistance d'isolement des Machines Tournantes comme minimum **acceptable, une mesure d'1 mégohm plus 1 mégohm par kV de la tension nominale des moteurs**. La résistance minimum acceptable pour un moteur de 460 V, est par exemple de 1.46 mégohms. Attention, cependant, certaines règles peuvent imposer que le moteur soit rembobiné alors que la résistance enroulement à la terre est encore bien au-dessus de la valeur minimum acceptable

Impositions :

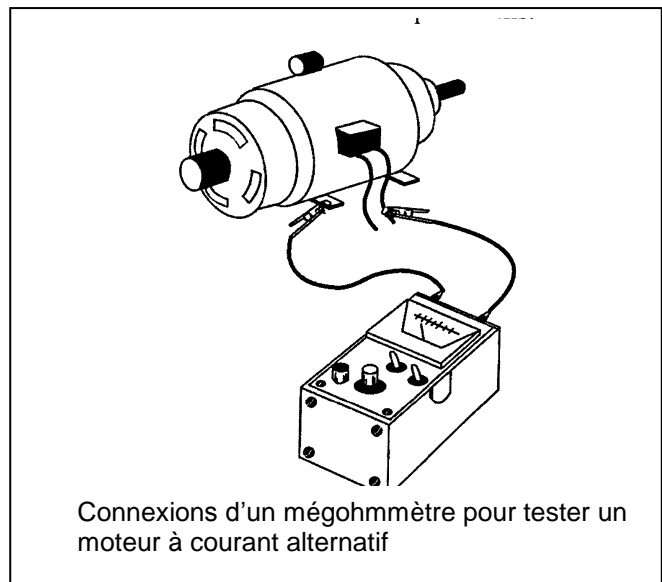
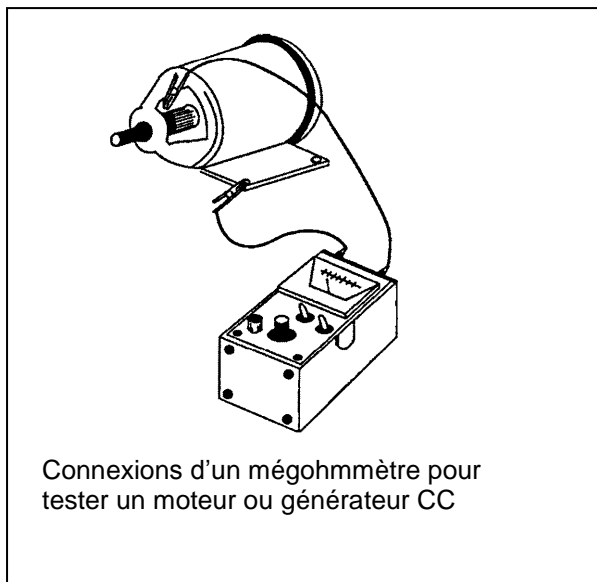
- Pour effectuer des essais d'isolement du stator, le moteur doit être sec.
Dans le cas contraire une opération de séchage préliminaire doit être réalisée avant de procéder aux essais.

- Les câbles d'alimentation électrique seront déconnectés avant les essais.

Attention : déchargez les enroulements dès la mesure terminée, pour prévenir tout risque de choc électrique.

Si vous n'obtenez pas la valeur de résistance de référence, les enroulements sont trop humides et doivent être séchés en étuve à 90°C pendant 12 à 16 heures et ensuite à 105°C pendant 6 à 8 heures. Les éventuels bouchons de trou de purge et couvercles de la boîte à bornes doivent être retirés pendant le séchage en étuve.

Des contrôles d'isolement sur moteurs en service doivent être faits régulièrement : voir maintenance préventive.



Mesure de l'index de polarisation

L'index de polarisation d'un moteur permet de déterminer l'état de pollution d'une isolation et par la même de juger de l'opportunité de procéder à son nettoyage.

Principe de l'essai

L'essai consiste à appliquer une tension continue parfaitement stabilisée entre les enroulements stator et la masse, et à suivre la décroissance hyperbolique du courant en fonction du temps.
L'index de polarisation est le rapport des courants mesurés à 1 et 10 minutes.

Explication du phénomène

L'isolation de l'enroulement stator constitue le diélectrique d'une capacité dont le cuivre et la masse sont les électrodes.

Lors de l'application d'une tension continue, il s'établit un courant hyperbolique de constante de temps assez longue qui est la résultante de 3 courants.

- Un courant de charge de la capacité fonction de la capacité du bobinage et dont la constante de temps est très courte.
- Un courant d'absorption résultant des diverses polarisations à l'intérieur de l'isolant (polarisation des dipôles, charges dans l'isolant évoluant sous l'effet du champ électrique). Ce courant varie lentement au cours du temps.
- Un courant de conduction dont la valeur dépend de l'état de l'isolation et qui subsiste après la disparition des autres courants.

Ces deux derniers courants sont très influencés par la pollution et la reprise d'humidité. L'index est le rapport des courants et il est d'autant plus faible que la machine est polluée.

Conditions à respecter

Un enroulement stator dont la température est supérieure de 5°C à la température ambiante ne subit pour ainsi dire pas de reprise d'humidité. De ce fait une anomalie (fissure récente dans l'isolation) peut ne pas être détectée en l'absence d'humidité ou de pollution.

Aussi la machine doit-elle être arrêtée suffisamment à l'avance de manière à ce que la température des enroulements soit égale à la température ambiante (environ 12 heures)

Réalisation

Généralement cette mesure est effectuée à partir d'un générateur qui délivre une tension de 500 V continue parfaitement stable.

L'index de polarisation est le rapport des courants mesurés à 1 minute et à 10 minutes.

Index supérieur à 4 : isolation très sèche et très propre

Index entre 2 et 4 : isolation sèche et propre

Index entre 1,5 et 2 : machine humide ou polluée

Index inférieur à 1,5 : isolation faible par suite d'une hydratation profonde ou en raison de courant de forte importance dû à un vieillissement ou à une pollution.

Cette mesure peut être effectuée lors de plusieurs circonstances :

- Avant la mise en service
- Après un arrêt prolongé ou un stockage de longue durée
- Lors d'un incident
- Pour maintenance préventive à une périodicité annuelle ou bi-annuelle.

Relevé des entrefers

Quelques incidents sérieux ont conduit à imposer une valeur minimale de l'entrefer en tenant compte des dimensions géométriques des machines, de leur vitesse de rotation et du type de palier.

Les valeurs minimales de l'entrefer devraient être mesurées à chaud car ce sont celles qui présentent un réel intérêt du point de vue de la robustesse des machines en exploitation. Mais ces mesures sont souvent très délicates à réaliser ; c'est pourquoi dans la majorité des cas on procède à des mesures d'entrefer à froid. En général, les valeurs limites des entrefers à froid sont prises égales à 1,15 fois les valeurs d'entrefer à chaud. En l'absence d'indication sur la valeur d'origine de l'entrefer à chaud, le tableau suivant permet de déterminer la valeur minimale pour la plupart des machines industrielles.

Nombre de paires de pôles « p »	Diamètre d'alésage D en mm			
	D < 750		D > 750	
	Machines à roulements	Machines à paliers lisses	Machines à roulements	Machines à paliers lisses
1	$e = 0,25 + \frac{D - 75}{300}$	$e = 0,375 + \frac{D - 75}{200}$	$e = 2,7$	$e = 4$
2	$e = 0,20 + \frac{D - 75}{300}$	$e = 0,30 + \frac{D - 75}{330}$	$e = 1,7$	$e = 2,5$
3 à 6	$e = 0,20 + \frac{D - 75}{800}$	$e = 0,30 + \frac{D - 75}{530}$	$e = 1,2$	$e = 1,8$
7 à 10	$e = \frac{D}{1000} \left(\frac{10}{2p} + 0,5 \right)$	$e = 1,5 \frac{D}{1000} \left(\frac{10}{2p} + 0,5 \right)$	$e = \frac{D}{1000} \left(\frac{10}{2p} + 0,5 \right)$	$e = 1,5 \frac{D}{1000} \left(\frac{10}{2p} + 0,5 \right)$

Lorsque le rapport $\frac{L}{D}$ (longueur de Fer) est supérieur à 1,75

La limite inférieure préconisée est obtenue en multipliant la valeur prévue dans le tableau précédent par le rapport $\frac{L}{D \times 1,75}$.

Les valeurs limites des entrefers étant ainsi précisées, il importe de porter attention à la qualité du centrage du rotor. Un mauvais centrage peut entraîner, entre autres, des sollicitations anormales au niveau des enroulements, des contraintes au niveau des paliers, des vibrations, des bruits magnétiques.

Le centrage est satisfaisant si les mesures de l'entrefer à froid effectuées en quatre points diamétralement opposés ne s'écartent pas d'une valeur moyenne mentionnées dans le tableau suivant. Si possible, il sera effectué quatre mesures en chacun des points en faisant tourner le rotor de 90°.

Machines asynchrones

- ✓ Pour un entrefer < 2,5 mm :
 - ± 8 % de l'entrefer prévu, pour la valeur moyenne
 - ± 8 % de l'entrefer moyen, pour les valeurs extrêmes
- ✓ Pour un entrefer > 2,5 mm :
 - ± 10 % de l'entrefer prévu, pour la valeur moyenne
 - ± 10 % de l'entrefer moyen, pour les valeurs extrêmes

Machines synchrones

- ✓ Pour un entrefer $< 3,15$ mm :
 - ± 10 % de l'entrefer prévu, pour la valeur moyenne
 - ± 16 % de l'entrefer moyen, pour les valeurs extrêmes
- ✓ Pour un entrefer $\geq 3,15$ mm et $< 6,3$ mm :
 - ± 10 % de l'entrefer prévu, pour la valeur moyenne
 - ± 14 % de l'entrefer moyen, pour les valeurs extrêmes
- ✓ Pour un entrefer $\geq 6,3$ mm et $< 12,5$ mm :
 - ± 8 % de l'entrefer prévu, pour la valeur moyenne
 - ± 10 % de l'entrefer moyen, pour les valeurs extrêmes
- ✓ Pour un entrefer $\geq 12,5$ mm et < 25 mm :
 - ± 6 % de l'entrefer prévu, pour la valeur moyenne
 - ± 7 % de l'entrefer moyen, pour les valeurs extrêmes
- ✓ Pour un entrefer ≥ 25 mm :
 - ± 5 % de l'entrefer prévu, pour la valeur moyenne
 - ± 5 % de l'entrefer moyen, pour les valeurs extrêmes

Lubrification d'un moteur électrique

La lubrification est une des composantes essentielles de la fiabilité du moteur.

Moteurs avec roulements graissés à vie

Les moteurs jusqu'à hauteur d'axe 180 sont normalement dotés de roulements « graissés à vie » de type Z ou 2Z.

Mais les roulements doivent être remplacés suivant les indications suivantes.

Intervalles moyens :

- Moteurs 4 pôles : 20 000 à 40 000 heures de fonctionnement, en fonction de l'application et des caractéristiques de charge.
- Moteurs 2 et 2/4 pôles : 10 000 à 20 000 heures de fonctionnement, en fonction de l'application et des caractéristiques de charge.
- Les intervalles plus rapprochés s'appliquent aux machines de hauteurs d'axes supérieures.

On peut augmenter ces intervalles par des contrôles de bruits des roulements assez rapprochés.

Moteurs avec système de lubrification

La lubrification se fait avec le moteur en marche. Si le moteur comporte un bouchon d'évacuation de la graisse, celui-ci doit être ouvert temporairement pendant la lubrification ou de manière permanente dans le cas d'un système de lubrification automatique.

Les tableaux suivants donnent les intervalles de lubrification recommandés.

Ces valeurs s'appliquent à des moteurs à arbre horizontal. Elles doivent être réduites de moitié pour les moteurs à arbre vertical.

Roulements à billes

Hauteur d'axe	Qté g	3600 r/min	3000 r/min	1800 r/min	1500 r/min	1000 r/min	500 r/min
112	12	10000	13000	18000	21000	25000	28000
132	15	9000	11000	17000	19000	23000	26500
160	26	7000	9500	14000	17000	21000	24000
180	30	6000	8000	13500	16000	20000	23000
200	40	4000	6000	11000	13000	17000	21000
225	46	3000	5000	10000	12500	16500	20000
250	60	2500	4000	9000	11500	15000	18000
280	67	2000	3500	8000	10500	14000	17000
315	90	2000	3500	6500	8500	12500	16000
355	120	1200	2000	4200	6000	10000	13000
400	120	1200	2000	4200	6000	10000	13000

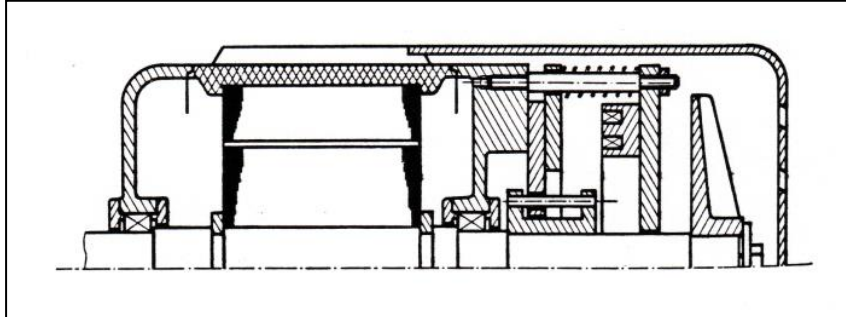
Roulements à rouleaux

Hauteur d'axe	Qté g	3600 r/min	3000 r/min	1800 r/min	1500 r/min	1000 r/min	500 r/min
160	25	3500	4500	7000	8500	10500	12000
180	30	3000	4000	7000	8000	10000	11500
200	40	2000	3000	5500	6500	8500	10500
225	50	1500	2500	5000	6000	8000	10000
250	60	1300	2000	4500	5700	7500	9000
280	70	1000	1700	4000	5300	7000	8500
315	90	1000	1700	3300	4300	6000	8000
355	120	400	1000	2000	3000	5000	6500
400	120	400	1000	2000	3000	5000	6500

Moteurs-freins

Un moteur-frein se compose d'un moteur normal auquel est adjoint un dispositif de freinage électromagnétique disposé sur l'arbre, et à l'intérieur même du moteur.

A la mise en route l'électro-aimant du frein est excité, ce qui a pour effet de débloquer les disques de freinage. Dès que le courant d'alimentation se coupe l'électro-aimant se désexcite et le moteur se bloque.



Les valeurs minimales de l'entrefer doivent être mesurées à chaud car ce sont celles qui présentent un réel intérêt du point de vue de la robustesse des machines en exploitation. Mais ces mesures sont souvent très délicates à réaliser ; c'est pourquoi dans la majorité des cas on procède à des mesures d'entrefer à froid. En général les valeurs limites des entrefers à froid sont prises forfaitairement égales à 1,15 fois les valeurs d'entrefer à chaud. En l'absence d'indication sur la valeur d'origine, voici des indications.

Paires de pôles	Machines à roulements		Machines à paliers lisses	
	10 KW	150 KW	10 KW	150 KW
1	0,25	2,7	0,40	4
2	0,20	1,7	0,30	2,5
3 à 6	0,20	1,2	0,30	1,8

Les valeurs d'entrefer doivent être contrôlées 1 fois par semestre

Dégraissage des collecteurs et bagues

Pour le dégraissage des collecteurs et bagues, l'emploi de solvants plus ou moins appropriés peut entraîner des difficultés de fonctionnement des balais. Dans ce cas on observe, à la mise en marche, d'abondantes étincelles qui endommagent la patine et une usure accélérée des balais.

Les solvants lourds, ceux qui distillent à haute température, sont plus nocifs que les solvants légers car ils polluent le moteur pendant plus longtemps.

Pour le dégraissage des collecteurs et bagues, les règles à observer sont les suivantes.

- ➔ Les solvants ne peuvent être utilisés que dans les cas indispensables, c'est-à-dire quand les collecteurs ou bagues sont très gras. Dans les autres cas, un nettoyage soigneux au chiffon sec est préférable.
- ➔ Quand l'usage du solvant est nécessaire, lorsque les entre-lames sont partiellement engorgés, le minimum indispensable est de sortir tous les balais de leur cage de porte-balai.
- ➔ Il est recommandé de dégraisser au chiffon imbibé ou au pinceau en évitant tout excès de solvant et en limitant l'opération à la seule zone à dégraisser.
- ➔ Le dégraissage terminé, il faut souffler énergiquement à l'air comprimé non seulement le collecteur, mais aussi les radiales, la couronne, les tiges et les porte-balais pour chasser les dernières traces de solvant.

Plus le solvant est lourd, plus le soufflage doit être soigné.

Solvants

Depuis longtemps on a substitué les solvants chlorés (inflammables) aux solvants hydrocarbonés : essence, white spirit, benzine... d'un usage trop dangereux.

Solvants légers

Tétrachlorure de carbone (C Cl_4).....	76°C
Chloroéthène ou Baltane ou Trichloroéthane ($\text{C Cl}_3 - \text{CH}_3$).....	70°C à 88°C
Trichloréthylène ($\text{C Cl}_2 - \text{CH Cl}$).....	87°C

Solvants lourds

Tétrachloroéthylène ou Perchloréthylène ($\text{C Cl}_2 - \text{C Cl}_2$).....	119°C
Xylol ($\text{C}_6\text{H}_4 (\text{CH}_3)_2$).....	138°C à 144°C
Tétrachlorure d'acétylène ($\text{CH Cl}_2 - \text{CH Cl}_2$).....	147°C

Rodage des balais

Le rodage consiste à donner à la face frottante d'un balai neuf, l'enacte courbure du collecteur ou de la bague, de façon à ce que le bon contact mécanique et électrique du balai soit bien assuré dès sa mise en service.

Remarque : les balais neufs sont parfois fournis avec face frottante préformée, c'est-à-dire avec face courbe usinée au rayon demandé.

Cette courbe n'est qu'approchée et ne dispense pas des opérations de rodage.

L'avantage du préformage est de raccourcir sensiblement le temps de rodage.

Rodage sur meule

Le rodage des balais peut se faire, pour collecteurs ou bagues de petit ou moyen diamètre (jusqu'à un diamètre de 500 environ) sur meules carborundum de diamètre égal à celui du collecteur ou de la bague.

Il faut naturellement, pendant le rodage, que le balai soit maintenu rigidement contre la meule, non pas à la main, mais par l'intermédiaire d'un porte balais finé à 2 ou 3 mm de la meule ; ensuite, il faut souffler soigneusement la face frottante pour en éliminer les grains d'abrasifs qui auraient pu s'y finir.

La méthode est rapide, mais approchée.

Rodage sur machine

Le rodage se fait le plus souvent sur la machine elle-même : rodage à la toile abrasive grain moyen (grain 60) appliquée sur tout ou partie du collecteur (ou de la bague), avec des pinces appropriées ou à la main. Les balais neufs mis en place dans leur porte balai et appuyant sur la toile, on fait osciller le rotor jusqu'à rodage complet des faces frottantes.

Sur machines lourdes, s'il faut roder les balais ligne par ligne par va-et-vient de la toile tenue à la main, il faut éviter de lever la toile sous les balais ce qui conduirait, après rodage, à des surfaces trop réduites et mal définies.

- Sur moteurs réversibles, le rodage doit se faire successivement pour les deux sens de marche. Sur moteurs à un seul sens, il faut évidemment roder les balais pour le sens de rotation de la machine.
- Il faut retenir que les balais, même bien rodés, risquent vibrer dès la mise en route sur collecteurs (ou bagues) rectifiés au diamant, c'est-à-dire polis « brillants ».

Nous recommandons toujours de dépolir préalablement les surfaces brillantes des collecteurs d'un coup de toile fine, afin de faciliter dès le départ l'accrochage du graphite sur les pistes de frottement et d'accélérer ainsi la formation de la patine.

- Quand on remplace des balais pièce par pièce sur grosses machines, on peut à la rigueur mettre en service des balais pré rodés ou à face préformée sans parfaire le rodage si le nombre de balais neufs est petit comparé au nombre total des balais (20 % environ) et s'ils sont répartis tout autour du collecteur. L'auto rodage des balais neufs s'effectue alors en service sans perturber le fonctionnement des autres balais.

Rodage des balais avec pierre ponce

Le rodage à la pierre ponce spéciale se pratique sur les grosses et très grosses machines tournant toujours sous tension très réduite pendant le ponçage.

Les poussières de ponce, agissant comme abrasif, usent le charbon exactement au profil du collecteur.

La méthode est bonne quand on n'en abuse pas, car le ponçage use un peu de métal du collecteur ou des bagues. Elle n'est applicable que pour des rodages ne nécessitant qu'une usure réduite de charbon.

Opérations préalables

- Coupez la ventilation collecteur (retirez les fusibles du moteur).
- Shuntez le contrôle « pression ventilation collecteur ».
- Dégagez et balisez la zone de travail. Consignez la puissance.
- Ouvrez la ou les trappes.
- Remplacez les balais usagés en repérant l'emplacement géographique de ceux qui sont réformés.
- Procédez à une inspection visuelle générale des porte-balais et du collecteur

Sécurité du travail

Prévoir 4 personnes

- 1 opérateur Fabrication devant la machine.
- 1 opérateur Fabrication devant le boîtier de commande.
- 1 opérateur Electricien sur le collecteur muni des équipements de protection (Combinaison + masque anti-poussière + lunettes + gants et bottes isolants + harnais de sécurité).
- 1 Electricien responsable du chantier.

Zone de travail :

Elle sera bien dégagée, balisée, éclairée et il n'y aura aucune trace de liquide au sol.

Mise en rotation

- Effectuez une tournée de sécurité de l'outil (fabrication).
- Déconsignez la puissance.
- Faites un essai de l'arrêt d'urgence à basse vitesse.
- Réglez la vitesse du rodage en fonction du diamètre D du collecteur :
 - Si $D < 120$ mm, $V_r : 25 \%$ de V nominale du moteur
 - Si D est entre 120 et 200 mm, $V_r = 20 \%$ de V_n
 - Si D est entre 200 et 300 mm, $V_r = 15 \%$ de V_n
 - Si $D > 300$ mm, $V_r = 10 \%$ de V_n

Rodage (15 minutes maximum)

- Appliquez régulièrement la pierre sur toute la largeur du collecteur.
- Répétez l'opération sur le côté diamétralement opposé (sur les très gros moteurs, il est souvent utile d'appliquer la pierre sur 4 axes décalés de 90°)
- Il n'est pas nécessaire d'appuyer fortement sur le collecteur mais il faut que les grains d'abrasif soient projetés entre collecteur et balais (raison de l'arrêt de la ventilation).

Contrôle

- Arrêtez le moteur et consignez la puissance.
- Soufflage à l'air comprimé ($< 2,5$ bars)
- Contrôle du bon rodage de tous les balais sur toute leur surface frottante.
- Contrôlez plus particulièrement les balais en amont de la pierre dans le sens de rotation.

Pierrage du collecteur

CONDITIONS à respecter avant de commencer le travail : prévenir la Fabrication et s'assurer de la présence permanente de 2 électriciens habilités.

Opérations préalables

- Laisser la ventilation en service pour évacuer les poussières de cuivre.
- Dégager et baliser la zone de travail. Consigner la puissance.
- Ouvrir la ou les trappes.
- Procéder à une inspection visuelle générale des balais, porte-balais et du collecteur.
- Si des balais doivent être remplacés, effectuer leur rodage avant le pierrage du collecteur.

Sécurité du travail

Prévoir 4 personnes

- 1 opérateur Fabrication devant la machine.
- 1 opérateur Fabrication devant le boîtier de commande.
- 1 opérateur Electricien sur le collecteur muni des équipements de protection (Combinaison + masque anti-poussière + lunettes + gants et bottes isolants + harnais de sécurité).
- 1 Electricien responsable du chantier.

Les 2 électriciens sont habilités à la classe de tension du moteur électrique.

Zone de travail :

Elle sera bien dégagée, balisée, éclairée et il n'y aura aucune trace de liquide au sol.

Mise en rotation

- Effectuer une tournée de sécurité de l'outil (fabrication).
- Déconsigner la puissance.
- Faire un essai de l'arrêt d'urgence à basse vitesse.
- Régler la vitesse du pierrage à environ 50 % de la vitesse nominale. (60 % pour les collecteurs d'un diamètre inférieur à 300 mm).

Pierrage

- Utiliser des pierres à roder avec manche ou poignée, gros grains pour les collecteurs très rayés et grains moyens pour les finitions.
- Appliquer régulièrement la pierre sur toute la surface du collecteur en exerçant une pression constante et en tenant la pierre bien parallèle à la surface à roder.

Contrôle

- Arrêter le moteur et consigner la puissance.
- Contrôler l'état de surface du collecteur.
 - Si l'état de surface n'est pas bon, il faut reprendre le pierrage.
- Contrôler le chanfrein des lames (absence de bavures de cuivre).
 - Chanfreiner si nécessaire.

- Contrôler la rainure inter-lames (mica en retrait de 1 à 1,5 mm et absence d'encrassement).

Nettoyage

- Déposer tous les balais pour soufflage complet à l'air comprimé basse pression ($\approx 2 \text{ b}$) sur les balais, les porte-balais et le collecteur (inter-lames).
- A ce stade, il est possible d'utiliser une cire spéciale pour favoriser une nouvelle patine. Tout excès est nuisible.

Remise en condition

- Reposer tous les balais et vérifier qu'ils coulissent bien en tirant sur les tresses (pas de point dur).
- Faire vérifier le travail par le responsable du chantier.
- Fermer les trappes.

Remise en service

- Déconsignation et rangement du chantier.
- Remise en service par la Fabrication.
- Contrôle de la bonne commutation, en pleine charge, par l'observation des étincelles aux balais.

Stockage des moteurs

→ Protection, emballage et conditionnement

- Protection anti-rouille des parties non peintes
- Obturer :
 - presse-étoupe ou entrée câbles,
 - évacuations de graisse usée, si enistants,
 - trous de purge, si enistants.
- La boîte à bornes doit être rigoureusement fermée.
- Si câbles sortis, protéger leur extrémité.
- Conserver les moteurs neufs dans leur emballage d'origine.

→ Conditions d'ambiance à respecter

- Sous entrepôt, dans un endroit propre et sec (éviter les projections de liquide, les risques d'inondation).
- Eviter la proximité de sources de vibrations.

→ Précautions de manipulation

- Ne jamais saisir le moteur par les organes mobiles et protecteurs.

→ Façon de stocker physiquement

- Placer le moteur dans sa position d'utilisation.
- Si moteur à balais, sortir ceux-ci de leur gaine.

→ Surveillance

Tourner le rotor d'un quart de tour tous les 3 mois.

Entraînements à vitesse variable

Généralités

Les moteurs asynchrones à cage offrent d'excellentes performances en termes de disponibilité, de fiabilité et de rendement. Cependant, ils ont deux points faibles : leurs performances au démarrage et une régulation de vitesse peu précise sur une large plage. Leur mise en vitesse variable, avec commande par un convertisseur de fréquence, permet de résoudre ces deux problèmes.

Les principaux avantages de la variation électronique de vitesse(VEV) sont :

- Optimisation et précision de la commande et de la régulation de vitesse amenant d'importantes économies d'énergie.
- Réduction de la maintenance.
- Amélioration de la qualité de production et gains de productivité.

Les moteurs à bagues ne sont pas recommandés pour la commande par convertisseurs.

Convertisseurs

➤ Convertisseurs directs (cycloconvertisseurs et convertisseurs matriciels)

Ils convertissent directement la puissance d'entrée en puissance de sortie sans circuits intermédiaires. Les cycloconvertisseurs sont utilisés pour les fortes puissances et aux basses fréquences.

➤ Convertisseurs indirects

Ils sont soit à source de courant, soit à source de tension.

Dans un convertisseur à source de courant, le circuit intermédiaire joue le rôle de source de courant c.c. et la sortie est constituée d'impulsions de courant commandées en Fréquence qui varient en continu et sont transmises aux différentes phases du système triphasé.

Dans un convertisseur à source de tension, le circuit intermédiaire joue le rôle de réseau de tension c.c. et la sortie est une impulsion de tension ou une série d'impulsions.

➤ Modulation de largeur d'impulsions

Le redresseur convertit l'alimentation réseau de tension et fréquence assignées fines en alimentation de tension c.c. fine. Cette tension c.c. fine est ensuite filtrée pour réduire la tension d'ondulation résultant du redressement de l'alimentation c.a. L'onduleur convertit ensuite l'alimentation c.c. de tension fine en alimentation de sortie c.a. de tension et fréquence variables.

Capacité de charge

Le couple maximum (limite de décrochage) doit être au moins supérieur de 40% au couple de la charge à n'importe quelle fréquence et la vitesse maxi admissible du moteur ne doit pas être dépassée.

Le couple est réduit du fait d'un échauffement supplémentaire lié aux harmoniques et le refroidissement est réduit selon la plage de fréquence.

➤ Filtrage

Le filtrage de la tension de sortie du convertisseur réduit la teneur en harmoniques de la tension et du courant moteur, et réduit donc les pertes supplémentaires dans le moteur. Il faut tenir compte de la puissance totale et de la plage de vitesse pour dimensionner les réactances (filtres)

Cependant, les filtres limitent le couple maxi du moteur.

➤ Refroidissement

L'efficacité du refroidissement est améliorée en montant un ventilateur de refroidissement séparé et tournant à vitesse constante, plus particulièrement pour les basses vitesses.

Mise à la terre

Dans un entraînement par convertisseur, une attention particulière doit être accordée à la mise à la terre pour garantir :

- ✓ un fonctionnement correct de tous les dispositifs de protection et des relais assurant la sécurité en général,
- ✓ un niveau minimum ou acceptable de perturbations électromagnétiques,
- ✓ un niveau acceptable de tensions dans les paliers pour éviter les courants parasites et la détérioration des roulements

Vitesse critique

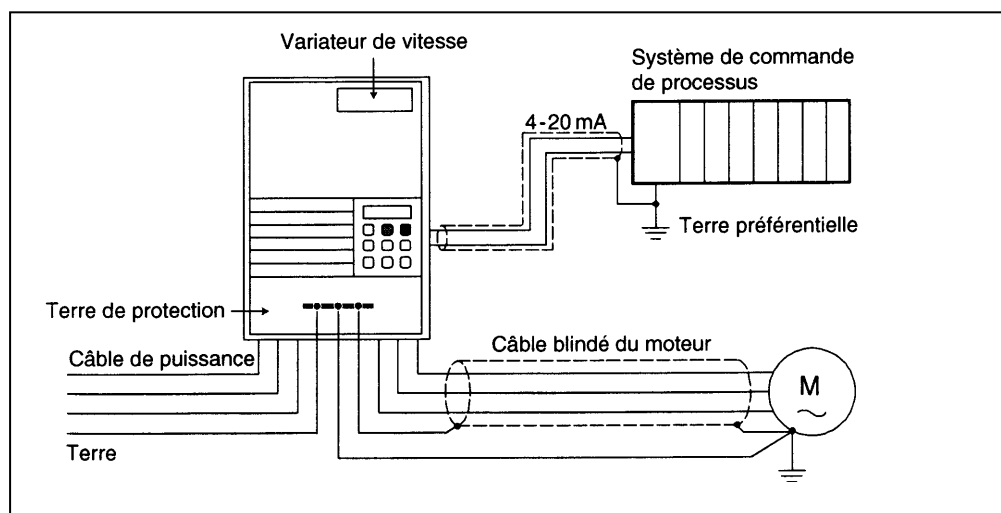
La première vitesse critique d'un moteur standard ne doit jamais être dépassée, et une marge de sécurité de 25% doit être prévue.

Mise en service des variateurs de vitesse

Vérifications de base

Avant toute mise en service d'un variateur de vitesse les vérifications ci-après sont nécessaires.

- ➔ Les câbles de puissance et du moteur sont correctement dimensionnés, installés et raccordés.
- ➔ Tous les blindages des câbles de puissance ont été correctement mis à la terre à chaque extrémité (pour maintenir un effet de cage de Faraday), à la borne de terre de protection du convertisseur, du moteur et du tableau de distribution.
- ➔ Les câbles de commande ont été installés conformément à la configuration du système de commande.
- ➔ Tous les blindages des câbles de commande ont été correctement mis à la terre à une extrémité seulement, de préférence à l'extrémité du système de commande de processus.
- ➔ Les câbles sont exempts de défauts avant la première mise sous tension.
- ➔ Les connexions du ventilateur doivent être vérifiées.



Réglages corrects des paramètres principaux

Un variateur de vitesse ne peut fonctionner correctement que si les paramètres de base sont définis conformément à l'application prévue.

Avant d'alimenter le convertisseur pour la première fois, il est recommandé de déconnecter les câbles du moteur jusqu'à ce que le réglage des paramètres de base soit effectué sur le convertisseur.

- ➔ La **tension de base** doit être sélectionnée en fonction du moteur électrique connecté à la sortie ; elle est généralement de 415 V en triphasé.
- ➔ Une **fréquence de base** correcte doit être sélectionnée pour la tension d'alimentation, en fonction du moteur connecté à la sortie. Elle est généralement de 50 Hz. Cela permet de présenter un rapport Volts/Hz de sortie correct au moteur.
- ➔ La **vitesse manimale** est habituellement fixée à 50 Hz, mais elle est souvent supérieure pour répondre aux besoins. Il faut veiller à ce qu'elle ne dépasse pas les capacités de l'entraînement.

- La **vitesse minimale** est normalement 0 Hz, mais elle est souvent supérieure pour répondre aux exigences des applications à couple constant.
- Le **courant nominal du moteur** dépend de la taille du moteur par rapport à la puissance nominale du convertisseur. Le courant nominal du convertisseur doit toujours être égal ou supérieur à celui du moteur. Pour protéger le moteur, un courant nominal correct doit être choisi.
- La **limite de courant** détermine le couple de démarrage du moteur. Si l'on souhaite un couple de démarrage élevé, un réglage jusqu'à 150 % fournit le couple de démarrage le plus élevé.
- L'**augmentation du couple de démarrage** est un paramètre qui peut être sélectionné si la charge présente un couple de démarrage élevé. Cette fonction doit être utilisée avec prudence pour éviter toute saturation du moteur à des vitesses faibles. Une valeur trop élevée peut provoquer une surchauffe du moteur.
- Le **temps d'accélération** détermine l'augmentation de la vitesse dans le temps, de la vitesse nulle à la vitesse manimale. Ce paramètre doit être défini en fonction de l'inertie de la charge mécanique et du type d'application. Par exemple, dans une application de pompage, le temps d'accélération doit être suffisamment long pour empêcher tout début de cavitation de la pompe et tout coup de bélier dans les tuyaux.
- Le **temps de décélération** détermine la diminution de la vitesse dans le temps, d'une vitesse manimale à une vitesse nulle.
Ce paramètre ne peut être défini que si l'option *ramp to stop* (rampe jusqu'à l'arrêt) est sélectionnée. Les autres options sont généralement *coast to stop* (inertie jusqu'à l'arrêt) et *DC braking* (freinage par injection de courant continu).
Le temps de décélération ne peut être inférieur au temps de décélération naturel que si une résistance de freinage dynamique a été installée.

Autres paramètres

Les paramètres ci-dessus sont les plus importants et doivent être vérifiés avant le démarrage. De nombreux autres paramètres sont généralement définis par défaut et sont adaptés à la plupart des applications. Cependant, pour un fonctionnement optimum, ils doivent être vérifiés et ajustés.

Contrôle des convertisseurs analogiques

La vérification consiste à comparer les valeurs affichées sur un appareil analyseur de puissance avec les valeurs indiquées au poste de commande centralisée.

L'appareil de vérification est raccordé au circuit tension de la zone à contrôler par l'intermédiaire de prises normalement prévues à cet effet sur le coffret puissance.

La pince ampèremétrique ou sonde est placée sur le conducteur de puissance.

La valeur de la mesure lue sur l'appareil de vérification doit être en corrélation avec la valeur lue simultanément au poste de commande centralisée.

La procédure est appliquée à la vérification de puissance, mais aussi des tensions et intensités.

Lorsque les conditions le permettent, la corrélation est faite sur plusieurs points.

On admet un écart de $\pm 2 \%$ entre les indications lues sur l'appareil de vérification et les indications lues au poste de commande centralisée.

Matériel utilisé

En principe le matériel de contrôle est du type Wattmètre digital monophasé, classe de précision 0,5 et peut effectuer des mesures du type train d'ondes ou des mesures à des fréquences de 4 khz. Il est muni d'une sortie analogique permettant l'adjonction d'un enregistreur.

La prise d'intensité est faite par pince ouvrente classe 0,5, calibre 100 A ou sonde ampèremétrique équivalente.

Périodicité

Etant donné l'importance des mesures de puissance, la périodicité des contrôles préconisée est de 6 mois.

REGLE DE L'ART	E22
CONVERTISSEURS ANALOGIQUES	Page 2 / 2

	Appareil de contrôle	Indication PCC	Indication au tableau	Ecart appareil de contrôle / PCC	Ecart appareil de contrôle / Tableau
TENSION	V	V	V	V	V
	V	V	V	V	V
	V	V	V	V	V
INTENSITE	A	A	A	A	A
	A	A	A	A	A
	A	A	A	A	A
PUISSANCE	KW	KW	KW	KW	KW
	KW	KW	KW	KW	KW
	KW	KW	KW	KW	KW

Protection des automates programmables

Le fonctionnement des automates programmables doit être protégé.

- ❑ Des parasites et des micro-arrêts (1/30 ou 1/60 sec) peuvent provenir de la distribution électrique intérieure.

Différents moyens existent pour s'en protéger : voir le tableau ci-après.

Le plus sûr est l'onduleur « on line ». Il doit être contrôlé régulièrement : charge de la batterie (sèche) et connections.

- ❑ Des parasites peuvent provenir de phénomènes internes.

A éviter :

- les raccordements sur un circuit commun avec l'éclairage,
- La proximité de commandes de ponts roulants.

En principe, un automate doit toujours rester sous tension pour se prévenir de perturbations dues à la condensation lors du redémarrage.

		Parasites	Harmoniques	Variations de tension	Coupures < 20 ms	Coupures > 20 ms	Variations de fréquences
Solutions sans autonomie	Filtre						
	d'isolement						
	Régulateur ferorésonnant de tension						
	Régulateur électrodynamique de tension						
	Conditionneur ferorésonnant de réseau						
	Conditionneur électronique de réseau						
Solutions avec autonomie	Onduleur stand by						
	Onduleur chopper						
	Onduleur on line						
	Groupe tournant						

Précautions avec les détecteurs

→ Nettoyage

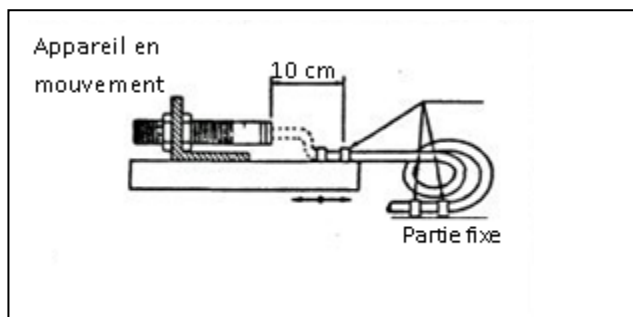
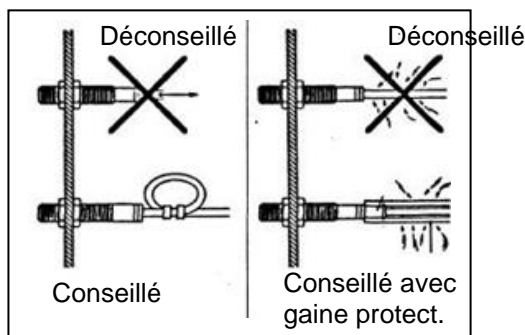
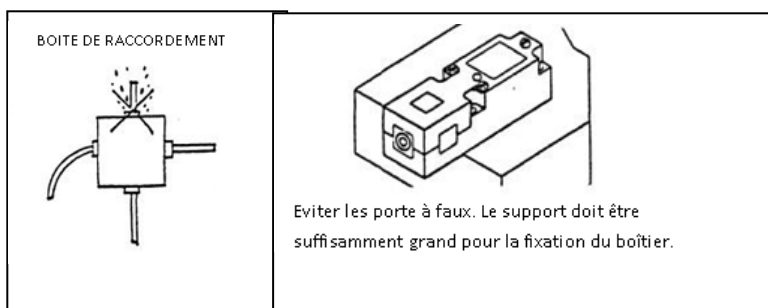
- Absence de dépôts ou de projections de saletés solides ou liquides.

→ Contrôle de l'état général

- Etat de la fixation du détecteur.
- Etat du support et de la patte d'attaque (desserrage, déformation).
- Positionnement du détecteur par rapport à sa patte d'attaque ou de la partie à détecter.
- Etat du câble, de ses connexions et de son (ou ses) supports :
 - le câble ne doit pas être trop tendu, ni pendre,
 - si le câble sort d'un tube métallique, celui-ci doit être muni d'un embout de protection en matière plastique,
 - vérifier qu'il n'y a pas de risque d'arrachement du câble.
- Etanchéité de la boîte de raccordement et du presse-étoupe : les entrées et sorties de câble de la boîte de raccordement doivent passer par les côtés latéraux et inférieur.
- S'il existe un capot de protection, vérifiez son état.

→ Contrôle éventuel du fonctionnement

- Effectuez le (ou les) mouvement.
- Vérifiez le changement d'état du détecteur en fonction des actions demandées.
- Vérifiez son état dans l'automate.



➔ **Cas d'un détecteur sur vérin**

Formalisez la procédure à suivre pour le réglage :

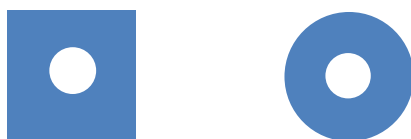
- Mettre le vérin en position d'appui
- Déplacer le capteur à droite jusqu'à ce que le led s'éteigne ; faire une marque.
- Déplacer ensuite le capteur à gauche jusqu'à ce que le led s'allume puis s'éteigne. Faire une marque.
- Positionner le capteur entre les 2 marques.

Précautions avec les cellules photo-électriques

Il est fréquent de constater des pannes dues aux cellules ; c'est pourquoi des précautions simples et basiques sont à prendre pour les éviter

→ Positionnement d'une cellule avec réflecteur

- Montez un cache-réflecteur avec une découpe circulaire en son centre d'un diamètre égal à environ :
 - 1/3 du diamètre pour les réflecteurs circulaires ;
 - 1/3 de la largeur pour les réflecteurs rectangulaires.



- Vérifiez si la cellule est activée ou désactivée (suivant le type de cellule)
- Si non, réglez la position de la cellule et/ou la position du réflecteur.

→ Positionnement d'une cellule avec récepteur

- Réglez la position de la cellule émettrice et/ou de la cellule réceptrice pour que le récepteur soit activé.

→ Nettoyage

- Ce type de capteur doit être régulièrement nettoyé : absence de dépôts ou de projections de saletés solides ou liquides sur la cellule et sur son réflecteur ou récepteur.

→ Finition

- Il est **IMPERATIF** de finir la cellule et son réflecteur avec des boulons bloqués : écrou bloquant ou rondelle frein ou goutte de loctite.

→ Etat du câble et des connexions

- Le câble ne doit pas être trop tendu, ni pendre.
- Si le câble sort d'un tube métallique, ce dernier doit être muni d'un embout de protection en matière plastique.
- Vérifiez qu'il n'y a pas de risque d'arrachement des câbles.

→ Boite de raccordement

- Les entrées et sorties de câble de la boîte de raccordement doivent passer par les côtés latéraux et inférieur.

→ Etat mécanique du réflecteur

- Si fendu, incomplet, changez le réflecteur.

Maintenance Préventive en Electricité

	Page
Moyens de contrôles divers.....	150
Moyens de contrôles non destructifs assez simples....	151
Thermographie.....	156
Essais électriques.....	159
Mesures de vibrations.....	163

Moyens de contrôles divers

Contrôles sensoriels

Ils sont connus ces rats du métier qui disent flegmatiquement en passant à côté d'une machine « Il faudrait jeter un p'tit coup d'œil ici ». Mais il est vrai que cette perception humaine – **voir, écouter, toucher, sentir** – tend à disparaître avec les systèmes de gestions informatiques modernes. Comment en effet résumer le sensoriel dans ce genre de système ?

Inspections audibles

Ces inspections sont faites durant les tournées. Ecoutez le bruit des équipements et notez les différences dans le temps. Le fonctionnement de la machine était doux hier et il est bruyant aujourd'hui, quel est la cause du changement ? Un crissement de courroie peut indiquer une surcharge ou une courroie détendue. Un grattement ou un bruit rythmé peut indiquer un glissement ou un frottement. Une dent cassée d'un réducteur peut être détectée pour tout « clic » ou bruit récurrent provenant de ce réducteur. Si un bruit anormal est perçu, il est important d'en trouver la source et de s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un élément qui causera un défaut de l'équipement.

Il est parfois intéressant d'utiliser un système d'écoute comme aide à l'identification de la source de bruit. Il y a plus de trente ans, on utilisait le manche de tournevis pour écouter les paliers. Aujourd'hui il existe de petits appareils permettant de faire cette écoute par les ultrasons, les vibrations ou les ondes de chocs. Le suivi peut même être fait en continu par des systèmes « à l'écoute » de plusieurs paliers.

Inspections visuelles

Cherchez les fuites, les desserrages, vérifiez les niveaux de fluides, la peinture brûlée, les arbres ou les capots vibrants.

Assurez-vous de la bonne installation et du bon fonctionnement des manomètres. Il est d'importance majeure de connaître la pression « normale » pour tout équipement rotatif. Il faut être attentif à la sur-lubrification. Elle salit non seulement le lieu de travail mais elle réduit aussi la vie des équipements. Si l'équipement est lubrifié par bague, il est souvent facile de faire une inspection visuelle de la bague ; ce test est effectif si elle s'arrête de tourner.

Inspections tactiles

Touchez l'équipement pour vous assurer que la température est acceptable. Ou est-ce plus chaud que lors de l'inspection précédente ? Est-ce un point chaud localisé ou une surface chaude globalement ?

Ressentez-vous une légère vibration dans vos doigts ? cela indiquerait une vibration de haute fréquence ou d'un rythme accéléré.

Touchez l'arrivée et la sortie d'eau ou d'huile d'un refroidisseur ; si la température est presque semblable c'est qu'il y a un bouchon.

Simplement toucher un équipement du bout des doigts donne déjà une impression subjective de la bonne marche d'un équipement. La méthode est raisonnablement acceptable pour détecter les vibrations en pratique. Le tout est de procéder régulièrement à ces tests afin de pouvoir discerner les changements.

Odorat

Une odeur « normale » en fonctionnement qui change soudainement en une autre est un indicateur de problème potentiel.

Exemples : odeurs d'une courroie ou d'une huile qui chauffent, odeur d'une peinture qui surchauffe assez pour se décolorer, etc.

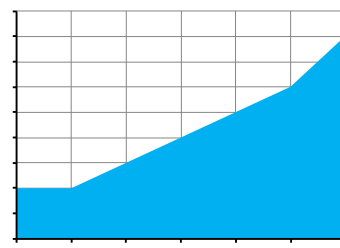
Moyens de contrôles non destructifs assez simples

■ Suivi des rendements

Dans certains cas le suivi des valeurs de paramètres de fonctionnement donne une très bonne indication de l'état de différents organes. Exemples :

- l'accroissement de vitesse de la vis d'une boudineuse pour une même production révèle une usure de la vis ;
- pour un système de refroidissement par circulation d'eau, la diminution de l'écart de T°C entre l'arrivée et la sortie d'eau indique un début de bouchage, alors que l'apport d'eau dans le système est significatif d'une fuite ;
- la baisse de température d'un réchauffeur indique la défaillance de x « épingles » de chauffage ;
- etc.

Lorsque l'exploitation est automatisée il est utile de recueillir systématiquement (1 ou 2 fois/mois) les valeurs de certains paramètres et de suivre leur évolution.



■ Outils métrologiques

mètre – réglet – pied à coulisse – micromètre – comparateur – jauges d'épaisseur – etc.

Ces outils sont essentiels pour un service de maintenance. Ils servent dans toutes les opérations de réparations, mais aussi en maintenance préventive : mesures de n pas d'une chaîne avec le mètre ou le réglet, voire le pied à coulisse pour les petites chaînes, contrôle du jeu d'un roulement au comparateur ou avec des jauges d'épaisseurs, etc...

■ Tournevis et appareils de contrôles des roulements

Pour le contrôle des roulements (moteurs) 4 moyens sont possibles

- ✓ le manche de tournevis ;
- ✓ l'appareil de mesure d'ondes de chocs ;
- ✓ l'appareil de mesure d'ultrasons ;
- ✓ l'appareil de mesure globale de vibrations.

Quel que soit le choix, un de ces outils est indispensable pour le contrôle des roulements en maintenance préventive.



Onde de chocs
ou Ultrasons
ou Vibrations

■ Appareils US pour détections de fuites d'air

Pour la détection de fuites d'air comprimé ou la détection d'entrées d'air dans les installations sous vide, la meilleure solution est l'utilisation d'un appareil de détection d'ultrasons.

Trois possibilités sont offertes :

- appareil à contact direct, détection à partir de 20 Hz ;



- appareil avec détection à distance avec pointeur laser, détection à partir de 40 Hz ;
- appareil avec détection à distance avec parabole.



Les fuites d'air comprimé coûtent toujours cher, ne serait-ce qu'en consommation électrique. Aussi un appareil de détection par ultrasons paraît très utile dans un service de maintenance.

▪ Appareils US pour contrôle des purgeurs

On peut utiliser l'appareil de détection par ultrasons pour contrôler le fonctionnement des purgeurs.



Objectif d'un purgeur : séparer le condensât de la vapeur

Purgeurs ouvert/fermé

- ➔ Purgeurs mécaniques (à flotteur ou à seau renversé)
- ➔ Purgeurs thermodynamiques à disque
- ➔ Purgeurs thermostatiques à bimétal

« Continuous Flow Steam Traps »

- ➔ Purgeurs thermostatiques à flotteur
- ➔ Orifices fines

Deux modes de défaillance :

Bloqué en ouverture
Bloqué en fermeture

▪ Produits traçants

Pour les autres fuites, deux solutions se présentent :

- utiliser des produits traçants avec une détection par une lampe UV ;
- utiliser des sprays (voir photos) avec détection par les bulles qui se forment en cas de fuites.



■ Tensiomètre vibratoire

La solution moderne consiste à utiliser un contrôleur de tension appelé tensiomètre (vendu par les fabricants de courroies)

Le mode opératoire est le suivant :

Tapez légèrement sur la courroie, et relevez la valeur vibratoire à l'aide de l'appareil spécifique.

Comparez avec la valeur de référence .

Tendez la courroie et refaites la mesure.

Répétez éventuellement l'opération jusqu'à l'obtention de la bonne valeur.



Une bonne formule est que le fabricant de courroies vous calcule les différentes références, mais les nouveaux appareils permettent de calculer directement la valeur. C'est un outil indispensable pour la maintenance préventive ; son prix est de l'ordre de 500 €.

■ Appareil pour contrôle de roulements à distance

Pour les roulements inaccessibles, la solution pour le suivi d'état existe sous forme de boîtiers permettant de suivre le bruit jusqu'à 8 paliers (voir notamment Mecason).

La solution est peu coûteuse.



Boîtier électronique permettant de suivre le bruit de 8 paliers

■ Mesureur de débit sans perçage de tuyauterie

L'**effet Doppler** est le décalage de fréquence d'une onde acoustique ou électromagnétique entre la mesure à l'émission et la mesure à la réception lorsque la distance entre l'émetteur et le récepteur varie au cours du temps.

Le vibromètre laser utilise le principe de l'effet Doppler et fonctionne sans contact. Il est donc particulièrement adapté pour mesurer des vibrations, là où des méthodes atteignent leurs limites ou ne peuvent tout simplement pas être utilisées. A titre d'exemple, les mesures de vibrations à la surface de matériaux liquides, sur structures extrêmement petite ou légères se font donc très facilement en utilisant un vibromètre laser.

Une autre solution consiste à faire appel aux **ultrasons**.

Le débitmètre par ultrason s'utilise pour des mesures de contrôle ou pour détecter de façon rapide le débit d'un tuyau; pourtant ce débitmètre par ultrason est un système de mesure transportable et à installation facile. Le débitmètre par ultrason travaille selon la méthode de différence dans le temps d'écoulement. Le principe de mesure du débitmètre par ultrason est très simple. Dans une mesure diagonale dans un tube on a besoin de moins de temps pour une mesure en direction du courant que pour une mesure en direction contraire. Plus le débit augmente, plus on a besoin de temps pour mesurer si la mesure est contre le courant, et moins on a besoin de **temps** si la mesure est dans le sens du courant. La différence entre les temps de fluide en direction du courant, ou en sens inverse, dépend directement de la vitesse du fluide. Le débitmètre par ultrason utilise cet effet pour déterminer la vitesse du fluide et du débit.

Les capteurs non destructifs se posent sur le tube et sont finis par exemple avec une bride. En peu de temps l'écran vous indique la vitesse du flux. Le débitmètre par ultrason peut s'utiliser dans des tubes métalliques, en plastique ou dans des tuyauteries en caoutchouc.

Ces appareils se louent facilement chez les sociétés spécialisées en location d'instruments de mesure.

- **Thermomètre de contact**

Dans la majorité des cas, l'appréciation d'une température se fait à la main. Pour un roulement ou un moteur, on estime souvent que la température d'alarme est de l'ordre de 55 à 60°C au-dessus de la température ambiante.

Cependant, il est utile d'avoir au moins un thermomètre de contact pour analyses plus poussées.

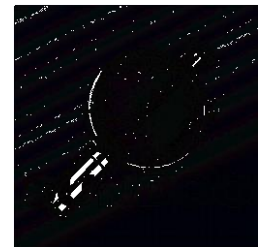
- **Thermomètre infrarouge**

Lorsque les organes ne sont pas accessibles, le thermomètre infrarouge trouve son application. Il est recommandé d'avoir un thermomètre dont la déperdition par mètre ne soit guère plus supérieure à 1°C.



- **Shoremètre**

Il existe des appareils permettant de mesurer directement la dureté d'un organe, par exemple le shoremètre permet de contrôler la dureté de bandes transporteuses.



- **Stroboscope**

Le stroboscope peut être utile pour mesurer des vitesses. On le loue facilement.

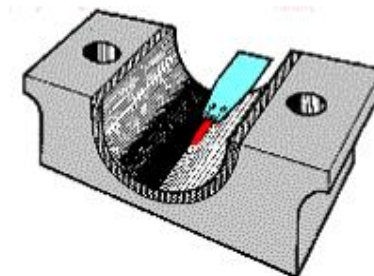
- **Fil pour contrôle des coussinets**

Le contrôle du jeu d'un coussinet se pratique par la technique du « **Plastigage** »

On détermine la valeur du jeu diamétral en mesurant la largeur d'un fil de dimensions connues après écrasement.

Il est recommandé de poser le fil plastique dans l'eau chaude pour le ramollir ; ensuite le fil est placé à sec sur le palier du vilebrequin puis écrasé lors de la mise en place et serrage au couple recommandé du chapeau de palier

Une fois le chapeau déposé, on mesure la largeur du fil écrasé grâce à l'échelle imprimée sur l'étui, qui convertit directement cette valeur en jeu.



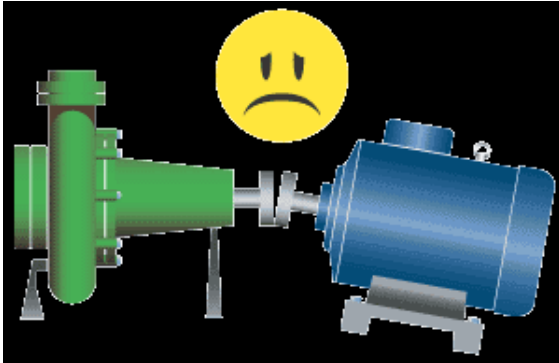
■ Appareil de lignage laser

Le bon alignement d'équipements comme les moteurs, pompes et réducteurs, est essentiel pour une bonne durée de vie des roulements.

Le contrôle des accouplements avec réglets et jauges n'est pas suffisant pour les ensembles critiques.

Le choix est à faire entre deux solutions valables :

- appliquer la méthode des deux comparateurs,
- ou utiliser un équipement de lignage laser.



Cette liste de moyens de CND simples n'est pas exhaustive. De très nombreuses possibilités existent sur le marché.

Maintenance préventive

La maintenance préventive devrait se décliner suivant trois niveaux :

➔ Contrôles par l'Exploitation

Ce sont des contrôles journaliers du bon fonctionnement des équipements, avec quelques contrôles d'états d'organes (surtout sur le plan des encrassements et bourrages), à réaliser par des opérateurs ou des rondiers. Des check-lists s'imposent.

➔ Contrôles sensoriels par la Maintenance

Ces contrôles sont en principe hebdomadaires et concernent les inspections audibles, visuelles, tactiles et par l'odorat.

Ils peuvent être réalisés par des mécaniciens, des électriciens ou par des graisseurs qui connaissent bien, en principe, le bruit des paliers.

➔ Contrôles spécifiques par la Maintenance

Ces contrôles sont étudiés dans le détail d'un Plan de maintenance préventive. Leur réalisation doit être le plus possible prédictive.

Les périodicités des visites peuvent être :

- calendaires (ce qui facilite les plannings)
- suivant le taux d'usure des équipements.

Pour ces contrôles on peut faire appel à des moyens de CND plus complets que ceux exposés précédemment, tels que ceux exposés ci-après :

- ✓ Thermographie
- ✓ Essais électriques
- ✓ Mesures de vibrations

Thermographie

But

L'intégration de la thermographie dans un programme de maintenance prédictive permettra de surveiller le rendement thermique des systèmes critiques qui reposent sur l'échange ou la conservation de chaleur; les équipements électriques et d'autres paramètres qui amélioreront à la fois la fiabilité et le rendement des équipements. Elle peut aussi être utilisée pour détecter des problèmes (raccordements lâches ou corrodés, mauvais contacts, charges déséquilibrées, surcharge, surchauffe de paliers, enroulements coupés ou ouverts, surchauffe des balais, bagues collectrices et commutateurs, passages de refroidissement obturés...) dans une variété de systèmes et d'équipements.

Après étude thermographique, le programme de maintenance doit être appliqué afin d'éliminer les causes des problèmes. Des études doivent être réalisées périodiquement afin de surveiller l'évolution des équipements. Les études thermographiques ne sont valables que si de bonnes pratiques de maintenance sont en vigueur.

Limites d'application

Cette étude peut être appliquée à la plupart des systèmes mécaniques et électriques y compris appareillage électrique, engrenages, sous-stations électriques, transmissions, tableaux de disjoncteurs, moteurs, enveloppes, paliers; lignes vapeur et systèmes de process.

Etude thermographique

Principes

La thermographie (infra-rouge; scanners thermiques) utilise des caméras vidéo ou fines infra-rouge conçues spécialement pour produire des images (appelées thermogrammes, se référer à la fig.1) qui montrent les variations thermiques de surface.

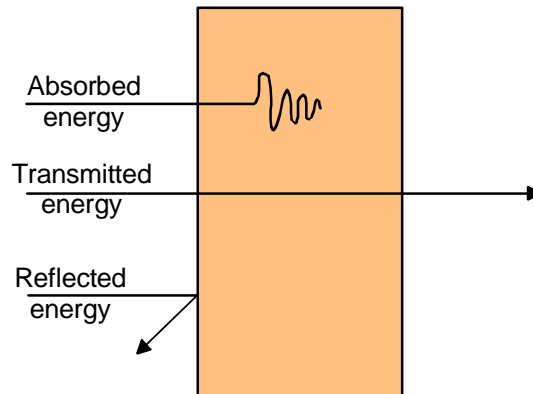
La thermographie est une technique de maintenance prédictive de surveillance de l'état des composants des équipements, de la structure et des systèmes; elle ne se limite pas aux équipements électriques mais peut aussi s'étendre aux systèmes mécaniques. Elle utilise l'instrumentation pour lire les émissions infra-rouge (température de surface) pour déterminer les conditions de fonctionnement. La détection d'anomalies thermiques (zones plus chaudes ou plus froides qu'elles ne devraient l'être) permet à un technicien expérimenté de localiser et définir une multitude de problèmes naissants sur les équipements.



Fig.

La technologie infra-rouge fonctionne sur le principe que des objets qui ont une température supérieure au zéro absolu transmettent de l'énergie ou des rayonnements. Les rayonnements infra-rouge sont une forme d'énergie émise qui frappe un objet et est ensuite transmise, réfléchi ou absorbée. Les émissions infra-rouge sont invisibles sans instrumentation spéciale.

L'intensité des rayonnements infra-rouge d'un objet dépend de sa température de surface. L'énergie transmise et l'énergie réfléchie faussent les résultats car la plupart des équipements ont une émissivité (taux d'énergie émise par un objet) inférieure à 1 (les surfaces dont l'émissivité est équivalente à 1 sont appelées surfaces de corps noirs: pas d'énergie transmise et pas d'énergie réfléchie). C'est pourquoi il est important d'estimer l'émissivité de la surface mesurée pour obtenir la mesure la plus exacte.



Méthode

Les mesures sont effectuées avec un système de surveillance infra-rouge, elles sont prévues avec des filtres particuliers qui sont choisis en accord avec tous les facteurs qui peuvent influencer la mesure.

En fonction des données à enregistrer, trois types d'équipements sont disponibles:

- Thermomètres infra-rouge pour mesures de température sur de petites surfaces (mesure de point),
- Scanneurs en ligne (pas particulièrement utilisés dans la mesure où la maintenance prédictive est concernée),
- Image infra-rouge principalement basée sur une caméra vidéo pour contrôler une machine complète ou une pièce particulière. Le profil de l'émission thermique peut être analysé directement à partir de l'écran de l'équipement ou sur un ordinateur.

Les thermogrammes des systèmes mécaniques doivent être réalisés dans des conditions et précautions particulières telles que :

- La différence entre la température ambiante et la température de la tuyauterie doit être importante.
- L'emplacement de la mesure doit être suffisamment éloigné de la source de rayonnement qui peut fausser les résultats.
- Le calorifuge doit être retiré sur les équipements et l'essai doit être effectué après stabilisation de la température.
- Dans la mesure où la configuration des circuits est concernée, il faut prendre des précautions. La configuration des circuits peut éviter l'essai thermographique propre. Par exemple, l'essai d'un purgeur de vapeur est rarement possible: en effet, une température élevée détectée par la caméra infra-rouge peut ne pas être en cause en raison du fonctionnement incorrect du purgeur de vapeur, mais une fuite sur la vanne de by-pass.

Impositions et contraintes particulières

- Des variations de l'état de surface, telles que peinture ou autres revêtements de protection, peuvent affecter le facteur d'émissivité réel des équipements. Elles peuvent changer parfois radicalement aussi bien les températures de surface que la répartition de chaleur enregistrée

par le scanneur infra-rouge. Si le technicien n'arrive pas à compenser cela, il sera difficile, voire impossible de diagnostiquer précisément les problèmes naissants. Dans de trop nombreux cas, ils seront omis et de sérieux dommages ou une panne catastrophique surviendront.

- En plus de l'énergie réfléchie et transmise, l'utilisateur des techniques thermographiques doit considérer l'atmosphère entre l'objet et l'instrument de mesure. La vapeur d'eau et d'autres gaz absorbent le rayonnement infra-rouge. La poussière en suspension dans l'air, l'éclairage et d'autres variables peuvent modifier les mesures de rayonnement infra-rouge. Parce que le milieu ambiant est en constante évolution, l'utilisation de techniques thermographiques nécessite des précautions extrêmes chaque fois que les données sont acquises.
- La plupart des systèmes de surveillance ou des instruments infra-rouge utilisent des filtres pour éliminer les effets négatifs de l'atténuation atmosphérique. Cependant, l'utilisateur doit reconnaître les facteurs particuliers qui affecteront la précision des données infra-rouge et appliqueront les filtres corrects ou d'autres méthodes de conditionnement du signal,
- L'équipement utilisé dans l'inspection thermographique infra-rouge peut être mis sous tension. Pour cette raison, il faut prêter attention à la sécurité et les règles de sécurité du site doivent être particulièrement respectées
- Quand cela est sûr et possible, les équipements à scanner devront être en ligne et à une charge normale avec une ligne de mire claire.

La formation à l'utilisation d'un système imageur est critique. Les variables qui peuvent affecter la précision des données thermiques et la répétabilité doivent être compensées chaque fois que les données sont acquises. En outre, l'interprétation des données infra-rouge nécessite une formation intensive et une expérience dans la conservation ou l'échange de chaleur.

Maintenance

En maintenance, on utilise de plus en plus :

- des thermomètres infrarouges
- de petites caméras infrarouges dont le coût est de l'ordre de 5000 €.



Le thermomètre infrarouge est indispensable pour contrôler la température d'équipements inaccessibles.

La caméra infrarouge est plus utile en électricité. Si elle est achetée, on peut en profiter pour vérifier des isolations.

Dans certains, il est utile de faire appel à des sociétés spécialisées, notamment pour le contrôle de tuyauteries enterrées.

Essais électriques

Les essais suivants peuvent être effectués :

- Essai de résistance des enroulements.
- Essai de Résistance d'Isolément électrique
- Essai Index de Polarisation
- Essai d'écart à la loi d'ohm CC (HiPot)
- Essai de surtension transitoire

Essai de Résistance des Enroulements

Un essai de résistance des enroulements recherche un éventuel déséquilibre de résistance entre phases. Cet essai permet de comparer les écarts entre les valeurs de résistance mesurées, des mesures antérieures et les valeurs de la plaque signalétique. Si un problème est découvert, le moteur devra être inspecté pour trouver la cause des divergences.

Les problèmes-types pouvant survenir sont :

- 1) Des courts-circuits dans le circuit magnétique du moteur,
- 2) Des courts-circuits entre enroulements, soit dans la même phase, soit entre phases,
- 3) Un rebobinage des enroulements avec un fil de calibre inadéquat,
- 4) Des connexions électriques desserrées ou corrodées.

L'essai de résistance des enroulements est un essai très simple à effectuer, il indique immédiatement la santé du ou des conducteur(s) dans un enroulement. L'essai de résistance des enroulements consiste à injecter un courant stable connu à travers l'enroulement, en mesurant la chute de tension le long de l'enroulement et en calculant la résistance de la bobine avec la loi ohmique. Si une bobine est court-circuitée quelque part à l'intérieur de l'enroulement la résistance sera inférieure à la normale. Cette résistance de bobine inférieure pourra être comparée aux mesures préalables, du même enroulement, d'enroulements identiques ou à la valeur de la plaque signalétique du moteur pour identifier un enroulement défectueux.

La résistance mesurée est affectée par la variation de la conductivité du cuivre en fonction de la température. Cependant, la valeur de résistance mesurée devra être "corrigée" à une température « normalisée », en général 25 °C, avant de comparer deux mesures distinctes. Une application informatique dédiée réalise facilement cette correction.

Comme les enroulements de nombreux moteurs ont une résistance très faible, le courant injecté peut atteindre 10 A pour mesurer précisément la chute de tension à travers la bobine. Une des difficultés rencontrées en mesurant la chute de tension à travers la bobine elle-même est l'endommagement de la résistance de contact des shunts mobiles de raccordement à l'enroulement du moteur. Les résistances de contact peuvent être comparables ou même plus élevées que la résistance de certains enroulements. Les effets de la résistance de contact sont réduits en utilisant un "quatre fils" ou une mesure Kelvin.

Essai de Résistance d'Isolement électrique

Dans ce test, le châssis du moteur est mis à la terre et l'instrument d'essai (megohmmètre) impose une tension CC sur les enroulements du moteur. La lecture de l'instrument est réalisée en megohms.

Un enroulement sain donne une lecture en centaines ou milliers de megohms. La norme ANSI/IEEE 43 IEEE, indique pour l'essai de résistance d'isolement des Machines Tournantes comme minimum acceptable, une mesure d'1 megohm plus 1 megohm par kV de la tension nominale des moteurs. La résistance minimum acceptable pour un moteur de 460 V, est par exemple de 1.46 megohms. Attention, cependant, certaines règles peuvent imposer que le moteur soit rebobiné alors que la résistance enroulement à la terre est encore bien au-dessus de la valeur minimum acceptable.

Essai de l'Index de Polarisation

Cet essai CC est effectué à un tiers de la tension totale d'essai comme recommandé par la norme IEEE 95. Une lecture des megohm est effectuée après une minute d'application de la tension d'essai et à nouveau après dix minutes, pour déterminer « l'élasticité » de l'isolant. Quand elles sont placées dans un champ électrique, les molécules de l'isolant devraient s'aligner avec ce champ (voir figure 1) ; si l'isolant est âgé, dur et fragile, il ne se produit aucune polarisation.

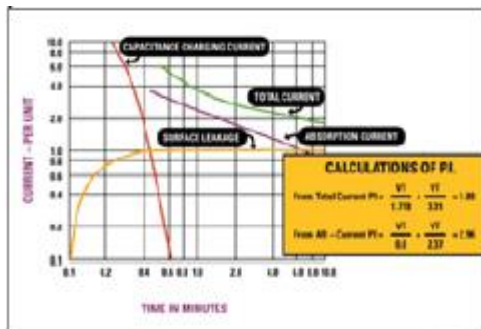


Fig. 1

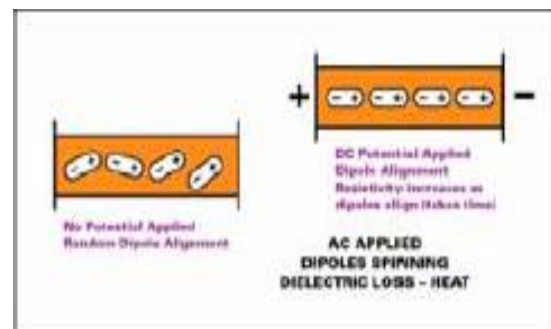


Fig. 2

L'index de polarisation est le ratio de la lecture de la résistance d'isolement à dix minutes divisé par la mesure à une minute. Au-dessus d'une période de dix minutes, cette lecture devrait être multipliée par un facteur de deux ou plus donnant un Index de Polarisation de deux ou plus. Si l'isolement est très cassant, l'index de polarisation sera de un ou très légèrement supérieur à un, indiquant qu'aucune polarisation ne s'est produite. Cet essai ne détermine que l'isolation par rapport à la terre et ne détectera pas les problèmes d'isolation phase par phase.

Essai d'écart à la loi d'ohm CC (HiPot)

C'est le premier des deux essais "haute tension", l'essai HiPot CC peut mettre en évidence des faiblesses de l'isolement qui ne seront pas nécessairement détectées par un essai de résistance d'isolement ou un essai de polarisation. En plus de mesurer la résistance globale de l'isolation par rapport à la terre, il fournit des informations sur la résistance diélectrique de l'isolation. Dans ce sens, il peut détecter des faiblesses de l'isolation qui

peuvent conduire à un défaut de terre en cas de surtensions transitoires qui se produisent habituellement dans les systèmes de production d'énergie industriels.

Au cours de ce test, le châssis du moteur est mis à la terre et une tension CC est graduellement incrémentée par étapes jusqu'à la tension d'essai manimum recommandée. La norme IEEE 95, recommandée pour conduire les essais d'Isolation des Machines Tournantes de forte puissance, préconise une tension d'essai manimum au double de la tension nominale du moteur plus 1000 V. A chaque incrément, jusqu'à cette tension, le courant de fuite en microampères est mesuré et enregistré par rapport à la tension d'essai CC correspondante.

Le tracé qui en résulte devrait être une ligne droite. La grandeur du courant de fuite et la pente résultante de la ligne ne sont pas les seuls points à considérer. Le critère important est que le tracé soit en fait une ligne droite. Une montée soudaine de la pente du tracé indique un défaut d'isolement. L'essai doit être immédiatement interrompu pour éviter à l'enroulement d'être endommagé au cours de l'essai. Le moteur peut être remis en service, mais la réparation ou le remplacement de l'enroulement doit être prévu le plus tôt possible.

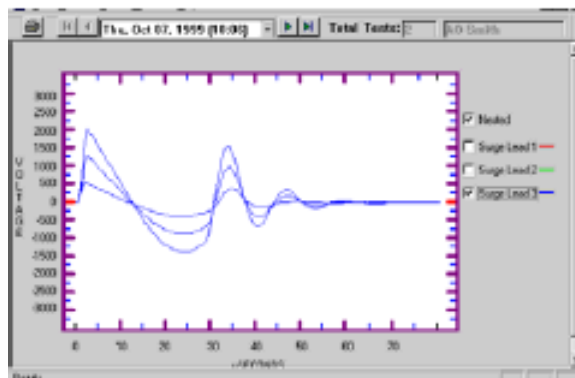
Le nombre d'étapes d'exécution de l'essai est optionnel. Cependant, augmenter les étapes par des hausses de tension plus faibles produit de meilleurs résultats et minimise la possibilité de dépassement de la tension d'essai. La plupart des opérations d'essai de potentiel élevé CC comprennent des déclenchements par surtension pour protéger l'enroulement si une faiblesse est détectée. Les plus sensibles de ces circuits de protection contre les surtensions peuvent fonctionner quand le courant de fuite ne dépasse pas un microampère.

Essai de Surtension

Bien que l'essai comparatif de surtension ait été initié il y a plus de 40 ans, il est le plus récent des essais classiques réalisés, pour déterminer l'état de l'isolation de l'enroulement. Cet essai détecte les défauts d'isolation, spire par spire, bobine à bobine et phase par phase, qui ne peuvent pas être détectés par d'autres méthodes.

L'essai de comparaison de surtension est fondé sur le principe que sur un stator sans défaut d'enroulement, tous les enroulements des trois phases sont identiques. Chaque phase est testée par rapport aux autres – A-B, B-C, et A-C. L'instrument d'essai impose de brèves impulsions de tension sur la phase en cours d'essai et les impulsions d'appel reflétées sont affichées sur l'écran de l'oscilloscope de l'instrument. Si les deux enroulements sont identiques (comme ils devraient l'être), les images reflétées sont identiques et apparaissent comme un seul signal.

Cette méthode de comparaison a été utilisée dans les ateliers mécaniques qui réparent des moteurs depuis plus de 40 ans. Si l'on utilise un testeur de surtension en tant qu'outil de maintenance prédictive, le test ne nécessite pas la comparaison de deux formes d'ondes. Un essai plus simple est réalisé, il recherche un décalage vers la gauche de l'onde de forme, dans la phase en cours d'essai. Ce décalage indique que la résistance diélectrique de l'isolement spire à spire s'est détérioré à un niveau inférieur à celui des surtensions de déclenchement. Une fois que l'isolation s'est affaiblie à ce point, des décisions doivent être prises en ce qui concerne l'avenir du moteur. Avec la technologie digitale actuelle il est possible d'acquérir les données de la phase en cours d'essai à plusieurs niveaux de tension et de les regrouper. Cette technique est valable pour détecter et documenter ce décalage vers la gauche.



IMPOSITIONS

- Pour effectuer des essais d'isolement du stator, le moteur doit être sec.
Dans le cas contraire une opération de séchage préliminaire doit être réalisée avant de procéder aux essais.
- Les câbles d'alimentation électrique seront déconnectés avant les essais.

Nota important:: selon les résultats des essais électriques, un rebobinage du moteur pourra être nécessaire.

Mesures de vibrations

Généralités

La détection de vibrations excessives ou anormales est l'une des manières les plus courantes pour prévoir et anticiper la panne d'un équipement. Certains mécaniciens expérimentés disent qu'en écoutant seulement le ronronnement ou en sentant les pulsations des équipements, dont ils ont la charge, ils peuvent détecter des problèmes mécaniques imminents. Une approche plus sophistiquée consiste à comparer et analyser les valeurs de fréquence, d'amplitude et de phase de la vibration, afin de d'anticiper les problèmes qui pourraient survenir sur l'équipement concerné.

L'analyse vibratoire est l'un des outils majeurs de la maintenance prédictive. Elle est utilisée pour surveiller et analyser le fonctionnement des équipements tournants critiques, d'une unité de production. Elle est essentielle dans un programme de maintenance, car les vibrations affectent directement les performances des équipements en générant les effets suivants :

- ✓ Réduction de la durée de vie des garnitures mécaniques
- ✓ Fuite excessive dans la zone des garnitures
- ✓ Détérioration des composants des équipements (bagues d'usure, douilles, roues de pompes, ...)
- ✓ Impact sur les dimensions et les tolérances critiques, telles que jeu des bagues d'usure et montage des roues.
- ✓ Réduction de la durée de vie des paliers, qui sont conçus pour supporter une charge aussi bien radiale qu'axiale mais qui n'ont pas été conçus pour supporter durablement des vibrations excessives.
- ✓ Etc

But

L'étude vibratoire permet de surveiller l'état des équipements et de diagnostiquer les défauts par la mesure et l'analyse de vibrations qu'ils génèrent. Elle est généralement conduite grâce à des accéléromètres portatifs permettant de réaliser des mesures ponctuelles ou des instruments permanents, implantés sur des points de mesure clés de ces équipements.

Les résultats de l'analyse vibratoire permettent d'éliminer les causes des vibrations anormales. Les relevés doivent être effectués périodiquement afin de contrôler l'évolution vibratoire des différents équipements.

Domaine d'application

La surveillance des vibrations doit être axée sur les équipements tournants critiques de production, tels que les alternateurs, les turbines, les pompes principales, les réducteurs afin de déterminer d'éventuels désalignements d'arbre, une usure anormale des paliers, etc.

Parfois cette méthode peut révéler d'autres défauts mécaniques ou électriques inhabituels. Elle peut également être étendue sur d'autres équipements, comme les moteurs, les compresseurs, les ramoneurs, et certaines pompes auxiliaires.

Etude vibratoire

Principes

Tous les équipements mécaniques ayant des parties tournantes génèrent des vibrations (Cf. tableau ci-dessous qui concerne le cas d'une pompe) une signature vibratoire reflète les conditions de fonctionnement de l'équipement.

En effet, les parties tournantes créent des efforts mécaniques en service normal qui changent en fonction de l'état mécanique de la machine : une modification à cause de l'usure, des changements dans l'environnement de fonctionnement, des variations de charge etc.. La signature vibratoire qui découle du mouvement est le résultat d'un déséquilibre des efforts mécaniques..

Vibrations des pompes (exemple)

Causes mécaniques des vibrations	Causes hydrauliques des vibrations	Autres causes de vibrations
<ul style="list-style-type: none"> - Composants tournants déséquilibrés (en raison de roues endommagées, chemises d'arbre non concentriques, .). - Arbre tordu ou voilé. - <u>Mauvais alignement pompe et entraînement</u> - Contraintes dues aux tuyauteries (en raison d'un mauvais calcul, résultat d'une poussée thermique...) - La masse du socle de la pompe est trop faible - Accroissement thermique de différents composants, en particulier des arbres. - Pièces de friction. - Paliers usés - Boulons de fixation desserrés. - Pièces endommagées. 	<ul style="list-style-type: none"> - Fonctionnement en dehors du point de rendement adéquat de la machine. - Vaporisation - Recirculation interne - Air entrant dans le système en vortex, etc.. - Turbulence dans le système (débit non laminaire). - Coups de bélier. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vibrations harmoniques des équipements voisins. - Fonctionnement de la pompe à une vitesse critique. - Etanchéité. - Une ligne de recirculation de refoulement de la pompe orientée vers les faces d'étanchéité

Une augmentation des vibrations signifie presque toujours que les équipements ont commencé à se détériorer. Le but de la maintenance prédictive est d'essayer de collecter suffisamment de données pour « estimer » la durée de vie résiduelle avant la destruction totale et de corriger le défaut pour éviter une avarie grave de l'équipement et un arrêt catastrophique de la production.

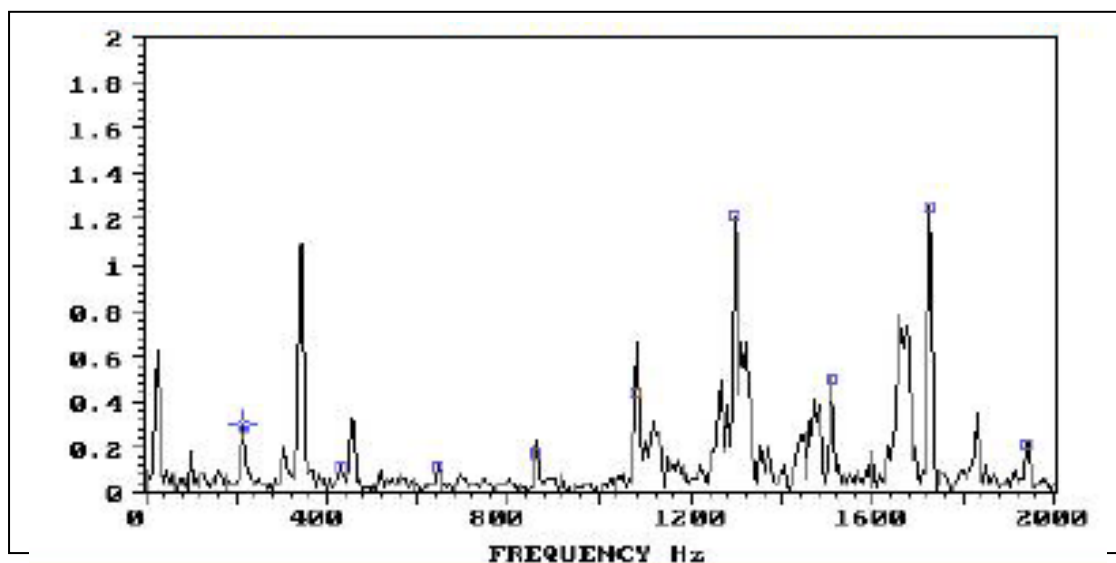
L'analyse vibratoire peut s'appliquer à tous les équipements mécaniques ayant des parties en mouvement..

Méthode

Les mesures vibratoires sont effectuées à l'aide d'un capteur en différents points des machines (généralement l'enveloppe et les couvercles de paliers des équipements dans les directions à la fois radiale et axiale).

Les données sont ensuite enregistrées sur un appareil de collecte de données portable (simple canal ou multi-canaux) raccordé au capteur. Le capteur est la plupart du temps un accéléromètre (cela peut aussi être un détecteur de déplacement ou un capteur de vitesse).

Il comprend des films piézo-électriques (sensibles à la pression) qui convertissent l'énergie mécanique en signaux électriques. Ensuite l'analyseur de vibrations permet de décomposer mathématiquement (transformé de Fourier rapide) le signal périodique électrique brut, en valeurs d'accélération, de vitesse ou de déplacement élémentaires sur une bande de fréquence considérée.



exemple de Spectre vibratoire

Les méthodes utilisées dans l'étude de vibrations sont :

- Analyse de tendance, à la fois bande large et bande étroite;
- Etude comparative,
- Etude de la signature vibratoire.

La plupart des programmes d'analyse vibratoire qui utilisent un analyseur à microprocesseur sont limités à des mesures où le système testé, fonctionne dans des conditions constantes ou stables. La mesure de vibrations dynamiques est aussi possible pendant les transitoires des équipements (démarrage, arrêt, déclenchement ...).

Méthode de surveillance

1. Suivi périodique

C'est la méthode la plus couramment utilisée. La périodicité des relevés est très variable ; très souvent elle est de six mois.

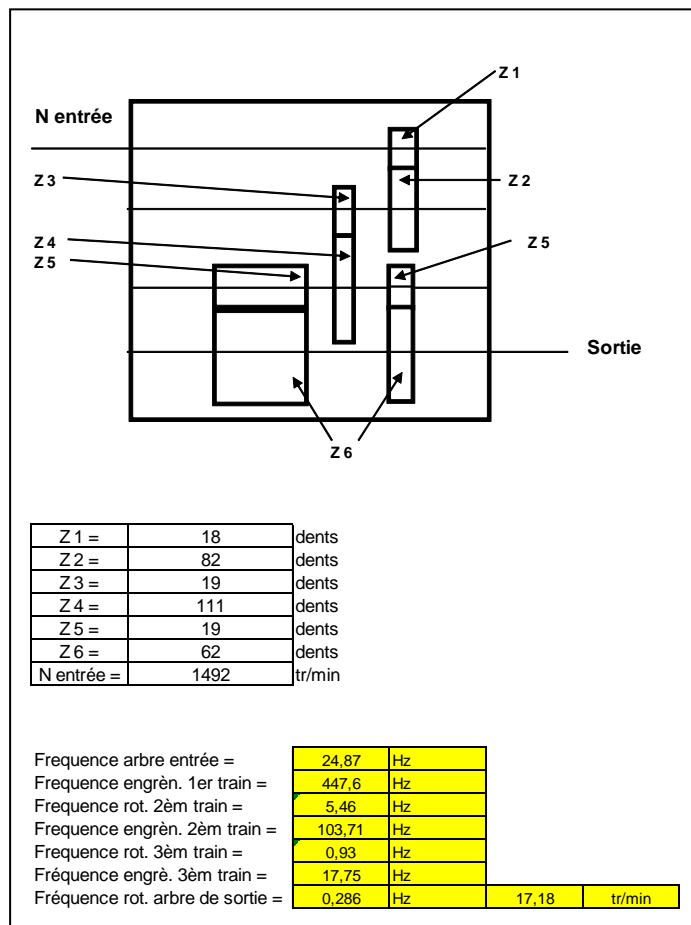
Les équipements que l'on suit le plus fréquemment sont :

- Les systèmes de pompage : moteur + accouplement + pompe, avec 9 points de mesure ; dans ce cas on suit l'état des roulements moteur et pompe + le désalignement.
- Les systèmes d'entraînement : moteur + accouplement + réducteur, avec 5 points de mesure + 4 points par ligne d'engrenage (donc au total 9, 13 ou 17.. ponts); dans ce cas on suit l'état des roulements moteur, roulements et pignons du réducteur + le désalignement.

- Les systèmes de ventilation : moteur + accouplement + ventilateur + paliers éventuellement ; dans ce cas, on suit l'état des roulements moteur, l'état et le balourd du ventilateur, les roulements des paliers + le désalignement.
- Les compresseurs à vis, rotatifs et centrifuges.

Le suivi des réducteurs par analyse de vibrations présente l'intérêt qu'il permet de suivre à la fois l'évolution de la dégradation des roulements mais aussi des pignons et roues dentées.

Mais il impose des contraintes, notamment de calculer préalablement des fréquences des pignons et roues dentées par la multiplication des vitesses par les nombres de dents, comme le montre l'exemple suivant.



Concernant les roulements, le logiciel calcule directement les fréquences en fonction du type et de la marque du roulement.

Roulement		Bague int.	Bague ext.	Billes	Speed cage
31319AK11	970 tr/min	149,76	108,9	87,43	6,81
22320C3	970 tr/min	142,83	99,67	85,72	6,64
30228A	314,4 tr/min	62,57	47,97	35,97	2,26
32228A	314,4 tr/min	53,63	40,69	35,98	2,26
23136	159,6 tr/min	32,76	25,76	21,48	1,17
23036C3	159,6 tr/min	36,72	29,78	24,88	1,19

Exemple

On remarque que par l'analyse de vibrations on peut détecter la géographie de la détérioration sur un roulement : bague intérieure, bague extérieure, billes ou rouleaux, cage, mais aussi les manques de lubrifiant.

Remarque importante : pour un même type de roulement le nombre de billes ou de rouleaux est différents selon les fabricants, ce qui fait varier la fréquence. Il est donc nécessaire de toujours tenir compte des changements éventuels réalisés lors de réparations.

2. Suivi continu

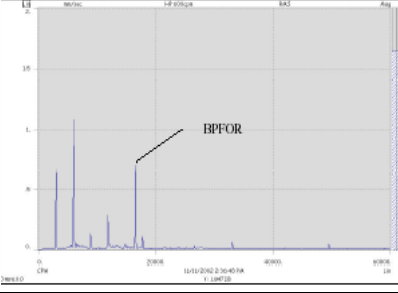
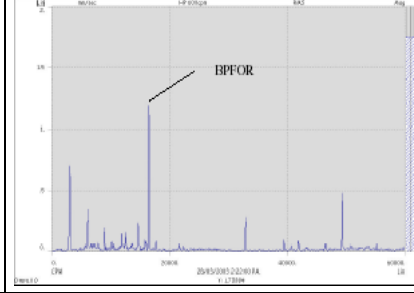
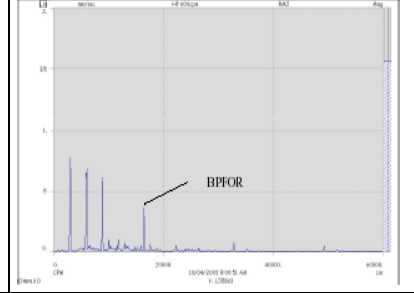
Le suivi continu (« on line ») présente l'avantage de détecter des défauts à évolution rapide et d'assurer la sécurité des installations par déclenchement de la machine à l'approche d'un seuil réputé dangereux.

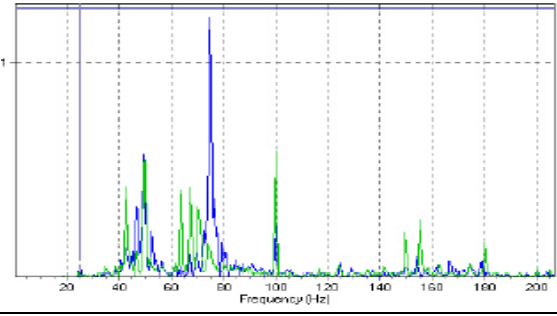
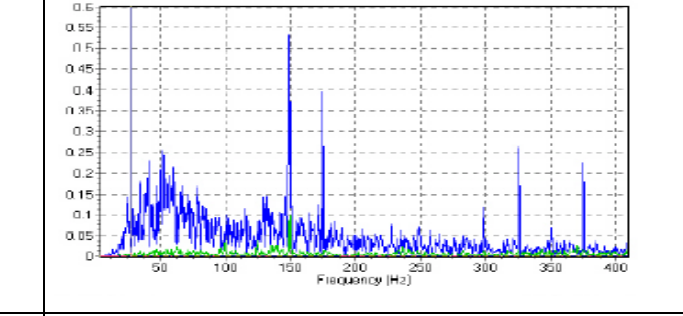
Très souvent ces systèmes permettent de suivre la valeur globale de la vibration, très peu permettent de faire des analyses spectrales. Par exemple, le suivi en continu d'un ventilateur n'exclut pas le suivi périodique pour analyse spectrale.

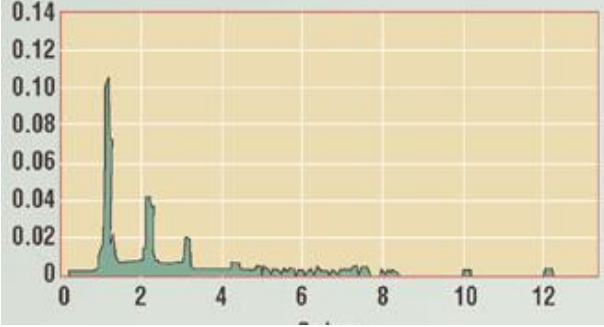
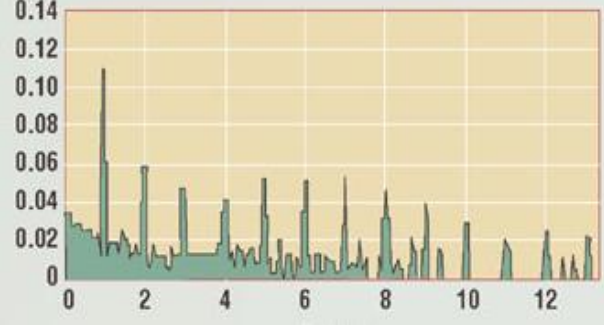
Impositions préliminaires

Pour les mesures à l'état stable, la machine doit être exempte de toute variation de ses paramètres, telles que la charge, le débit, etc. Cette approche suppose ultérieurement que toutes les fréquences de vibrations soient répétables et maintiennent une relation constante avec la vitesse de rotation de l'arbre de la machine

Exemples

PALIER POMPE ENDOMMAGE		
		
Spectre vibration référence lors de l'installation et de la mise en service de la pompe	Spectre de vibrations avant remplacement palier	Spectre de vibrations après remplacement palier

COMPARAISON	
	
Les spectres de 2 machines identiques sont enregistrés, le pic près de 75 Hz révèle un problème de desserrage mécanique	Les spectres de 2 pompes identiques fonctionnant dans les mêmes conditions de service sont enregistrés : Le 1er est une pompe installée depuis l'origine de l'installation alors que le second est celui d'une pompe neuve. La différence entre les spectres montre plus de vibration sur l'ancienne pompe

DESSERRAGE	
	
Machine saine (un pic et 2 harmoniques)	Machine avec problème de desserrage (plusieurs harmoniques sont apparents)

Maintenance

En maintenance, la mesure et analyse de vibrations présente un très grand intérêt.

L'achat d'un collecteur avec le logiciel de traitement représente un coût supérieur à 7 k€ et s'y ajoute la formation d'un technicien, ainsi que le temps nécessaire à l'élaboration des fiches techniques pour les réducteurs.

Mais l'intérêt présenté dépasse celui de la réalisation de mesures et analyses spectrales périodiques sur systèmes de pompage, réducteurs, ventilateurs, etc. En effet pour tout le contrôle de roulements, on peut utiliser un collecteur de données et ne faire l'analyse spectrale que lorsque le niveau global devient important. De fait, on peut voir d'où vient la dégradation et réagir en conséquence :

- intervenir rapidement s'il y a un problème de cage car la rupture de celle-ci peut entraîner une panne brutale avec la détérioration de tout le roulement ;
- ajouter du lubrifiant si l'analyse indique un manque ;
- prévoir un remplacement du roulement lors d'un arrêt programmé s'il s'agit d'écaillages sur bagues.

Ce genre d'analyse ne peut être fait avec des petits appareils de mesure.

L'autre alternative est bien sûr de faire réaliser périodiquement les analyses sur les équipements critiques par un prestataire extérieur.

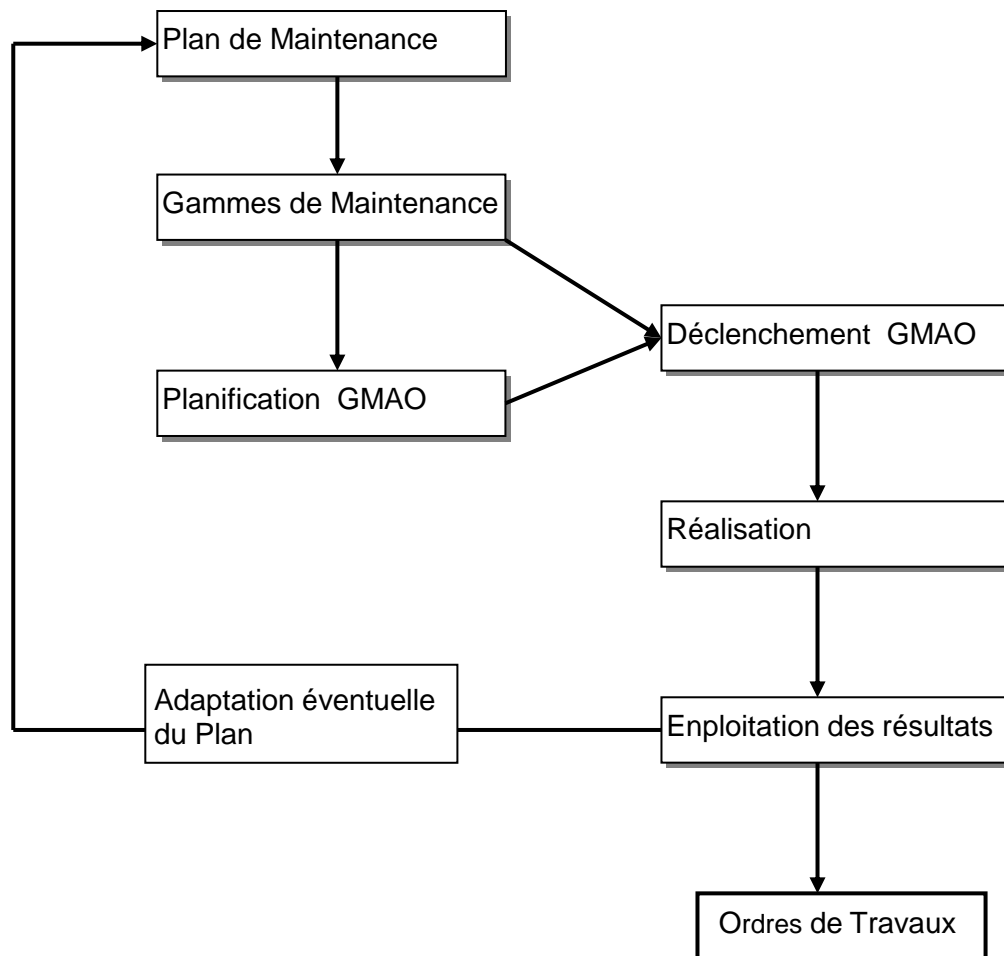
Par ailleurs les mesures et analyses de vibrations peuvent être pratiquées par des spécialistes pour détecter des problèmes sur des équipements fixes.

Pour détecter des fissures, on peut faire un modèle mathématique suivant la forme, faire un choc sur le matériel concerné et comparer les vibrations obtenues avec le modèle mathématique.

Standards de maintenance préventive

	Page
Introduction.....	170
Plan de maintenance préventive.....	171
Gammes de maintenance préventive.....	171
Standards.....	173

Introduction



Dans la définition de la maintenance préventive, nous incluons des contrôles, visites et interventions de maintenance effectuées préventivement.

La maintenance préventive s'oppose en cela à la maintenance corrective déclenchée par des perturbations ou par les événements, et donc subie par la Maintenance.

La maintenance préventive comprend :

- les contrôles ou visites,
- les expertises, les opérations et les remplacements effectués à la suite des contrôles, visites, surveillances.
- les remplacements systématiques,
- la maintenance conditionnelle,
- la lubrification-graissage,
- le nettoyage.

La maintenance préventive ne doit pas consister à dire à un agent de maintenance : « allez voir si l'état de tel organe est bon » (à travers une procédure quelconque) Dans ce cas, si l'état est bon, on ne dit rien ; s'il n'est pas bon, il faut intervenir de suite, ce qui nécessite forcément une disponibilité en pièce de rechange. Il s'agit d'une détection d'anomalie et non de maintenance préventive.

Au contraire, la maintenance préventive doit consister à suivre l'évolution d'un état, de manière à prévoir une intervention dans un délai raisonnable (1 à 2mois par en.) et l'achat de la pièce de remplacement nécessaire (que l'on n'a pas besoin de tenir en stock, si le délai normal le permet)

Par ailleurs, comme pour sa propre voiture, il faut déterminer la fréquence de visite ou intervention de maintenance préventive suivant le taux d'usure ou d'utilisation (heures de marche, tonnes produites...), quitte à reconvertir les fréquences en déclenchements calendaires si l'on est assuré d'une utilisation régulière du matériel concerné.

Objectifs visés par la maintenance préventive :

- Augmenter la fiabilité d'un matériel pour réduire les temps d'arrêt dus aux défaillances.
- Diminuer les défaillances et imprévus pour réduire le coût direct de maintenance (réduction des « casses »)
- Améliorer la qualité des produits.
- Assurer la sécurité (moins d'improvisations dangereuses)
- Augmenter la durée de vie efficace d'un matériel.
- Améliorer l'ordonnancement des travaux, et par conséquent les relations avec la fabrication
- Améliorer les prévisions et la programmation pour diminuer les coûts.
- Améliorer le climat des relations humaines (une panne imprévue est toujours génératrice de tension)

Plan de maintenance préventive

Le Plan de Maintenance Préventive est à la fois :

- Un document de travail : c'est l'outil qui permet de lister les opérations de maintenance préventive en passant en revue systématiquement tous les organes concernés.
- Un document de synthèse, car il rassemble d'une manière permanente toutes opérations de maintenance préventive, indépendamment des documents de réalisation.

Dans l'ordre de la nomenclature du matériel, le plan de maintenance définit par unité maintenable (organe ou ensemble d'organes) les opérations à réaliser :

- ✓ Descriptif de chaque opération (mesurer – contrôler – évaluer – faire) ; dans les opérations sont compris le graissage, les nettoyages.
- ✓ Valeur de référence éventuellement
- ✓ Situation du matériel (Marche – Arrêt)
- ✓ Périodicité ou Intervalle calendaire
- ✓ Durée
- ✓ Corps de métier (dont les opérateurs)
- ✓ Nombre d'intervenants
- ✓ Consignes de sécurité
- ✓ Mode opératoire éventuellement

Pour l'organisation il est souhaitable que :

Chaque périodicité soit un multiple de la périodicité inférieure (en : 600 – 1800 – 3600 – 7200 h) dans l'année.

Ou mieux que chaque intervalle calendaire soit multiple de l'intervalle inférieur (en : 1 jour, 1 sem, 2 sem. 1 mois, 3 mois, 6 mois, 12 mois)

Nous proposons des standards de maintenance préventive pour des organes types, ce qui permet de gagner beaucoup de temps dans l'établissement du Plan.

Gammes de maintenance préventive

Une gamme de maintenance regroupe des opérations :

- de même périodicité ou intervalle calendaire,
- à faire dans la même situation du matériel (marche ou arrêt)
- par un même corps de métier,
- avec un même nombre de personnes.

Elle peut être accompagnée de modes opératoires pour la réalisation par du personnel de maintenance.

Elle est souvent sous forme de modes opératoires imagés pour la réalisation par du personnel de fabrication (maintenance dite de premier niveau).

En général, on fait en sorte que la durée d'une gamme corresponde à celle d'un arrêt programmé, ou à la journée de travail, ou demi-journée de travail (afin de bien occuper le personnel) pour une réalisation par du personnel de maintenance.

Nous vous proposons ci-après des standards de maintenance préventive pour des organes types.

- ✓ Ces standards sont établis pour une dureté de service moyenne ; si elle était élevée il faudrait alors diminuer les périodicités.
- ✓ Les périodicités sont calendaires ; elles pourraient être converties en taux d'usure (heures de marche ou nombres d'unités produites) en considérant que 1 an équivaut à 7 000 heures (avec un taux de 20 % d'arrêts divers par an).
- ✓ Les significations des différentes abréviations sont les suivantes :

I :c'est le type d'intervention (visite), soit :

V : mesurer d'une valeur (jeu, dB, vibration, T°C,...)

E : estimation d'un état, soit : 1 = RAS

2 = début de dégradation

3 = dégradation avancée

4 = danger

C : contrôle ; exemple contrôle d'un accouplement : on démonte et on vérifie l'état des tampons que l'on remplace immédiatement si nécessaire.

F : il s'agit de « faire » ; exemples : graisser, vidanger, remplacer, etc.

Csg :cela concerne la consignation nécessaire, soit :

E : consignation électrique ;

H : consignation hydraulique (en plus de la consignation électrique)

M : consignation mécanique (en plus de la consignation électrique)

P : consignation pneumatique (en plus de la consignation électrique)

Min :temps net en minutes pour l'opération ; une majoration pour déplacements est ajoutée quand toutes les opérations sont entrées dans la gamme.

Nb :nombre d'intervenants.

Mét. :corps de métiers, soit pour les gammes suivantes :

ME ou **EM** : mécanicien ou électromécanicien

VS : technicien spécialisé pour certains CND comme mesures de vibrations, suivis des analyses d'huile, mesures avec appareils US, etc.

FA : opérateur ou rondier de fabrication

GR : graisseur

SP : spécialiste

RE : technicien de régulation (instrumentiste)

AG : organisme agréé

EL : électricien

APM : intervention à l'Arrêt, en **Marche** ou en **Arrêt Partiel** (pendant un changement d'outillage par exemple)

Périod. : nombre de semaines, mois ou années (toujours sous-multiples ou multiples de 12 mois, pour pouvoir reconduire les plannings annuels.

U :semaine, mois, ou année.

Moteurs

Moteur à courant continu									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler la température et l'absence de bruits anormaux		C		1	1	VS	M	1	S
Vérifier l'état (propreté carcasse/grille) soufflage nettoyage (3)..		C	E	10	1	EL	A	6	M
Vérifier la plaque à bornes et les connexions.		C	E	10	1	EL	A	1	A
Vérifier les fixations.		C	E	3	1	EL	A	6	M
Evaluer l'usure des balais et porte-balais.		E	E	5	1	EL	A	1	M
Evaluer l'usure du collecteur.		E	E	5	1	EL	A	1	M
Mesurer l'isolement/masse induit (1)		V	E	10	1	EL	A	1	A
Mesurer l'isolement/masse inducteur (1)		V	E	10	1	EL	A	1	A
Mesurer le niveau de bruit du roulement côté entraînement (4).	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
Mesurer le niveau de bruit du roulement côté opposé entraînement (4).	Maxi 65 db	V		1	1	ME	M	3	M
Mesurer la température carcasse moteur	55°+T°amb	V		2	1	ME	M	3	M
Remplacer les filtres, s'il y en a.		F	E	5	1	EL	A	2	S
Graisser les roulements (2)		F		6	1	GR	M	2	M

(1) : Les mesures d'isolement doivent être prévues dans les deux cas suivants :

1. **le moteur est assez chargé**; rappelons le constat suivant : pour les enroulements à fils émaillés, une élévation de température de 10 % diminue la longévité des isolants de moitié. Puisque la température dépend du carré de l'intensité, on en déduit qu'une telle élévation correspond à une élévation de courant de 5 %.
2. **il y a de l'humidité** ou des projections de liquide; dans certains cas on doit même passer à des périodicités de 6 ou 3 mois.

(2) : Souvent les roulement sont pré graissés, sion il faut soit graisser, soit remplacer les graisseurs automatiques, soit contrôler le niveau d'huile, le système de circulation d'huile, le système de refroidissement et nettoyer celui-ci, avec une périodicité de 3 mois.

(3) : Parfois il faut nettoyer la grille bien plus souvent. Par exemple, si on travaille un produit comme la cellulose, il faut brosser une fois par jour; ce doit être dans la tâche journalière d'un opérateur.

(-) : Les gros moteurs critiques nécessitent que l'on vérifie leur état.. Les essais de contrôle suivants devraient être faits une fois par an : Essai de résistance des enroulements - Essai Index de Polarisation - Essai d'écart à la loi d'ohm CC (HiPot) - Essai de surtension transitoire. Voir leur description dans les pages précédentes.

Moteur asynchrone triphasé à cage

Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler la température et l'absence de bruits anormaux		C		1	1	VS	M	1	S
Vérifier l'état (propreté carcasse/grille) soufflage nettoyage (3)..		C	E	10	1	EL	A	6	M
Vérifier la plaque à bornes et les connexions.		C	E	10	1	EL	A	1	A
Vérifier les fixations.		C	E	3	1	EL	A	6	M
Evaluer l'usure des balais et porte-balais.		E	E	5	1	EL	A	1	M
Evaluer l'usure du collecteur.		E	E	5	1	EL	A	1	M
Mesurer l'isolement/masse inducteur (1)		V	E	10	1	EL	A	1	A
Mesurer le niveau de bruit du roulement côté entraînement (4).	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
Mesurer le niveau de bruit du roulement côté opposé entraînement (4).	Maxi 65 db	V		1	1	ME	M	3	M
Mesurer la température carcasse moteur	55°+T°amb	V		2	1	ME	M	3	M
Remplacer les filtres, s'il y en a.		F	E	5	1	EL	A	2	S
Graisser les roulements (2)		F		6	1	GR	M	2	M

(1) : Les mesures d'isolement doivent être prévues dans les deux cas suivants :

1. **le moteur est assez chargé**; rappelons le constat suivant : pour les enroulements à fils émaillés, une élévation de température de 10 % diminue la longévité des isolants de moitié. Puisque la température dépend du carré de l'intensité, on en déduit qu'une telle élévation correspond à une élévation de courant de 5 %.
2. **il y a de l'humidité** ou des projections de liquide; dans certains cas on doit même passer à des périodicités de 6 ou 3 mois.

(2) : Souvent les roulements sont pré graissés, sion il faut soit graisser, soit remplacer les graisseurs automatiques, soit contrôler le niveau d'huile, le système de circulation d'huile, le système de refroidissement et nettoyer celui-ci, avec une périodicité de 3 mois.

(3) : Parfois il faut nettoyer la grille bien plus souvent. Par exemple, si on travaille un produit comme la cellulose, il faut brosser une fois par jour; ce doit être dans la tâche journalière d'un opérateur.

(-) : Les gros moteurs critiques nécessitent que l'on vérifie leur état.. Les essais de contrôle suivants devraient être faits une fois par an : Essai de résistance des enroulements - Essai Index de Polarisation - Essai d'écart à la loi d'ohm CC (HiPot) - Essai de surtension transitoire. Voir leur description dans les pages précédentes.

(4) : Ce peut être des mesures de vibrations conjuguées avec celles de l'équipement entraîné.

Moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné

Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler la température et l'absence de bruits anormaux		C		1	1	VS	M	1	S
Vérifier l'état (propreté carcasse/grille) soufflage nettoyage		C	E	10	1	EL	A	6	M
Vérifier la plaque à bornes et les connexions.		C	E	10	1	EL	A	1	A
Vérifier les fixations.		C	E	3	1	EL	A	6	M
Evaluer l'usure des balais et porte-balais.		E	E	5	1	EL	A	1	M
Evaluer l'usure du collecteur.		E	E	5	1	EL	A	1	M
Mesurer l'isolement/masse induit		V	E	10	1	EL	A	1	A
Mesurer l'isolement/masse inducteur		V	E	10	1	EL	A	1	A
Mesurer le niveau de bruit du roulement côté entraînement	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
Mesurer le niveau de bruit du roulement côté opposé entraînement.	Maxi 65 db	V		1	1	ME	M	3	M
Mesurer la température carcasse moteur	55°+T°amb	V		2	1	ME	M	3	M
Remplacer les filtres, s'il y en a.		F	E	5	1	EL	A	2	S
Graisser les roulements si nécessaire		F		6	1	GR	M	2	M

(1) : Les mesures d'isolement doivent être prévues dans les deux cas suivants :

1. **le moteur est assez chargé**; rappelons le constat suivant : pour les enroulements à fils émaillés, une élévation de température de 10 % diminue la longévité des isolants de moitié. Puisque la température dépend du carré de l'intensité, on en déduit qu'une telle élévation correspond à une élévation de courant de 5 %.
2. **il y a de l'humidité** ou des projections de liquide; dans certains cas on doit même passer à des périodicités de 6 ou 3 mois.

(2) : Souvent les roulement sont pré graissés, sion il faut soit graisser, soit remplacer les graisseurs automatiques, soit contrôler le niveau d'huile, le système de circulation d'huile, le système de refroidissement et nettoyer celui-ci, avec une périodicité de 3 mois.

(3) : Parfois il faut nettoyer la grille bien plus souvent. Par exemple, si on travaille un produit comme la cellulose, il faut brosser une fois par jour; ce doit être dans la tâche journalière d'un opérateur.

(-) : Les gros moteurs critiques nécessitent que l'on vérifie leur état.. Les essais de contrôle suivants devraient être faits une fois par an : Essai de résistance des enroulements - Essai Index de Polarisation - Essai d'écart à la loi d'ohm CC (HiPot) - Essai de surtension transitoire. Voir leur description dans les pages précédentes.

(4) : Ce peut être des mesures de vibrations conjuguées avec celles de l'équipement entraîné.

Moteur brusless									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler la température et l'absence de bruits anormaux		C		1	1	VS	M	1	S
Vérifier l'état (propreté carcasse/grille) soufflage nettoyage (3)..		C	E	10	1	EL	A	6	M
Vérifier la plaque à bornes et les connexions.		C	E	10	1	EL	A	1	A
Vérifier les fixations.		C	E	3	1	EL	A	6	M
Evaluer l'usure des balais et porte-balais.		E	E	5	1	EL	A	1	M
Evaluer l'usure du collecteur.		E	E	5	1	EL	A	1	M
Mesurer l'isolement/masse inducteur (1)		V	E	10	1	EL	A	1	A
Mesurer le niveau de bruit du roulement côté entraînement (4).	Maxi 65 db	V		2	1	ME	M	3	M
Mesurer le niveau de bruit du roulement côté opposé entraînement (4).	Maxi 65 db	V		1	1	ME	M	3	M
Mesurer la température carcasse moteur	55°+T°amb	V		2	1	ME	M	3	M
Remplacer les filtres, s'il y en a.		F	E	5	1	EL	A	2	S
Nettoyage de la partie électronique		F	E	15	1	EL	A	1	A
Contrôler la signalisation des alarmes (local et/ou distance)		C		10	1	EL	M	3	M
Réaliser une thermographie infra des connexions et cables		F		10	1	ST	M	1	A
Graisser les roulements (2)		F		6	1	GR	M	2	M

(1) : Les mesures d'isolement doivent être prévues dans les deux cas suivants :

1. **le moteur est assez chargé**; rappelons le constat suivant : pour les enroulements à fils émaillés, une élévation de température de 10 % diminue la longévité des isolants de moitié. Puisque la température dépend du carré de l'intensité, on en déduit qu'une telle élévation correspond à une élévation de courant de 5 %.
2. **il y a de l'humidité** ou des projections de liquide; dans certains cas on doit même passer à des périodicités de 6 ou 3 mois.

(2) : Souvent les roulements sont pré graissés, sion il faut soit graisser, soit remplacer les graisseurs automatiques, soit contrôler le niveau d'huile, le système de circulation d'huile, le système de refroidissement et nettoyer celui-ci, avec une périodicité de 3 mois.

(3) : Parfois il faut nettoyer la grille bien plus souvent. Par exemple, si on travaille un produit comme la cellulose, il faut brosser une fois par jour; ce doit être dans la tâche journalière d'un opérateur.

(-) : Les gros moteurs critiques nécessitent que l'on vérifie leur état.. Les essais de contrôle suivants devraient être faits une fois par an : Essai de résistance des enroulements - Essai Index de Polarisation - Essai d'écart à la loi d'ohm CC (HiPot) - Essai de surtension transitoire. Voir leur description dans les pages précédentes.

(4) : Ce peut être des mesures de vibrations conjuguées avec celles de l'équipement entraîné.

Appareils

Contacteur à barreaux									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle de l'état des contacts. Changer ceux-ci quand la cote d'écrasement dépasse 50% de la valeur initiale		C	E	13	1	EL	A	2	A
Vérification des serrages.		C	E	2	1	EL	A	2	A

Sectionneur	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle du fonctionnement du sectionneur.		C		2	1	EL	A	2	A
Vérification des serrages.		C		1	1	EL	A	2	A

Relais thermique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle de la valeur de réglage		C		2	1	EL	M	1	A
Vérification des serrages.		C		2	1	EL	A	1	A

Relai à maximum d'intensité (magnétique)	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle de la valeur de réglage		C		2	1	EL	M	1	A
Contrôle des serrages.		C		2	1	EL	A	1	A

Dynamo tachymétrique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler la valeur mesurée	Dérive	C		10	1	EL	M	3	M
Evaluer l'état des balais et du collecteur.		E	E	5	1	EL	A	6	M
Evaluer l'état de la fixation de l'accouplement.		E	E	3	1	EL	A	6	M
Contrôler les connexions.		C	E	2	1	EL	A	6	M

Codeur	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler l'état et la fixation de l'accouplement.		C	E	2	1	EL	A	6	M
Contrôler l'état du câble et du connecteur.		C	E	1	1	EL	A	6	M
Contrôler l'état et la tension (nulle) de la courroie crantée.		C	E	3	1	EL	A	6	M

Accumulateur électrique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Mesurer le degré de concentration électrolyte au pèse-acide.	>18° Baumé	V	E	20	1	EL	A	1	M
Renouveler l'électrolyte.		F	E	30	1	EL	A	2	A
Contrôler le serrage des cosses.		C	E	5	1	EL	A	6	M
Nettoyer, graisser les cosses.		F	E	10	1	EL	A	6	M
Contrôler le niveau d'électrolyte. Appoint si nécessaire en eau distillée.		C	E	10	1	EL	A	1	M

Convertisseur analogique I/P I/I P/I I/U	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Etalonnage. Contrôle du signal analogique avec émetteur et multimètre.		C		30	1	RE	M	1	A
Comparaison par rapport à la mesure physique		C		10	1	RE	M	1	A

Variateur de vitesse électronique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyage du variateur.		F	E	15	1	EL	A	1	A
Contrôler la signalisation des alarmes (local et/ou distance)		C		10	1	EL	M	3	M
Réaliser une thermographie infra des connexions et câbles		F		10	1	ST	M	1	A
Contrôler le fonctionnement de la climatisation de 20 à 25°		C		5	1	EL	M	3	M

Electrodistributeur	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler les fixations et resserrer si nécessaire		C		3	1	ME	M	3	M
Contrôler l'étanchéité		C		3	1	ME	M	3	M

Ampèremètre-indicateur	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	
Nettoyage de l'indicateur		F		2	1	EL	M	2	
Contrôler bon fonctionnement en comparant la mesure physique		C		18	1	EL	M	2	
Commande locale, coffret électrique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	
Dépoussiérage extérieur et intérieur.		F	E	10	1	EL	A	2	
Contrôle des étanchéités, câbles, serrages et connexion.		C	E	10	1	EL	A	2	
Convertisseur pneumatique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	
Etalonnage avec colonne et émetteur de pression.		C		40	2	RE	A	1	
Comparaison par rapport à la mesure physique.		C		10	1	RE	M	1	
Arrêt d'urgence coup de poing et bris de glace	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	
Dépoussiérage intérieur et extérieur.		F		3	2	EL	A	2	
Contrôle visuel de la boîte de dérivation.		C		3	2	EL	A	2	
Essai avec "Préventa", sous tension.		C		3	2	EL	A	2	
Essai avec ohmètre (ou)		C		3	2	EL	A	2	
Vérification des connexions + essais avec l'Exploitation.		C		6	2	EL	A	2	
Arrêt d'urgence avec câble	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	
Dépoussiérage extérieur et intérieur.		F		3	2	EL	A	2	
Vérification du câble, des boutons, des poulies, ressort.		C		8	2	EL	A	2	
Contrôle visuel des boîtes de dérivation.		C		3	2	EL	A	2	
Essai avec "Préventa", sous tension.		C		3	2	EL	A	2	
Essai avec ohmètre(ou)		C		3	2	EL	A	2	
Vérification des connexions + essais avec Exploitation.		C		6	2	EL	A	2	

Collecteur à bagues (système de relevage)	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle des informations fins de course.		C	E	60	0	EL	A	1	A
Contrôle des bagues et charbons.		C	E	60	1	EL	A	1	A

Interrupteur ou sectionneur local	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Dépoussiérage extérieur/intérieur.		F	E	10	1	EL	A	3	M
Contrôle du fonctionnement, à l'ohmètre.		C	E	5	2	EL	A	3	M
Contrôle de la possibilité de mise en place du cadenas.		C	E	2	1	EL	A	3	M

Prise de courant 125 amp / 63 amp / 32 amp	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vérification de l'état de la prise (plots, isolants, protection, visserie).		C	E	10	1	EL	A	3	M

Fiche 125 amp / 63 amp / 32 amp	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vérification de l'état de la fiche (plots, isolants, protection, visserie).		C		10	1	EL	A	3	M

Cable d'alimentation électrique mobile	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vérification de l'état du cable (isolant et mécanique).		C		5	1	EL	A	3	M

Cordons chauffants	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle du fonctionnement.		C		5	1	EL	A	1	A
Contrôle des différents départs électriques.		C		0	1	EL	A	1	A
Contrôle des boîtes de dérivation.		C	E	10	1	EL	A	1	A

Alarme sonore ou visuelle	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle du fonctionnement par simulation à partir du poste électrique		C		10	2	EL	AP	1	A

Chariots porte guirlande électrique et rail de guidage	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle du fonctionnement et nettoyage des chariots.		C	E	120	2	EL	A	2	M
Contrôle de l'alignement du rail de guidage.		C	E	20	2	EL	A	3	M
Remplacement des chariots.		F	E	480	3	EL	A	4	A

Guirlande électrique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Evaluation de l'état du cable		E	E	120	2	EL	A	3	M

Eclairage de secours	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle du fonctionnement		C		3	1	EL	M	1	M

Sono	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
A partir du tableau de teste contrôler le bon fonctionnement de chaque amplificateur		C		0	1	EL	M	1	S
Inspection visuelle du matériel extérieur		C		0	2	EL	M	1	M
Tester les systèmes d'alerte et d'alarme		C		0	2	EL	M	1	M
Inspection visuelle du cablage des connexions et des composants mécaniques		C	E	0	1	EL	A	3	M
Nettoyage et dépoussiérage des équipements		F	E	0	1	EL	A	3	M
Faire essai entre salles et hauts parleurs.		C		0	2	EL	M	3	M

Commande de signalisation	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
A partir du clavier de commande, vérifier : le positionnement des caméras, et des projecteurs infrarouges, le réglage des zooms, le focus, l'image sur les moniteurs		C		0	1	EL	M	1	S
Inspection visuelle du câblage des connexions et des composants mécaniques		C		0	1	EL	M	3	M
Vérifier les mouvements horizontaux et verticaux des têtes pivotantes des supports des caméras		C		0	2	EL	M	3	M
Vérifier le bon fonctionnement des résistances de chauffage des boîtiers des caméras.		C		0	2	EL	M	3	M

Appareils de régulation

Régulateur	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer extérieurement et intérieurement		F		5	1	RE	M	2	A
Contrôler les connexions		C		5	1	RE	M	2	A
Contrôler le signal entrée-sortie. Etalonner + Vérifier la programmation		C		10	1	RE	M	2	A

Enregistreur	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer extérieurement et intérieurement		F		5	1	RE	M	2	A
Contrôler les connexions		C		5	1	RE	M	2	A
Etalonner		F		10	1	RE	M	2	A

Analyseur in situ	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vérifier les alignements mécaniques		C		10	1	RE	M	3	M
Vérifier le débit du système de nettoyage		C		10	1	RE	M	3	M
Vérifier le débit d'air de référence		C		10	1	RE	M	3	M
Evaluer l'état de la mécanique .Régulation en manuel et sécurités shuntées		E		20	1	RE	M	3	M
Contrôler l'étalonnage. Régulation en manuel et sécurités shuntées		C		10	1	RE	M	3	M

Analyseur échantillonné	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vérif.débit d'échantillon.Régulation en manuel et sécurités shuntées		C		20	1	RE	M	3	M
Contrôler les pièges à condensats (bouchages)		C		20	1	RE	M	3	M
Remplacer les filtres papiers		F		20	1	RE	M	3	M
Etalonner avec bouteille de gaz étalon. Régulation en manuel et sécurités shuntées		F		60	1	RE	M	3	M

Appareils pour régulation

Régulateur	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer extérieurement et intérieurement		F		5	1	RE	M	2	A
Contrôler les connexions		C		5	1	RE	M	2	A
Contrôler le signal entrée-sortie. Etalonner + Vérifier la programmation		C		10	1	RE	M	2	A

Enregistreur	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer extérieurement et intérieurement		F		5	1	RE	M	2	A
Contrôler les connexions		C		5	1	RE	M	2	A
Etalonner		F		10	1	RE	M	2	A

Analyseur in situ	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vérifier les alignements mécaniques		C		10	1	RE	M	3	M
Vérifier le débit du système de nettoyage		C		10	1	RE	M	3	M
Vérifier le débit d'air de référence		C		10	1	RE	M	3	M
Evaluer l'état de la mécanique .Régulation en manuel et sécurités shuntées		E		20	1	RE	M	3	M
Contrôler l'étalonnage. Régulation en manuel et sécurités shuntées		C		10	1	RE	M	3	M

Analyseur échantillonné	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vérif.débit d'échantillon.Régulation en manuel et sécurités shuntées		C		20	1	RE	M	3	M
Contrôler les pièges à condensats (bouchages)		C		20	1	RE	M	3	M
Remplacer les filtres papiers		F		20	1	RE	M	3	M
Etalonner avec bouteille de gaz étalon. Régulation en manuel et sécurités shuntées		F		60	1	RE	M	3	M

Analyseur/Détecteur de gaz	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler les connexions		C		15	1	RE	M	6	M
Contrôler les éléments filtrants et les lignes		C		60	1	RE	M	1	S
Passer les gaz étalons et étalonner		F		90	1	RE	M	1	M
Nettoyer extérieurement et intérieurement		F		15	1	RE	M	6	M

Analyseur/Détecteur Arsine	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler le bon fonctionnement		C		5	1	RE	M	1	J
Contrôler les lignes et remplacer les filtres		C		15	1	RE	M	1	M
Remplacer cassette		F		10	1	RE	M	1	M
Contrôler et étalonner les alarmes		C		30	1	RE	M	1	M

Sonde de niveau - Système capacitif	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer la sonde		F		10	2	RE	M	1	A
Contrôler les connexions		C		10	2	RE	M	1	A
Etalonner		F		40	2	RE	M	1	A

Sonde de niveau - Système résistif	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer la sonde		F		10	2	RE	M	1	A
Contrôler les connexions		C		10	2	RE	M	1	A
Faire un essai de détection		C		10	2	RE	M	1	A
Contrôle du fonctionnement du relais de niveau		C	E	5	2	RE	A	1	A

Sonde de niveau - Système ultra-sons	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer la tête de détection		F		10	1	RE	M	1	A
Contrôler les connexions		C		10	1	RE	M	1	A
Contrôler l'indication		C		10	1	RE	M	1	A

Sonde PH	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler les connexions		C		5	1	RE	M	1	S
Nettoyer la sonde		F		10	1	RE	M	1	S
Vérifier l'indication avec une solution étalon		C		30	1	RE	M	1	S
Recalibrer si la vérification n'est pas OK		F		15	1	RE	M	1	S

Conductivimètre/Sonde Redox	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer la sonde		F		10	1	RE	M	1	S
Recalibrer si la vérification n'est pas OK		F		15	1	RE	M	1	S
Contrôler les connexions		C		5	1	RE	M	1	S
Vérifier l'indication avec une solution étalon		C		30	1	RE	M	1	S

Densimètre	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contr.fonct.occultation source. Régulation en manuel; sécurités shuntées. Etre porteur d'un dosifilm avant intervention.		C		30	1	RE	M	1	A
Contrôle de la réactivité de transmission par indicateur/écran. Utiliser une plaque étalon		C		30	1	RE	M	1	A

Vanne de régulation à commande par air	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler l'absence de fuite aux brides, au presse-étoupe		C		2	1	RE	M	3	M
Noter la valeur de la pression d'alimentation		V		2	1	RE	M	3	M
Noter la valeur de la pression après détente		V		2	1	RE	M	3	M
Contrôler l'absence de fuite d'air au servo-moteur		C		2	1	RE	M	3	M
Contrôler l'état de la cartouche filtrante		C		2	1	RE	M	3	M
Evaluer l'état du positionneur/consigne.		E	E	5	1	RE	A	3	M
Contrôler le signal : 0 - 100%		C		2	2	RE	M	3	M
Démontage/remontage pour contrôle au banc d'essai.		F	E	0	2	RE	A	2	A
SI VANNE CRITIQUE :									
Contrôler la position de la vanne/consigne		C		3	1	RE	M	3	M
Contrôler la position de la vanne/grandeur réglée		C		3	1	RE	M	3	M

Vanne de régulation à commande électrique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Evaluer l'état du positionneur.		E	E	5	1	RE	A	3	M
Contrôle du signal : 0 - 100%		C		5	2	RE	M	3	M
Démontage-remontage pour contrôle au banc.		F	E	0	2	RE	A	2	A
Contrôler les connexions		C	E	3	1	RE	A	3	M
VANNE CRITIQUE :									
Contrôler la position de la vanne/consigne		C		3	1	RE	M	3	M
Contrôler la position de la vanne/grandeur réglée		C		3	1	RE	M	3	M
Contrôler l'absence de fuite aux brides, au presse-étoupe		C		2	1	RE	M	3	M

Vanne TOR (Tout Ou Rien) à commande par air	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler l'absence de fuite aux brides, au presse-étoupe		C		2	1	RE	M	3	M
Contrôler l'absence de bruit, sifflement		C		2	1	RE	M	3	M
Contrôler l'absence de fuite d'air au servo-moteur		C		2	1	RE	M	3	M
Contrôler l'état de la cartouche filtrante		C		2	1	RE	M	3	M
Contrôler les fixations du distributeur		C		2	1	RE	M	3	M
Démontage/remontage pour contrôle au banc.		F	E	2	2	RE	A	2	A

Vanne TOR (Tout Ou Rien) à commande électrique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler l'absence de fuite aux brides, au presse-étoupe		C		2	1	RE	M	3	M
Contrôler l'absence de bruit sifflement		C		2	1	RE	M	3	M
Démontage/remontage pour contrôle au banc.		F	A	0	2	RE	A	2	A

Transmetteur électronique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer extérieurement et intérieurement le transmetteur		F		10	2	RE	M	1	A
Contrôler les connexions		C		3	2	RE	M	1	A
Vérifier le zéro et l'échelle		C		40	2	RE	M	2	A
Vérifier les régulex		C		3	2	RE	M	1	A
Vérifier et ramoner les prises de pression et lignes. Mettre le régulateur en manuel		C		5	2	RE	M	1	A
Vérifier les actions, enregistrements et indications		C		5	2	RE	M	1	A

Transmetteur pneumatique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vérifier le zéro et l'échelle		C		40	2	RE	M	2	A
Vérifier les actions, enregistrements et indications. Mettre le régulateur en manuel		C		15	2	RE	M	1	A

Transmetteur de pression avec bullage	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle visuel de l'étanchéité des vannes		C		5	1	RE	M	1	A
Contrôle du zéro. Régul. en manu, sécurités shuntées		C		20	1	RE	M	1	A
Cont. échelle av générateur pression. Rég manu, séc.shu.		C		20	1	RE	M	1	A
Contrôle du débit d'air (visuel)		C		3	1	RE	M	1	A
Purger le détendeur		F		7	1	RE	M	1	A

Pressostat	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer extérieurement et intérieurement		F		10	1	RE	M	1	A
Contrôler les connexions		C		10	1	RE	M	1	A
Vérifier les seuils de détection en montée et en descente		C		40	2	RE	M	2	A

Déprimogène	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Ramoner la prise de pression. Mettre le régulateur en manuel		F		10	1	RE	M	1	S
Démonter et nettoyer		F		180	2	RE	M	2	A

Indicateur NUD200 ou 100 et indicateur KENT	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle de l'indication et des points de consigne en simulation avec un émetteur		C	E	10	1	RE	A	2	A
Nettoyage extérieur/intérieur		F	E	5	1	RE	A	1	A

Indicateur NOKEVAL	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle de l'indication en simulation avec un émetteur		C	E	15	1	RE	A	2	A
Nettoyage extérieur/intérieur		F	E	5	1	RE	A	1	A

Mesure d'humidité	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyage des sabots		F	E	20	1	RE	A	1	M
Remplacement des sabots		F	E	120	1	RE	A	3	M

Limiteur d'effort	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler les alarmes en salle de contrôle, en basculant les cochonnets de mercure.		C	E	90	2	RE	A	1	A

Pressostat de chauffe	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer extérieurement et intérieurement.		F	E	10	1	RE	A	6	M
Contrôler les connexions.		C	E	5	1	RE	A	6	M
Etalonnage. Vérification des seuils de détection avec banc de simulation.		C	E	40	2	RE	A	6	M

Thermostat	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer extérieurement et intérieurement.		F	E	10	1	RE	A	1	A
Contrôler les connexions.		C	E	5	1	RE	A	1	A
Etalonnage. Vérification des seuils de détection avec banc de simulation.		C	E	60	2	RE	A	2	A

Instruments divers

Compteur	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vérifier la bonne mesure. Réglage éventuel		C		15	1	EL	AP	3	M

Cellule photo-électrique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler l'état général		C	E	15	1	EL	AP	6	M
Contrôler le positionnement		C		4	1	EL	M	6	M
Nettoyer		F		4	1	EL	M	1	S

Débitmètre électro-magnétique non analogique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vérifier la continuité et l'isolement des bobinages.	>10 Mohms	C	E	15	1	RE	AP	1	A
Contrôler visuel : ensembl.+serrage connexions et boulonnerie.		C	E	5	1	RE	AP	1	A

Débitmètre électro-magnétique analogique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vérifier la continuité et l'isolement des bobinages.		C	E	15	1	RE	AP	1	A
Contrôle visuel : ensemble+serrage connexions et boulonnerie.		C	E	5	1	RE	AP	1	A
Etalonnage au simulateur.		F	E	30	1	RE	AP	1	A

Débitmètre à DP	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle visuel : étanchéité des vannes du manifold		C		4	1	RE	M	1	A
Contrôle du zéro. Régul.en manu, sécurités shuntées.		C		15	1	RE	M	1	A
Contrôle de l'échelle avec générateur de pression portable		C		15	1	RE	M	1	A

Détecteur de proximité inductif ou magnétique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer		F		4	1	EL	M	3	M
Contrôler l'état général et le positionnement		C		3	1	EL	M	3	M
Contrôler le fonctionnement		C		3	1	EL	M	3	M

Fin de course mécanique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler le bon fonctionnement		C		5	1	EL	AP	3	M

Interrupteur à cames	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler le bon fonctionnement.		C	E	5	1	EL	AP	3	M
Contrôler l'état du mécanisme.		E	E	5	1	EL	AP	6	M

Thermocouple	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle du serrage des bornes.		C	E	2	1	EL	A	1	A
Contrôle avec calibre portable (f.e.m. et indication).		C	E	5	1	EL	A	1	A

Sonde PT. Température	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôle du serrage des bornes.		C	E	2	1	EL	A	1	A
Contrôle avec calibre portable (résistance/indication).		C	E	5	1	EL	A	1	A

Contrôleur de rotation	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Vérifier l'état et le serrage du capteur.		C	E	6	1	EL	AP	1	A
Contrôler la distance de détection.		C	E	6	1	EL	AP	1	A
Au poste élec, vérifier la programmation du relais détection		C		5	1	EL	M	1	A

Armoire électrique

Armoire électrique	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Réaliser une thermographie des équipements électriques		F		10		ST	M	1	A
Faire un contrôle de tous les serrages		C	E	15	1	EL	A	1	A
Nettoyer l'intérieur		F		20	1	EL	M	1	A
Contrôler l'état du joint et de la serrure de porte		C		3	1	EL	M	1	A
Nettoyer ou remplacer le filtre		F		5	1	EL	M	6*	M
Contrôler l'état des voyants et verrines		C		5	0	EL	M	1	M
Contrôler le fonctionnement du système de ventilation		C		3	1	EL	M	1	M
Contrôler spécifiquement certains appareils		C	E		1	EL	A	1	A
Par rapport à une liste établie, vérifier si tous les disjoncteurs, et si toutes les valeurs de réglage des thermiques et magnéto-thermiques sont bonnes		C	E	15	1	EL	A	1	A
3 jours avant un arrêt technique, observer les bruits anormaux, et constater s'il y a des échauffements ou des traces de flashes grisâtres, afin de prendre les dispositions nécessaires lors de l'arrêt.		C		5	1	EL			

* : 1 M et même moins dans certains cas

L'accès aux prises de vues thermographiques est restreint par le souhait des utilisateurs, mais aussi de la réglementation, de disposer de plastrons, barrières ou autres capots ayant pour but d'empêcher l'accès aux parties sous tension. Les tableaux cloisonnés ne facilitent pas ce type de mesures. Toutefois, certains constructeurs ont disposé les jeux de barres à l'arrière du tableau. Il suffit alors, lorsque cela est possible, de déposer le panneau arrière pour effectuer la prise de vue. Mais dans tous les cas, il est nécessaire de compléter la thermographie par des contrôles de serrage là où c'est possible.

Dans certains ateliers il y a des vapeurs d'huile, ou d'huile soluble, qui viennent polluer l'intérieur des armoires électriques. Ces vapeurs font des dépôts sur les cartes électroniques. En marche normale, la "sauté" s'"irise" et ne compromet pas le fonctionnement. Mais lors d'un arrêt technique, après 3 ou 4 jours elle retombe créant des contacts; au démarrage, il y a alors des problèmes de fonctionnement. Dans ce cas, après chaque arrêt la précaution à prendre est de nettoyer les cartes à l'eau savonneuse, et de les sécher avec un sèche-cheveux.

Automate programmable									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyage de l'armoire.		F	E	60	1	EL	A	2	A
Remplacer la pile.		F	E	20	1	EL	A	5	A
Contrôler le fonctionnement de la climatisation	20-25 °C	C		10	1	EL	M	6	M

Transformateurs

à bain d'huile

Diélectrique liquide (transfo à bain d'huile)	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler le niveau au bloc de protection.		C	E	5	1	EL	A	1	A
Faire un prélèvement de diélectrique pour essai,analyse.		F	E	15	1	EL	A	5	A
Mesurer la température à sa partie supérieure		V		3	1	EL	M	1	S

Assécheur d'air (transfo à bain d'huile)	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Evaluer la charge Silicagel (voir couleur)		E		3	1	EL	M	1	S

Bloc de protection (transfo à bain d'huile)	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler le fonctionnement relais.		C	E	5	1	EL	A	6	M
Contrôller le fonctionnement du thermostat		C		15	2	RE	M	6	M
Contrôler le fonct. du pressostat, et seuils de détection		C		40	2	RE	M	6	M
Vérifier et étalonner : thermomètre,thermostat,pressostat.		F	E	120	2	RE	A	5	A
Contrôler l'absence d'apparition de gaz		C		5	1	EL	M	1	S

+ appareillage HT (transfo à bain d'huile)	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Détecter les points chauds par contrôle thermographique		F		0	1	ST	M	1	A

Cuve (transfo à bain d'huile)	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Contrôler l'absence de fuites, de suintements aux joints		C		3	1	EL	M	1	M
Contrôler l'absence de bruit anormal		C		3	1	EL	M	1	M
Mesurer l'isolement cuve/terre.	50 ohms	V	E	5	1	EL	A	1	A
Mesurer l'isolement enroulement HT/enroulement BT.		V	E	15	1	EL	A	1	A
Nettoyer ailettes et partie supérieure av solvant approprié.		F	E	30	1	EL	A	1	A
Contrôler l'état de la peinture.		C	E	3	1	EL	A	1	A

Isolateurs (transfo à bain d'huile)	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer soigneusement.		F	E	30	1	EL	A	7200	A

Bac de rétention (transfo à bain d'huile)	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
Nettoyer soigneusement.		F	E	15	1	EL	A	1	A

Local transfo	-								
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	U
S'assurer de la bonne ventilation.		C	E	5	1	EL	A	1	A
Vérifier le fonctionnement de l'éclairage		C		3	1	EL	M	6	M

Transformateur sec

+ appareillage HT									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	
Détecter les points chauds par contrôle thermographique		F			1	ST	M	1	/
Contrôler l'absence de bruit anormal		C		3	1	EL	M	1	/
Nettoyer, souffler. Si parties grasses : solvant approprié.		F	E	30	1	EL	A	1	/
Mesurer l'isolement châssis/terre.		V	E	5	1	EL	A	1	/
Mesurer l'isolement enroulements HT/enroulements BT.		V	E	15	1	EL	A	1	/

Local transfo									
Description	Valeur	I	Csg	Min	Nb	Mét.	APM	Périod.	
S'assurer de la bonne ventilation.		C	E	5	1	EL	A	1	/
Vérifier le fonctionnement de l'éclairage		C		3	1	EL	M	6	/

Calibrage

Les appareils de mesure doivent avoir un contrôle des valeurs, c'est-à-dire un calibrage une fois par an.

Dans deux cas ce contrôle est assez simple :

- Thermocouples ou Couples thermoélectriques
Il suffit de plonger la soudure chaude dans de l'eau bouillante puis dans de la glace et de vérifier que l'écran mentionne 100 puis 0.
Sinon il faut régler l'écran.
- Manomètre
En déconnectant le manomètre on vérifie que l'aiguille retombe à zéro.

Mais dans la majorité des cas il faut s'adresser aux sociétés spécialisées en ce domaine.

Quatrième partie

Documentation pratique

	Page
Sécurité.....	
Techniques spéciales.....	
Codification, symboles et normes.....	
Lois et valeurs physiques.....	
Matériels courants.....	

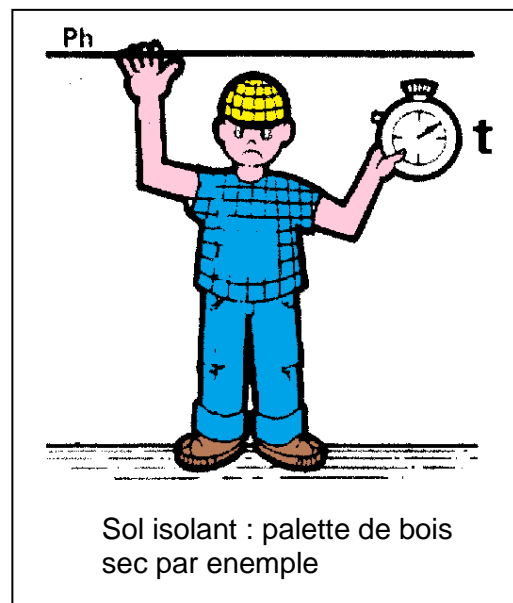
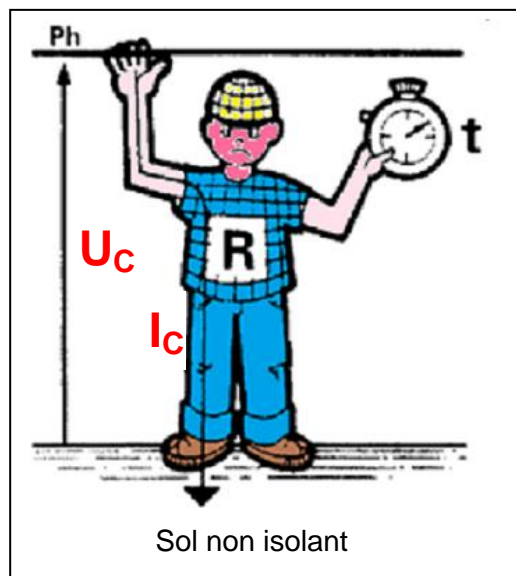
Sécurité

	Page
Dangers de l'électricité.....	199
Principes généraux de prévention.....	203
Consignations et déconsignations.....	205
Plan de prévention.....	208
Visites réglementaires.....	211
ATEX.....	213
Formations obligatoires.....	221
Evaluation des risques.....	223
Habilitations électriques (FR).....	226

Dangers de l'électricité

Effet du courant électrique traversant le corps humain

Le corps humain se comporte comme une résistance électrique. Lorsqu'il est soumis à une tension, il est traversé par un courant électrique ce qui peut avoir des conséquences graves.



Les dangers encourus par les personnes traversées par un courant électrique dépendent essentiellement de **l'intensité du courant** et du **temps de passage**.

Cette intensité dépend de la tension de contact qui s'applique sur la personne ainsi que de la résistance rencontrée par ce courant lors de son cheminement au travers du corps humain.

A noter que la résistance du corps humain varie en fonction de l'état de la peau (sèche, humide, mouillée) et de la tension de contact. La résistance du milieu interne est relativement fine (autour de 700 ohms).

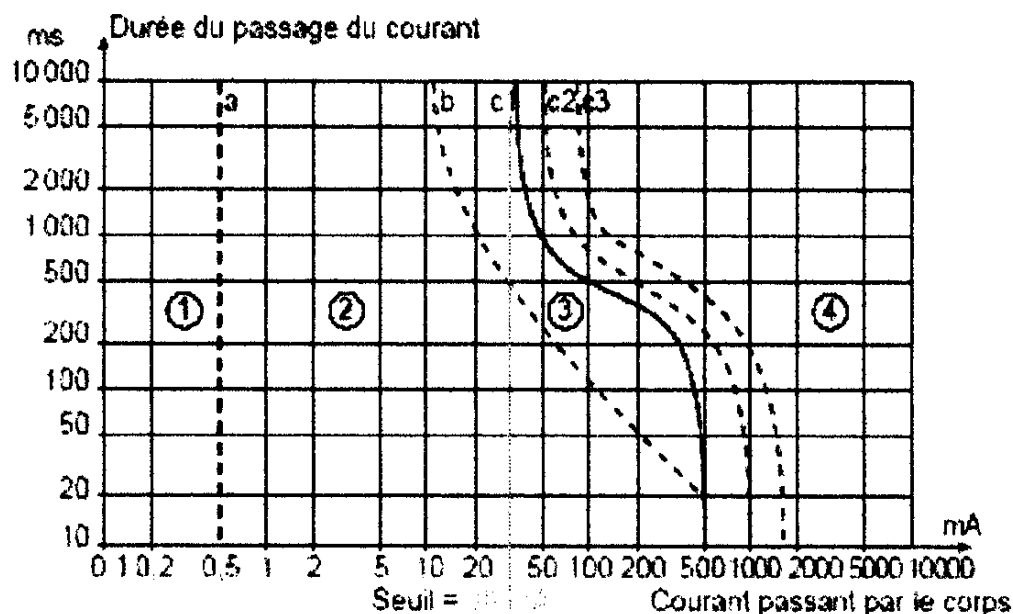
Quelques termes utilisés

- Electrification : corps humain en contact électrique qui n'entraîne pas le décès.
- Tétanisation : contraction violente des muscles.
- Fibrillation cardiaque : contractions rapides et désordonnées des muscles cardiaques. Le retour à la normale nécessite une intervention (massage cardiaque, ventilation artificielle, défibrillateur...)
- Electrocutation : contact électrique sur le corps humain entraînant le décès de la victime.

Remarque : Le courant continu est moins dangereux que le courant alternatif. Il est plus facile de lâcher des parties nues sous tension en présence d'un courant continu qu'en présence d'un courant alternatif. Le seuil de fibrillation ventriculaire est beaucoup plus élevé.

Effet du courant alternatif sur les personnes

Selon la norme CEI 479-1 de la Commission Electrotechnique Internationale, un courant alternatif de fréquence comprise entre 15 Hz et 100 Hz provoque des effets physiologiques qui peuvent être classés suivant 4 zones à risques.



Zone 1 : habituellement aucune réaction ou perception très faible.

Zone 2 : effet désagréable, généralement aucun effet physiologique dangereux.

Zone 3 : contractions musculaires, difficultés respiratoires, arrêts temporaires et réversibles du cœur, en principe sans dommage organique.

Zone 4 :

- A la courbe C1 : la probabilité d'une fibrillation ventriculaire est d'environ 0,1 %.
- De C1 à C2 : la probabilité est d'environ 5 %.
- De C2 à C3 : la probabilité passe à 50 %.
- Au-delà de la courbe C3 : elle augmente au-dessus de 50 %. Arrêt du cœur, arrêt de la respiration et brûlures graves peuvent se produire.

Les tensions de contact électrique

Toutes les masses des matériels électriques de l'installation et tous les éléments conducteurs accessibles doivent être respectivement reliés à la terre par un conducteur de protection.

Deux masses, ou une masse et un élément conducteur, simultanément accessibles doivent être reliés à une même prise de terre.

Lors d'un défaut d'isolement, apparaît entre deux masses, ou une masse et un élément conducteur qui peut être la terre, une **tension de contact**.

La protection par coupure automatique de l'alimentation consiste à empêcher le maintien de la tension de contact pendant une durée telle qu'il risque d'en résulter un danger pour les personnes. Plus la tension est élevée, plus la mise hors tension de la partie d'installation en défaut doit être rapide. Pour une tension de contact présumée, le temps de fonctionnement minimal du dispositif de protection est déterminé par rapport aux valeurs limites du courant pathophysiologiquement dangereux.

Les deux courbes (précédente et suivante) précisent pour le courant alternatif et le courant continu les limites de ce temps de fonctionnement dans les trois conditions conventionnelles d'influences externes.

Ces courbes sont dites courbes de sécurité.

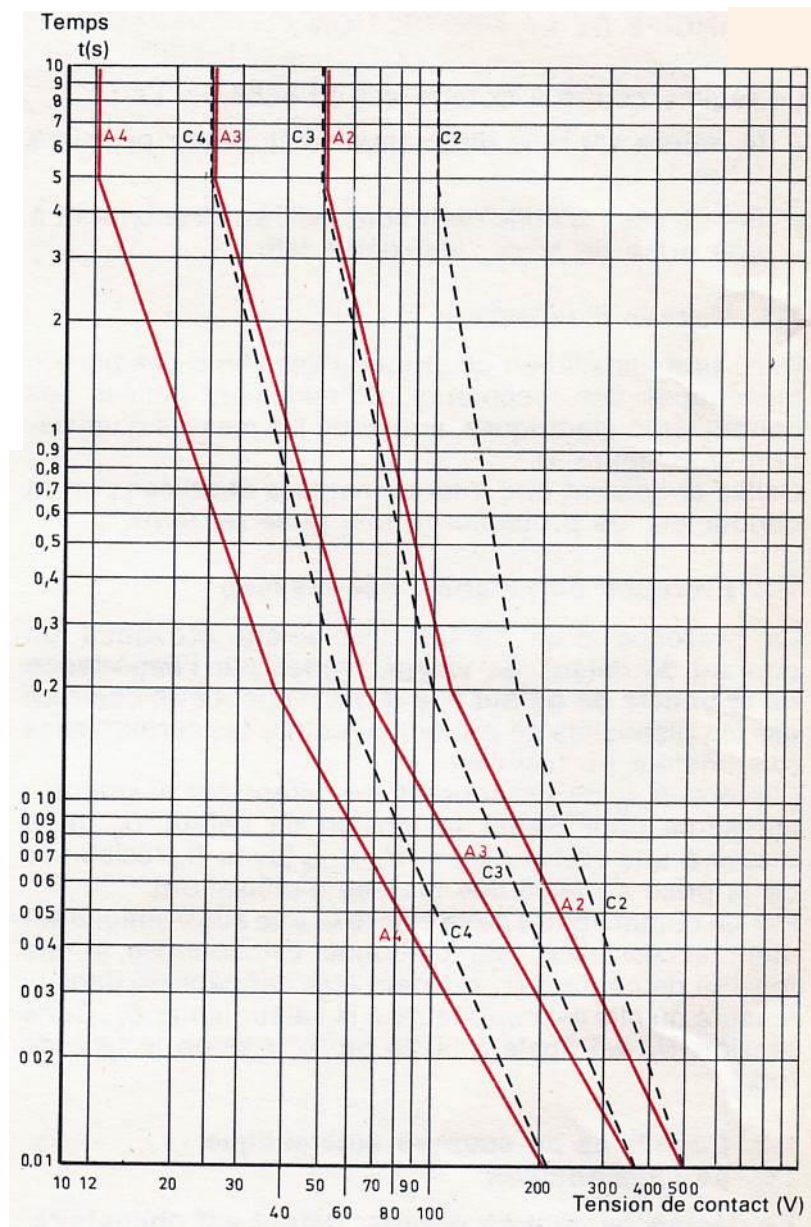
A : Courbes en courant alternatif

C : Courbes en courant continu

A2 C2 : Courbes correspondant aux conditions normales

A3 C3 : Courbes correspondant aux conditions mouillées

A4 C4 : Courbes correspondant aux conditions immergées



Suivant la norme NFC 15-100 il existe deux tensions limites de sécurité, en alternatif : $U_L = 50V$ (milieu sec), $U_L = 25V$ (chantier, local enligné).

En l'absence d'un défaut d'isolement, les masses électriques doivent être à un potentiel nul par rapport à la terre car elles sont accessibles normalement à toute personne.

En cas de défaut d'isolement, cette masse est en contact avec une partie active (ou conducteur sous tension), le courant circulant au travers du défaut et de la masse rejoint la terre, soit par le PE (Conducteur de protection Vert/jaune) soit par la personne en contact.

Dans ce dernier cas, pour assurer la protection des personnes il est impératif de couper automatiquement l'alimentation en énergie avant une durée indiquée dans le tableau ci-après.

Tension de contact présumée (en V)	Temps de coupure minimal des dispositifs de protections (en s)			
	En alternatif		En continu	
	UL = 50 V	UL = 25 V	UL = 120 V	UL = 60 V
25 V		5		5
50 V	5	0,48	5	5
75 V	0,6	0,3	5	2
90 V	0,45	0,25	5	0,8
120 V	0,34	0,18	5	0,5
150 V	0,27	0,10	1	0,25
220 V	0,17	0,05	0,4	0,06
280 V	0,12	0,02	0,3	0,02
350 V	0,08		0,2	
500 V	0,04		0,1	

Conduite à tenir en cas d'accident

Protéger

Soustraire la victime aux effets du courant par mise hors tension. Si la mise hors tension n'est pas possible par le saubeteur, prévenir le distributeur. Toute intervention imprudente du sauveteur risque de l'accidenter lui-même.

Secourir

Si la victime est inanimée et ne répond pas, si son thorax et son abdomen sont immobiles, assurer la respiration par bouche à bouche et massage cardiaque.

Alerter

Suivant consigne préétablie si elle existe à proximité ou téléphoner (SAMU-15, POMPIER-18, MEDECIN). Ne jamais abandonner les soins avant l'arrivée des secours spécialisés.

Principes généraux de prévention

Ci-après figurent les principes généraux de prévention mis à la charge du Chef d'entreprise en matière de sécurité et santé, suivant le Code du Travail.

Article L4121-1

- L'employeur prend les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé physique et mentale des travailleurs.

Ces mesures comprennent :

- Des actions de prévention des risques professionnels ;
- Des actions d'information et de formation ;
- La mise en place d'une organisation et de moyens adaptés.

L'employeur veille à l'adaptation de ces mesures pour tenir compte du changement des circonstances et tendre à l'amélioration des situations existantes.

Article L4121-2

- L'employeur met en œuvre les mesures prévues à l'Article L4121-1 sur le fondement des principes généraux de prévention suivants :

- Éviter les risques ;
- Évaluer les risques qui ne peuvent pas être évités ;
- Combattre les risques à la source ;
- Adapter le travail à l'homme, en particulier en ce qui concerne la conception des postes de travail ainsi que le choix des équipements de travail et des méthodes de travail et de production, en vue notamment de limiter le travail monotone et le travail cadencé et de réduire les effets de ceux-ci sur la santé ;
- Tenir compte de l'évolution de la technique ;
- Remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux ;
- Planifier la prévention en y intégrant, dans un ensemble cohérent, la technique, l'organisation du travail, les conditions de travail, les relations sociales et l'influence des facteurs ambiants, notamment les risques liés au harcèlement moral, tel qu'il est défini à l'Article L1152-1 ;
- Prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle ;
- Donner les instructions appropriées aux travailleurs.

Article L4121-3

- L'employeur, compte-tenu de la nature des activités de l'établissement, évalue les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs, y compris dans le choix des procédés de fabrication, des équipements de travail, des substances ou préparations chimiques, dans l'aménagement ou le réaménagement des lieux de travail ou des installations et dans la définition des postes de travail. À la suite de cette évaluation, l'employeur met en œuvre les actions de prévention ainsi que les méthodes de travail et de production garantissant un meilleur niveau de protection de la santé et de la sécurité des travailleurs. Il intègre ces actions et ces méthodes dans l'ensemble des activités de l'établissement et à tous les niveaux de l'encadrement.

Article L4121-4

- Lorsqu'il confie des tâches à un travailleur, l'employeur, compte-tenu de la nature des activités de l'établissement, prend en considération les capacités de l'intéressé à mettre en œuvre les précautions nécessaires pour la santé et la sécurité.

Article L4121-5

- Lorsque dans un même lieu de travail les travailleurs de plusieurs entreprises sont présents, les employeurs coopèrent à la mise en œuvre des dispositions relatives à la santé et à la sécurité au travail.

Article L4522-1

- Lorsqu'un travailleur ou le chef d'une entreprise entérieure ou un travailleur indépendant est appelé à réaliser une intervention pouvant présenter des risques particuliers en raison de sa nature ou de la proximité de cette installation, le chef d'établissement de l'entreprise utilisatrice et le chef de l'entreprise entérieure définissent conjointement les mesures de prévention prévues aux articles L4121-1 à L4121-4. Le chef d'établissement de l'entreprise utilisatrice veille au respect par l'entreprise entérieure des mesures que celle-ci a la responsabilité d'appliquer, compte-tenu de la spécificité de l'établissement, préalablement à l'exécution de l'opération, durant son déroulement et à son issue.

Consignations et déconsignations

Définitions

Consignation

C'est l'ensemble des dispositions permettant de mettre et de maintenir en sécurité (si possible par un moyen physique) une machine, un appareil ou une installation de façon qu'un changement d'état (remise en état de marche d'une machine, fermeture d'un circuit électrique, ouverture d'une vanne...) soit impossible sans l'action volontaire de tous les intervenants.

Il existe, en outre, d'autres définitions plus spécifiques : consignation d'ordre électrique, consignation d'arrêt machine...

Déconsignation

C'est l'ensemble des dispositions permettant de remettre en état de fonctionnement une machine, un appareil ou une installation préalablement consigné, en assurant la sécurité des intervenants et des exploitants.

Intervenant

Un intervenant est chargé de réaliser des travaux prédéfinis. Ce peut être :

- soit une personne,
- soit une équipe réduite, comprenant un chef d'équipe ou un chargé de travaux présent en permanence sur le chantier.

Chargé de consignation

Un chargé de consignation est une personne compétente désignée par le chef d'entreprise pour effectuer la consignation et la déconsignation d'une installation et qui est chargée de prendre ou de faire prendre les mesures de sécurité qui en découlent.

Procédures

Phase de consignation	Nature du risque		
	Electrique	Chimique	Mécanique
Séparation	Mise hors tension de tous les circuits de puissance et de commande de façon pleinement apparente (1) y compris les alimentations de secours	Suppression des arrivées de tous les fluides ou solides de façon pleinement apparente (1) y compris les circuits auxiliaires.	Coupure de la transmission de toutes les formes d'énergie de façon pleinement apparente (1) y compris secours et accumulation d'énergie.
Condamnation Signalisation	Verrouillage par un dispositif matériel difficilement neutralisable, dont l'état est visible de l'extérieur, réversible uniquement par un outil spécifique personnalisé pour chaque intervenant. Information claire et permanente de la réalisation de la condamnation.		
Purge	Mise à la terre et en court-circuit des conducteurs (opération à réaliser après la vérification). Décharge des condensateurs.	Vidange, nettoyage (décroûtage...) Elimination d'une atmosphère inerte ou dangereuse. Ventilation	Mise au niveau d'énergie le plus bas par : - arrêt des mécanismes y compris volants d'inertie, - mise en équilibre mécanique stable (point mort bas) ou, à défaut, calage mécanique, - mise à la pression atmosphérique.
Vérification	Absence de tension entre tous les conducteurs (y compris le neutre) et entre eux et la terre.	Absence de : - pression, - écoulement. Contrôle spécifique éventuel (atmosphère, pH...)	Absence d'énergie : - tension, - pression, - mouvement.
Identification	Eventuellement balisage des zones dangereuses résiduelles. Elle a pour but de s'assurer que les travaux seront effectués sur l'installation ou l'équipement consigné. Pour cela, les schémas et le repérage des éléments devront être lisibles,		

(1) c'est-à-dire, soit par la vue directe du dispositif de séparation, soit par un asservissement fiable entre la position de ce dispositif et celle de l'organe extérieur de manœuvre reflétant cette position.

L'ordre d'arrêt maintenu peut être introduit à plusieurs niveaux différents :

- verrouillage appliqué du système de commande par exemple au niveau des entrées d'un automate programmable ou au niveau des préactionneurs,
- verrouillage appliqué aux éléments de puissance,
- séparation mécanique, par exemple à l'aide d'un embrayage,
- immobilisation des éléments mobiles à l'aide d'un dispositif de retenue mécanique, par exemple une cale, un sabot d'arrêt, etc.

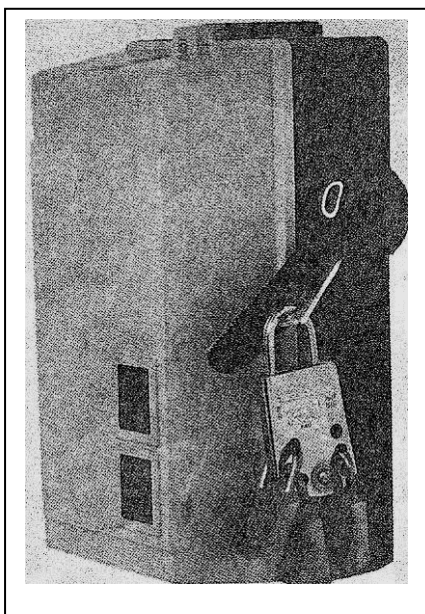
L'analyse des risques doit permettre de déterminer le contenu et l'ordre des opérations de déconsignation.

Par exemple :

- la dépose ou l'arrêt du dispositif de purge ou la réalimentation en énergie peuvent entraîner des risques spécifiques (mouvements de vérins, démarrage à vide de pompes),
- une initialisation des équipements commandés par certains automatismes (microprocesseurs...) devra être effectuée avant toute remise en service afin d'éviter des commandes intempestives.

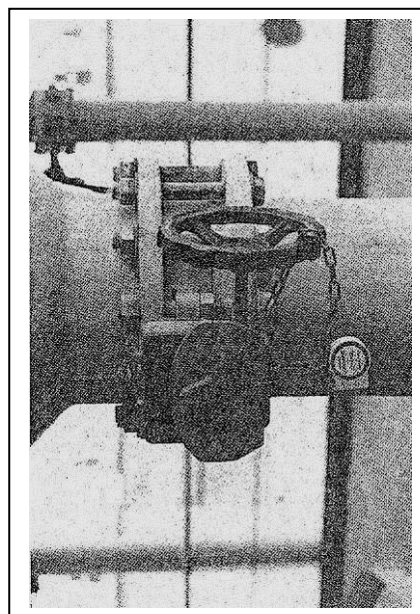
Une attention particulière sera apportée à l'identification des circuits pour limiter les risques de confusion d'installation et donc de déconsignation intempestive. En particulier, c'est le chargé de déconsignation qui a pour rôle de recevoir les dispositifs de condamnation restitués par les différents intervenants à la fin de leur travail.

Note : avant la phase de redémarrage normal une phase transitoire est souvent nécessaire : la phase d'essai, pour laquelle les sécurités mises en place pour l'exploitation doivent être parfois partiellement neutralisées ; des procédures compensatrices spécifiques et rigoureuses doivent alors être mises en place pour cette phase d'essai.



Coffret électrique :

- verrouillage par multicadenas,
- position visible du sectionneur.



Vanne :

- condamnation par cadenas,
- signalisation

Documents de référence

- NF EN 954-1 : Sécurité des machines – Parties des systèmes de commande relatives à la sécurité.
- NF EN 1037 : Sécurité des machines – Prévention de la mise en marche intempestive (consignation et autres mesures)
- NF EN 1050 : Sécurité des machines – Principes pour l'appréciation du risque.
- NF EN 60204-1 : Sécurité des machines, équipements électriques des machines.

Plan de prévention

Avant le début des travaux, un **Plan de Prévention** doit être établi dans les 2 cas suivants :

- le nombre total d'heures de travail prévu pour réaliser les travaux est au moins de 400 heures sur 12 mois ;
- les travaux concernés figurent sur la liste des travaux dangereux finés par l'arrêté du 19 mars 1993.

Article R.4512-6 du Code du Travail : Plan de prévention

Cet article précise que **dans tous les cas d'intervention d'entreprises entérieures au sein d'une entreprise utilisatrice**, et ce quel que soit le nombre d'heures travaillées et la nature des travaux effectués, à la charge de l'entreprise utilisatrice il faut, préalablement aux travaux, organiser une inspection des lieux d'interventions avec toutes les entreprises entérieures qui seront appelées à intervenir. Cette concertation doit permettre d'identifier et d'analyser les risques d'interférence entre les activités, les installations, et de mettre en place des mesures de prévention.

L'article R.4512-6 dit explicitement :

«Au vu de ces informations et des éléments recueillis au cours de l'inspection, les chefs d'entreprises procèdent en commun à une analyse des risques pouvant résulter de l'interférence entre les activités, les installations et matériels. Lorsque ces risques existent, les employeurs arrêtent d'un commun accord, avant le début des travaux le plan de prévention définissant les mesures qui doivent être prises par chaque entreprise en vue de prévenir ces risques...»

Article R.4512-7 du Code du Travail : Plan de prévention écrit

Par cet Article le législateur détermine les **deux cas** pour lesquels le plan de prévention doit nécessairement être établi **par écrit** avant le commencement des travaux :

1. Dès lors que l'opération à réaliser par les entreprises extérieures, y compris les entreprises sous-traitantes auxquelles elles peuvent faire appel, représente un **nombre total d'heures de travail prévisible égal au moins à 400 heures** sur une période inférieure ou égale à douze mois, que les travaux soient continus ou discontinus. Il en est de même dès lors qu'il apparaît, en cours d'exécution des travaux, que le nombre d'heures de travail doit atteindre 400 heures ;
2. **Quelle que soit la durée prévisible de l'opération**, lorsque les travaux à accomplir sont au nombre des travaux dangereux figurant sur une liste finie, respectivement, par arrêté du ministre chargé du travail et par arrêté du ministre chargé de l'agriculture.

Travaux dangereux imposant un plan de prévention écrit

Cette liste est établie par l'arrêté du 19 mars 1993 (JO du 27 mars 1993). Il s'agit des travaux dangereux pour lesquels doit être établi un plan de prévention écrit quel que soit le nombre d'heures travaillées.

- travaux exposant à des **rayonnements ionisants**;
- travaux exposant à des substances et préparations **explosives, comburantes**, extrêmement **inflammables**, facilement inflammables, très toxiques, toxiques, nocives, cancérogènes, mutagènes, toxiques vis-à-vis de la reproduction, au sens de l'article R.4111-3 du code du travail ;
- travaux exposant à des **agents biologiques pathogènes**;
- travaux effectués sur une **installation classée** faisant l'objet d'un plan d'opération interne;
- travaux de **maintenance sur les équipements de travail**, autres que les appareils et accessoires de levage qui doivent faire l'objet de vérification périodique;

- travaux de transformation sur les **ascenseurs, monte-charge, escaliers mécaniques, trottoirs roulants** et installations de parcage automatique de voitures;
- travaux de maintenance sur des installations à **très haute** ou **très basse température**;
- travaux comportant le recours à des **ponts roulants** ou grues ou transtockeurs;
- travaux comportant le recours aux **treuils** et appareils assimilés mus à la main, installés temporairement au dessus d'une zone de travail ou de circulation;
- travaux exposant au contact avec des **pièces nues sous tension** supérieure à la T.B.T : Très basse tension;
- travaux nécessitant l'utilisation d'équipements de travail auxquels est applicables l'article R. 4323-17 du code du travail, (seuls les travailleurs désignés utilisent l'équipement de travail en question, la maintenance et la modification de cet équipement de travail ne peuvent être réalisés que par les seuls travailleurs affectés à ce type de tâche);
- travaux du bâtiment et des travaux publics exposant les travailleurs à des **risques de chute de hauteur de plus de 3 mètres**;
- travaux exposant à un niveau d'**exposition sonore quotidienne supérieure à 90 dB (A)** ou à un niveau de pression acoustique de crête supérieure à 140 dB;
- travaux exposant à des risques de **noyade**;
- travaux exposant à un risque d'**ensevelissement**;
- travaux de montage , démontage d'éléments préfabriqués **lourds**;
- travaux de démolition;
- travaux dans ou sur des cuves et accumulateurs de matière en atmosphère confinée;
- travaux en milieu **hyperbare**;
- travaux nécessitant l'utilisation d'un appareil à **laser d'une classe supérieure à la classe 3 A**;
- travaux de soudage onyacétylénique exigeant le recours à un **permis de feu**.

Contenu du Plan de prévention

Le Plan doit contenir les éléments suivants :

- définition des **phases d'activité dangereuses**, moyens de **prévention** spécifiques;
- **adaptation des matériels**, installations et dispositifs, à la nature des opérations à effectuer,
- définition des conditions d'entretien;
- **instructions** à donner aux **salariés**;
- organisation mise en place pour assurer les premiers secours, description du dispositif mis en place par l'entreprise utilisatrice;
- conditions de la participation des salariés d'une entreprise aux travaux réalisés par une autre pour assurer la coordination nécessaire au **maintien de la sécurité**.

- La liste des postes occupés par les salariés susceptibles de relever de la **surveillance médicale renforcée** doit être fournie par chaque entreprise concernée et figurer dans le plan de prévention.

Les dossiers techniques regroupant les informations relatives à la recherche et à l'identification des matériaux contenant de l'amiante sont joints au plan de prévention.

Note complémentaire

Article R.4323-17

Lorsque les mesures prises en application des articles R. 4321-1 et R. 4321-2 ne peuvent pas être suffisantes pour préserver la santé et assurer la sécurité des travailleurs, l'employeur prend les mesures nécessaires pour que :

- 1 Seuls les travailleurs désignés à cet effet utilisent l'équipement de travail ;
- 2 La maintenance et la modification de cet équipement de travail ne soient réalisées que par les seuls travailleurs affectés à ce type de tâche.

Article R.4321-1

L'employeur met à la disposition des travailleurs les équipements de travail nécessaires, appropriés au travail à réaliser ou convenablement adaptés à cet effet, en vue de préserver leur santé et leur sécurité.

Article R.4321-2

L'employeur choisit les équipements de travail en fonction des conditions et des caractéristiques particulières du travail. Il tient compte des caractéristiques de l'établissement susceptibles d'être à l'origine de risques lors de l'utilisation de ces équipements.

Visites réglementaires

Il y a quatre types de vérifications réglementaires :

- les **vérifications initiales**,
- les **essais fonctionnels**,
- les **vérifications périodiques**,
- les **vérifications à la demande de l'administration**

Vérifications initiales

Pour un nouvel équipement, la remise d'un certificat de conformité et le marquage CE par le constructeur ne sont pas suffisants pour déresponsabiliser l'utilisateur en cas d'accident.

Des vérifications initiales sont imposées lors de la mise en service d'une nouvelle installation ou d'un nouvel équipement. Elles doivent garantir que les installations et équipements neufs, modifiés ou réparés ont bien été conçus, réalisés, installés, modifiés ou réparés conformément aux règles qui leur sont propres. Certaines sont imposées par la réglementation ; d'autres sont à la libre initiative du chef d'établissement.

Dans le domaine **mécanique**, les termes suivants sont utilisés.

Appareils sous pression

- Contrôle préalable à la mise en service : il concerne certains appareils sous pression : récipients à couvercles amovibles et générateurs soumis à déclaration. Ce contrôle est imposé par l'Arrêté 15.03.2000 modifié par l'Arrêté 30.03.2005.
- Requalification périodique : pour les appareils à pression soumis, elle consiste à une inspection entérieure et intérieure, au contrôle des accessoires de sécurité, et à une réépreuve hydraulique. Celle-ci consiste à soumettre l'appareil à une pression hydraulique supérieure à la pression manimale de service. Cette inspection donne lieu à l'établissement d'un PV de requalification et au poinçonnage de l'appareil.

Appareils de levage

- Vérification lors de la mise ou remise en service d'un appareil de levage : pour les appareils de levage et leurs supports, il s'agit d'une vérification, d'épreuves statiques, éventuellement dynamiques, et d'essais de fonctionnement. C'est dans le cas où le responsable de leurs mises sur le marché ne s'est pas assuré de l'aptitude à l'emploi dans leurs configurations. Cette vérification est imposée par l'Arrêté du 1 mars 2004.
- Enamen de montage et d'installation d'un appareil de levage : il s'agit de s'assurer que l'appareil de levage a bien été monté et installé suivant les conditions prévues par le fabricant, ces dispositions étant requises par l'Arrêté du 1 mars 2004.
- Enamen d'adéquation d'un appareil de levage : il s'agit toujours de dispositions requises par l'Arrêté du 1 mars 2004. Cet enamen vérifie que
 - l'appareil est approprié aux travaux à effectuer ;
 - l'appareil est approprié aux risques auxquels les travailleurs sont exposés ;
 - l'appareil est utilisé conformément à la notice d'instruction établie par le constructeur.

Essais fonctionnels

Ces essais doivent avoir lieu chaque jour, ou à chaque démarrage pour les installations fonctionnant en continu. Ils ont pour but de vérifier que l'installation fonctionne normalement et que les dispositifs de sécurité remplissent bien leur rôle.

La formation à la réalisation de ces essais doit être comprise dans la formation au poste de travail de l'opérateur.

Vérifications périodiques

Elles ont pour objet de vérifier l'état de l'installation et des dispositifs de sécurité, pour identifier toute dégradation qui pourrait entraîner un danger afin de déterminer :

- si une réparation ou un échange est nécessaire dans les meilleurs délais ;
- et si les dispositifs de sécurité peuvent remplir correctement leur fonction jusqu'à la prochaine vérification.

Les tentes réglementaires ne précisent pas toujours quelle est la personne qui doit effectuer ces vérifications. Mais la circulaire DRT N°93-22 du 22.09.1993 précise que les vérifications doivent être effectuées par des personnes ayant la compétence requise, ce qui implique, outre la qualification, l'expérience du métier de vérificateur et, en particulier, une pratique habituelle de celui-ci. La réalisation des vérifications par l'utilisateur habituel du matériel est à déconseiller car il peut s'être adapté à un fonctionnement dégradé.

D'une manière générale, il paraît plus prudent de s'adresser à un organisme agréé car il a une connaissance approfondie des risques liés aux installations, des tentes réglementaires, et il dispose des appareils de contrôle adéquats

Vérification à la demande ou mise en demeure notifiée par l'Administration

A la demande en presse de l'Inspection du Travail...des vérifications peuvent être demandées. Elles doivent alors être faites par une société ou un organisme reconnu par l'Administration.

Les pages qui suivent sont une synthèse des visites périodiques à faire en application des différents tentes réglementaires. Elles ne prétendent pas être exhaustives d'une part, et d'autres part elles peuvent être soumises à modifications.

Elles ne comprennent pas les thèmes suivants : Electricité, éclairage, appareils de bronzage, milieu hyperbare, navires, transport routier.

Les informations concernant ces visites réglementaires peuvent être obtenues auprès de : l'Institut National de Recherche et de Sécurité, l'Inspection du Travail, et tout Organisme agréé.

Les principaux sigles utilisés dans les pages ci-après sont :

RC : Registre des contrôles techniques.

Il ne comprend pas de mesures techniques, mais la date des vérifications, l'identité des vérificateurs et la liste des installations vérifiées. On peut avoir qu'un seul registre pour l'ensemble des installations et il peut être informatisé.

RV : Rapport de vérification ;

Il doit révéler :

- les points d'écart avec la réglementation et les normes obligatoires ;
- les défauts et lacunes pouvant affecter la sécurité d'utilisation des installations.

Les travaux réalisés pour la mise en conformité doivent être justifiés par factures ou annotations portées sur le rapport.

PQC : Personne qualifiée et compétente

OA : Organisme agréé

EC : Entreprise chargée de l'entretien

SIR : Service d'inspection reconnu

ATEX (Atmosphères explosives)

Définition d'une atmosphère explosive

Une explosion peut être de plusieurs natures :

- physique (par exemple, éclatement d'un récipient dont la pression intérieure est devenue trop importante)
- chimique (lors d'une réaction chimique).

Pour qu'une explosion se produise, il faut :

- un combustible (substances inflammables sous forme de gaz, vapeurs ou poussières),
- un comburant (ex : l'oxygène de l'air ambiant),
- une source d'énergie permettant l'inflammation,
- des proportions combustible/comburant situées dans le domaine d'explosivité, c'est-à-dire comprises entre les limites inférieures et supérieures d'explosivité (LIE et LSE) du combustible.

En cas d'explosion, les travailleurs se trouvent exposés à des risques qui résultent des phénomènes incontrôlés d'inflammation et de pression, tels que les rayonnements thermiques, les flammes (qui peuvent envahir un espace jusqu'à dix fois l'espace d'atmosphère explosible initial), les ondes de choc, les projections de débris. Ils peuvent également être exposés à des dérivés nocifs issus de la combustion ou à un appauvrissement de l'air en oxygène. Les constructions sont elles aussi fortement touchées lors d'une explosion.

- **gaz et vapeurs :**
 - combustibles pour les installations de chauffage, de séchage, etc
 - gaz combustibles stockés
 - vapeurs de solvants inflammables stockés ou manipulés
- **poussières combustibles** susceptibles de constituer avec l'air des nuages explosifs lors d'opérations courantes (chargement ou déchargement de produits pulvérulents, dépoussiérage de filtres...).

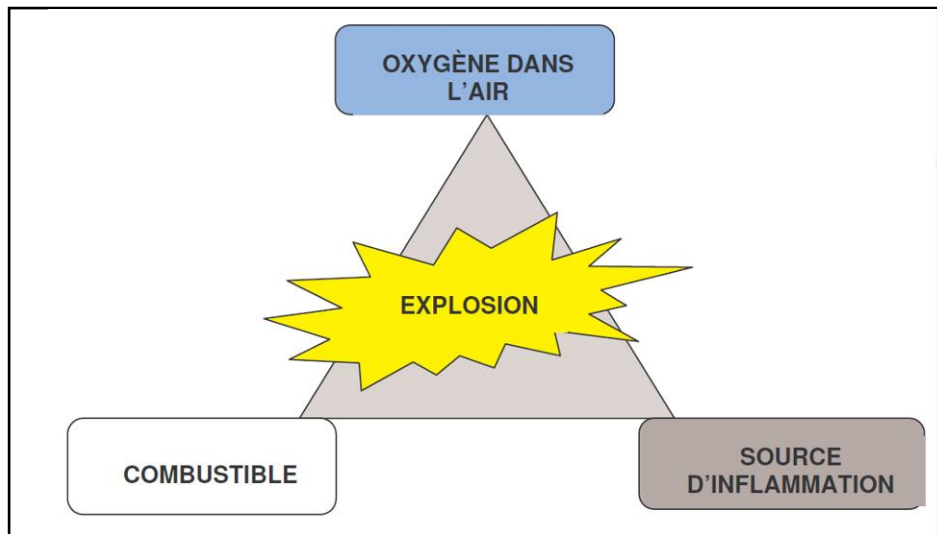
Ces atmosphères explosives se forment tant :

- **en fonctionnement normal dans des locaux fermés ou peu ventilés**
 - où s'évaporent des solvants inflammables (postes de peinture, collage, nettoyage de réservoirs...)
 - au voisinage des orifices des réservoirs de liquides inflammables
- **qu'accidentellement** en raison de fuites de récipients, de fuites sur des canalisations de liquides ou de gaz inflammables.

Pour être explosif, le mélange ne doit être ni trop pauvre, ni trop riche en combustible :

LSE : Limite Supérieure d'Explosivité d'un gaz ou d'une vapeur dans l'air = concentration maximale dans l'air d'un combustible au dessous de laquelle un combustible peut s'enflammer.

LIE : Limite Inférieure d'Explosivité d'une substance inflammable = concentration minimale dans l'air d'un combustible au dessus de laquelle un combustible peut s'enflammer



Directives européennes

Dans le cadre de sa politique en matière de santé et sécurité au travail, l'Union Européenne a mis en

place un cadre réglementaire.

□ Pour les **constructeurs, importateurs et vendeurs d'appareils et de systèmes de protection**

La directive 1994/9/CE du 23 mars 1994, prise en application de l'article 100A de la directive économique "nouvelle approche", définit les spécifications ou les exigences essentielles de sécurité

qui influent sur la conception et la construction de l'ensemble du matériel utilisable en atmosphère explosible. Cette directive s'adresse essentiellement aux **constructeurs, importateurs et vendeurs**. Elle cadre l'autorisation de la mise sur le marché et de la libre circulation des appareils et des systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphères explosibles. Différents niveaux de protection ont été définis pour ces matériels, en fonction du niveau de risque du lieu où ils seront disposés, ainsi que les modalités du contrôle de fabrication. Cette directive a été transposée en droit

français au travers du décret 96-1010 du 19 novembre 1996.

Les problématiques spécifiques aux constructeurs, importateurs et vendeurs d'appareils et de systèmes de protection ne seront pas abordées dans la suite de ce dossier.

□ Pour les **employeurs**

La directive 1999/92/CE du 16 décembre 1999, prise en application des directives du type "social" définit les prescriptions minimales visant à améliorer la protection en matière de sécurité des travailleurs susceptibles d'être exposés au risque d'atmosphères explosibles. Cette directive s'adresse

aux employeurs lorsque des atmosphères explosibles sont susceptibles de se former sur les lieux de

travail. Les mesures nécessaires doivent être prises pour que le travail soit effectué en toute sécurité

et qu'une surveillance adéquate soit assurée conformément à l'évaluation des risques. Cette seconde

directive détermine la stratégie à mettre en oeuvre selon la politique de prévention applicable aux lieux de travail face à ce type de risque. A partir d'une étude exhaustive des dangers spécifiques

créés par une atmosphère explosive, l'exploitant doit prendre, et par ordre de priorité, les mesures suivantes :

- ❖ empêcher la formation d'atmosphère explosive,
- ❖ éviter l'inflammation d'atmosphère explosive,
- ❖ réduire les effets nuisibles d'une explosion.

Mesures à prendre

Le chef d'établissement doit prendre les mesures techniques et organisationnelles nécessaires afin :

- d'empêcher la formation d'ATmosphères Explosives (ATEX),
- d'éviter l'inflammation d'atmosphères explosives,
- d'atténuer les effets d'une explosion et d'en prévenir la propagation.

Pour ce faire, il convient de mettre en place :

Etablissement d'un zonage

- Cette étape est préliminaire à toute démarche ATEX.
- Son objectif est de classer les zones en fonction de la nature, de la fréquence ou de la durée de présence d'une atmosphère explosive en chaque point de l'installation et de déterminer le matériel à installer dans les différentes zones.

Evaluation de l'adéquation des installations

- Le chef d'établissement doit s'assurer de la conformité des installations présentes sur l'ensemble des zones à risque ATEX.

Elaboration du Document Relatif à la Protection contre les Explosions

- Ce document doit lui-même être intégré au « document relatif à l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs » prévu par l'article R230-1 du code du travail (Décret 2001-1016 du 5 novembre 2001).

Formation

- Cette formation est rendue obligatoire par l'arrêté du 8 juillet 2003.

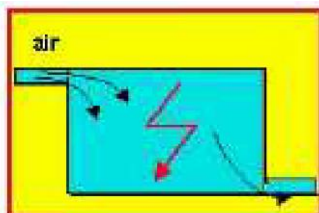
Modes de protection

Les différents modes de protection pour le matériel électrique agissent sur l'une des composantes suivantes :

- Suppression de l'atmosphère explosive.
- Suppression de la source d'inflammation.
- Non propagation de l'inflammation.

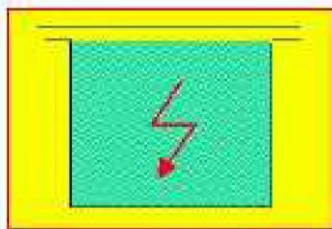
Suppression de l'atmosphère explosive

Suppression interne –
symbole (p)



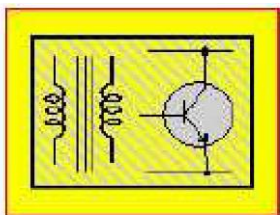
La pénétration d'une atmosphère environnante à l'intérieur de l'enveloppe du matériel électrique est empêchée par le maintien, à l'intérieur de la dite enveloppe, d'un gaz de protection à une pression supérieure à celle de l'atmosphère environnante.

Immersion dans l'huile –
symbole (o)



Le matériel électrique est immergé dans l'huile de telle sorte qu'une atmosphère explosive se trouvant au-dessus du niveau de l'huile ou à l'extérieur de l'enveloppe ne puisse pénétrer et s'enflammer.

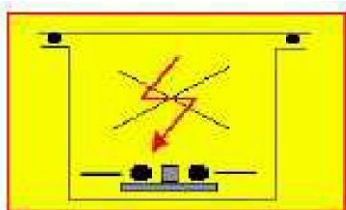
Encapsulage – symbole
(m)



Les pièces qui pourraient enflammer une atmosphère explosive par des étincelles ou des échauffements sont enfermées dans une résine de telle manière que cette atmosphère ne puisse pénétrer et donc s'enflammer.

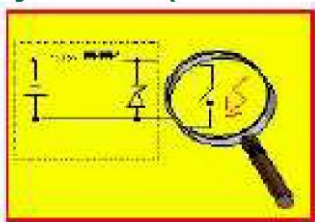
Suppression de la source d'inflammation

Sécurité augmentée –
symbole (e)



Mode de protection consistant à appliquer des mesures afin d'éviter, avec un coefficient de sécurité élevé, la possibilité de températures excessives et l'apparition d'arcs ou d'étincelles à l'intérieur et sur les parties externes du matériel électrique qui ne produit pas un service normal.

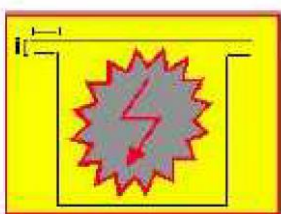
Sécurité intrinsèque – symbole (ia ou ib)



Un circuit de sécurité intrinsèque est un circuit dans lequel aucune étincelle ni aucun effet thermique produit dans les conditions d'épreuve prescrites par la norme, n'est capable de produire l'inflammation d'une atmosphère explosive donnée.

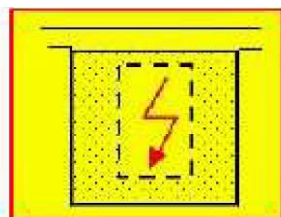
Non propagation de l'inflammation

Enveloppe antidéflagrante – symbole (d)



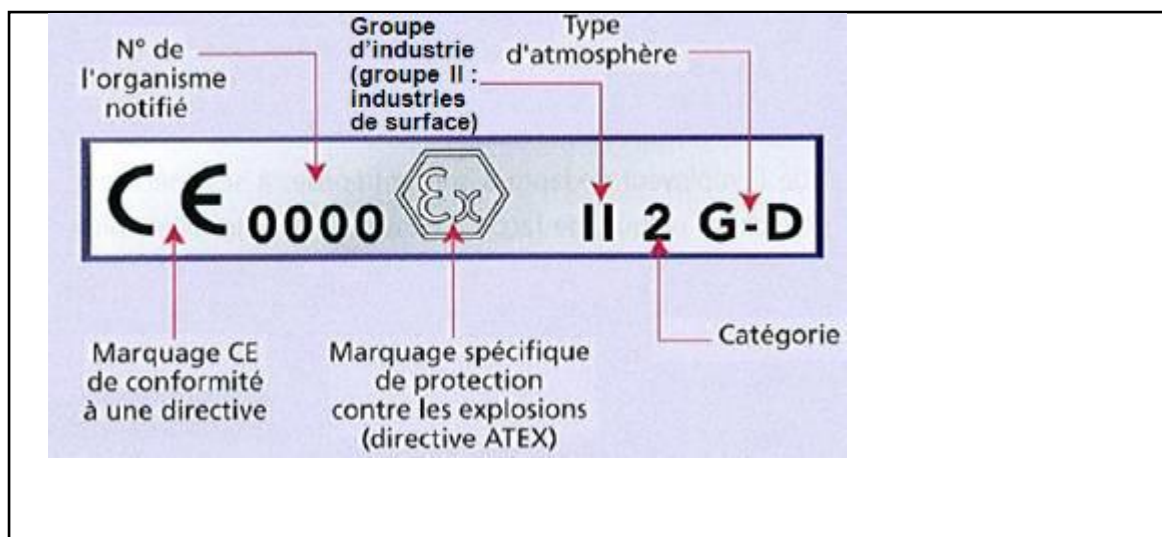
Les pièces, qui peuvent enflammer une ATEX, sont enfermées dans une enveloppe qui résiste à la pression développée lors d'une explosion interne d'un mélange explosif et qui empêche la transmission de l'explosion à l'atmosphère environnante de l'enveloppe.

Remplissage pulvérulent – symbole (q)



Les parties susceptibles d'enflammer une atmosphère explosive sont en position fixes et sont complètement noyées dans un matériau de remplissage de telle sorte que l'inflammation d'une atmosphère environnante soit empêchée.

Marquage ATEX



Symbole ATEX :



Groupe d'appareils

I	MINES GRISOUTEUSES
---	-----------------------

Catégorie d'appareils

M1	Très haut niveau de protection
M2	Haut niveau de protection

Type d'atmosphère

G	D
Gaz Vapeur	Poussières

II	INDUSTRIES DE SURFACE
----	--------------------------

1	Très haut niveau de protection
2	Haut niveau de protection
3	Niveau normal de protection

ZONE		
0	Risque permanent	20
1	Risque fréquent	21
2	Risque occasionnel	22

Mode de protection

Il s'agit des techniques utilisées pour supprimer les risques d'explosion provoqués par un appareil électrique.

Zone 0 ou 20 : ia

Zone 1 ou 21 : p, o, m, e, ib, ia, d, q

Zone 2 ou 22 : p, o, m, e, ib, ia, d, q, n

Groupe de gaz

La dangerosité d'un gaz dépend de deux critères différents : le groupe de gaz et la classe de température.

La dangerosité d'un mélange avec l'air dépend de sa concentration en substance inflammable mais également des c propres à cette substance. Il est donc nécessaire de classer ces différents combustibles suivant leur niveau de dangerosité.

Les diverses substances peuvent s'enflammer suite à l'apport d'une énergie suffisante. Plus l'énergie suffisante est faible, plus la substance est dangereuse.

IEMS : Interstice Expérimental Maximal de Sécurité : c'est l'épaisseur maximale de la couche d'air entre 2 parties d'une chambre interne d'un appareil d'essai qui, lorsque le mélange interne est enflammé, empêche l'inflammation du même mélange gazeux à travers un épaulement de 25 mm de longueur.

EMI : Energie Minimale d'Inflammation : énergie minimale qui doit être fournie au mélange, sous forme d'une flamme ou d'une étincelle, pour provoquer l'inflammation.

4 groupes de gaz ont été établis.

	Groupes de gaz	EMI (μ J)	IEMS (mm)
Méthane	I	300	1,14
Propane	IIA	240	0,92
Ethylène	IIB	70	0,65
Acétylène	IIC	17	0,37
Hydrogène		17	0,29

Pour le groupe II la dangerosité croit de A à C.

Classe de température

Les matériels destinés à être utilisés dans une atmosphère explosive sont classés de T1 à T6 en fonction de la température externe qu'ils génèrent.

Classes de températures	Valeur maximale °C
T1	450
T2	300
T3	200
T4	135
T5	100
T6	85

Plus la température d'inflammation est faible, plus la substance est dangereuse.

Exemples :

	Température d'inflammation °C
Sulfure de carbone	102
Ether éthylique	170

Acétylène	305
Ethylène	425
Propane	470
Acétone	535
Hydrogène	560
Méthane	595
Oxyde de carbone	605

Réglementation

La réglementation française pour la prévention des explosions est issue des deux directives européennes que sont les directives ATEX 99/92/CE et 94/9/CE.

La directive ATEX 94/9/CE du 23 mars 1994 concernant le matériel utilisable en atmosphère explosive est transcrite dans les textes suivants :

- ❑ Décret 96-1010 du 19 novembre 1996 relatif aux appareils et aux systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosive.
- ❑ Arrêté du 3 mars 1997 définissant un modèle de déclaration CE de conformité et le contenu de l'attestation écrite de conformité d'un composant pour l'application du décret n°96-1010 du 19 novembre 1996 relatif aux appareils et aux systèmes de protection destinés à être utilisés en atmosphère explosive.

La directive ATEX 99/92/CE du 16 décembre 1999 concernant la protection des travailleurs est transcrite dans les textes suivants :

- ❑ Décret 2002-1553 du 24 décembre 2002 relatif à la prévention des explosions sur les lieux de travail (transposé dans le code du travail dans les articles R232-12-23 à R232-12-29)
- ❑ Décret 2002-1554 du 24 décembre 2002 relatif aux obligations des maîtres d'ouvrage en matière de construction des lieux de travail (art. R.235-4-17 du code du travail)
- ❑ Arrêté du 8 juillet 2003 relatif à la protection des salariés susceptibles d'être exposés à une atmosphère explosive. Il complète également l'arrêté du 4 novembre 1993 relatif à la signalisation de sécurité et de santé au travail.
- ❑ Arrêté du 28 juillet 2003 relatif aux conditions d'installation de matériels électriques dans les emplacements où des atmosphères explosives peuvent se présenter (arrêté commenté dans la circulaire du 6 août 2003)

Maintenance

Outillages à utiliser

Les outillages mécaniques doivent être ATEX, en alliage beryllium-cuivre, ou aluminium-bronze par exemple.

Les instruments de mesure électriques (multimètres, voltmètres, etc.) doivent être également ATEX.

Types de câbles à utiliser lors de travaux

Principales dispositions précisant les critères de choix des câbles à utiliser :

1. Les câbles doivent satisfaire aux caractéristiques de non propagation de la flamme selon les normes NF C 32-070 C2, (art.424.5(1)) ou IEC 60332-1 (§9.3.4(2)).
2. Les âmes en aluminium doivent avoir une section d'au moins 16 mm² (art.424.8(1), et §9.1.1(2)).
3. Les câbles monoconducteurs non gainés sont interdits sauf s'ils sont enfermés (tableaux, enveloppes ou systèmes de conduits) (§9.1.3(2)).
4. Sauf dans les cas de sécurité intrinsèque, une protection contre les dommages éventuels doit être mise en oeuvre, (art.424.8(1), et §9.1.2(2)).
S'ils sont d'ordre mécanique, prévoir des câbles armés de type **U-1000 RVFV** selon la NF C 32-322.
Pour des problèmes d'ordre corrosifs ou chimiques, prévoir des câbles avec plomb de type **U-1000 RGPV** selon la NF C 32-111. Ils sont surtout utilisés dans les applications pétrochimiques.
Lorsque des liaisons souples sont nécessaires, les câbles **H07 RN-F**, **H07 BB-F** et **H07 BN4-F** selon NF C 32-102 et HD22 peuvent être utilisés..
5. Les canalisations doivent être protégées contre les surcharges et les effets nuisibles des courts-circuits et des défauts à la terre, (§7(2)).
6. La température de surface des câbles ne doit pas dépasser la classe de température relative à l'installation, (§9.1.14(2)). Un coefficient de sécurité doit en outre être appliqué, et les valeurs de courants admissibles dans les conducteurs doivent être réduites de 15%
7. Les conducteurs nus sont interdits, et des restrictions sont apportées aux lignes aériennes. Elles doivent être interrompues, l'alimentation électrique devant être enterrée, (art.424.6(1) et §9.1.13(2)).
8. Des câbles de tension nominale inférieure à 1 000 V mais au moins égale à 250 V ne sont admis que si les conditions suivantes sont simultanément remplies :
 - Les câbles font partie d'un circuit TBTS conforme aux prescriptions de l'article 414(1)
 - L'intensité maximale ne peut être supérieure à 40 mA. même en cas de défaut
 - Les câbles sont protégés par deux feuillards en acier d'épaisseur 0,2 mm

Formations obligatoires

Article L4142-2

Tout chef d'établissement est tenu d'organiser une formation pratique et appropriée en matière de sécurité, au bénéfice des travailleurs qu'il embauche, de ceux qui changent de poste de travail ou de technique, des travailleurs liés par un contrat de travail temporaire.

Contrevenir à cette obligation instaurée par les textes réglementaires place l'entreprise dans l'illégalité, constitue un facteur aggravant en cas d'accident.

Les informations ci-après sont données à titre indicatif ; elles ne constituent pas une liste exhaustive de toutes les obligations réglementaires en matière de formation.

Par ailleurs les domaines suivants ne sont pas repris : Electricité – bâtiment – rayonnements.

Dispositions générales

Domaine	Obligations
CHSCT	Les représentants du personnel au CHSCT bénéficient de la formation nécessaire à l'exercice de leur mission.
Sauveteur secouriste du travail	Dans chaque atelier où sont effectués des travaux dangereux, dans chaque chantier occupant 20 personnes au moins pendant plus de 15 jours, un membre du personnel doit avoir reçu l'instruction pour donner les premiers secours en cas d'urgence.
Equipements de protection individuelle	Tout chef d'établissement doit faire bénéficier les travailleurs, qui doivent utiliser un équipement de protection individuelle d'une formation adéquate comportant un entraînement au port de cet équipement. Elle doit être renouvelée aussi souvent que nécessaire pour que l'équipement soit utilisé conformément à une consigne d'utilisation.
Défibrillateurs automatiques internes	Initiation des personnes non médecins à l'utilisation des défibrillateurs automatiques internes.
Habilitations chimiques (UIC)	Obligation de formation concernant les salariés des entreprises extérieures intervenant sur un site à risque chimique pour les risques présents et ceux liés à la coactivité.

Hygiène alimentaire

Domaine	Obligations
Formation hygiène	Les personnels qui manipulent des denrées alimentaires doivent être encadrés et disposer d'instructions et/ou d'une formation en matière d'hygiène alimentaire.

Evaluation des risques

Des personnes perdent la vie toutes les quelques minutes dans l'Union Européenne pour des motifs liés au travail. En outre, des centaines de milliers de travailleurs se blessent chaque année, ou prennent des congés pour des maladies liées au lieu de travail.

Qu'est-ce que l'évaluation des risques ?

C'est un processus qui permet d'évaluer les risques pour la sécurité et la santé des travailleurs présents sur le lieu de travail.

On examine systématiquement tous les aspects du travail considéré afin d'identifier :

- les causes éventuelles d'accidents ou de blessures ;
- les possibilités d'élimination des dangers et, si elles n'existent pas :
- les mesures de prévention ou de protection effectives, ou qui devraient être mises en place, pour maîtriser les risques.

La directive-cadre de l'UE souligne le rôle déterminant joué par l'évaluation des risques et définit des règles de base que chaque employeur est tenu de respecter.

D'une manière générale, en France l'employeur est chargé d'assurer la sécurité et la santé des travailleurs dans tous les aspects liés au travail et d'effectuer une évaluation des risques.

Comment évaluer les risques ?

Etape 1 : Identification des dangers et des personnes menacées

Pour faciliter l'identification des principaux dangers, les conseils suivants sont à prendre en compte.

- Visiter le lieu de travail pour y rechercher les sources possibles d'accidents.
- Consulter les travailleurs et leurs représentants au sujet des problèmes qu'ils rencontrent.
- Tenir compte des risques à long terme pour la santé, comme les niveaux de bruit ou l'exposition à des substances dangereuses, ainsi que des risques plus complexes ou moins évidents, comme les facteurs de risques psychosociaux ou liés à l'organisation du travail.
- Analyser les antécédents de l'entreprise en matière d'accidents et de maladie.
- Rechercher des informations auprès d'autres sources comme :
 - les manuels d'instructions ou les fiches techniques des fabricants ou des fournisseurs ;
 - les sites internet axés sur la sécurité et la santé au travail ;
 - les organes nationaux, les associations professionnelles ou les syndicats ;
 - les règles juridiques et les normes techniques.

Pour chacun des dangers, il est important d'identifier clairement les personnes menacées afin de trouver le meilleur moyen de gérer le risque. Il ne s'agit pas de dresser une liste nominative de toutes les personnes concernées, mais bien d'identifier les groupes de personnes.

Il convient de s'intéresser plus particulièrement aux spécificités des genres ainsi qu'aux groupes de travailleurs particulièrement menacés ou présentant des exigences particulières. Il est important de déterminer, dans chaque cas, les incidents auxquels ils s'exposent (types d'accidents ou maladies possibles).

Les travailleurs handicapés
Les travailleurs immigrés
Les travailleurs plus jeunes et plus âgés
Les femmes enceintes et les mères allaitantes
Le personnel sans formation ou inexpérimenté
Les préposés à l'entretien
Les travailleurs immunodéficients
Les travailleurs en mauvaise santé, et/ou sous traitements médicamenteux.
Les travailleurs susceptibles d'être davantage menacés

Etape 2 : **Evaluer les risques et les classer par ordre de priorité**

L'étape 2 consiste à évaluer les risques liés à chaque danger. Pour cela, on évalue :

- la mesure dans laquelle le danger risque de provoquer un accident ;
- le degré de gravité éventuel de l'accident ;
- la fréquence à laquelle les travailleurs sont exposés, ainsi que le nombre de travailleurs concernés.

Sont concernées les activités présentant des dangers limités ou des lieux de travail où les risques sont connus ou déjà identifiés. Il convient ensuite de classer ces risques par ordre de priorité et de les aborder selon ce classement.

Etape 3 : **Déterminer les mesures préventives**

Cette étape consiste à déterminer les moyens d'éliminer ou de maîtriser les risques. A ce stade, il convient de déterminer :

- s'il est possible d'éliminer le risque ;
- dans la négative, des moyens de maîtriser les risques afin qu'ils ne compromettent pas la sécurité et la santé des personnes exposées.

Dans le cadre de la prévention et de la maîtrise des risques, il convient de tenir compte des principes généraux suivants :

- éviter les risques ;
- remplacer les éléments dangereux par des éléments non dangereux ou moins dangereux ;
- essayer d'éliminer les risques à la source ;
- appliquer des mesures de protection collectives plutôt que des mesures de protection individuelles ;
- s'adapter au progrès technique et aux évolutions dans l'information ;
- chercher à améliorer le niveau de protection

Etape 4 : **Adopter des mesures**

L'étape 4 consiste à mettre en place les mesures de prévention et de protection. Il est important d'associer les travailleurs et leurs représentants dans ce processus. Une mise en œuvre efficace passe par la définition d'un plan qui précise :

- les mesures à mettre en œuvre ;
- qui fait quoi et quand ;
- un délai de mise en œuvre.

Il est indispensable de classer par ordre de priorité les activités visant à éliminer les risques.

Etape 5 : **Contrôle et examen**

Il ne faut pas oublier d'effectuer des vérifications régulières afin de s'assurer que les mesures de prévention et de protection fonctionnent ou sont mises en œuvre et d'identifier les nouveaux problèmes. L'évaluation des risques n'est pas une activité qui se pratique une fois pour toutes.

Enregistrement de l'évaluation

L'évaluation des risques doit être enregistrée.

Cette information peut ensuite servir :

- d'information qui sera transmise aux personnes concernées ;
- au contrôle afin d'évaluer si les mesures nécessaires ont été mises en place ;
- de **preuve destinée aux autorités de contrôle** ;
- dans le cadre des révisions éventuelles en cas d'évolution des circonstances.

Il est recommandé d'enregistrer au minimum les informations suivantes :

- nom et fonction de la (des) personne(s) effectuant l'examen ;

- les dangers et risques identifiés ;
- les groupes de travailleurs confrontés à des risques particuliers ;
- les mesures de protection nécessaires ;
- les informations relatives à la mise en place des mesures, comme le nom de la personne responsable et la date ;
- les informations relatives aux mesures de contrôle et d'enement ultérieures comme les dates et personnes concernées ;
- les informations concernant la participation des travailleurs et de leurs représentants dans le processus d'évaluation des risques.

.....

Ceci est un extrait d'un rapport de l'U.E. qui fait partie de la campagne européenne « Lieun de travail sains 2008/2009 » anée, en l'occurrence, sur l'évaluation des risques.

Le rapport intégral est disponible en anglais sur le site de l'Agence à l'adresse suivante :

<http://osha.europa.eu/en/publications/reports/TEWE09001ENC/view>

Habilitations électriques (en France)

La première lettre majuscule

indique le domaine de tension des ouvrages sur lesquels le titulaire de l'habilitation peut travailler ou intervenir :

B : installation BT (*Basse Tension*),
ou en TBT (*Très Basse Tension*)

H : installation HT (*Haute Tension*)

Suivi d'un second caractère

qui précise la nature des opérations que le titulaire peut réaliser :

- **0** : Travaux d'ordre non électrique
- **1** : Travaux d'ordre électrique
- **2** : Chargé de travaux d'ordre électrique
- **C** : Chargé de consignation
- **R** : Chargé d'interventions générales (*uniquement en BT*)
- **S** : Chargé d'interventions élémentaires (*uniquement en BT*)
- **P** : Opérations sur installations photovoltaïques
- **E** : Opérations spécifiques de 4 natures :
Essais* / Vérification / Mesurage / Manoeuvre

*L'attribut "Essai" peut également être associé
aux habilitations B2V ou H2V.

Complété le cas échéant d'un second indice :

- **V** : Travail au voisinage de
pièces nues sous tension
 - **T** : Travail sous tension (*TST*)
 - **N** : Travaux de Nettoyage Sous Tension (*NST*)
- X** : Opérations 'spéciales' définies par une instruction
de sécurité.

- L'habilitation **B** n'entraîne pas l'habilitation **H** et réciproquement.
- L'habilitation **BR** inclut l'habilitation **BS**.
- Une habilitation d'indice numérique (1 ou 2) entraîne l'attribution des habilitations d'indice inférieur, exclusivement pour les opérations sur les ouvrages du même domaine de tension pour une même nature d'opérations.
- Le titulaire d'une habilitation **BR** peut remplir les fonctions du chargé de consignation pour son propre compte et celui de l'exécutant qu'il dirige lors d'une intervention.
- Une habilitation **BC** ou **HC** n'entraîne pas l'attribution des autres types d'habilitation (**B1**, **B2**, **BR**, **H1**, **H2**).

- Une même personne peut cumuler des habilitations de symboles différents.
- Des habilitations spéciales '**X**' peuvent être délivrées pour des besoins particuliers. Elles doivent alors définir sans ambiguïté le domaine de tension ainsi que la nature et les limites des opérations auxquelles elles s'appliquent.

Depuis 2012 - Norme NF C 18-510

De nouveaux titres d'habilitation apparaissent ou disparaissent :

- **B0** Voisinage disparaît - B0 est conservé

Apparaissent :

- **BS** - Chargé d'interventions élémentaires, dédié aux opérations de remplacement et raccordement (à l'identique)
- **BP** - Installations photovoltaïque
- **BE/HE** - Essais / Mesurage / Manoeuvre / Vérification

Techniques spéciales

	Page
Maitrise du facteur de puissance.....	229
Réparation d'un moteur électrique.....	247
Colles en maintenance.....	253
Onduleurs	262
Pose des conducteurs et câbles.....	274

Maitrise du facteur de puissance

Introduction

Dans un très grand nombre d'installations industrielles le facteur de puissance ($\cos \varphi$) n'est pas dans des limites correctes et engendre des pertes et dysfonctionnements qui peuvent être importants.

Dans la plupart des cas, cet état de fait est méconnu des techniciens de maintenance qui manquent bien souvent de l'appareil de mesure et/ou de la formation adaptée.

En règle générale, le seul critère, connu et exploité est la valeur du $\cos \varphi$ au point de livraison du fournisseur d'électricité, d'une part parce qu'il est mesuré et suivi d'une manière précise par cet organisme, souvent de manière automatique et en continu, et d'autre part parce qu'il engendre des pénalités sur les facturations d'énergie électrique.

Or il faut considérer que le facteur de puissance qui est mesuré au point de livraison a pu être amélioré, à cet endroit à la demande du fournisseur d'électricité, ou pour des considérations financières.

Il peut également faire l'objet d'une compensation « naturelle » par le raccordement d'un réseau alimentant des appareils composés, majoritairement, de résistances pures (fours électriques à résistances par exemple).

Ces deux artifices ne doivent pas faire oublier que de grandes parties du réseau intérieur peuvent être gravement perturbées et être le siège de pertes en ligne importantes. Fréquemment des lignes intérieures sont doublées ou remplacées avec des câbles de sections plus importantes alors que l'installation d'une batterie de condensateurs, judicieusement placée, aurait suffi.

Il est donc nécessaire de maîtriser de manière interne le facteur de puissance en tous les points de vos réseaux de consommations. Cette maîtrise doit être permanente puisqu'il existe de nombreuses causes de dégradations « naturelles » dont nous donnons une liste, non exhaustive ci-après.

Qu'est-ce que le facteur de puissance ?

Une expérience qui le met en évidence

Considérons deux appareils électriques courants qui fonctionnent en monophasé sous la tension de 220V :

- un four électrique à résistances,
- un moteur électrique.

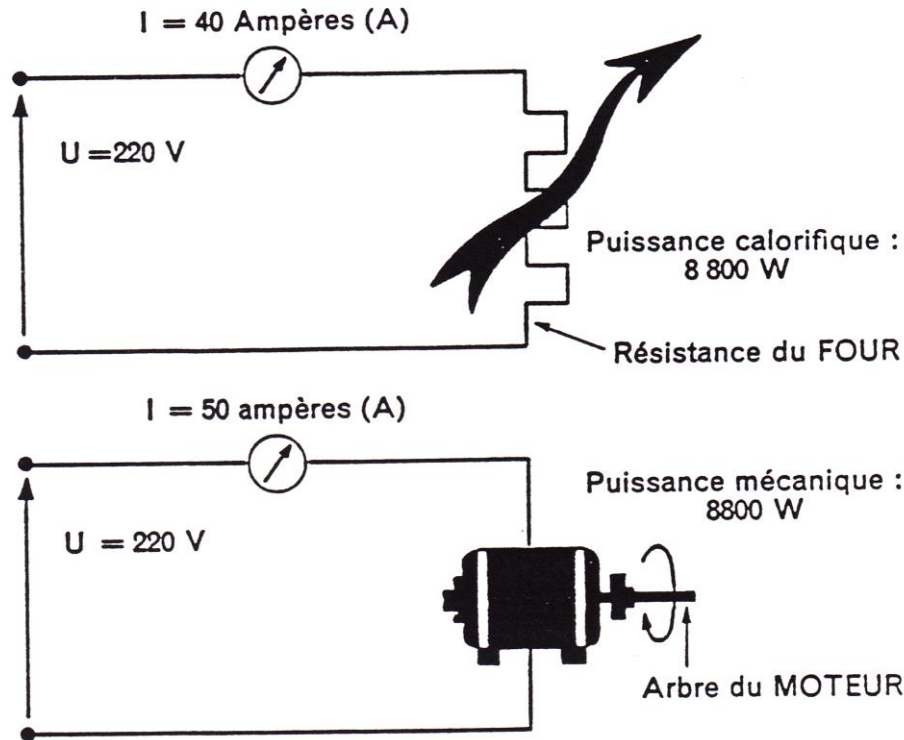
Tous deux délivrent une énergie "utile", sous forme de chaleur pour le four, et sous forme d'énergie mécanique pour le moteur.

A cette énergie, correspond une puissance "utile" dite "**Puissance active**" et exprimée en watts (W) ou en kilowatts (kW).

Prenons ces deux appareils de caractéristiques telles que dans les conditions de fonctionnement normales, leur puissance active soit la même et égale, par exemple, à 8 800 W.

Pour simplifier le raisonnement, on admettra que le rendement du moteur est égal à 1, c'est à dire sans pertes par échauffement.

Branchons les sur une source de courant alternatif monophasée de 220 volts et mesurons l'intensité du courant qui les traverse.



Les ampèremètres indiquent respectivement :

- 40 A pour le four,
- 50 A pour le moteur.

Effectuons le produit de la tension par l'intensité du courant :

$$S = U \cdot I = 220 \cdot 40 = 8\,800 \text{ pour le four}$$

$$S = U \cdot I = 220 \cdot 50 = 11\,000 \text{ pour le moteur.}$$

Le produit $S = U \cdot I$ s'appelle **Puissance apparente** de l'appareil et s'exprime en voltampères (VA) ou en kilovoltampères (kVA).

Dans le cas d'une alimentation triphasée en courant alternatif, la formule de la puissance apparente devient: $S = U \cdot I \cdot \sqrt{3}$.

Ainsi, pour une puissance active identique (8 800 W) le moteur appelle sur le réseau une puissance apparente de 11 000 VA et le four 8 800 VA.

Cela est dû au fait que pour disposer de 8 800 W de puissance active sur l'arbre du moteur il faut créer en plus un champ magnétique dans ses bobinages.

Par définition, le facteur de puissance, autrement dit le $\cos \varphi$ d'un appareil, est égal au rapport de la puissance active à la puissance apparente.

Dans notre exemple le facteur de puissance du four est :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{8800 \text{ W}}{8800 \text{ VA}} = 1,0$$

Celui du moteur est :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{8800 \text{ W}}{11000 \text{ VA}} = 0,8$$

La puissance utile de chaque appareil électrique est égale au produit de sa puissance apparente par son facteur de puissance :

$$P = S \cos \varphi$$

Soit : $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$

En triphasé, la puissance utile serait:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3}$$

Du facteur de puissance à la puissance réactive

Nous venons de voir que la puissance active d'un appareil est :

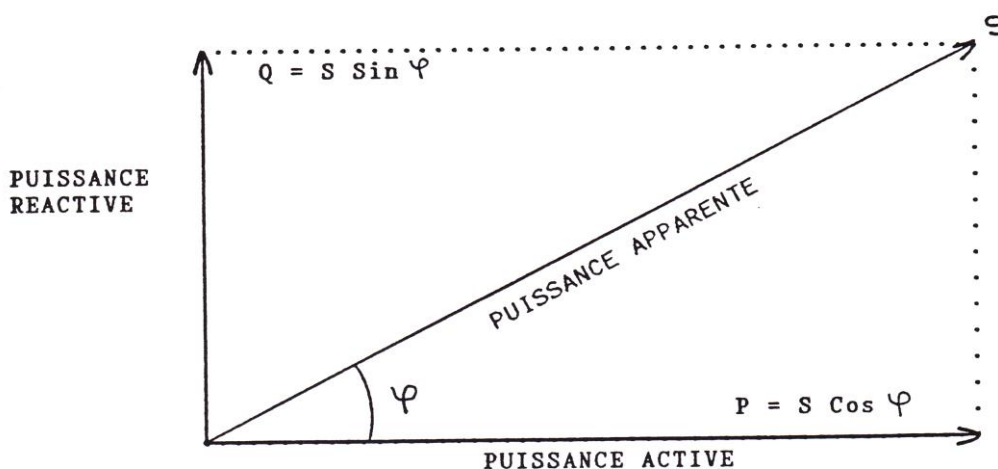
$$P = S \cos \varphi \quad (P \text{ en watts, } S \text{ en voltampères})$$

Sa puissance réactive est définie de la même façon par:

$$Q = S \sin \varphi$$

Q s'exprime en voltampères réactifs (var) ou en kilovoltampères réactifs (kvar)

Ces deux relations sont illustrées par la représentation graphique suivante:



On constate que:

$$P^2 + Q^2 = S^2$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

Les deux dernières formules mettent en évidence que le $\cos \varphi$ et la $\tan \varphi$ peuvent être considérés comme des grandeurs caractéristiques, en valeur relative, de la puissance réactive appelée par un appareil donné. Le passage de l'une à l'autre peut se faire au moyen de la formule suivante :

$$\cos^2 \varphi = \frac{1}{1 + \tan^2 \varphi}$$

Du facteur de puissance à l'énergie réactive

A chacune des puissances P (active) et Q (réactive), correspondent des consommations d'énergies active (en kWh) et réactive (en kvarh) que l'on mesure à l'aide de compteurs.

Lorsque l'électricité est livrée en moyenne tension, la facture fait apparaître en particulier la quantité d'énergie réactive consommée, pendant la période considérée, en "heures pleines" et en "heures de pointe" c'est-à-dire en dehors des "heures creuses".

Les inconvénients d'un mauvais facteur de puissance sont particulièrement néfastes pendant les heures les plus chargées (pointe et heures pleines).

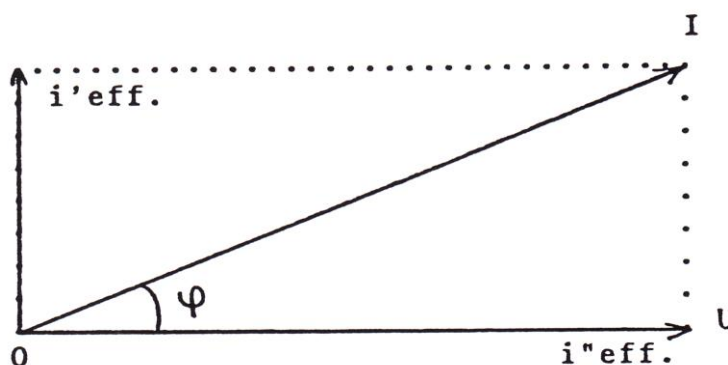
Sur la facture figure également la $\tan \varphi$ moyenne de la période. Elle exprime le rapport des quantités d'énergies réactive (W_r) et active (W_a) consommées durant les heures pleines et les heures de pointe :

$$\tan \varphi = \frac{W_r}{W_a}$$

Ce quotient est celui qui se calcule actuellement le plus aisément à partir des indications des compteurs. Souvent le fournisseur d'électricité le choisit sur ses factures comme indicateur de la consommation d'énergie réactive de votre entreprise.

Composante wattée et composante déwattée d'un courant alternatif

Représentons par le vecteur OI l'intensité efficace d'un courant alternatif, par OU la tension efficace qui l'entretient, et par φ l'angle de décalage en arrière du courant sur la tension.



La puissance utile de ce courant est : $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi$

Une grandeur alternative peut toujours être remplacée par plusieurs composantes de phases quelconques. En particulier ici nous pouvons remplacer le courant OI par deux autres courants, en suivant le parallélogramme des vecteurs.

Ces deux courants sont : $i' \text{ eff.}$ et $i'' \text{ eff.}$ (de résultante OI).

Prenons le cas du courant $i' \text{ eff.}$, décalé de 90° en arrière par rapport à la tension ; la puissance utile est nulle car $\cos 90^\circ = 0$.

Cette composante ne donne aucun travail, aucun watt. Pour cette raison, on lui donne le nom de

» **Composante déwattée** »

L'autre composante, $i'' \text{ eff.}$, en phase avec la tension donne le maximum de puissance utile puisque $\cos 0^\circ = 1$. Cette composante fournit toute la puissance utile, tous les watts. On lui donne le nom de » **Composante wattée** ».

Exemple :

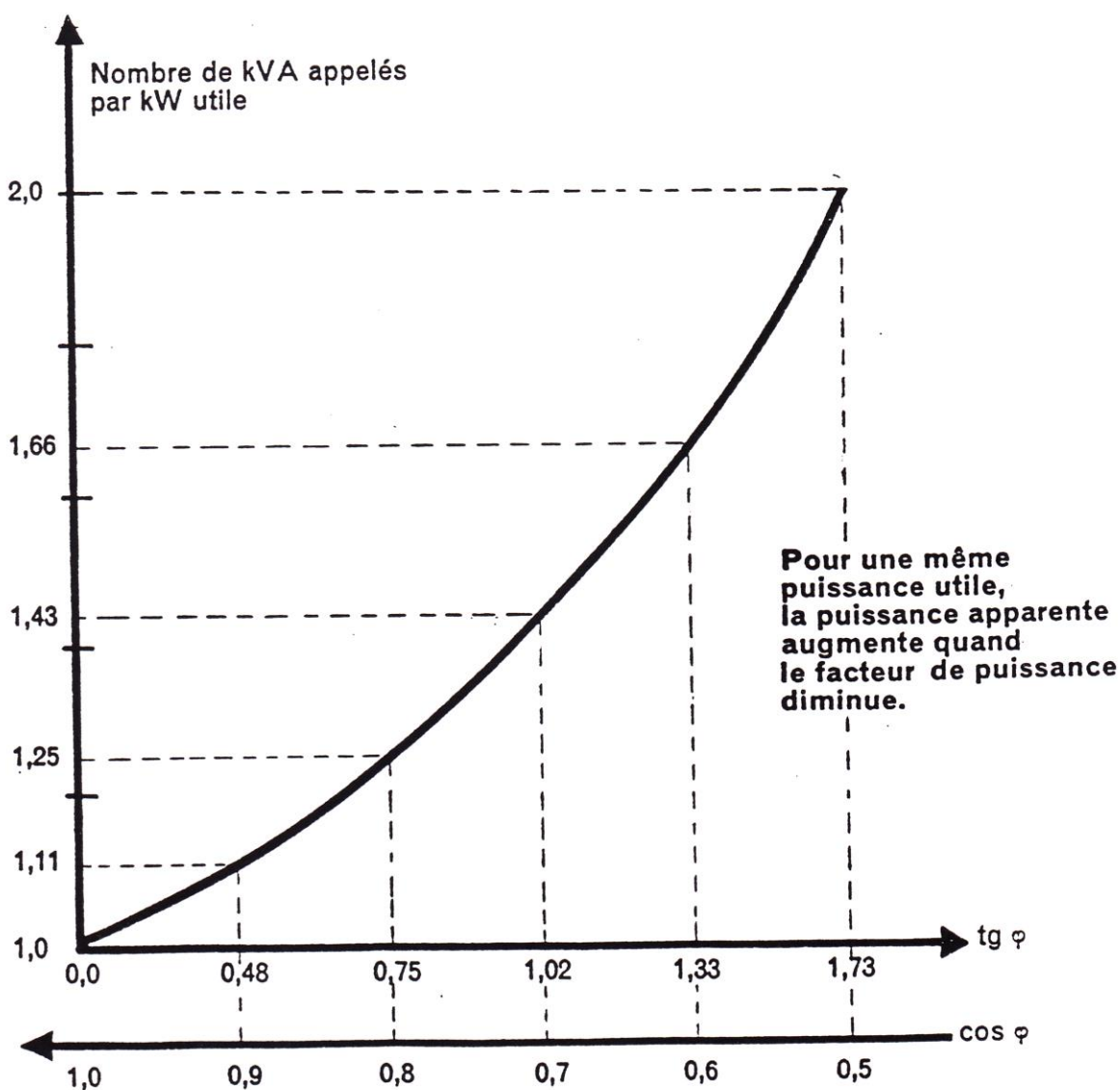
Un courant de 40 A eff., en retard de 30° sur la tension, se décompose en deux courants, l'un watté de 36,24 A qui fournit tout le travail et l'autre de 20 A qui ne produit rien.

Conclusions

Plus l'installations consomme d'énergie réactive, plus le facteur de puissance ($\cos \varphi$) est faible et plus la $\tan \varphi$ est élevée.

Plus le facteur de puissance est faible, plus il faut appeler sur le réseau une puissance importante pour obtenir le même travail utile.

Pour un kW utile, le graphique ci-après donne le nombre de kVA qu'il faut appeler sur le réseau au fur et à mesure que le facteur de puissance diminue.



Facteurs de puissance des principaux appareils

Le facteur de puissance peut être très différent d'un atelier à un autre selon les caractéristiques des appareils électriques qui y sont installés et la manière dont ils y sont utilisés.

C'est pourquoi, avant de chercher à améliorer le facteur de puissance d'une installation pour la rendre plus performante, il est nécessaire de connaître le comportement des principaux appareils en service.

Moteurs asynchrones ordinaires

La valeur du facteur de puissance de ces appareils est fonction de leurs caractéristiques de construction (nombre de pôles), de leur type (à bagues, à cage d'écureuil), de la qualité de leur construction et surtout de leur puissance nominale.

C'est à cette puissance nominale que correspond la valeur du $\cos \varphi$ indiquée sur la plaque signalétique.

En fait, pour un moteur donné, le facteur de puissance varie beaucoup avec la charge. Ce point

est extrêmement important, car la valeur du $\cos \varphi$ devient très faible lorsque le moteur tourne à vide comme le montre le tableau ci-après :

% de la charge nominale	0	25	50	75	100
$\cos \varphi$	0,17	0,55	0,73	0,80	0,85

On constate ainsi que le fonctionnement à faible charge d'un moteur asynchrone provoque une consommation importante d'énergie réactive tout en ayant par ailleurs un très mauvais rendement par rapport à l'énergie active consommée.

Moteurs spéciaux

Ce sont en particuliers: les moteurs synchrones , asynchrones synchronisés ou compensés et les commutatrices.

Ils ont en général un facteur de puissance excellent. Un moteur synchrone surexcité peut même fournir de l'énergie réactive au réseau.

Eclairage

Les lampes à incandescence ont un facteur de puissance excellent, voisin de 1.

Les lampes à fluorescence ont, par elles-mêmes des $\cos \varphi$ très faibles, de l'ordre de 0,5 mais elles sont généralement pourvues dès l'origine de dispositifs de compensation.

Il en est de même pour les lampes à décharge (vapeur de mercure ou de sodium) pour lesquelles le $\cos \varphi$ serait de 0,4 à 0,6 si elles n'étaient pas compensées.

Appareils de chauffage

Les fours, étuves et appareils de chauffage à résistances ont des $\cos \varphi$ égaux à 1. Des exceptions existent cependant, notamment en cas de réglage par gradateur à thyristors. La valeur du $\cos \varphi$ dépend alors du montage et de l'angle d'amorçage.

Les appareils à induction et les appareils à chauffage diélectrique sont directement munis par le constructeur de dispositifs permettant l'utilisation à un facteur de puissance au moins égal à 0,85.

Machines à souder

Le facteur de puissance des machines à souder à résistances, qui dépend essentiellement de la réactance du circuit de soudage, a généralement une valeur satisfaisante, de l'ordre de 0,8 à 0,9.

Les postes statiques monophasés de soudage à l'arc ont par contre un $\cos \varphi$ plus faible, de l'ordre de 0,5 sauf si une compensation est prévue par le constructeur.

Les groupes rotatifs de soudage à l'arc ont des $\cos \varphi$ comparables à ceux des moteurs asynchrones ordinaires, soit de 0,7 à 0,9.

Quant aux transformateurs-redresseurs de soudage à l'arc, qui produisent le courant continu de

soudage avec des redresseurs secs, leur facteur de puissance est compris entre 0,7 et 0,8.

Fours à arc

Leur $\cos \varphi$ varie au cours du cycle de fabrication. Sa valeur moyenne est voisine de 0,8 sauf pour les fours UHP (Ultra High Power), qui ont un $\cos \varphi$ de l'ordre de 0,7.

Alternateurs

Pour des caractéristiques de construction données, leur $\cos \varphi$ est d'autant plus faible que la puissance d'utilisation est faible.

Le facteur de puissance est amélioré par l'augmentation de la puissance, elle-même obtenue par l'augmentation du champ d'excitation.

Si plusieurs alternateurs fonctionnent en parallèle, il est nécessaire de s'assurer que leurs champs d'excitation sont équivalents, une situation contraire aurait un effet défavorable sur le facteur de puissance d'ensemble.

s de puissance

Un $\cos \varphi$ n'appelle pas seulement l'énergie réactive dont ont besoin les appareils utilisateurs qui sont raccordés à son circuit secondaire, mais il en absorbe lui-même pour assurer son propre fonctionnement (création du champ magnétique). Sa consommation est d'autant plus importante en valeur relative que l'énergie active consommée est faible.

.....

En résumé, les appareils qui consomment le plus d'énergie réactive sont les moteurs électriques fonctionnant à faible charge et certains appareils comme les machines à souder ou les fours à induction.

Les autres cas de mauvais $\cos \varphi$ sont dus à des appareils mal construits ou compensés, mal réglés ou utilisés dans des conditions défavorables.

Plusieurs de ces critères pouvant d'ailleurs se cumuler.

Inconvénients d'un mauvais facteur de puissance

Pour une même puissance active appelée par un appareil électrique, il faut transporter dans tous les circuits électriques une intensité d'autant plus élevée que le facteur de puissance est mauvais.

Une faible valeur du $\cos \varphi$ entraîne par conséquent :

- une surcharge de l'installation intérieure
- un accroissement des pertes sur celle-ci
- une augmentation de la facture du fournisseur d'électricité

Surcharge de l'installation intérieure

Les câbles de distribution et les $\cos \varphi$ sont, sur votre installation intérieure, les principaux équipements concernés.

Un mauvais facteur de puissance entraîne :

- ✓ Le renforcement prématuré des installations existantes
- ✓ Un surdimensionnement des installations neuves

Un mauvais Cos φ conduit ainsi inéluctablement à des investissements supplémentaires.

A titre d'exemple, le tableau suivant montre la diminution de la capacité de transport des câbles en fonction du facteur de puissance.

Cos φ	tg	Puissance active minimale (kW) transportée par les câbles BT en aluminium de section :				Variation capacité de transport
		50 mm ²	95 mm ²	150 mm ²	240 mm ²	
1,00	0	106	162	212	284	0 %
0,90	0,48	96	146	190	255	- 10 %
0,80	0,75	85	130	170	227	- 20 %
0,70	1,02	75	113	149	199	- 30 %
0,60	1,33	64	97	126	170	- 40 %
0,50	1,73	53	81	106	142	- 50 %

Pertes plus importantes dans les câbles

Pour disposer d'une puissance active identique au niveau des appareils utilisateurs, il faut appeler sur le réseau une puissance active d'autant plus importante que les besoins de puissance réactive sont eux-mêmes plus importants.

A la puissance active ainsi perdue, correspondent des pertes en énergie (Pe) dont la valeur en kWh est donnée par la formule **(1)** :

$$Pe = \frac{10^3 RL}{U^2} n \frac{P^2}{\cos^2 \varphi} n t$$

R est la résistance linéique du câble (Ohms / km)

L est la longueur du câble (km)

U est la tension entre phases (V)

P est la puissance active appelée (kW)

t est la durée annuelle d'utilisation de la puissance P en heures

Ces pertes varient comme l'inverse du carré du facteur de puissance

Ainsi, quand le Cos φ se dégrade de moitié, les pertes dans l'installation intérieure sont multipliées par 4.

En réalité, l'augmentation des pertes est encore plus importante car, à puissance active égale, la

température du câble est d'autant plus élevée que les pertes sont grandes, c'est à dire que le $\cos \varphi$ est faible. Cette élévation de température a pour effet une élévation de la résistance du câble, ce qui provoque des pertes supplémentaires.

Il peut ainsi résulter, selon le niveau de la puissance transportée par le câble, jusqu'à 20, voire 30% , de pertes supplémentaires par rapport à celles calculées au moyen de la formule ci-dessus.

Le coefficient multiplicateur des pertes d'énergie dans le câble, donné par la courbe ci-après, doit donc être considéré comme une valeur par défaut, toujours dépassée en pratique. L'importance de l'énergie active perdue dans un câble alimentant une charge donnée sous un mauvais $\cos \varphi$ est donc loin d'être négligeable.

Le tableau suivant, précise à titre d'exemple la valeur des pertes, lorsque le facteur de puissance varie, pour un câble de section 95 mm² en aluminium, de 100 m de long, alimentant en triphasé 220/380 volts, pendant 2500 heures une charge de 100 kwh.(soit une énergie active annuelle consommée de 250 000 kWh).

Cos φ	Tg φ	Pertes annuelles dans le câble (kWh)	% des pertes par rapport à l'énergie active utile	Taux de variation des pertes en %
1,00	0,00	6250	2,5	0
0,90	0,48	7700	3,1	+ 23
0,80	0,75	9750	3,9	+ 56
0,70	1,02	12750	5,1	+ 104
0,60	1,33	17350	6,9	+ 177
0,50	1,73	25000	10,0	+ 300

Comment calculer les pertes en énergie ?

Vous pouvez utiliser la formule (1).ou l'abaque (2) ci-dessus. Ce dernier donne directement, en fonction de la puissance et du $\cos \varphi$ de la charge, la valeur des pertes annuelles d'énergie par mètre de câble, pour les câbles triphasés basse tension en cuivre ou en aluminium de sections courantes, alimentés sous une tension de 220/380 volts.

Le calcul en a été effectué pour une durée d'utilisation de la puissance égale à 2 500 heures. Pour une durée d'utilisation différente, le résultat final lu sur l'abaque doit être corrigé en effectuant une simple règle de trois.

Des factures d'électricité plus élevées

Comme on vient de le démontrer, un mauvais facteur de puissance provoque des pertes d'énergie. Celles-ci constituent un gaspillage et sont évidemment enregistrées par le compteur d'énergie active. Elles viennent augmenter d'autant les consommations de cette nature qui apparaissent sur votre facture d'électricité.

De plus, une consommation excessive d'énergie réactive peut également entraîner une majoration du montant de votre facture. (En fait c'est CELLE qui risque de vous COUTER LE PLUS CHER !). A ce titre, le terme "PENALITES" est entré dans le langage courant.

Comment améliorer le facteur de puissance

Actions sur les causes

Il s'agit pour l'essentiel de supprimer, autant que possible, les marches à vide ou à faible charge des moteurs, responsables d'une consommation importante d'énergie réactive :

- ➔ Pour les nouvelles machines, on peut prévoir, dès l'origine, un équipement de commande automatique ou manuelle propre à chaque mode de service
- ➔ Pour les installations existantes, la mise en place d'équipements de commande peut s'avérer difficile ou d'un coût prohibitif. On peut alors se contenter de solutions plus simples, par exemple d'utiliser le couplage étoile de préférence au couplage triangle pour les moteurs pouvant être utilisés à couple réduit. Souvent les machines ne sont plus utilisées aux conditions d'origine et il est possible de remplacer, provisoirement ou définitivement, certains moteurs par d'autres de puissance plus faible. Cette dernière solution, bénéfique sur bien des aspects, est applicable beaucoup plus souvent que l'on ne le pense. Toutefois, pour intéressantes qu'elles soient, ces mesures sont rarement suffisantes. L'amélioration du $\cos \varphi$ doit alors passer par l'installation d'une ou plusieurs batteries de condensateurs.

Que sont les condensateurs ?

Ces appareils, qui ne consomment pratiquement pas d'énergie active, ont la propriété de fournir de l'énergie réactive.

On conçoit donc qu'en associant une batterie de condensateurs à un moteur par exemple, on puisse compenser tout ou partie de l'énergie réactive consommée par ce dernier pour la création du champ magnétique dans ses bobinages.

L'énergie réactive fournie par le réseau à l'ensemble des deux appareils, moteur et condensateur, est inférieure à celle qui serait fournie au moteur seul et ce, pour une même énergie active consommée. Le facteur de puissance a donc été amélioré.

Comment déterminer la puissance réactive à installer ?

Soit un appareil, ou groupe d'appareils, appelant une puissance active P (en kW) et une puissance réactive Q (en kvar).

$$Q = P \tan \varphi$$

On souhaite réduire la $\tan \varphi$ à une valeur plus faible : $\tan \varphi'$

La puissance réactive Q' (en kvar) appelée dans ces conditions sera :

$$Q' = P \tan \varphi'$$

La différence de puissance réactive (en kvar) soit

$$Q_c = Q - Q' = P (\tan \varphi - \tan \varphi')$$

Elle correspond à la puissance de la batterie de condensateurs qu'il convient d'installer.

En fait, les puissances active et réactive appelées par une machine, un atelier ou une usine varient au cours du temps. Il en va de même pour la $\tan \varphi$.

C'est donc vers des valeurs moyennes, représentatives du fonctionnement des machines qu'il conviendra de s'orienter pour l'application de la formule ci-dessus.

Notons au passage que dans certains ateliers, les plus mauvais facteurs de puissance ont été mesurés pendant les temps de pauses où les machines tournent à vide.

Des chiffrages ont mis en évidence des surcoûts importants, directement liés à cet état de fait. La mise en application de consignes simples (mise à l'arrêt des machines) permet, dans la plupart des cas, de régler ce type de problème.

La démarche pratique

Si l'on s'intéresse à une machine particulière

Retenons :

- Pour P: la puissance qui correspond à son utilisation courante, ou à défaut, sa puissance nominale.
- Pour $\text{tg } \varphi$: une simple lecture de la plaque signalétique permet généralement de connaître le facteur de puissance correspondant à la charge nominale. Si cette machine travaille toutefois dans des conditions sensiblement différentes, il est préférable de mesurer, à l'aide d'un phasemètre, la valeur du $\text{Cos } \varphi$ dans les conditions de travail. Cette dernière solution permet en outre de vérifier que les systèmes de compensation d'origine sont encore opérationnels.

Le passage du $\text{Cos } \varphi$ à la $\text{tg } \varphi$ se fait au moyen des tables numériques citées précédemment.

- Pour $\text{tg } \varphi'$ nous savons que, globalement, l'énergie réactive consommée, y compris dans le d'alimentation, donnera lieu à facturation au-delà d'une $\text{tg } \varphi$ de 0,4.

Au niveau de l'appareil d'utilisation, il faut donc viser pour éviter cette facturation, une $\text{tg } \varphi'$ tenant compte des pertes d'énergie réactive dans le : c'est ainsi que dans le cas d'un comptage sur la basse tension (au secondaire du transfo.), il est conseillé de se fixer une $\text{tg } \varphi$ qui n'excède pas: $0,40 - 0,13 = 0,27$.

- Pour Q_c : la puissance réactive à installer en condensateurs est bien entendu fonction de l'objectif que l'on s'est fixé pour $\text{tg } \varphi'$.

La valeur de Q_c peut être aisément déterminée à l'aide de l'abaque du § 13.3., qui est la traduction graphique de la formule:

$$\frac{Q_c}{P} = K = \text{tg } \varphi - \text{tg } \varphi'$$

Si l'on s'intéresse à une usine dans son ensemble

La méthode la plus simple consiste évidemment à faire la somme des condensateurs à prévoir pour chacun des appareils installés et nécessitant une compensation.

Une approche plus globale peut cependant être également envisagée à partir des valeurs de puissance et de $\text{tg } \varphi$ (mensuelles) mentionnées sur les factures du fournisseur d'électricité

Ces valeurs de $\text{tg } \varphi$ tiennent compte par nature, puisque déterminées en amont (primaire) du d'alimentation, des pertes d'énergie réactive de ce dernier.

Aucune correction n'est donc à introduire au niveau de $\text{tg } \varphi$: il suffit, pour éviter toute facturation d'énergie réactive, de viser une valeur n'excédant pas 0,40 pendant les mois de novembre à mars.

La puissance à installer en condensateurs peut alors être recherchée en appliquant la formule:

$$Q_c = P (\text{tg } \varphi - 0,4)$$

sur 5 mois consécutifs, (novembre à mars).

Afin de s'affranchir d'un résultat mensuel aberrant, relatif à une période où l'usine aurait fonctionné dans des conditions inhabituelles, il faut retenir la valeur immédiatement inférieure à la valeur la plus élevée de toutes, mais de ne pas réaliser de compromis en effectuant une moyenne.

Bien entendu, des études plus complètes, tenant compte des possibilités pratiques d'installation des condensateurs, des investissements évités ou différés du fait de leur mise en place, du gain sur l'énergie active, peuvent toujours être effectuées pour déterminer la valeur optimale de la puissance réactive à installer.

Où doivent être installés les condensateurs ?

Une fois que l'on a déterminé la puissance globale des condensateurs à mettre en oeuvre, la question se pose de savoir où les installer : en tête de l'installation électrique, juste après le HT/BT, ou près des appareils utilisateurs?

L'installation de condensateurs à proximité de chaque appareil peut se heurter parfois à des difficultés pratiques.

Toutefois, il est préférable, autant que faire se peut, de procéder ainsi pour diminuer les pertes et les chutes de tension, et permettre une meilleure utilisation de leur capacité.

En effet, la compensation des consommations de réactif par l'installation de condensateurs en tête de l'installation intérieure ne modifie en rien les intensités transitant dans les câbles : les besoins en énergie active et en énergie réactive des appareils d'utilisation restent inchangés et ce sont donc les mêmes quantités d'énergie que précédemment qui doivent transiter par les câbles jusqu'au point où s'opère la compensation.

En revanche, la mise en place de condensateurs de capacité équivalente judicieusement répartis à proximité des appareils consommateurs d'énergie réactive, diminue les intensités des différents câbles qui alimentent ces appareils. Les besoins en énergie réactive sont en effet compensés "à la source" et les câbles n'ont plus qu'à assurer le transport de l'énergie active.

En résumé, une solution facile à mettre en oeuvre consiste donc à :

- déterminer tout d'abord la valeur globale Q_c de la puissance réactive à installer pour aboutir à une bonne compensation des appels de réactif de l'installation.
- chercher ensuite la meilleure répartition possible des condensateurs en fonction des facteurs de puissance des divers appareils utilisateurs.

Comment installer une batterie de condensateurs ?

Règles générales

Vous avez déterminé la puissance des condensateurs qui vont permettre d'améliorer votre facteur de puissance. Une dernière question se pose : comment les installer?

Leur mise en place doit se faire conformément aux règles de l'art, bien connues des industriels et de leurs installateurs électriciens, et dans le respect des normes en vigueur.

En outre, les condensateurs de puissance font l'objet de normes spécifiques dont sont entrainés les quelques conseils ou règles simples rappelés dans ce chapitre.

Comme il a déjà été précisé, les condensateurs peuvent être installés selon les cas:

- ✓ soit de manière regroupée, par exemple en tête de l'installation électrique intérieure,
- ✓ soit dans chaque atelier ou groupe d'ateliers, notamment si ceun-ci comportent de nombreux appareils de faible puissance,
- ✓ soit enfin, et cette solution est de loin préférable aux deux premières, à proximité des appareils utilisateurs, par exemple des moteurs ou groupes de moteurs.

Les condensateurs doivent bien évidemment être raccordés en aval du comptage pour que leur effet puisse être pris en compte par celui-ci :

- ✓ s'il est en basse tension, les condensateurs ne peuvent être raccordés qu'en basse

tension ;

- ✓ par contre, si le comptage est sur la haute tension, un raccordement sous cette tension peut également être envisagé.

Mais, en général, dans l'un et l'autre cas, c'est bien la formule du raccordement en basse tension qui permet d'installer les condensateurs au plus près des appareils d'utilisation.

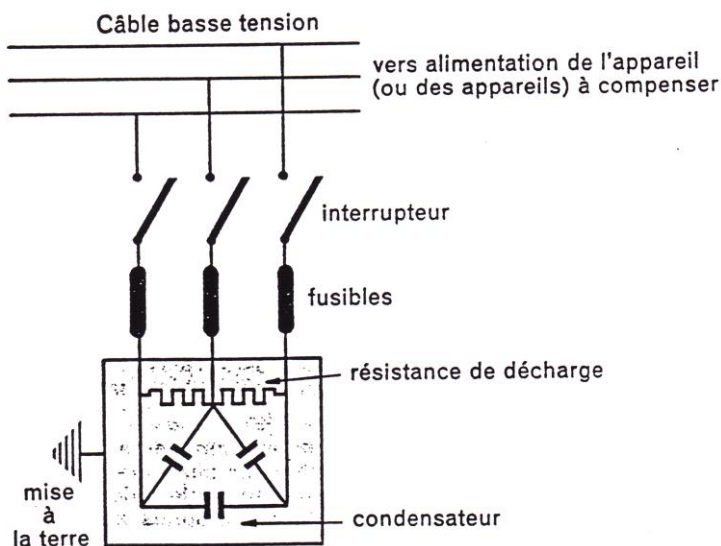
Installation de condensateurs en basse tension

Deux règles de sécurité:

- prévoyez un dispositif de décharge, par exemple des résistances ; il ne demeurera ainsi aucune tension aux bornes des condensateurs après leur mise hors service,
- établissez une connexion de masse avec l'enveloppe métallique des condensateurs.

Quelques conseils pour l'installation :

Le schéma de principe du raccordement des condensateurs à l'installation électrique est le suivant :



Bien entendu, l'ensemble interrupteur - fusibles peut être remplacé par un disjoncteur.

D'une manière générale, respectez les recommandations du constructeur : les appareils de commande et de protection que vous associez aux condensateurs auront ainsi des caractéristiques appropriées, de nature à en prolonger la durée de vie, et les protections par fusibles ou disjoncteurs seront parfaitement dimensionnées.

N'oubliez pas non plus que la température de service a également une grande influence sur cette même durée de vie : une ventilation du lieu d'installation des condensateurs, une disposition adéquate des unités et une protection éventuelle au rayonnement du soleil, ou d'un four, vous garantiront une température correcte de fonctionnement.

...et pour l'Exploitation

Les condensateurs doivent être mis hors service lors des périodes de faible charge, en particulier pour éviter à ceun-ci toute contrainte excessive.

Dans le cas d'une installation des condensateurs par moteur, groupe de moteurs ou appareils utilisateurs divers, la mise hors service interviendra en même temps que celle des appareils concernés.

Dans le cas d'une installation de batteries plus importantes, groupées par exemple en tête de l'installation intérieure, d'un atelier ou d'un groupe d'ateliers, cette mise hors service devra être

assurée automatiquement pendant les heures creuses par des dispositifs appropriés tels que relais varométriques ou horloges.

Installation de condensateurs en moyenne tension

L'installation de condensateurs en moyenne tension peut être intéressante pour des puissances importantes, de l'ordre de 1 000 kvar.

Elle peut aussi être impérative si les appareils utilisateurs sont alimentés eux-mêmes en moyenne tension.

Les quelques règles et conseils énoncés à propos des condensateurs installés en basse tension restent valables mais le niveau élevé de la tension demande une attention accrue envers les conditions de sécurité, en particulier dans le domaine des protections contre les contacts directs ou indirects (écrans, mises à la terre des masses...).

L'installation s'effectue alors en dérivation sur le jeu de barres MT. La protection est assurée par un disjoncteur (ou un interrupteur associé à des fusibles) ayant le pouvoir de coupure nécessaire en courant capacitif.

Comme dans le cas de batteries importantes, les batteries HT doivent toutes être munies de dispositifs assurant leur mise hors service pendant les heures creuses.

Dans le cas de batteries de condensateurs très importantes (supérieures à 2 ou 3 Mvar) il y a lieu de fractionner ces batteries en plusieurs gradins. Chaque gradin doit alors être muni d'un interrupteur de pouvoir de coupure et de pouvoir de fermeture appropriés ainsi que de selfs de choc.

Causes de dégradation du facteur de puissance

Nous avons vu que la valeur du facteur de puissance est fonction, de la nature, du principe et de la construction des appareils et installations, pour des conditions de service données.

Néanmoins, pour des appareils et installations bien étudiés à l'origine et ayant des facteurs de puissance donnant toute satisfaction, il existe de nombreuses causes de dégradation dans le temps.

Nous en donnons ci-après quelques exemples classés en trois catégories

- Le vieillissement.
- Les interventions techniques.
- L'exploitation.

:Vieillissement

- ✓ Perte totale ou partielle d'efficacité des condensateurs chimiques, surtout s'ils sont installés dans des points chauds (cas des éclairages installés sous toiture).
- ✓ Augmentation des pertes d'entrefer des moteurs et appareils électriques divers.

Interventions techniques

- ✓ Mise hors service, sans remplacement, des condensateurs.
- ✓ Mise hors service (volontaire ou non), de systèmes de compensation (lors de dépannages ou de modifications).
- ✓ Mauvais réglage (excitation des moteurs et alternateurs, angle de commande de thyristors...).

- ✓ Remplacement d'appareils par d'autres de $\cos \varphi$ inférieur.

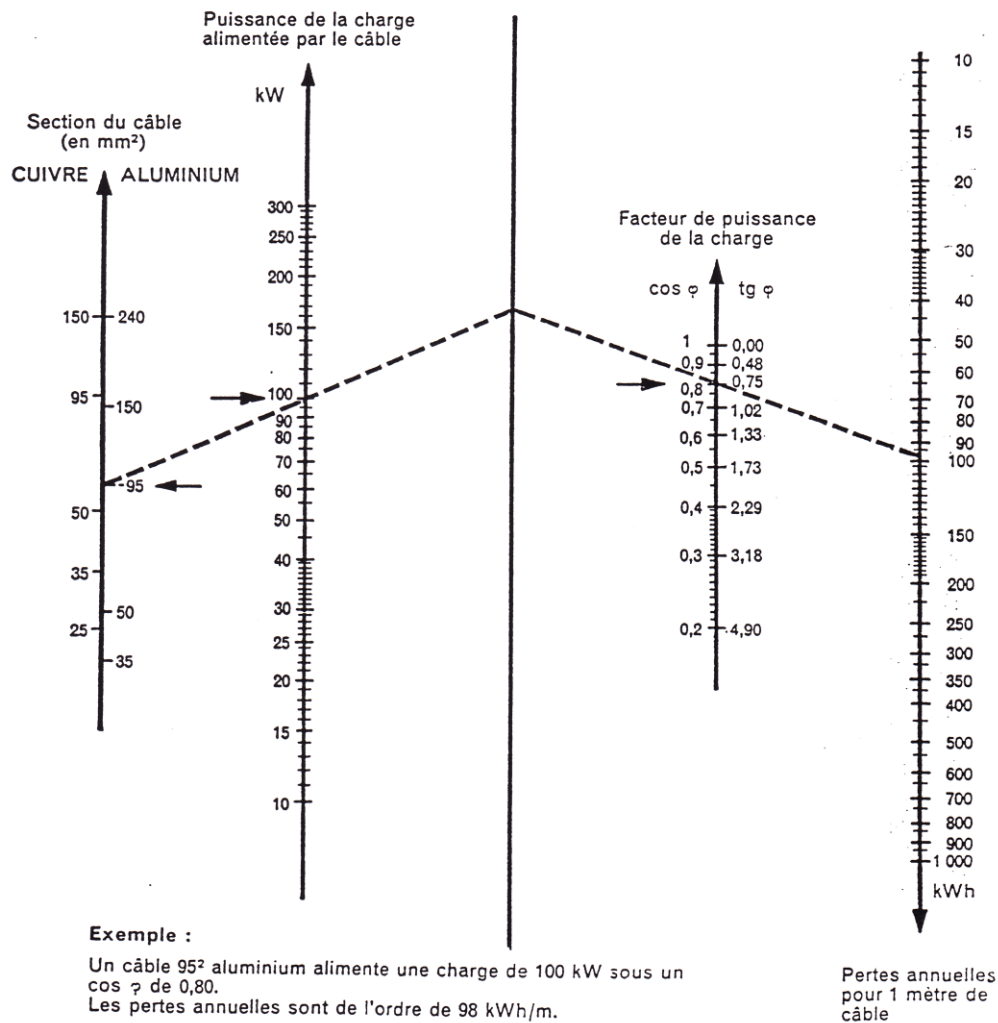
Exploitation :

- ✓ Marche à vide des installations (temps de pause, nuit, week-end...).
- ✓ Utilisation des machines dans des conditions de charge intérieures à celles d'origine (changement de fabrication, déclassement, sous-activité...).

Abaques pour les calculs

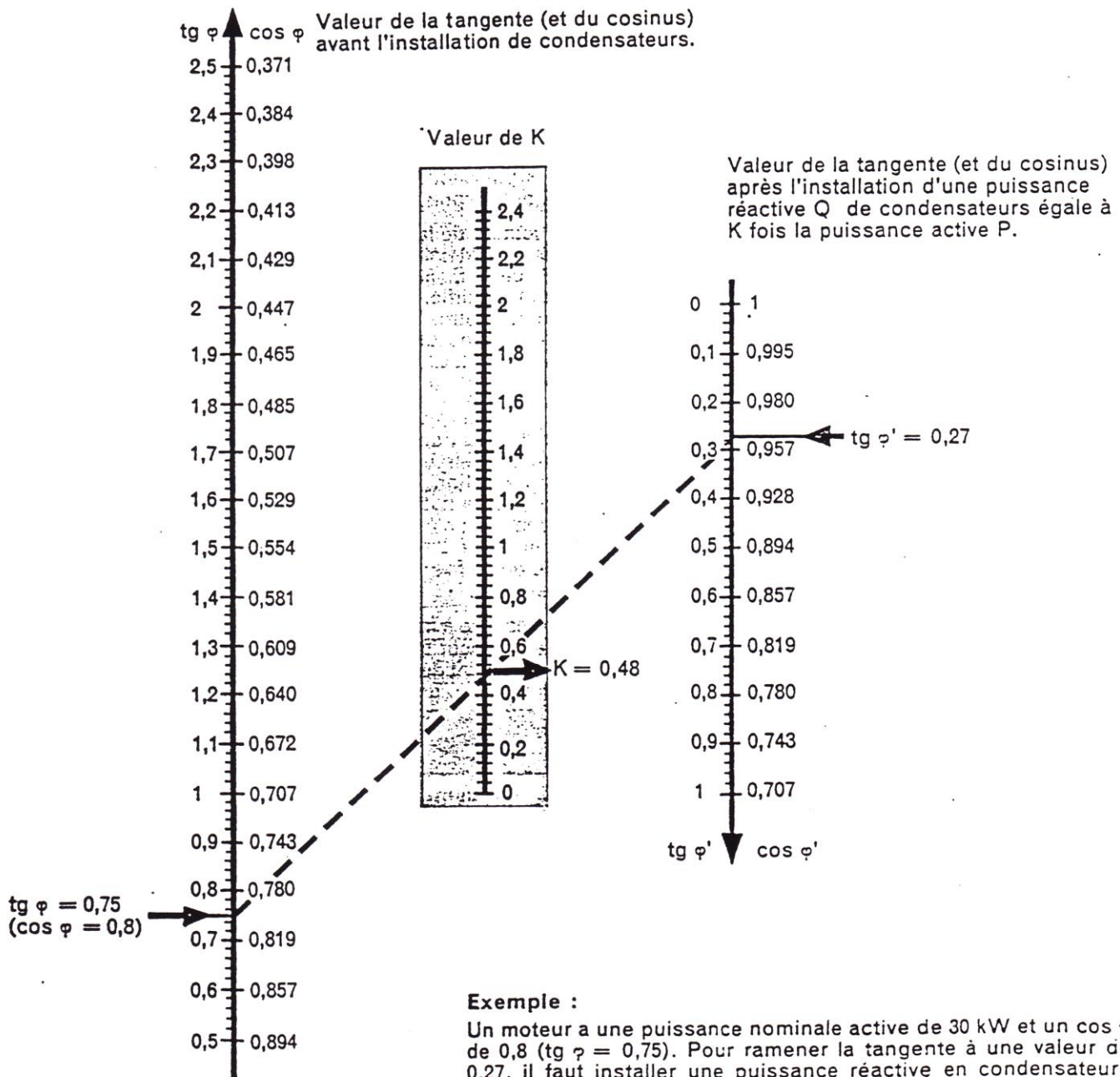
Estimation des pertes dans les câbles

(par mètre et pour 2500 heures)



Détermination de la puissance réactive à installer

(pour passer de $\text{tg } \varphi$ à $\text{tg } \varphi'$)



Exemple :

Un moteur a une puissance nominale active de 30 kW et un $\cos \varphi$ de 0,8 ($\text{tg } \varphi = 0,75$). Pour ramener la tangente à une valeur de 0,27, il faut installer une puissance réactive en condensateurs égale à $K \times P$, soit :

$$Q = 0,48 \times 30 = 14,4 \text{ kvar}$$

Méthode simplifiée du facteur de puissance

Dans le cas d'une installation triphasée et si l'on ne dispose pas d'un appareil de mesure spécifique, il est possible de déterminer la valeur de son facteur de puissance au moyen de la méthode des 2 wattmètres.

On branche chaque appareil en série avec une phase en reliant son fil dérivé à la troisième phase.

Le rapport des deux indications, soit $W1 / W2$, permet d'obtenir la valeur cherchée dans le tableau suivant :

W1 / W2	Cos φ	Sin φ
1	1	0
0,9	0,996	0,090
0,8	0,982	0,189
0,7	0,956	0,292
0,6	0,917	0,398
0,5	0,866	0,500
0,4	0,803	0,596
0,3	0,731	0,682
0,2	0,655	0,756
0,1	0,577	0,817
0	0,500	0,866
-0,1	0,427	0,904
-0,2	0,359	0,934
-0,3	0,297	0,955
-0,4	0,241	0,971
-0,5	0,190	0,982
-0,6	0,143	0,990
-0,7	0,102	0,995
-0,8	0,064	0,998
-0,9	0,0	0,999
-0,95	0,0148	0,9999
-1	0	1

Réparation d'un moteur électrique

Démontage

Le démontage doit être précédé d'un certain nombre de précautions telles que :

- vidange des paliers, s'il s'agit d'un moteur à coussinets ;
- repérage de la position des flasques par rapport au bâti ;
- relevage des balais s'il y en a.

Démontage de la poulie

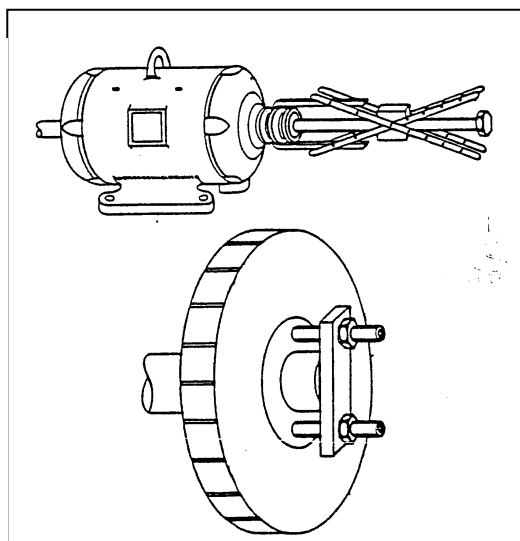
Il faut d'abord s'assurer du mode de blocage de la poulie sur l'arbre, car celle-ci peut être maintenue par vis, par écrou, par clavette et, quelquefois pour les micromoteurs, par simple goupille.

Ensuite il faut démonter la poulie, après avoir enlevé le système de blocage, sauf pour le système à clavette, en utilisant un arrache-poulie.

Il ne faut jamais démonter la poulie au marteau car les risques de fausser l'arbre sont grands.

Lorsque la poulie est d'un diamètre moyen on utilise un arrache-poulie universel.

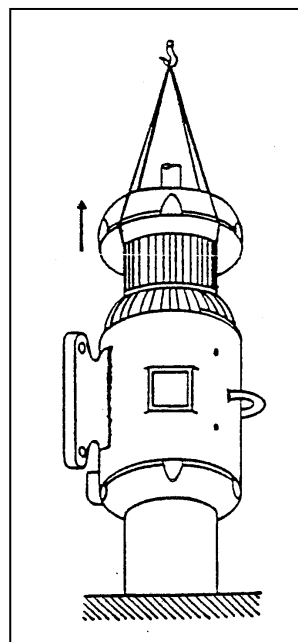
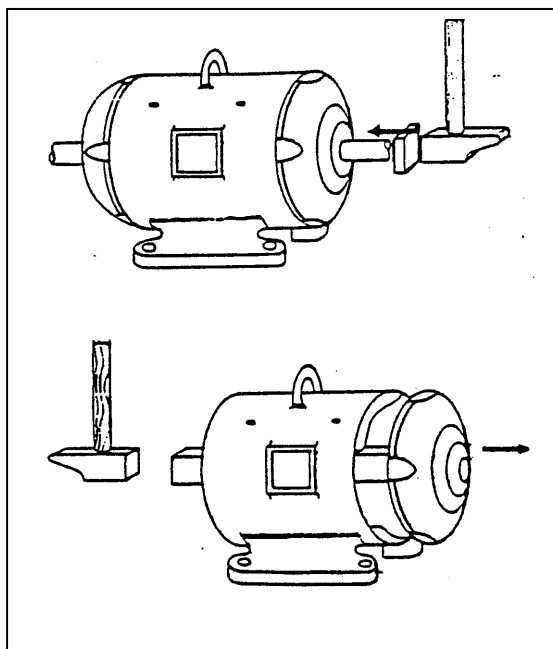
Pour les poulies de grand diamètre il faut utiliser une plaque d'acier et deux goujons vissés dans le moyeu de la poulie.



Démontage des flasques

Dévisser tous les éléments d'assemblage, puis « décoller » les flasques en utilisant un marteau et une cale de bois dur.

Dans le cas d'un moteur de grosse puissance l'utilisation d'un palan est nécessaire pour maintenir le rotor bien centré.



Causes des pannes

Les pannes peuvent provenir de la partie électrique et de la partie mécanique.

Partie électrique

Les pannes proviennent généralement :

- d'une coupure dans le bobinage ;
- d'une coupure dans les connexions entre les sections ou dans les liaisons avec la plaque à bornes ;
- d'une section en court-circuit ;
- d'un défaut d'isolement ;
- d'un court-circuit entre lames du collecteur si le moteur en possède un.

Partie mécanique

Les pannes sont plus rares car la partie mécanique est très simple.

Les plus courantes sont :

- usure des coussinets, usure ou accident des roulements, ce qui entraîne la suppression de l'entrefer des machines tournantes et le blocage de la partie mobile ;
- flasque cassé à la suite d'un choc.

Moyens de vérification

Les organes mécaniques : paliers, roulements avec les instruments de mesure classiques.

Concernant la partie électrique :

- ✓ les organes électriques doivent être vérifiés à l'isolement avec la masse en utilisant un contrôleur d'isolement mobile ;
- ✓ la continuité des bobinages et des circuits est constatée à l'aide d'un circuit témoin ;
- ✓ pour localiser les court-circuits dans les sections on utilise un vibreur magnétique ou une boussole qui permettent d'apprécier la valeur du champ magnétique produit lorsque l'on fait passer un courant dans la section douteuse.

Analyse et détection des avaries en fonction des parties atteintes

Matériaux constitutifs

Sous l'effet de contraintes mécaniques dues à la rotation et aux contraintes thermiques, des contraintes internes peuvent se produire :

- des craquelures dans les pièces étirées ;
- des cassures dans les soudures dues à la recristallisation ou à une diffusion insuffisante de la soudure ;
- des ruptures par fatigue ;
- des usures des paliers ;
- des ruptures de cages de roulements ;

- des écaillages de roulements ;
- etc...

En ces circonstances, l'échange de la pièce défectueuse est à faire.

Paliers

Les paliers peuvent être détériorés en raison d'un graissage insuffisant ou inadapté.

Coussinets lisses

Un bon graissage est absolument indispensable à la bonne marche des moteurs à coussinets lisses et la qualité de l'huile est primordiale ; il est recommandé d'utiliser une bonne huile minérale neutre exempte de toute impureté et assez neutre (3 à 4° Engler à 50°C), conservant encore une certaine viscosité à une température de 80°C. Surtout ne pas employer des huiles pour automobile, ni l'huile de ricin, qui ne sont pas assez fluides à la température normale de 15°C, ces huiles étant seulement fluides vers 80°C. Spécifiez toujours au fournisseur qu'il s'agit d'huile pour moteurs électriques.

La fréquence de graissage dépend de l'état du moteur, de son fonctionnement et de son lieu d'installation. Pour un moteur neuf, au début de son fonctionnement il est recommandé de changer de temps en temps l'huile des paliers ; il en est de même pour un moteur fournissant un travail dur, ou installé dans un endroit chaud.

D'une façon générale, le renouvellement complet de l'huile doit être effectué si possible tous les six mois, en tous cas au moins une fois par an.

Roulements à billes et à rouleaux

La graisse employée doit être rigoureusement neutre et exempte de toute impureté.

Elle doit avoir une température de point de goutte d'environ 110°C.

Si les roulements sont étanches et prégraissés : une durée de vie de 4 ans (ou 30 000 h) est à escompter.

Si ce n'est pas le cas, un graissage doit être prévu avec une périodicité de 6 mois.

- Un incident assez rare peut survenir : une électrolyse des paliers se produit et creuse les surfaces des billes ou rouleaux, des chemins de roulement et des coussinets.
Il faut rechercher la circulation de courants dans les paliers qui peuvent provenir d'une asymétrie des enroulements ou d'une mise à la terre accidentelle.

Circuit magnétique

Les circuits magnétiques sont formés de tôles isolées soit anciennement par du papier, soit actuellement par une couche d'onydation ou un vernis.

- Si les tôles se trouvent court-circuitées pour une raison quelconque (humidité, arcs entre masse et bobine...) il en résulte un accroissement des pertes fer sous l'effet de courants de Foucault et la formation de véritables spires.
- Si le contact se fait par frottement entre stator et rotor, il faut en supprimer la cause : corps étranger dans l'entrefer, enclenchement dû à l'usure des paliers, d'un fléchissement de l'arbre du rotor, d'attractions magnétiques causées par une irrégularité de l'entrefer.
- Si le contact est direct entre tôles, le défaut peut être supprimé en limant les tôles en contact, en matant les arêtes des gouttes résultant des arcs, en les coupant au burin, en fraisant légèrement l'intervalle entre les dents.

Bagues et balais

Bagues

Les bagues sont montées sur un isolant ; elles sont généralement en bronze ou en laiton. Elles viennent de fonderie et peuvent présenter des défauts ; il en résulte des méplats qui peuvent provoquer des vibrations et être cause de mauvais contacts entraînant des étincelles sur les balais.

- Si les défauts sont peu importants, la remise en état se fait à l'aide de toile émeri et de pierre ponce.
- Si les défauts sont importants, il faut procéder à une rectification des bagues en plaçant le rotor sur un tour, ou à défaut en donnant un coup de lime tout en faisant tourner le rotor ; cette dernière manière est assez délicate.

Collecteurs

Ils sont souvent en cuivre.

- Une mauvaise commutation peut provenir d'un inversement des pôles auxiliaires.
- Une mauvaise commutation peut venir d'une encentration de l'entrefer dû à une usure des paliers ou d'un mauvais remontage des tôles. La variation d'entrefer doit être inférieure à 10 %.
- Si le collecteur se déforme à la suite d'un desserrage des cônes, il en résulte des vibrations et une mauvaise commutation qui se caractérise par un noircissement du collecteur. L'induit ne reste plus rond. Il faut envoyer le moteur chez un spécialiste.
- Les différentes lames de cuivre et d'isolant peuvent ne pas s'user à la même vitesse ; il suffit de passer une pierre ponce sur le collecteur.
- Les balais doivent être correctement positionnés dans la zone neutre.

Balais

La densité de courant admissible dépend :

- de la nature des balais,
- de la vitesse des balais,
- du refroidissement,
- de la pression des balais sur les bagues,
- de la section des balais.

Un mauvais fonctionnement se caractérise par des crachements et une usure rapide.

- La cause la plus courante est une ovalisation des bagues et collecteurs.
- Il arrive que des liquides ou vapeurs acides aient formé des taches sur les bagues.
- Les porte-balais peuvent également avoir pris du jeu.
- Des vibrations peuvent être causées par les organes de transmission (courroies, engrenages, accouplement...).
- Des balais mal choisis peuvent créer des cannelures sur les bagues ou créer des échauffements entraînant une usure rapide des balais et un encrassement des bagues.
- Les balais doivent se déplacer librement sans jeu enagéré.
- Si des balais de qualités différentes ont été montés sur une même bague, certains balais peuvent être surchargés ; ils s'échauffent anormalement et il peut arriver qu'il y ait une répartition inégale du courant ; les shunts des balais deviennent incandescents, les soudures

des connexions fondent ; le courant passe alors par les porte-balais qui se détériorent à leur tour.

- Il faut aussi dépoussiérer pour éviter la présence de poussières abrasives.
- Il faut vérifier la position, le serrage correct des porte-balais, le libre fonctionnement du ressort et du doigt d'appui, que le bord de la cage ne soit pas à plus de 2 mm des bagues et collecteurs, que les pressions sur les balais d'une même bague ne diffèrent pas plus de 10 %, que la courbure des balais corresponde à celle de la bague ou du collecteur.
- Il est recommandé de ne pas changer simultanément plus de 1/3 des balais d'une même bague pour permettre un passage correct du courant pendant la période de rodage.

Enroulements et bobinages

Les conducteurs peuvent avoir leur isolation avariée par les circonstances suivantes :

- surtensions sur la ligne ;
- surtensions lors de manœuvres ;
- poussières formant des ponts conducteurs.

Objets divers :

- Les poussières ou gaz acides entraînés par la ventilation arrachent, érodent ou corrodent l'isolation.
- Desserrage des tôles formant le circuit magnétique ; les tôles vibrent alors et usent les isolants. Ce phénomène est maintenant rare.
- Usure des isolations par frottements sous l'effet des forces centrifuges, surtout si les variations d'allure sont fréquentes.

Un des premiers entretiens est donc le dépoussiérage à l'air comprimé.

Détection des mises à la masse

Les mises à la masse peuvent être permanentes ou intermittentes.

Symptôme

Un court-circuit franc peut même produire des arcs donc :

- le dispositif de protection contre les sur-intensités fonctionne,
- tout dégagement de fumée nécessite une inspection du moteur.

Détection

Au cas où aucune carbonisation n'est apparente, on alimente successivement chaque enroulement en courant.

Après avoir mis le moteur sur un socle isolant, les rapports des tensions partielles entre fer et enroulement donnent l'indication de la position de la masse par rapport à l'enroulement.

Au cas où cette méthode ne convient pas, on peut relier le fer à un pôle d'une source de courant continu, et l'autre aux extrémités de l'enroulement. En déplaçant une aiguille aimantée le long de l'enroulement, au point à la masse la déviation de l'aiguille change de sens.

Une fois détectée, la masse accidentelle doit être supprimée, soit par remplacement, soit par réparation. Dans ce dernier cas, il faut procéder à un nettoyage soigné, à un grattage de l'isolant et du fer défectueux. On introduit ensuite un isolant (toile huilée, morceau de mica,...) que l'on recouvre de vernis isolant.

Court-circuits entre spires

A la place d'une mise à la masse, deux spires peuvent être en court-circuit.

Symptômes

En plus du dégagement de fumées il y a :

- pour les stators des moteurs à courant alternatif des vibrations, des bruits importants, des difficultés de démarrage,
- pour les stators de moteurs asynchrones : les courants entre phases sont inégaux,
- pour les induits des moteurs à courant continu, les lames du collecteur reliées au court-circuit sont noircies et sont souvent distantes d'un pas ou d'un double pas polaire
- le fonctionnement est souvent perturbé, mais on le décelera par un fort crachement des balais.

Détections

Les dégradations sont en général décelables à l'œil nu, sinon une mise en marche très courte permet de constater un échauffement important à l'endroit du court-circuit.

- Pour un rotor on déterminera la bobine accidentée en détectant un balancement important de l'intensité traversant une bobine du stator au fur et à mesure que la bobine accidentée se déplace (le déplacement se fait à la main).
- Pour un induit de moteur à courant continu, on procédera à la mesure des tensions partielles entre lames du collecteur. Quand entre deux lames la tension s'annule ou devient très faible, c'est qu'il y a un court-circuit dans la section de bobinage compris entre les deux lames.
- Certains court-circuits ne se produisent qu'en rotation sous l'effet des forces centrifuges. Ils sont très difficiles à déceler sans un équipement particulier.

Ruptures de connexions

Sous l'effet de contraintes mécaniques, des ruptures de connexions peuvent se produire. Elles provoquent des perturbations dans le fonctionnement du moteur (démarrage, vitesse).

Remontage

On introduit le rotor dans le stator, en vérifiant que le sens de l'arbre est bien celui qui a été repéré au démontage (côté poulie du bon côté), puis on glisse le premier flasque sur l'arbre. On monte ensuite le deuxième flasque en ayant soin de bien mettre les repères en place. Les flasques doivent être emboîtés dans les logements prévus à cet effet et souvent il faut avoir recours à quelques coups de marteau que l'on applique toujours par l'intermédiaire d'une cale en bois dur. Les coussinets ou les roulements doivent glisser sans forcer. On peut alors monter et bloquer les vis ou les boulons en serrant successivement ceux qui sont diamétralement opposés. Le rotor doit alors tourner sans effort.

Si le moteur est à coussinets on fait le plein d'huile ; s'il est à roulements, on remplit de graisse consistante les graisseurs. On place les balais dans leurs supports, s'il en existe, et on règle la pression. Enfin on monte la poulie ou le manchon.

On procède alors à un essai électrique qui consiste le plus souvent à faire tourner le moteur à vide ou en charge sur un banc d'essai.

Tout échauffement anormal doit être décelé car c'est souvent un indice de mauvais fonctionnement du moteur remonté.

Il est très conseillé de faire une analyse de vibrations pour déceler les éventuelles anomalies. Dans ce cas, il est préférable de placer le moteur sur 4 blocs de caoutchouc dur pour éviter les interférences.

Colles en maintenance

Introduction

Permettez-moi de vous rapporter deux faits que j'ai remarqués récemment.

Le premier, dans un atelier flexible avec 5 grosses machines-outils très automatisées, concerne l'usinage de blocs d'acier cubiques d'arêtes d'environ 0,5 à 0,8 m. Pour manipuler chaque bloc en usinage (celui-ci avec des outils de fraisage, perçage, lamage, de gros gabarits), on colle une pièce plus petite qui est ensuite décollée à la fin du travail soit à l'aide de résistances chauffantes incorporées, soit à l'aide de vis de décollage et entraînement.

La mise au point a été longue : environ 1 an.

Le second concerne des glissières de machines-outils : des résines anti-adhérentes sont collées sur ces glissières. Or dans l'entreprise en question, de gros problèmes se posent du fait de phénomènes de décollement. La marque de ces machines-outils étant assez répandue, je me suis renseigné auprès d'autres utilisateurs : ceun-ci n'ont pas ces problèmes alors qu'ils utilisent les mêmes résines anti-adhérence sur le même type de machine-outil.

Ma réflexion est qu'il faut sans doute faire très attention au type d'adhésif utilisé, ainsi qu'aux méthodes de préparation.

Le collage industriel se développe rapidement. L'industrie automobile y fait désormais appel et les fabricants de colles se préparent à fournir l'ensemble de l'industrie.

Mais c'est nouveau. En assemblage, on pense encore beaucoup au vissage / boulonnage ou au soudage.

Les avantages du collage sont certains

- la possibilité d'allier des matériaux hétérogènes sans réduire leurs performances par une altération mécanique (perçage par exemple) ;
- une répartition uniforme des contraintes ;
- la légèreté ;
- l'étanchéité, l'amortissement de vibrations, du bruit...
- On est parfois étonné d'apprendre que :
 - des structures sandwich acier ou aluminium à âme PVC ou mousse de polyuréthane de caisses de camions sont collées avec des adhésifs époxydes ;
 - des trains de roues sont collés directement sous la caisse ;
 - un adhésif polyuréthane est utilisé pour le collage du hayon d'une voiture,

Mais le collage exige deux approches simultanées, l'une chimique, l'autre physique. Il implique des précautions d'emploi nouvelles pour les techniciens habitués à la mécanique.

Par ailleurs, pour certaines applications industrielles le contrôle non destructif des joints exige un matériel coûteux : ultrasons, infrarouge, rayons X.

Le classique éponyde, aux performances d'adhésion et de vieillissement bien établies, garde une place primordiale. Mais l'usage des polyuréthanes, plus souples et moins chers, et des acryliques, plus chers, semble appelé à se développer.

Adhésifs structuraux et semi-structuraux

Le collage structural (par opposition au collage semi-structural) se définit comme un assemblage tel qu'une contrainte entraîne la cassure, non pas de l'interface adhésif substrat, mais de la structure elle-même.

En principe, un adhésif structural :

- a une résistance supérieure à 50 kg/cm²
- présente une bonne résistance au vieillissement.

Types d'adhésifs

Les types d'adhésifs les plus répandus sont les suivants :

- Anaérobies
- Acryliques
- Cyanoacrylates
- Eponydes
- Néoprène
- Colles à base Nitrile
- Phénoliques Résorcines
- Polysulfures
- Thermofusibles
- Colles à base Styrène Butadiène
- Silicones
- Polyuréthanes
- Vinyliques

Choix de l'adhésif

Le tableau ci-après donne les solutions possibles pour chaque couple à assembler.

Mais il convient de considérer

- que si les adhésifs fournissent des joints résistant bien au cisaillements, en revanche ils réagissent bien moins efficacement aux efforts de clivage (arrachement), ou de pelage (retournement d'une des surfaces collées);
- les contraintes liées à l'utilisation de l'adhésif retenu doivent être prises en compte :
 - durée de vie en pot pour les thermodurcissables;
 - précision du mélange pour les bi-composants;
 - précautions de stockage (durée et température);
 - vitesse de prise.

	BETON							A : Anaérobies												
BETON	E S U	BOIS							Ac : Acryliques											
BOIS	U E T Ni	E C N U T	CAOUTCHOUC							C : Cyanoacrylates										
CAOUTCHOUC	E S Si Sb	E C N Sb	C N Sb	CERAMIQUE							E : Eponydes									
CERAMIQUE	E S Ni	E U C Ni	E C Sb N Ni	E C Ac T	CUIR							N : Néoprène								
CUIR	E N Ni	T N C Ni	C N T	E T Ni	C N T Ni	METAUX							Ni : Colle à base Nitrile							
METAUX	E S Si Ni	E N U S C	E C N	E C Si	C E N Ni	E C Ac S U	PAPIER CARTON							P : Phénolique – Résorcine						
PAPIER CARTON	E N Sb	N V T P Sb	N Sb	V N Ac Sb	V N T Ac Sb U	N U V Ni Sb	T V Ac Sb	PHENOLIQUES STRATIFIES												
PHENOLIQUES STRTIFIES	E N T	U N C E Ni	E C N	E C Ni	C N T Ni	E N U C Ni	V N T Sb	E C U N Ni	MOUSSE POLYURETHANE											
MOUSSE POLYURETHANE	U T Ni	U N T Ni	U N Ni	U T Ni	U N T Ni	N U E T Ni	V U Sb Ac	U T N Ni	U N Ni	POLYCARBONATE POLYACETAL										
POLYCARBONA TE POLYACETAL	E	U E C T	U T C	T Ac E C	E C T Ni	C E U Ni Ac	N U T	E C T	U T N	U T C E Ac	POLYAMIDES									
POLYAMIDES	E T	U E C Ni	U N E C	E C T Ac Ni	U T Ni	E C U Ac Ni	T Sb	U E T C Ni	U T Ni	U E C Ni T Ac	U E T C Ac	POLYESTER								
POLYESTER	E U	U E T Ni C	C U E N Ni	E T C	E C Ni	U E C Ni	U N T	E U C Ni	U T E Ni	U E T C	U Ni C E	U C E T Ni	POLYOFINES							

POLYOFINES	U T	U T	U N E C	T	T Ni	U T	T Ac Sb	U T	T Ni	U T	U T	U T	U T	POLYSTYRENE ENPANSE				
POLYSTYRENE ENPANSE	U Sb	U Sb	U Sb	U Sb	U Sb	U Sb	V Ac Sb	U Sb	U Sb	U Sb	U Sb	U T Sb	U T Sb	U Sb	PVC RIGIDE			
PVC RIGIDE	E U Ni	E T U C Ni	C E Ni	E C Ni	C T Ni	E U Ni	N U Ac Sb	E C Ni	U T Ni Sb	U T E	U E T Ni C	U E C T Ni	U T	U Sb	U T	PVC SOUPLE		
PVC SOUPLE	C T Ni	U T C Ni	C Ni	C Ni	T Ni	U C Ni	V T U Ac	U C Ni	U N Ni	U C T Ni	C Ni	U C Ni	C T Ni	U Sb	U C Ni	U N i C T E	TISSU S	
TISSUS et NON TISSES	E Sb	C N T Sb	C N T Sb	T	C N Ni Sb	U N Sb	V Ac Sb	U T N Sb	U N T	U T	U T	U T	U T	U Sb	U T N Ni	C T Ni	T N Sb	V E R
VERRE	E Si	E	E C	E Ac Si S	E Sb	E U C Ac Si	N Ac Si S	E T	U E Ni	U E Ac	U N i E Si Ac	C U T E Ni	T	U Sb	E T Ni	T Ni	E	E A c Si

Propriétés des adhésifs structuraux

Propriétés adhésifs structuraux	Forme	Prise	Tenue en T°C	Résist au cisail	Observations
EPONYDES MONO-COMPOSANTS	Liquide ou film	10 min à qq hrs 120 à 200°C	- 55 à + 200°C	150 à 400	Faible résistance au pelage, aux chocs. Très bonne résistance au fluage. Tolère les surfaces grasses. Stockage entre + 4 et - 18°C
EPONYDES BI-COMPOSANTS	2 composants	4 min à qq jours T° amb	- 55 à + 120°C	180 à 400	Résistent aux huiles et aux solvants. La polymérisation peut être accélérée en chauffant.
EPONYDES POLYAMIDES	Liquide ou pâte	3 min à qq jours 25 à 200°C	100°C	120 à 150	Permettent des collages structuraux à froid. Résistent aux basses températures. Modulation des propriétés avec proportion des bases. Vie en pot : 1 à 2 h
EPONYDES POLYSULFURES	Liquide ou pâte 2 composants	20 min à 20h 25 à 70°C	- 60 à + 90°C	80 à 100	Résistance au fluage moyenne. Risque de corrosion de certains métaux.
EPONYDES-SILICONES	Film	3 à 4 h à 300°C + pression	300°C	50 à 100	
EPONYDES-PHENOLIQUES	Liquide ou film	30 min à 159°C + pression	250°C	150 à 200	Faible résistance au pelage et aux chocs. Très bonne résistance au fluage.
POLYURETHANES « TECHNIQUES »	1 ou 2 composants	30 min à 12 h 140°C	120°C	50 à 120	Grande souplesse. Peu compatibles avec l'huile.

ACRYLIQUES MODIFIES	Mono-composant avec activateur ou bi-composant	20 sec à 1 h T° amb	- 75 à + 200°C	150 à 400	Permettent le collage de surfaces peu ou mal préparées. Résistent à l'humidité, aux solvants, aux chocs. Autorisent des jeux inférieurs à 5/10.
CYANO-ACRYLATES	Mono-composant liquide	qq sec T° amb	- 60 à + 120°C	120 à 200	Très cassants. Faible résistance au pelage, moyenne aux chocs. Très efficaces sur caoutchouc. Se conservent 6 mois au-dessous de 25°
CYANO-ACRYLATES ELASTOMERES	Mono-composant activateur	20 sec à 2 h	- 50 à + 105°C	200	Bonne flexibilité. Très résistants au pelage, aux chocs. Se conservent 6 mois à 5°C.
ANAEROBIES	Liquide mono-composant avec activateur	20 min à qq h + pression	- 55 à + 120°C	50 à 400	Ne collent pas les matériaux poreux. Polymérisent en absence d'air. Activateur pour substrats non métalliques.
POLYAMIDES	Film	qq h 200 à 350°C	400°C		Faible résistance au pelage. Fournissent un joint de colle sensible à l'hydrolyse. Se conservent 2 semaines à T° ambiante.
POLYBENZIMIDAZOLONES	Film	300°C + pression	400°C	200	Excellente résistance au froid, au fluage, aux solvants. Résistance au pelage. Conservation limitée à T° ambiante
NEOPRENES PHENOLIQUES	Liquide ou film	1 h à 160°C + pression	140°C	50 à 60	Bonne résistance au pelage. Certaines colles peuvent être utilisées à froid.
NITRILES PHENOLIQUES	Liquide ou film	20 min à 160°C + pression	150 à 180°C	50 à 80	Excellente résistance au pelage. Excellente résistance aux plastifiants PVC. Temps ouvert très court : 5 à 10 min en milieu solvant liquide.
VINYL-PHENOLIQUES	Liquide ou film	30 min à 140°C + pression	100°C	50 à 100	Bonne résistance à l'humidité, aux huiles, aux solvants. Résistance au fluage moyenne.
PHENO-ACETAL DE POLYVINYLE	Liquide + poudre ou film	15 min à 150°C + pression			Les surfaces revêtues de résine phénol sont saupoudrées d'acétal de polyvinyle (procédé Redun)

Notes :

- la résistance au cisaillement est exprimée en kg/cm²
- T amb signifie : température ambiante

Préparation au collage

- Géométrie du joint

La conception du joint doit tendre à limiter la concentration des contraintes.

Elle doit aussi viser à augmenter les surfaces de contact et à orienter les contraintes

- Odeur et nocivité

- L'étiquetage doit préciser la présence éventuelle de matières nocives dans la composition de la colle et les précautions nécessaires lors de son stockage et de son utilisation.
La réglementation fait en outre obligation aux fabricants de faire parvenir à l'utilisateur les fiches de données de sécurité des produits qu'il lui livre.
- L'odeur de certaines colles peut gêner l'utilisateur. Odeur ne signifie cependant pas nocivité.
- Les solvants aromatiques pouvant provoquer le benzolisme sont autorisés dans des proportions éliminant tout danger.
- Caractéristiques de l'adhésif
 - ✓ Densité
 - A volume égal déposé, la consommation de colle est proportionnelle à sa densité.
 - La densité varie selon le type de l'adhésif, les charges et la nature du solvant.
 - Les néoprènes présentent une densité d'environ 0,8, les émulsions de 1 à 5 et les mastics 1,5
 - ✓ Entrait sec

Le taux d'entrait sec est le rapport en pourcentage entre le poids de produit sec après évaporation des solvants et le poids initial de la colle humide.
Les colles à taux d'entrait sec élevé subissent un retrait moins important que les colles à faible taux d'entrait sec.
 - ✓ Taux de charges minérales
 - Un taux de cendres élevé traduit en général un taux de charges minérales important (les matières organiques se décomposent et brûlent avant 900°C).
 - Une colle à taux de charges minérales élevé est souvent peu chère du fait du faible prix des charges minérales.
 - Le taux de charges minérales élevé et le faible prix de la colle ne traduisent pas forcément une moindre qualité : les charges peuvent participer à accroître la viscosité de la colle ou la résistance mécanique du joint, ou de réduire le retrait, le coefficient de dilatation du joint...

Préparation de la surface

- La nature de l'adhésif ne suffit pas pour assurer un bon collage : le choix du traitement de surface est déterminant pour l'obtention d'un collage fiable.
La nature du traitement de la surface dépend du substrat et de la force de collage désirée.
- Pour les pièces métalliques, le traitement permet d'éliminer les salissures et oxydes non efficaces et, par une attaque chimique, de créer une couche d'oxydes favorisant l'accrochage de l'adhésif.

La préparation peut être mécanique (sablage, ponçage), ou chimique nettoyage aux solvants (éventuellement allié aux ultrasons), nettoyage alcalin (l'alcalinité doit être contrôlée dans le cas de l'acier ou du titane), ou dégraissage à la vapeur de solvant.

Une fois débarrassée de ses contaminants, la surface subit le traitement chimique proprement dit (par ex. mélange sulfocarbonique).

- Pour les matières plastiques, le traitement de surface vise en général à éliminer les agents de démoulage qui rendent la matière peu apte au collage.

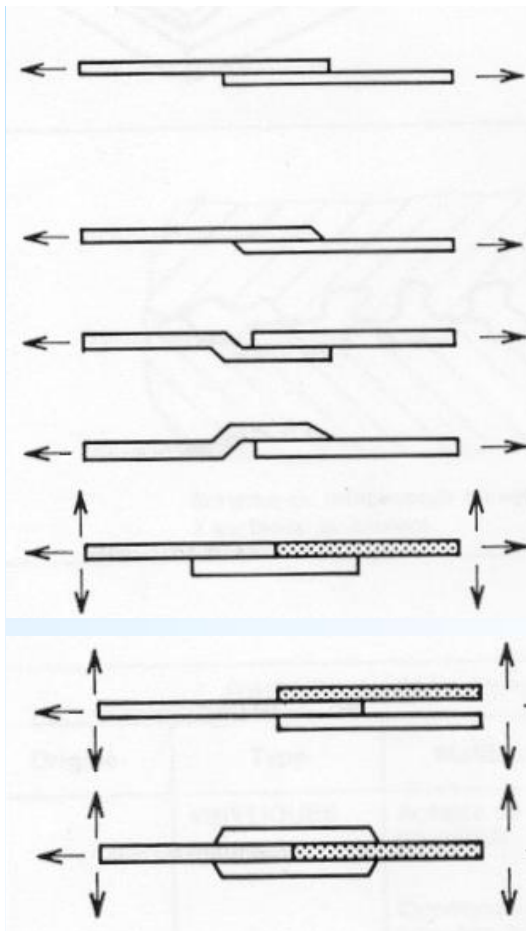
Un ponçage ou un sablage est en général nécessaire. Les matières particulièrement inertes, les polyoléfinés notamment (polyéthylène et polypropylène) peuvent être rendues plus réceptives au collage par un traitement au peroxyde, à la flamme ou à l'air chaud, aux gaz actifs ou par une exposition aux UV avec un sensibilisateur.

Poste de collage

La fiabilité du joint de colle peut varier en fonction des conditions d'environnement du poste de collage : les différences de température, les courants d'air doivent être en général évités, de même que les variations de taux d'humidité.

Types de collage

Assemblage par simple recouvrement



Bon ; c'est pas le plus employé pour les tôles minces

Bon ; le pelage est réduit aux extrémités.

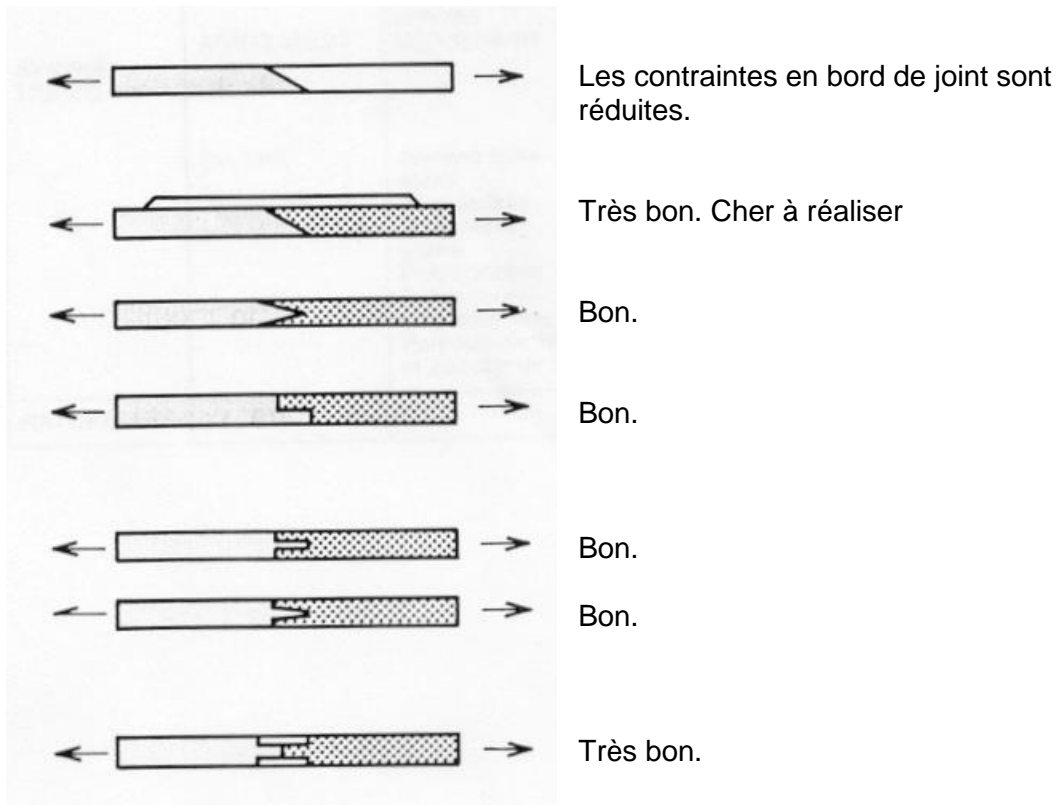
Bon : évite le couple de flexion.

Très bon ; Cher à réaliser.

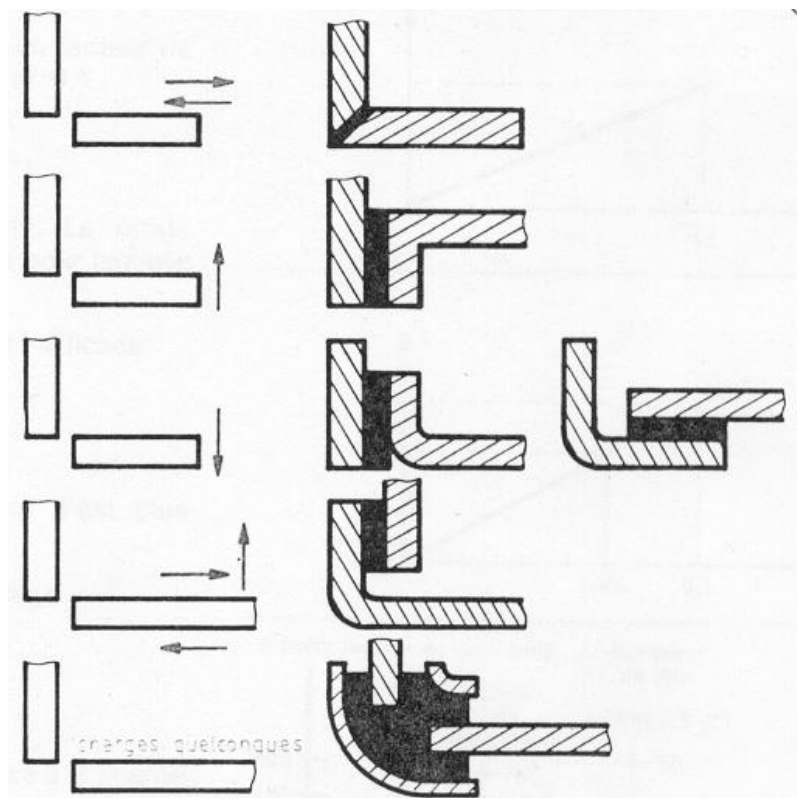
Bon.

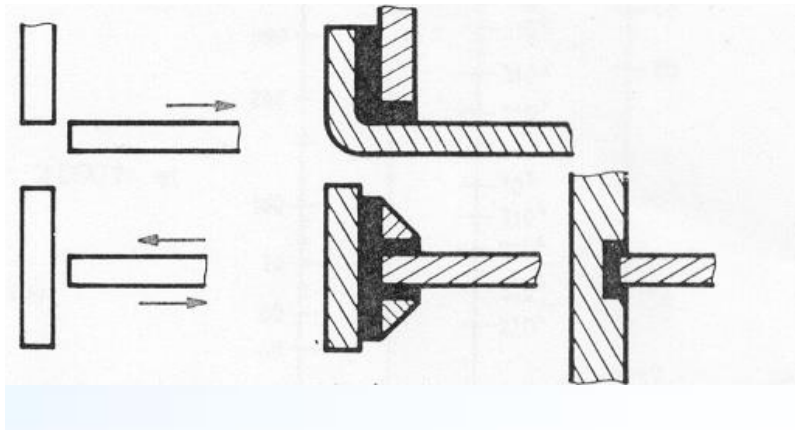
Très bon.

Très bon, mais ne convient pas à toutes les réalisations.



Assemblage d'angle





Maintenance

Pour des modifications ou des réparations, on fait appel très souvent aux finitions par boulonnerie, ou au soudage. Cela prend du temps. Dans beaucoup de cas, le collage suffirait et permettrait donc de gagner du temps (précieux en maintenance). Ce procédé demande de l'attention et du sérieux mais pas de grande formation.

Onduleurs

Il y à quelques temps, une entreprise m'avait confié une analyse de fiabilité sur une ligne d'assemblage semi-automatique.

En classant les informations disponibles, il m'est très vite apparu qu'une partie importante du temps perdu en pannes était constituée par des décyclages sur automates (environ 20 unités pour la ligne).

Le Responsable Technique m'expliqua que ces décyclages étaient une préoccupation majeure de son service, que de nombreuses modifications avaient été faites en conséquence et que l'on envisageait l'achat d'automates de plus forte capacité. Je fis remarquer que la défaillance en question concernait tous les automates sans discernement, et que sa cause devait être commune, la charge des automates (forcément variable) devant être écartée à mon avis.

La régularité de l'alimentation fut mise en cause, et très vite je proposai de faire un essai avec un onduleur pour obtenir cette régularité. L'essai fut concluant.

C'est à partir de cette expérience que j'eus l'idée de faire cet article, en me disant que les solutions apportées par les onduleurs étaient une voie pas forcément bien connue.

Perturbations électriques

Le tableau ci-après est une synthèse des causes, conséquences des perturbations électriques, ainsi que du matériel affecté.

Les applications informatiques (informatique de gestion ou informatique industrielle) sont concernées par tous les types de perturbations, alors qu'en général l'alimentation d'équipements à courants forts pâtit surtout des coupures et micro-coupures.

Causes	Conséquences	Matériel affecté
<p><u>Imperfection du réseau électrique</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Microcoupures par les manœuvres sur le réseau de 10ms à 100ms (ouvertures et fermetures de sectionneurs, disjoncteurs, protections) ▪ Surtensions transitoires par la foudre. ▪ Coupures franches de quelques secondes à quelques heures par ruptures de câbles. ▪ Variations de fréquence (surtout dans les pays où le réseau est peu important) ▪ Baisses de tension (surtout en extrémités de lignes et pendant les tranches horaires de forte consommation) <p><u>Pollution par l'utilisateur</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Chutes passagères de tension par le démarrage de fortes charges (moteurs, fours...) ▪ Renvoi d'harmoniques sur le réseau par l'emploi de systèmes d'électronique de puissance (alimentation à découpage, variateurs électroniques, ballasts électroniques...) ▪ Emission d'ondes électroniques avec induction de parasites sur les câbles du réseau (lors de l'utilisation de champs magnétiques importants ou de machines fonctionnant en haute fréquence) ▪ Mauvaise séparation des câbles courants forts et courants faibles. Les cheminements (sur tablettes ou racks) doivent être différenciés conformément aux règles de l'art. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Parasites ▪ Harmoniques ▪ Variations de tension ▪ Microcoupures ▪ Coupures ▪ Variations de fréquence 	<p><u>Equipements à courants faibles</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Informatique générale ▪ Informatique industrielle : <ul style="list-style-type: none"> - Systèmes numériques à commande centralisée. - Automates programmables. - Commandes numériques. - Etc. <p><u>Equipements à courants forts</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Moteurs électriques pour fonctions sensibles telles que ascenseurs, presses d'injection, robots de soudage, etc. ▪ Equipements thermiques pour fonctions sensibles. ▪ Eclairage de lieux publics. ▪ Divers, tels que scanners.

Solutions

Pour éviter les incidences des perturbations électriques sur les équipements sensibles, la solution générale consiste à intercaler une protection entre ceux-ci et le réseau.

Si l'on a bien déterminé les types de perturbations subies, on peut choisir la protection la mieux adaptée.

En effet, différentes solutions existent pour la protection contre certaines perturbations électriques :

- 1) le transformateur d'isolement à écran électrostatique suffit pour se protéger contre les parasites et les surtensions transitoires;
- 2) le régulateur de tension constitue une solution satisfaisante contre les seules variations de tension;
- 3) le conditionneur de réseau, basé sur la ferroresonance, combine ces deux protections; de plus, il permet de se prémunir contre les microcoupures de moins de 20 ms.
- 4) l'onduleur, qui est une solution plus coûteuse, cumule toutes ces fonctions avec la particularité d'offrir en plus une certaine autonomie.

Perturbations		Parasites	Harmoniques	Variations de tension	Micro-coupures < 20 ms	Micro-coupures > 20 ms	Coupures	Variations de fréquence
Solutions								
Solutions sans autonomie	Filtre							
	Transformateur d'isolement							
	Régulateur ferorésonnant de tension							
	Régulateur électrodynamique de tension							
	Conditionneur ferorésonnant de réseau							
	Conditionneur électronique de réseau							
Solutions avec autonomie	Onduleur « stand by »							
	Onduleur Chopper							
	Onduleur « on line »							
	Groupe tournant							

Onduleur « stand by » : solution variable suivant la version de l'onduleur

Onduleur

Intercalé entre le réseau et l'équipement sensible, l'onduleur garantit à ce dernier un courant alternatif fiable, sans microcoupures.

Grâce à une batterie maintenue en charge en temps normal, il intervient comme source de secours pendant les temps de coupure, assurant ainsi la continuité d'alimentation. Cependant l'autonomie est limitée. De 10 ou 15 minutes en standard, elle atteint 30 minutes dans certaines applications. Ce temps est suffisant pour l'utilisateur qui peut soit arrêter en toute sécurité la machine et se mettre ainsi dans les conditions propices au redémarrage une fois le courant rétabli, soit redémarrer un groupe électrogène.

Antérieurement existait le groupe tournant dont le principe est basé sur un volant d'inertie chargé de stocker de l'énergie en temps normal pour la restituer durant les microcoupures, une batterie servant ensuite de secours en cas de coupure franche.

Apparu en 1965, l'onduleur supprime peu à peu cette solution classique du groupe tournant, favorisé en cela par

- l'absence de pièces en mouvement, de bruit et de pollution,
- les progrès de l'électronique de puissance et par la baisse des prix.

Structures possibles

Tous les onduleurs comportent

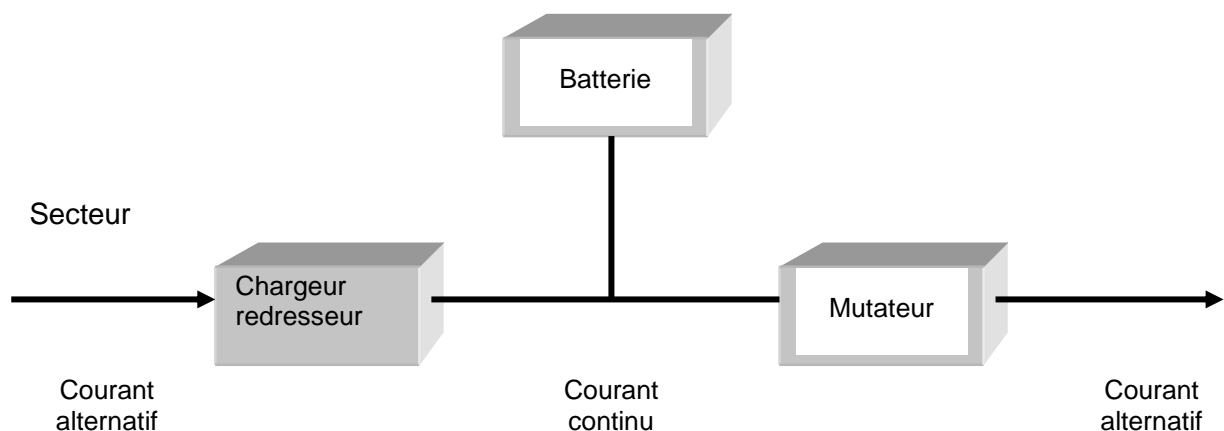
- un redresseur-chargeur,
- une batterie,
- un mutateur.

Onduleur « on-line »

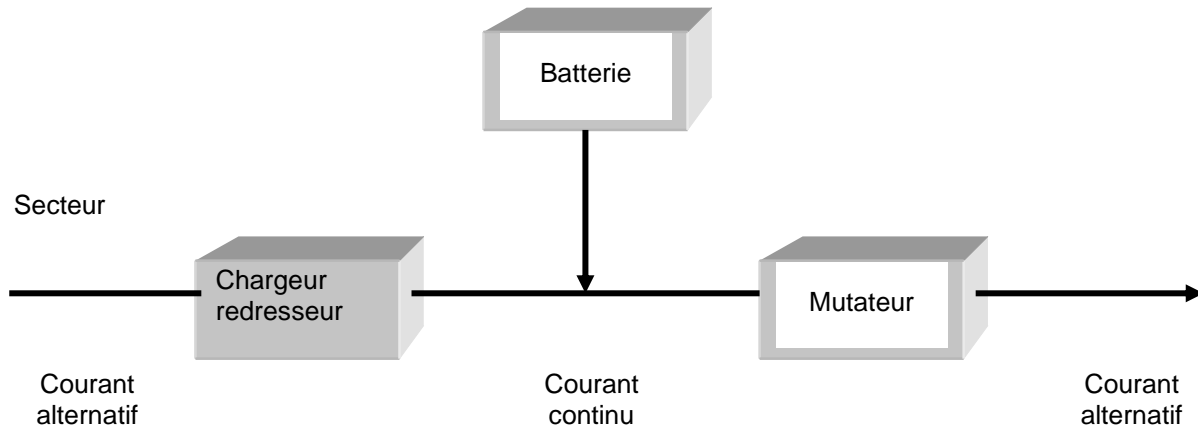
Dans ce type, la charge est alimentée en permanence par le mutateur.

En temps normal, le chargeur—redresseur, alimenté par le réseau, fournit une tension continue au mutateur qui la transforme en courant alternatif.

Dans le même temps, il maintient en charge la batterie.



En cas de coupure du réseau, la batterie prend le relais du chargeur- redresseur pour alimenter le mutateur jusqu'au retour du réseau ou à la reprise par un groupe de secours.

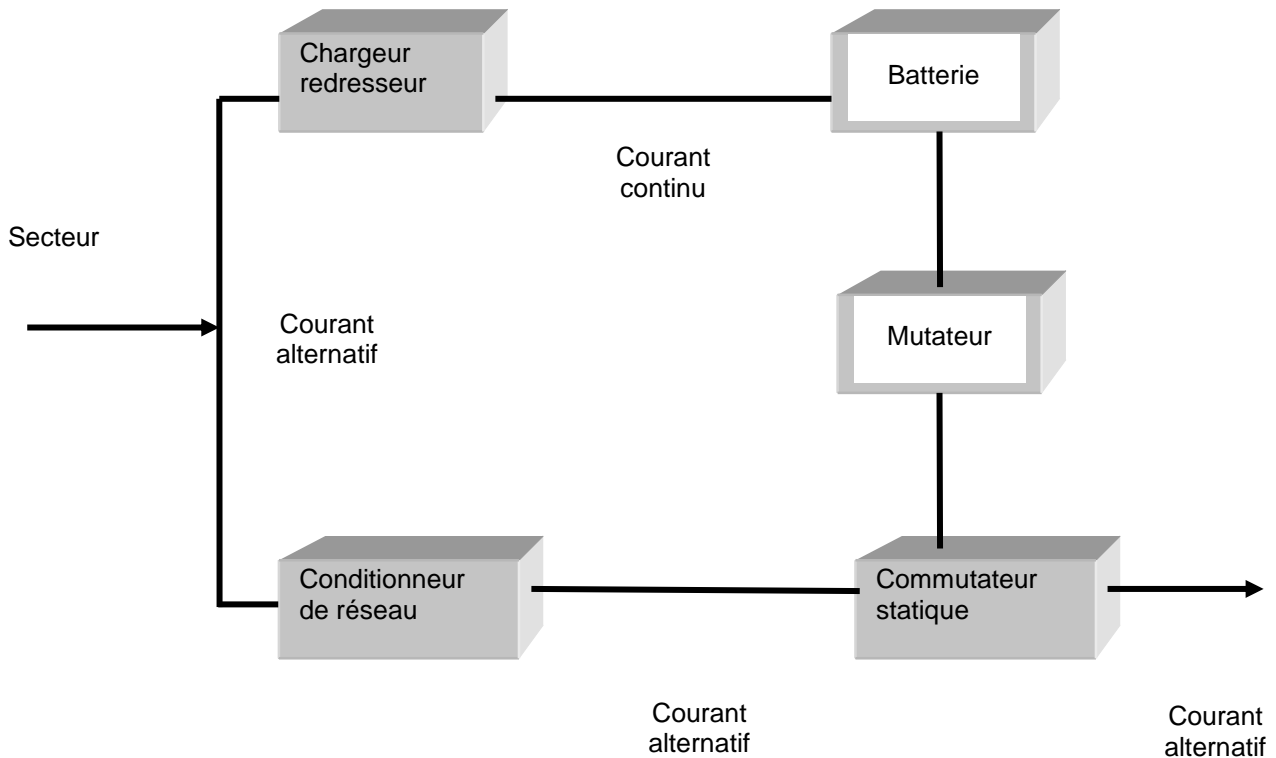


Onduleur « stand by »

Le mutateur n'intervient que pendant le temps de coupure.

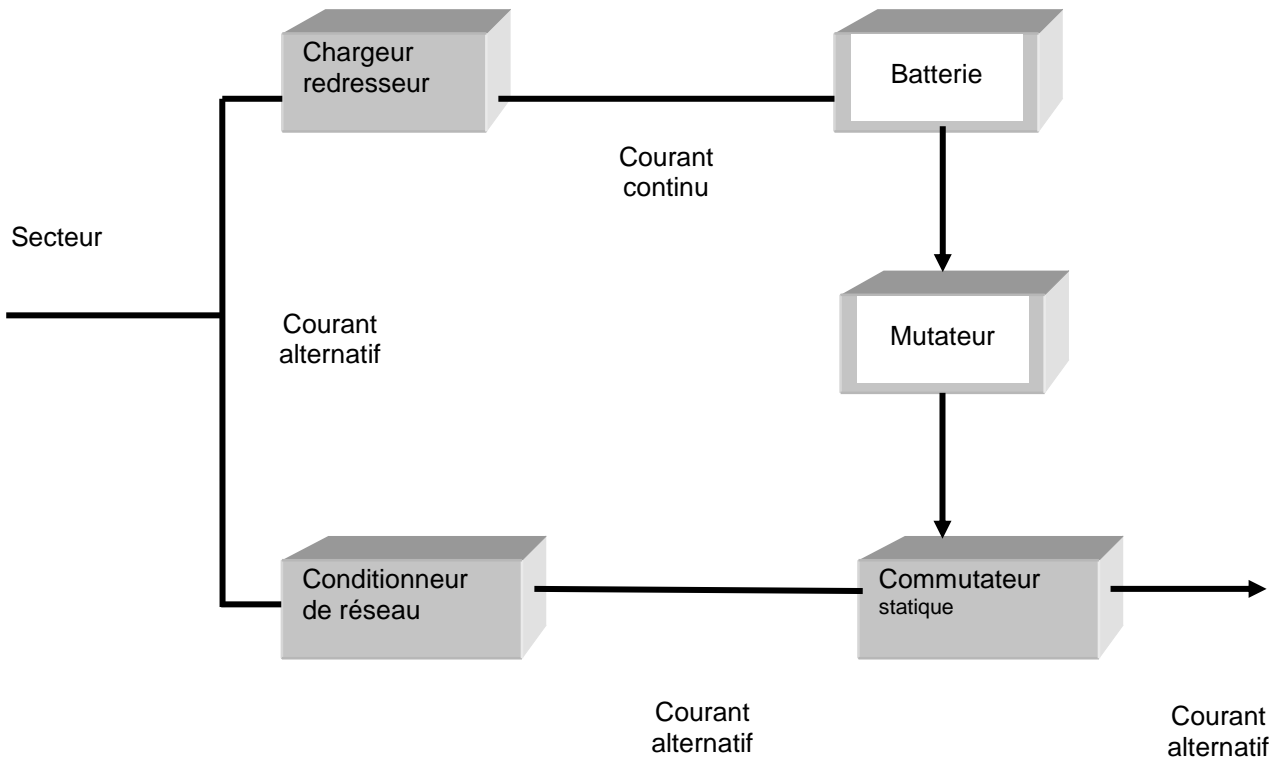
En temps normal, la charge est alimentée par le secteur via un filtre, un régulateur de tension ou un conditionneur de réseau.

Dans les applications d'éclairage, l'alimentation s'effectue directement par le réseau. Pendant ce temps, le chargeur-redresseur ne sert qu'à maintenir en charge la batterie.



En cas de coupure, un commutateur statique bascule la charge sur le mutateur qui assure alors l'alimentation dans les mêmes conditions que l'onduleur « on-line ».

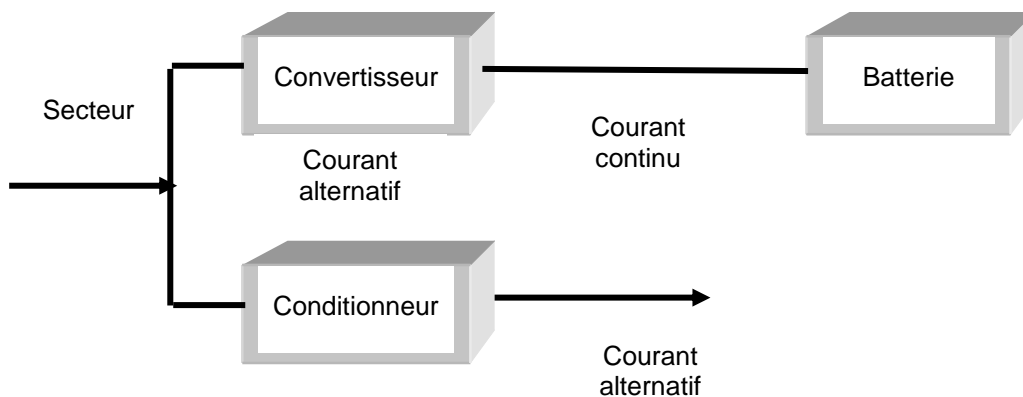
Mais ce basculement nécessite un certain temps qui constitue le principal handicap du "stand by"



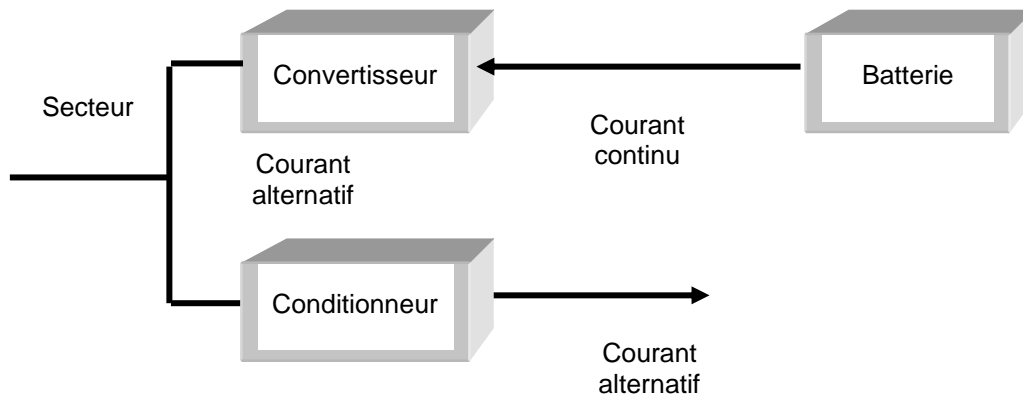
Onduleur Chopper

L'inconvénient précédent est évité par l'onduleur Chopper où le chargeur- redresseur et le mutateur sont remplacés par un seul convertisseur réversible.

En temps normal, le réseau alimente simultanément la charge et le convertisseur qui, fonctionnant en redresseur, charge la batterie.



En cas de coupure, le convertisseur devient un onduleur transformant le courant continu de la batterie en courant alternatif pour la charge.



Technologie du mutateur

La technologie du mutateur est

- soit à ferro- résonance,
- soit à semi-conducteurs.

La ferro-résonance présente l'avantage d'absorber facilement les non-linéarités de la charge, phénomène fréquent en informatique.

Mais ses performances dynamiques sont limitées, avec en plus les inconvénients du bruit, du rayonnement électromagnétique et de l'encombrement.

C'est pourquoi la ferro-résonance est de plus en plus remplacée par la solution électronique basée sur des transistors Mosfet dans les faibles puissances, bipolaires dans les moyennes et thyristors au-delà. Les frontières tendent à se déplacer vers le haut (entre 80 et 600 kVa pour la frontière transistor - thyristor).

Mutateur	Composants	Signal de sortie	Mode de génération
Ferro-résonant	S + circuits oscillants	Sinusoïdal	Saturation et désaturation magnétiques
Electronique à semi-conducteurs	Transistors de puissance	Carré	Créneaux de tension
		Sinusoïdal	Découpage à modulation de largeur d'impulsion (MLI ou PWM)
	Thyristors de puissance	Carré	Créneaux de tension
		Sinusoïdal	Découpage MLI ou PWM

Batterie

La batterie constitue le troisième élément de différenciation.

Type	Durée de vie	Particularités	Remarques
Pb ouvert	7 à 11 ans	<ul style="list-style-type: none"> - Supporte bien la chaleur - Solution systématique pour plus de 600 kVa 	L'étanche devient de plus en plus économique et tend à supplanter l'ouvert
Pb étanche	5 à 10 ans	<ul style="list-style-type: none"> - Sans entretien, ni émissions acides - Solution systématique pour Moins de 100 kVa 	
Ni – Cd	12 à 20 ans	<ul style="list-style-type: none"> - Supporte bien les chocs Électriques et thermiques - Faible encombrement et poids 	Ni-Cd se cantonne aux applications critiques

Choix d'onduleur à faire

Parcourons les différents éléments conditionnant le choix à faire.

Implantation monoposte ou multiposte

La question se pose dans le cas où plusieurs équipements nécessitent une alimentation fiabilisée.

La protection par plusieurs onduleurs offre l'avantage de la fiabilité, la défaillance de l'un n'entraînant pas l'arrêt de tous les équipements (surtout dans le cas du " on-line ") mais elle nécessite une installation coûteuse.

La solution retenue consiste souvent à utiliser plusieurs onduleurs dédiés chacun à la protection de plusieurs équipements.

Dimensionnement

Trois notions de puissances sont à prendre en considération

- Puissance nominale active en kW : puissance réellement absorbée par la charge.
- Puissance nominale apparente en kVa qui comprend en plus la puissance réactive appelée par la charge pour $\cos \alpha$ typique de 0,8.
- Puissance de charge non linéaire (environ 0,6 fois la puissance apparente.) Pour tenir compte des surcharges de démarrage d'une part, et des évolutions possibles de la configuration, on majore la puissance apparente de 20 à 30 %.

Dans cet aspect du dimensionnement, on prendra en compte le rendement. Dans les applications à redondance, il arrive que l'onduleur soit à 50 % de charge. Or le rendement est d'autant plus satisfaisant que le fonctionnement est proche de la pleine charge (un taux de 70-80% doit être visé).

Autonomie

L'autonomie (qui peut varier de 5 à 30 min) est à moduler en fonction du temps de recharge des batteries, de la fréquence des coupures et de la température de fonctionnement.

Notons qu'une autonomie standard de 10 à 15 minutes permet généralement

- soit de démarrer une source de secours;
- soit d'arrêter en toute sécurité la charge sensible et de se placer dans les conditions propices au redémarrage une fois le courant rétabli.

On-line ou stand-by

Dans le tertiaire et en bureautique où le courant est propre, le stand by suffit.

Le on-line s'impose :

- dans l'usine où le courant est pollué par le fonctionnement de moteurs électriques, de l'électronique de puissance, de fours, etc...
- en campagne et dans les endroits isolés où les perturbations électriques sont fréquentes.

Le choix du signal (sinusoïdal ou carré) ou entre transistors et thyristors est du fait du constructeur et fournisseur.

Notons cependant que la solution “ transistors “ présente les avantages suivants :

- mieux adaptée à l'intégration dans une salle informatique (ou esthétique, niveau de bruit et encombrement sont des éléments de choix non négligeables)
- plus grande garantie sur le rendement et la qualité du courant délivré.

Pose des conducteurs et câbles

Différents types de pose

La méthode d'énécution d'une canalisation doit tenir compte :

- Du nombre et de la nature des conducteurs et des câbles qui assurent la liaison électrique ;
- De la condition de pose qui précise la solution retenue pour améliorer la protection mécanique, physique ou chimique des conducteurs et des câbles tout en assurant leur finition ;
- De la condition de montage, solution retenue par l'installateur pour assurer le parcours de la canalisation.

A : Conduits en montage apparent		B : Conduits en montage encastré	
C : Moulures, plinthes et chambranles rainurés		D : Fixation directe aux parois par colliers, attaches	
E : Fixation directe aux plafonds		F : Pose sur chemins de câble ou tablettes	
G : Pose sur corbeaux		H : Goulottes J : Gouttières	
K : Gaines		L1 à L5 : Caniveaux : • fermés • ouverts ou ventilés • remplis de sable	
M : VIDES DE CONSTRUCTION		P : Blocs alvéolés	
N : Alvéoles			
Q : Huisseries		R : Encastrément direct	
S1 : Enterré directement S2 : Avec protection mécanique		S3 : Enterré dans des fourreaux	
T : Canalisations préfabriquées		U : Pose sur isolateurs	
V : Lignes aériennes		W : Immersion dans l'eau	

Choix des modes de pose

Le choix du mode de pose prend en compte :

- ➔ la **compatibilité** des conducteurs et des câbles utilisés en fonction des conditions de pose et des moyens de finitions ;
- ➔ les **conditions de montage** qui limitent l'emploi d'un type de canalisation.

<div>Canalisations ➔</div> <div>Conducteurs et câbles</div> <div>↓</div>		Conduits	Moules Plinthes	Colliers Attaches	Chemins de câbles Tablettes	Corbeaux	Goulottes	Gouttières	Sans finitions	Sur isolateurs
Conditions de pose	Conducteurs isolés	O	O	N	N	N	(4)	N	N	O
	Câbles unipolaires	O	O	(5)	O	O	O	O	O	O
	Câbles multipolaires	O	(6)	O	O	O	O	O	O	(7)
	Conducteurs blindés à isolant minéral	P	N	O	O	O	(7)	(7)	O	N
	Conducteurs isolés assemblés en faisceaux	N	N	N	N	N	(4)	N	N	O
	Conducteurs nus	N	N	N	N	N	N	N	N	O
Conditions de montage	Apparent (1)	A	C	D-E	F	G	H	J	N	U
	Encastré	B	N	N	N	N	N	N	R (2)	N
	Gaines (K)	A	C	D	F	G	H	J	N	N
	Caniveaux (L)	A	N	D	F	G	H	J	L	N
	Vides de construction (M)	A	N	D	F	G	H	J	M	N
	Alvéoles (N)	(7)	N	N	N	N	N	N	N	N
	Blocs alvéolés (P)	(7)	N	N	N	N	N	N	P	N
	Huisseries (Q)	B	N	N	N	N	N	N	Q	N
	ENTerrés (S)	N	N	N	N	N	N	N	S(3)	N
	AérieN (V)	N	N	N	N	N	N	N	N	V
	Immergé (W)	N	N	D-E	F	G	N	N	W	N

O : Mode de pose admis en respectant les règles qui s'y rapportent.

N : Mode de pose non admis ;

(1) : Montage en galerie assimilé au montage apparent.

(2) : Conducteur blindé à isolant minéral seulement.

(3) : Nécessite une protection complémentaire si les câbles ne sont pas armés.

(4) : Admis seulement si la goulotte est munie d'un couvercle non démontable sans l'aide d'un outil.

(5) : Si colliers et attaches en matériau non magnétique.

(6) : Autorisé sous certaines conditions.

(7) : Possible mais difficilement utilisable en pratique.

Les lettres sont en rapport avec les modes de pose.

Codification, symboles et normes

	Page
Symboles pour schémas électriques.....	277
Symboles pour schémas électroniques.....	287
Symboles en hydraulique.....	292
Symboles en pneumatique.....	295
Dénomination des conducteurs et câbles.....	297
Indices de protection IP et IK.....	316 ..
Normes de maintenance.....	317
Langage	320

Symboles pour schémas électriques

	Page
Identification des circuits.....	278
Variabilité.....	278
Circuits électriques.....	279 .
Bornes et connexions.....	279
Organes électriques.....	279 .
Organes mécaniques.....	279
Organes électromécaniques.....	279 .
Fonctions.....	280 .
Appareils mécaniques de connexion.....	380
Fusibles.....	380
Interrupteurs de position.....	380
Commutateurs.....	380
Fiches, prises et connecteurs.....	380
Auniliaires manuels de commande.....	380
Appareils de protection contre les surtensions.....	381
Contacts.....	381
Organes de commande de relais électriques TOR.....	382
Signalisation sonore.....	382 ...
Appareils d'éclairage.....	382
Installations d'éclairage.....	382
Signalisation visuelle.....	382 .
Démarrateurs.....	383
Symboles généraun des machines.....	383 .
Symboles d'éléments.....	383
Machines asynchrones (à induction).....	383
Machines à courant continu.....	384
Machines synchrones.....	384
Machines à courant alternatif, à collecteur.....	384
Piles et accumulateurs.....	385
Symboles généraux des transfos.....	385
Autotransformateurss.....	385
Régulateur à induction.....	385
Appareils et dispositifs de mesure.....	386
Horloges.....	386 .
Appareils de télémesure.....	386
Transformateurs de mesure.....	386

1

Identification des circuits

Ces symboles s'inscrivent à côté d'autres symboles d'appareils, de machines ou de lignes pour préciser la nature du courant, le mode de connexion d'un enroulement ou le genre d'un système de distribution.

1. Nature des courants et polarités

Les symboles généraux sont représentés Figure 1.

2. Modes de connexion des enroulements

Les symboles les plus courants sont représentés sur la Figure 2.

Parfois, avec le symbole certains modes sont caractérisés par une lettre repère.

3. Systèmes de distribution

Ces symboles sont formés :

Pour le courant alternatif :

par le symbole général avec indication :
- à gauche du nombre de phases et éventuellement du conducteur neutre ;
- à droite de la fréquence et de la tension.

Pour le courant continu :

Par le symbole général avec indication :
- à gauche du nombre de conducteurs ;
- à droite de la tension.

Voir les exemples Fig 3 - 4 - 5

Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Courant continu (2 variantes)		Courant polyphasé à m phases
	Courant ondulé ou redressé		Appareil utilisant les 2 courants
	Courant alternatif		Polarité positive Polarité négative
	Courant monophasé		Indication de la fréquence

2

Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Enroulement triphasé en triangle (lettre D)		Enroulement triphasé en zig zag, à point neutre non sorti (lettre Z)
	Enroulement triphasé en étoile à point neutre non sorti (lettre Y)		Enroulement triphasé en zig zag, à point neutre sorti (lettre Zn)
	Enroulement triphasé en étoile à point neutre sorti (lettre Yn)		Enroulement triphasé en étoile à point neutre non sorti

--	--	--

Variabilité

Deux types de variabilité sont à distinguer :

La variabilité extrinsèque : elle dépend d'un système extérieur.

Exemple : résistance réglée par un régulateur.

La variabilité intrinsèque : elle dépend des propriétés du dispositif.

Exemple : résistance variant en fonction de la température.

Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Variabilité extrinsèque linéaire		Variabilité extrinsèque par échelons
	Variabilité extrinsèque non linéaire		Ajustabilité par échelons
	Ajustabilité prédéterminée		Variabilité intrinsèque linéaire
	Variabilité extrinsèque continue		Variabilité intrinsèque non linéaire
	Ajustabilité continue	Le symbole de la variabilité peut être complété par l'indication de la grandeur agissante (U, I, θ , ...)	

Circuits électriques					
Symbole		Désignation	Symbole		Désignation
Multifilaire	Unifilaire		Multifilaire	Unifilaire	
		Conducteur, ligne ou canalisation, ...			Trois conducteurs
					Conducteur neutre
		Deux conducteurs			Conducteur de terre
					Conducteur masse

Bornes et connexions							
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation	Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Borne, connexion de conducteur		Croisement avec connexion		Connexion de dérivation		Planchette de raccordement
	Croisement sans connexion		Contact glissant				

Organes électriques							
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation	Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Terre		Résistance ss spécification		Inductance		Capacité condensateur
	Masse		Résistance non réactive (pas inductive ni capacitive)				Condensateur polarisé
	Masse mise à la terre		Résistance fine potentiométrique		Inductance avec noyau ferromagnétique		Condensateur électrolytique polarisé
	Enroulement de machine ou app.		Résistance potentiométrique à contact mobile		Inductance variable par contact mobile		Condensateur électrolytique non polarisé
	Impédance		Résistance à prises fines				

Organes mécaniques			
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Liaison mécanique		Came
	Dispositif d'accrochage unidirectionnel : 1 en prise 2 libéré		Galet de commande
			Tirette ou anneau
	Dispositif d'accrochage bidirectionnel : 1 en prise 2 libéré		Poussoir
			« Coup de poing »
	Verrouillage méc.		Pédale
	Renvoi d'équerre		Flotteur

Organes électromécaniques			
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Commande électromécanique		Dispositif magnéto-thermique agissant sur une liaison mécanique
	Bobine agissant sur une liaison mécanique		Commande par moteur électrique
	Dispositif thermique agissant sur une liaison mécanique		Aimant permanent

Fonctions			
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Fonction retour automatique		Fonct. sectionneur
	Fonct. position maintenue		F. interrupt / sect.
	Fonct. contacteur		F. déclench. auto
	Fonct. disjoncteur		F. contact de posit.
		Mouvement retardé dans le sens du déplacement du demi-cercle vers son centre	

Fusibles			
	Fusible		A Percuteur et circ. de signalisation distinct
	Indication de l'extrémité côté source		Fusible interrupteur
	Fusible à percuteur		Fusible sectionneur
	A Percuteur et circ. de signalisation à point commun		Fusible interrupteur sectionneur

Fiches, prises et connecteurs			
	Fiche de prise de courant ou de connecteur		Connecteur avec fiche de dérivation
	Socle de prise de courant ou de connecteur		Connecteur avec prise de dérivation
	Fiche et prise associées		Barrette de connexion ouverte
	Connecteur mâle		Barrette de connexion fermée
	Connecteur femelle		Ensemble de connecteurs, partie fine
	Connecteur par pression en bout		Ensemble de connecteurs, partie mobile
			Ensemble de connecteurs, parties fine et mobile accouplées

Appareils de protection contre les surtensions			
	Éclateur		Limiteur de surtension
	Éclateur à double intervalle		Tube à gaz limiteur de surtension
	Parafoudre		Tube à gaz symétrique limiteur de surtension

Appareils mécaniques de connexion			
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Interrupteur		Disjoncteur
	Contacteur		Sectionneur
	Discontacteur		Interrupteur-sectionneur
	Rupteur		Interrupteur-sectionneur à ouverture automatique

Interrupteurs de position			
	A fermeture		A ouverture







Commutateurs			
	Commutateur à n directions		Commutateur à 4 directions, aucun circuit en 2
	Variante pour un faible nombre de directions		Commutateur à 4 circuits indépendants
	Commutateur à clavier (un seul poussoir à la fois)		Commutateur « tourner-pousser » lumineux






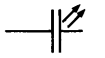
Auxiliaires manuels de commande			
	Commande manuelle et retour automatique		Commutateurs à 2 boutons l'un actionnant, l'autre libérant
	Bouton-poussoir à fermeture et retour automatique		Commutateur à bouton « pousser-pousser »
	Tirette à ouverture et retour automatique		Auxiliaire actionné par clé
	Bouton rotatif sans retour automatique		Auxiliaire condamné par clé en position d'accrochage
	Bouton « pousser-tirer »		Bouton rotatif à retour automatique en position médiane

Contacts			
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Contact à fermeture ou de travail		Contact à fermet. momentanée lors de l'action et du relâchement
	Contact à ouverture ou de repos		Contact à fermeture anticipée
	Contact à deux directions sans chevauchement		Contact à fermeture tardive
	Contact à deux directions avec position médiane d'ouverture		Contact à ouverture anticipée
	Contact à deux directions avec chevauchement		Contact à ouverture tardive
	Contact à deux fermetures		Contact à fermeture retardé à la fermeture
	Contact à deux ouvertures		Contact à ouverture retardé à l'ouverture
	Contact de passage à fermet. momentanée lors de l'action		Contact à ouverture retardé à la fermeture
	Contact de passage à fermet. Momentanée lors du relâchement		Contact à fermet. retardé à l'ouverture et à la fermeture

Exemples d'indications complémentaires			
	Contact à fermeture à retour automatique		Contact à ouvert. Représenté ouvert en position d'action avec position maintenue










Organes de commande de relais électriques tout ou rien			
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Symbole général		Relais à action très retardée
			Relais à relâchement et action retardés
	Relais à un seul enroulement		Relais rapide
	Indication de la valeur de R ou Z de l'enroulement		Relais insensible au courant alternatif
	Relais à n enroulements ; représentation assemblée		Relais à courant alternatif
	Relais à n enroulements ; représentation développée		Relais à résonance mécanique
	Relais bistable		Relais à résonance mécanique Avec indication de la fréquence
	Relais à relâchement retardé		Relais à verrouillage mécanique
	Relais à relâchement très retardé		Relais polarisé
	Relais à action retardée		Relais à rémanence
			Relais thermique





Signalisation sonore			
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Avertisseur sonore - klanon		Sirène
	Sonnerie		Ronfleur
	Sonnerie à un coup		Sifflet à commande électrique



















Appareils d'éclairage			
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Lampe d'éclairage		Ballast
	Lampe à incandescence		Tube à gaz avec bilame
	Lampe à décharge à luminescence		Lampe à électro-luminescence

Remarque :

Le point indiquant la présence de gaz ou de vapeur peut être remplacé par le symbole chimique du gaz ou de la vapeur utilisés.

Installations d'éclairage			
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Point d'attente pour un appareil d'éclairage		Réflecteur
	Tube à fluorescence		Réfracteur
	Point d'attente pr 1 lampe alimentée par un circuit de remplacement		Diffuseur
	Point d'attente pour un appareil d'éclairage de sécurité		Faisceau peu divergent Faisceau divergent
Remarque : On peut préciser : - Le nombre et la puissance des lampes - La classe de protection des personnes contre les contacts directs		Classe I  150 W	

Signalisation visuelle			
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Lampe de signalisation		Voyant lumineux à plusieurs modes d'éclairage
	Voyant lumineux clignotant		Voyant lumineux occultable

Démarreurs			
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Symbole général		Démarreur série-parallèle
	Démarreur par échelons à 5 positions		Démarreur par changement du nb de pôles
	Démarreur-variateur de vitesse		Démarreur par auto-
	Démarreur pour un sens de marche		Démarreur à phase auxiliaire et condensateur
	Démarreur pour 2 sens de marche		Démarreur rhéostatique
	Démarreur automatique		Démarreur auto.-variateur à redresseur commandé
	Démarreur semi-automatique		Démarreur-hacheur
	Démarreur à ouverture automatique		Démarreur auto par contacteur à ouverture automatique 2 sens de marche
	Démarreur direct par discontacteur 2 sens de marche		Démarreur rotorique rhéostatique et automatique
	Démarreur étoile-triangle		

Remarque :

Les modes d'ouverture sont précisés par une mention inscrite en haut et à droite dans le symbole

COULEUR		TYPE DE LAMPE	
Rouge	C2	Néon	Ne
Jaune	C4	Néon	Ne
Vert	C5	Vapeur de sodium	Na
Bleu	C6	Mercure	Hg
Blanc	C9	Iode	I
		Electroluminescence EL	
		Arc	ARC
		Fluorescence	FL
		Infrarouge	IR
		Ultraviolet	UV

Symboles généraux des machines

Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Génératrice		Moteur à courant continu
	Moteur		Génératrice à courant alternatif
	Génératrice à courant continu		Moteur à courant alternatif

Symboles d'éléments

Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Enroulement de machine		Borne, connexion de conducteurs
	Enroulement de commutation ou de compensation		Balai sur baguel
	Enroulement série		Balai sur collecteur à lames
	Enroulement d'excitation		

Machines asynchrones à induction

	Moteur asynchrone à rotor en court-circuit		Moteur asynchrone triphasé à rotor en court-circuit, stator couplé en triangle
	Moteur asynchrone à rotor bobiné		Moteur asynchrone triphasé, à rotor en court-circuit avec six bornes sorties du stator
	Moteur asynchrone monophasé, rotor en court-circuit sans bornes sorties pour phase auxiliaire		Moteur asynchrone triphasé, à rotor en court-circuit avec six bornes sorties du stator
	Moteur asynchrone monophasé, rotor en court-circuit avec bornes sorties pour phase auxiliaire		Moteur asynchrone triphasé à rotor à bagues
	Moteur asynchrone monophasé, rotor bobiné sans bornes pour phase auxiliaire		Moteur asynchrone triphasé à rotor en étoile avec démarreur auto sur le rotor
	Moteur asynchrone monophasé, rotor bobiné avec bornes pour phase auxiliaire		Moteur asynchrone triphasé, rotor à bagues avec indications complémentaires

Machines à courant continu

Symbole		Désignation
Forme I	Forme II	
		Générateur à courant continu, à aimant permanent, à deux conducteurs
		Moteur à courant continu, à excitation en série, à deux conducteurs
		Générateur à courant continu, à excitation indépendante, à deux conducteurs
		Moteur à courant continu, à excitation en dérivation, à deux conducteurs
		Générateur à courant continu, à excitation composée à courte dérivation, à deux conducteurs
		Générateur à courant continu, à excitation composée à longue dérivation, à deux conducteurs
		Générateur à courant continu, à excitation en dérivation, avec indications complémentaires

Moteur asynchrone monophasé, rotor bobiné sans bornes pour phase auxiliaire

Machines synchrones		
Symbole		Désignation
Forme I	Forme II	
		Alternateur synchrone
		Moteur synchrone
		Convertisseur synchrone
		Alternateur synchrone triphasé à aimant permanent
		Alternateur synchrone monophasé
		Alternateur synchrone triphasé, à induit monté en étoile, neutre non sorti
		Alternateur synchrone triphasé, à induit monté en étoile neutre sorti
		Alternateur synchrone triphasé à sin bornes sorties
		Alternateur synchrone avec indications complémentaires

Le trait court représente le pôle négatif, le trait long le pôle positif.

Machines à courant alternatif, à collecteur		
Symbole		Désignation
Forme I	Forme II	
		Moteur à collecteur, monophasé série
		Moteur à collecteur, monophasé à répulsion
		Moteur à collecteur, monophasé
		Moteur à collecteur, triphasé série
		Moteur à collecteur, triphasé, shunt, à alimentation par le rotor à double rangée de balais
		Moteur identique avec indication des bornes des balais et des données numériques

Piles et accumulateurs		
①		Élément de pile ou d'accumulateur
②		Batteries de piles ou d'accumulateurs
		Batterie à nombre d'éléments variables
		Batterie avec bornes de raccordement intermédiaires
		Batterie avec réducteur simple
		Batterie avec réducteur double

Symboles généraux des transfos

Symbole		Désignation
Forme I	Forme II	
		transformateur à deux enroulements. Transf à deux enroulements à noyau ferromagnétique
		Transformateur à trois enroulements
		Autotransformateur
		Bobine de réactance
		Bobine de réactance à circuit magnétique
		Bobine de réactance à circuit magnétique avec entrefer

Autotransformateurs










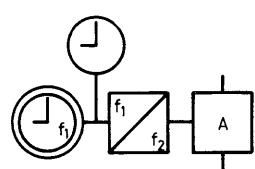
		Autotransformateur monophasé
		Autotransformateur triphasé à couplage étoile
		Autotransformateur monophasé à réglage progressif de la tension











Régulateurs à induction

		Régulateur à induction monophasé
		Régulateur à induction triphasé

Transformateurs

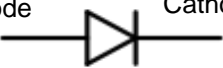




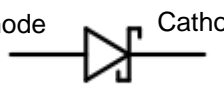

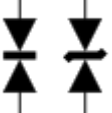
Symbole		Désignation
Forme I	Forme II	
		Transformateur monophasé à deux enroulements séparés avec complémentaires
		Transformateur triphasé à deux enroulements avec indications complémentaires
		Groupe de trois transformateurs monophasés à deux enroulements
		Transformateur triphasé à deux enroulements, couplage étoile triangle
		Transformateur triphasé à trois enroulements, couplage étoile-étoile-triangle
		Transformateur triphasé à quatre prises, non compris la prise principale
		Transformateur monophasé à prises multiples, avec commutateur de prises pour manœuvre hors tension
		Transformateur monophasé à réglage progressif de la tension

Appareils et dispositifs de mesure			
Symbole	Désignation	Symbole littéral	
	Appareil indicateur	A : ampère V : volt VA : volt-ampère	$\cos\phi$: facteur de puissance ϕ : déphasage
	Appareil enregistreur	Vvar : var W : watt Wh : watt-heure	θ température f : fréquence t : temps
	Compteur	Varh : var-heure Ω : ohm Hz : hertz	z : impédance λ : longueur d'onde n : nb de trs par u de tps
Exemples de représentation			
	Phasemètre indicateur		Thermomètre ou pyromètre enregistreur
	Ondemètre indicateur		Thermomètre ou pyromètre indicateur
Horloges			
	Symbole général de l'horloge		Horloge mère
		Installation de distribution de l'heure avec une horloge mère alimentant une horloge secondaire et commandant un ampèremètre enregistreur par l'intermédiaire d'un convertisseur d'impulsions	

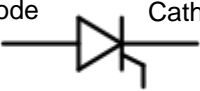
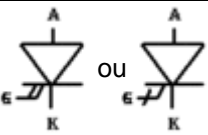


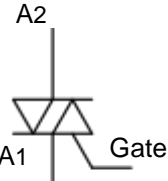
Appareils de télémesure			
Symbole	Désignation	Symbole	Désignation
	Convertisseur de signal		Exemple : convertisseur d'impulsions
	Émetteur de télémesure		Récepteur de télémesure
Transformateurs de mesure			
	Transfo de courant à un enroulement secondaire		Transformateur de courant à plusieurs primaires
	Transfo de courant à 2 enroulements secondaires sur 2 circuits magnétiques		de courant à plusieurs primaires
	Transfo de courant à 2 enroulements secondaires sur 1 seul circuit magnét		Shunt

Symboles pour schémas électroniques

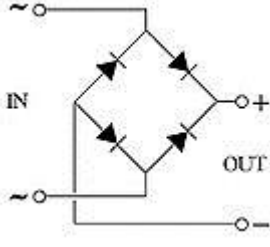
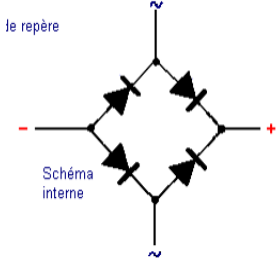

Diodes

Anode  Cathode	Anode  Cathode	Anode  Cathode	Anode  Cathode
Diode	Diode Zener	Diode tunnel	Diode varicap
Anode  Cathode	Anode  Cathode	Anode  Cathode	
DED ou LED	Diode Schottky	Photodiode	Diode Transil




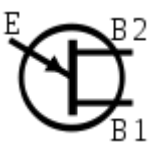
Thyristors



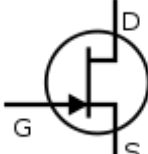
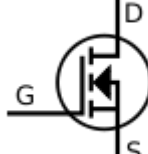
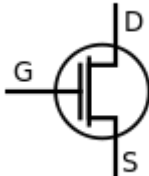
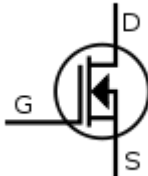
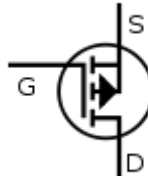
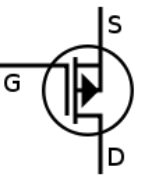
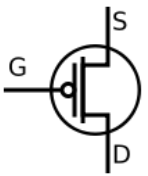
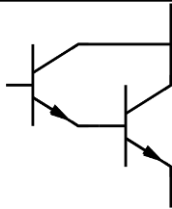

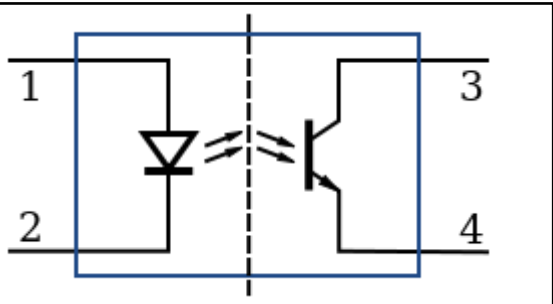
Anode  Cathode Gate	 ou 		
Thyristor LCR	Thyristor GTO	DIAC	Triac

Ponts

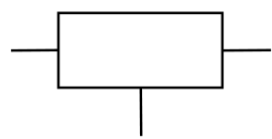
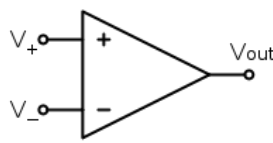
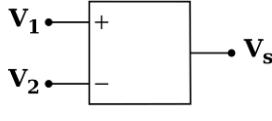
		
Montage en pont	Ponts de diodes	Thyristor LCR

Transistors

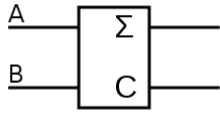
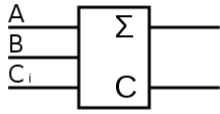
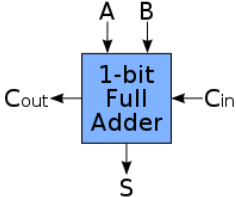
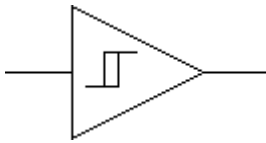
			
Transistors NPN	Transistor PNP	Transistor UJT canal P	Transistor UJT canal N

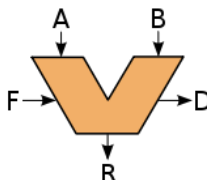
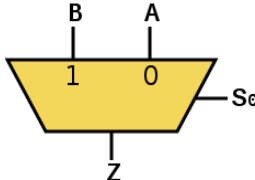
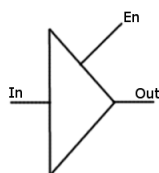
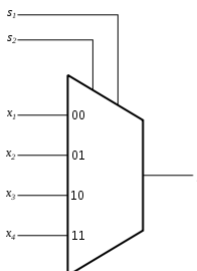
			
Transistors IGBT N à enrichissement	Transistors IGBT N à déplétion	Transistors JFET canal N	
			
MOSFET à enrichissement type N (<i>simplifié</i>)	MOSFET à déplétion type N	MOSFET à enrichissement type P	
			
MOSFET à déplétion type P	MOSFET à enrichissement type P (<i>simplifié</i>)	Montage DARLINGTON NPN	Phototransistor
			
Optocoupleur			

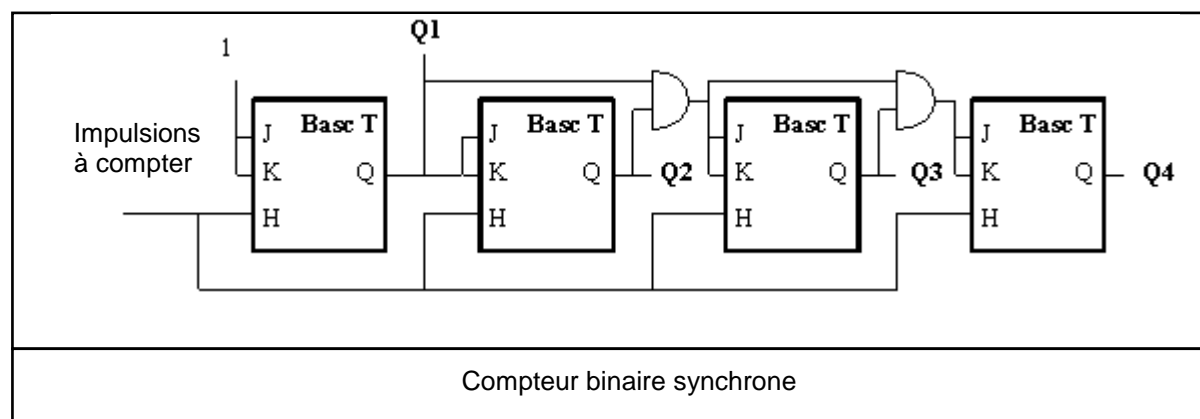
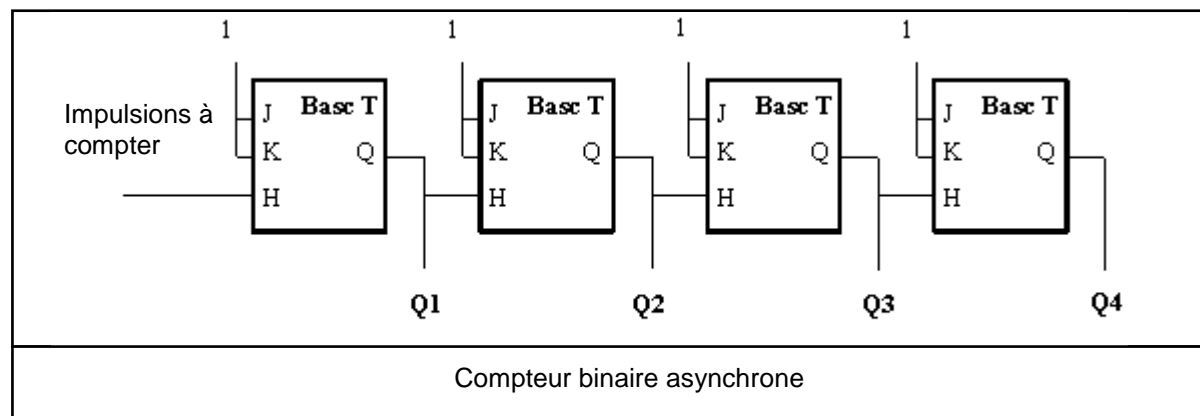
Circuits analogiques

		
Régulateur de tension	Amplificateur opérationnel	

Circuits logiques






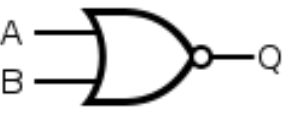


			
Demi-additionneur	Additionneur complet		Trigger de Schmitt

			
Unité arithmétique et logique UAL ou ALU	Multiplexeur 2 vers 1	Buffer tri-state	Multiplexeur 4 vers 1

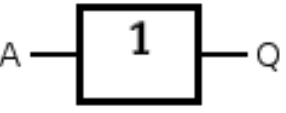
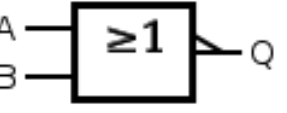
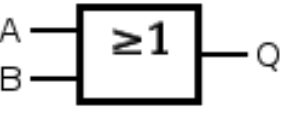
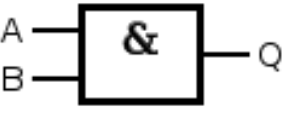
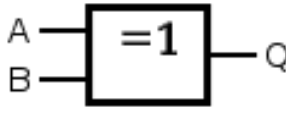
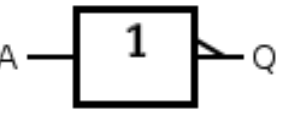

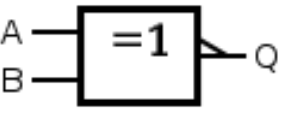


Fonctions logiques

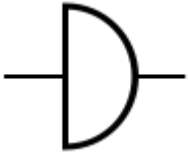
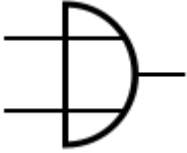
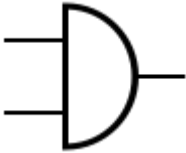
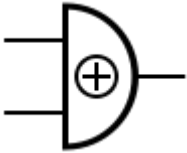
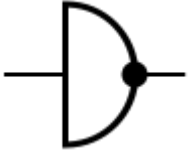
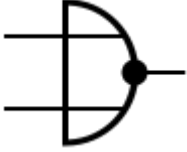
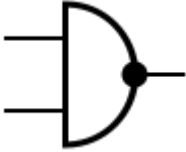
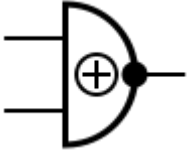
Norme ANSI

			
Fonction OUI Buffer	Fonction OU OR	Fonction ET AND	Fonction OU exclusif NOR
			
Fonction NON NOT	Fonction NON-OU NOR	Fonction NON-ET NAND	Fonction NON-OU exclusif NNOR



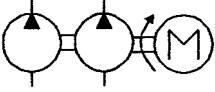







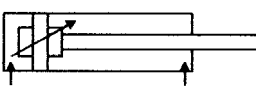
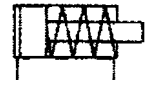
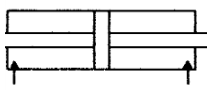

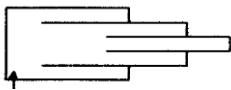
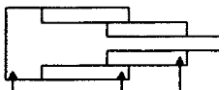
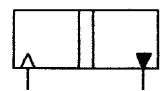

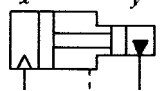


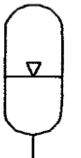
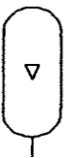



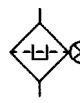
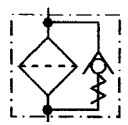
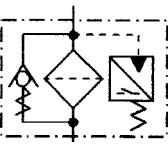
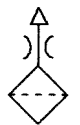

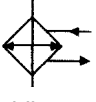


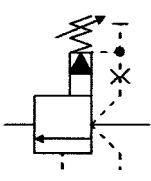
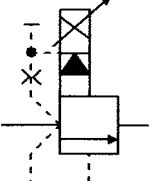
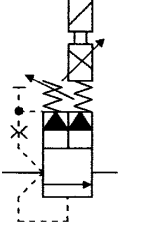
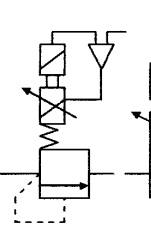
Norme IEC

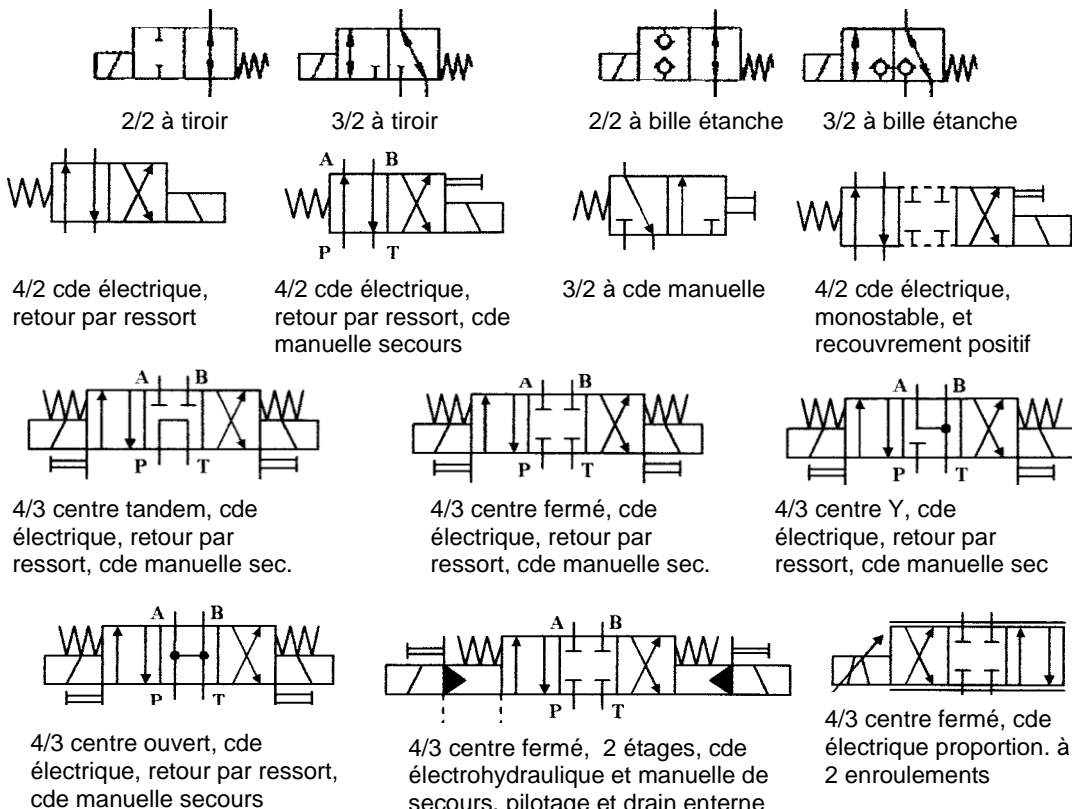

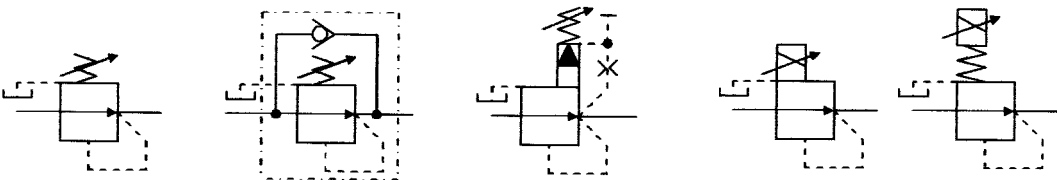
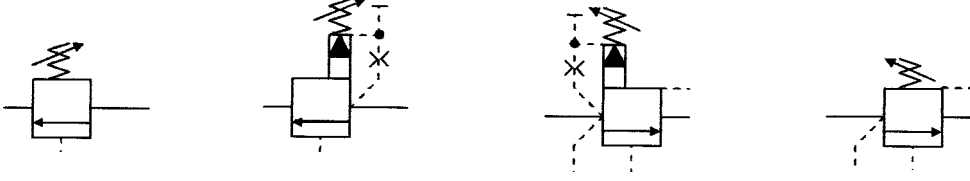
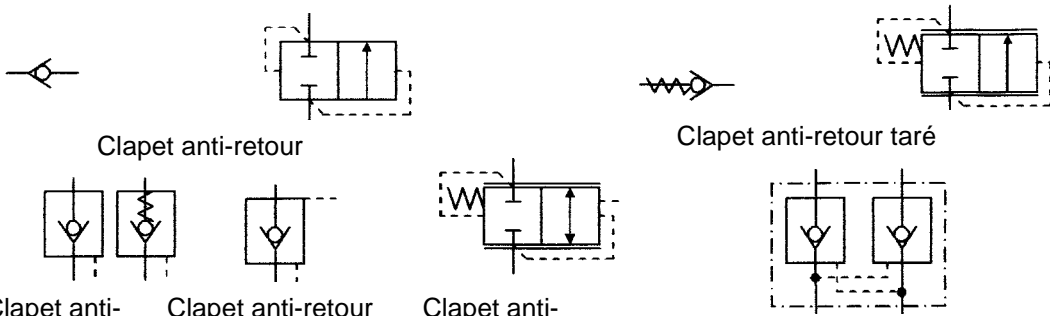
			
Fonction OUI Buffer	Fonction NON-OU NOR	Fonction OU OR	Fonction ET AND
			
Fonction OU exclusif NOR	Fonction NON NOT	Fonction NON-ET NAND	Fonction NON-OU exclusif NNOR

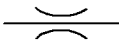

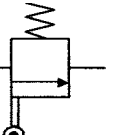
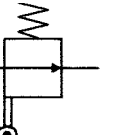
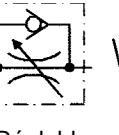
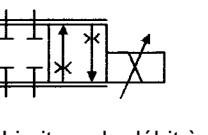
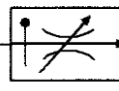
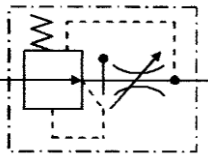
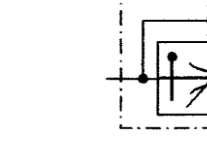
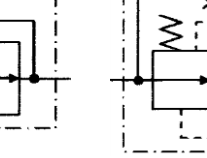





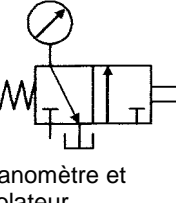







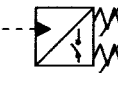

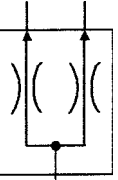



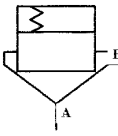
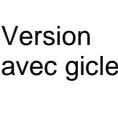
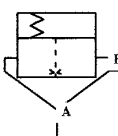
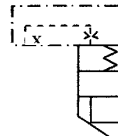
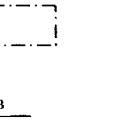
Norme DIN

			
Fonction OUI Buffer	Fonction OU OR	Fonction ET AND	Fonction OU exclusif NOR
			
Fonction NON NOT	Fonction NON-OU NOR	Fonction NON-ET NAND	Fonction NON-OU exclusif NNOR


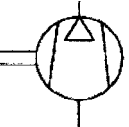
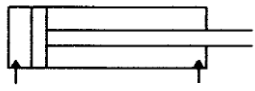
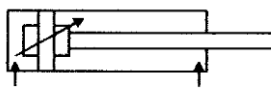
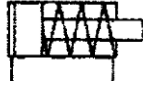
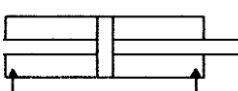

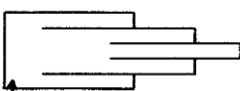



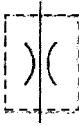

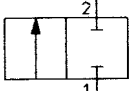
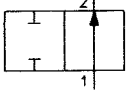
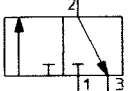
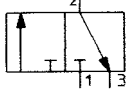
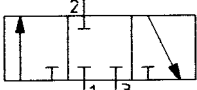
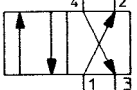
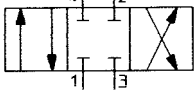
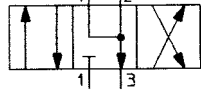
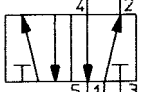
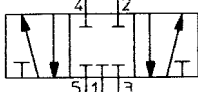
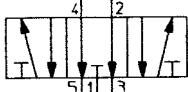
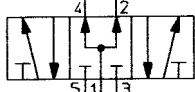











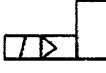




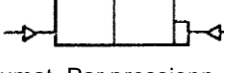
Symboles en hydraulique

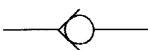

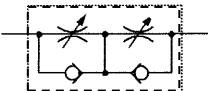
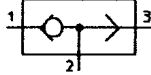
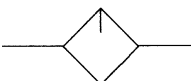
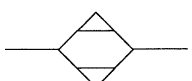
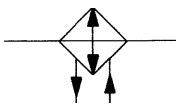
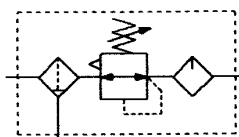
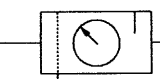
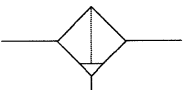
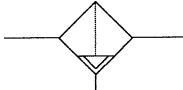
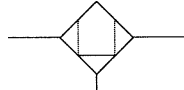
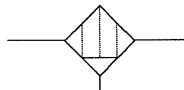
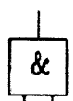
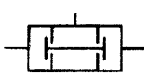


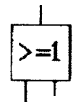
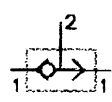
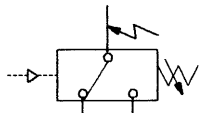
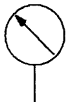


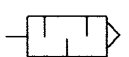
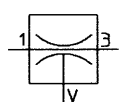
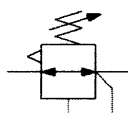
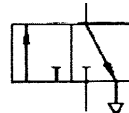
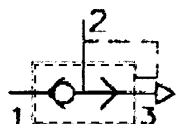
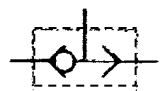
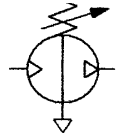



Pompes	     <p>A cylindrée variable A cylindrée fine 2 pompes entraînées par un moteur électrique Pompe à cylindrée variable auto-réulatrice Pompe avec commande proportionnelle</p>
Moteurs	    <p>A cylindrée fine A cylindrée fine à 2 sens de rotation A cylindrée variable Vérin oscillant à é sens de rotation</p>
Vérins	       <p>Double effet Double effet avec amortissements Simple effet Double tige Double tige av amortissements Télescopique simple effet Télescopique double effet</p>
Echangeurs et multiplicateurs de pression	    <p>Echangeur Air/huile Echangeur effet continu Multiplicateur Air/huile Echangeur effet continu</p>
Accumulateurs et reservoirs	     <p>Accumulateur Accu hydro-pneumat Bouteille à gaz Réservoir Réservoir en charge</p>
Filtres	     <p>Filtre Avec élément magnétique Avec by-pass Avec indicateur de colmatage élect. Filtre à air</p>
Echangeurs de température	    <p>Refroidisseur à air Refroidisseur à eau Réchauffeur Régulateur de T°C</p>
Limiteurs de pression	    <p>A action pilotée A action pilotée et cde proportionnelle Action pilotée Cde proportion. , sécurité pression man, Capteur position Action pilotée Cde proportion. Capteur position</p>

<p>Distributeurs</p>	 <p>2/2 à tiroir 3/2 à tiroir 2/2 à bille étanche 3/2 à bille étanche</p> <p>4/2 cde électrique, retour par ressort 4/2 cde électrique, retour par ressort, cde manuelle secours 3/2 à cde manuelle 4/2 cde électrique, monostable, et recouvrement positif</p> <p>4/3 centre tandem, cde électrique, retour par ressort, cde manuelle sec. 4/3 centre fermé, cde électrique, retour par ressort, cde manuelle sec. 4/3 centre Y, cde électrique, retour par ressort, cde manuelle sec</p> <p>4/3 centre ouvert, cde électrique, retour par ressort, cde manuelle secours 4/3 centre fermé, 2 étages, cde électrohydraulique et manuelle de secours, pilotage et drain interne 4/3 centre fermé, cde électrique proportion. à 2 enroulements</p>
<p>Commandes de distributeurs</p>	 <p>Electrique hydraulique pneumatique manuelle crantée manuelle proportionnelle</p>
<p>Réducteurs de pression</p>	 <p>A action directe A action directe et CAR incorporé A action pilotée A action directe et commande proportionnelle</p>
<p>Soupapes</p>	 <p>A action directe A action pilotée A action pilotée et drain interne A action directe et drain externe</p>
<p>Clapets</p>	 <p>Clapet anti-retour Clapet anti-retour taré</p> <p>Clapet anti-retour piloté Clapet anti-retour piloté et drain ent. Clapet anti-retour piloté Double Clapet anti-retour piloté</p>

Réducteurs de débit	 Non réglable  Réglable  A commande par galet NF  A commande par galet NO  Réglable avec CAR  Limiteur de débit à cde proportionnelle
Régulateurs de débit	 Réglable  Réglable avec CAR  Réglable avec compensation de température  Réglable avec compensation de température et CAR
Appareils de mesure	 Indicateur de pression  Manomètre  Manomètre différentiel  Indicateur de Niveau  Thermomètre  Manomètre et isolateur  Indicateur de débit  Débitmètre  Compteur totalisateur  Tachymètre  Mesureur de couple
Divers	 Manocontact ou pressostat  Capteur de pression analogique  Manocontact à 2 seuils de réglage  Capteur de position  Diviseur de débit  Raccordement  Prise de pression  Vanne à 2 voies
Valves en cartouche, logique 2 voies	 Version sans gicleur  Version avec gicleur  Avec ouverture et fermeture progressives et amorties  Fonction anti-retour  Fonction limiteur de débit

Symboles en pneumatique

Compresseur	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Moteur</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Compresseur</p> </div> </div>					
Vérins	<div style="display: grid; grid-template-columns: repeat(3, 1fr); gap: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Double effet</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Double effet avec amortissements</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Simple effet</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Double tige</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Double tige av amortissements</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Télescopique simple effet</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Vérin rotatif</p> </div> </div>					
Appareils de débit	<div style="display: grid; grid-template-columns: repeat(4, 1fr); gap: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Régleur de vitesse</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Restriction réglable</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Restriction</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Régleur de débit avec silencieux</p> </div> </div>					
Electrodistributeurs	<div style="display: grid; grid-template-columns: repeat(4, 1fr); gap: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Electrodistributeur 2/2 NF</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Electrodistributeur 2/2 NO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Electrodistributeur 3/2 NF</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Electrodistributeur 3/2 NO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Electrodistributeur 3/3 NF</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Electrodistributeur 4/2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Electrodistributeur 4/2 NF</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Electrodistributeur 4/2 NO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Electrodistributeur 5/2</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Electrodistributeur 5/3 NF</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Electrodistributeur 5/3 NO</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Electrodistributeur 5/3 Centre sous pression</p> </div> </div>					
Commandes	<div style="display: grid; grid-template-columns: repeat(6, 1fr); gap: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>Manuelle. Cas général</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Manuelle. Pousoir</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Manuelle. Levier</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Manuelle. Pédale</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Bi-manuelle. de sécurité</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Electrique directe</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Mécanique directe</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Mécanique Galet</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Mécanique Galet escam.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Mécanique Ressort</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Mécanique crantée</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Electrique pilotée</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Pneumat. Par pression</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Pneumat. Par purge</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Pneumat. Par pression sur piston</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Pneumat. Par ressort pneum.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Pneumat. Par pression avec piston différentiel</p> </div> </div>					

Clapets anti-retour	 CAR sans ressort  CAR, réglleur de débit  CAR double réglleur de débit  CAR fonction « OU »
Traitement de l'air	 Lubrificateur  Assècheur  Refroidisseur  FRL Filtre / régulateur : lubrificateur  FRL Schéma simplifié
Filtres	 Filtre avec purge  Filtre avec purge automatique  Filtre micronique  Filtre submicronique
Logique de commande	 Fonction « ET »  Fonction « NON »  Fonction « OUI »  Mémoire  Fonction « OU »  Fonction « OU »
Divers	 Pressostat  Manomètre  Réservoir  Thermomètre  Silencieux  Générateur de vide, éjecteur  Régulateur de pression réglable  Vanne de sectionnement  Soupape d'échappement rapide  Sélecteur de circuit  Booster régulateur pneumatique commandé par manette  Vanne 2 voies  Prise de pression  Coupleur

Dénominations des conducteurs et câbles

Constitution générale

Un conducteur isolé est constitué par un ensemble comprenant:

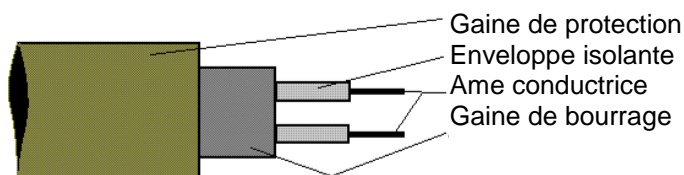
- Une âme conductrice.
- Une enveloppe isolante.

Un câble multiconducteur est un ensemble qui regroupe plusieurs conducteurs électriques distincts et mécaniquement solidaires généralement sous un ou des revêtements protecteurs externes. Un câble mono conducteur ne comporte qu'un conducteur isolé, revêtu d'une gaine de protection.


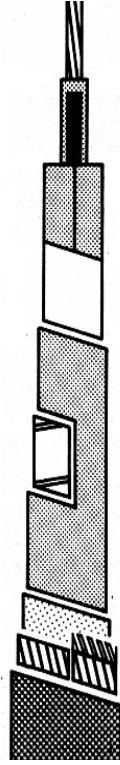

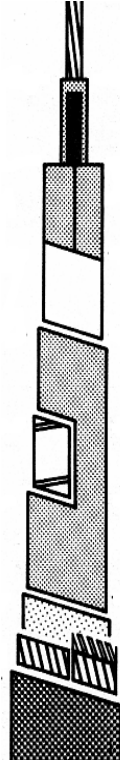

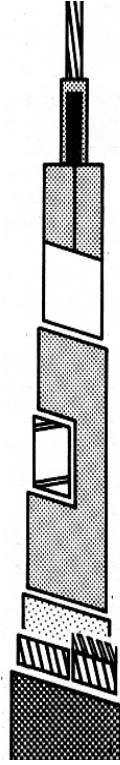

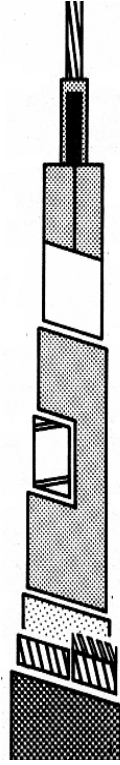
Conducteur isolé

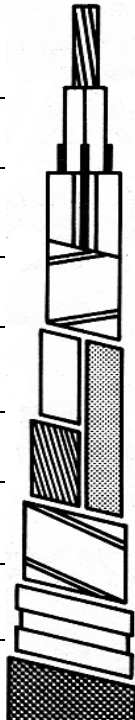
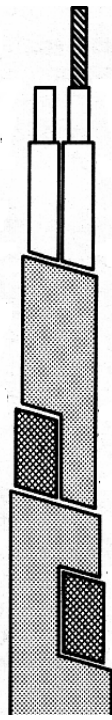


Câble multiconducteurs



Câbles avec plusieurs protections

Conducteur	Ame	Ronde Classe 1 massive		Ronde Classe 2 Câblée	
	Isolation	PCV		PRC	
Assemblage et protection	Assemblage	Multi-conducteurs		Avec bourrage central	
	Revêtement interne	Frettage par ruban Synthétique PCV		Gaine de bourrage élastoplastique PCV	
Protection électrique	Ecran	Feuillard cuivre en long et ondulé		Feuillard cuivre rubané PCV	
	Gaine de séparation	PCV		PCV	
Protection mécanique	Armure	Feuillards		Fils nus (type D) Fils gâinés (type B) PCV	
	Gaine intérieure	PCV		PCV	

Conducteur	Ame	Sectorale Classe 2 Câblée			Ronde Classe 5 ou 6 Souple ou entra souple	
	Isolation	PCV			Double couche EPR/Néoprène	
Assemblage et protection	Assemblage	Avec bourrages périphériques			Sans bourrage	
	Revêtement interne	Frettage par ruban synthétique			La gaine d'élastomère joue le rôle de : - bourrage - revêtement interne - gaine d'étanchéité	
Protection électrique	Ecran	PCV	Plomb		Tresse	
	Gaine de séparation	Fils de cuivre	Gaine plomb		Elastomère	
Protection mécanique	Armure	Papiers enduits			Tresse	
	Gaine intérieure	Feuillards			Elastomère	
		PCV				

Ame

Caractéristiques générales

Elle doit répondre aux conditions suivantes :

- bonne **conductibilité** pour réduire les pertes lors du transport de l'énergie d'où le choix :
 - du cuivre : $\rho = 18,51 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ à 20°C ;
 - ou de l'aluminium : $\rho = 29,41 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$ à 20°C ;
- **résistance mécanique** suffisante pour éviter la rupture du conducteur sous les efforts au moment de la pose, des finitions, du serrage des connexions ;
- bonne **souplesse** pour faciliter le passage des conducteurs dans les conduits, respecter le tracé des canalisations, alimenter les appareils mobiles ;
- bonne **tenue à la corrosion** due aux agents atmosphériques et aux environnements chimiques ;
- bonne **fiabilité** des raccordements par une bonne résistance aux effets physico-chimiques des contacts.

La section droite de l'âme peut être

- circulaire ;
- ou sectorale.

Classes de souplesse

La norme définit une gamme de sections nominales pour les âmes conductrices et les répartit en quatre classes, en ordre de souplesse croissante :

- classe 1 : rigide, massive ;
- classe 2 : rigide, câblée ;
- classe 5 : souple ;
- classe 6 : souple.

Les âmes câblées rigides sont constituées par un toron qui est un ensemble de fils mécaniquement solidaires, disposés en hélice en une ou plusieurs couches distinctes, le sens de câblage alternant en passant d'une couche à la suivante.

Les âmes souples ou entra-souples sont constituées par des torons ou des tordons. Dans ce dernier cas, les fils mécaniquement solidaires sont assemblés en hélice de même sens et de même pas sans constituer de couches définies.

Matière

Les âmes peuvent être :

- en cuivre recuit, nu ou revêtu d'une couche métallique ;
- en aluminium ou en alliage d'aluminium, nu ou revêtu d'une couche métallique ;
- en aluminium plaqué de métal revêtu ou non d'une couche métallique.

La couche métallique de revêtement peut être :

- dans le cas du cuivre : de l'étain, un alliage d'étain ou de plomb ;
- dans le cas de l'aluminium : du cuivre , du nickel ou de l'étain.

Equivalence alumiNium- cuivre

L'aluminium est autorisé à partir d'une section de 2,5 mm².

pour une même résistance électrique ;

$$\frac{\text{Section aluminium}}{\text{Section cuivre}} = \frac{\rho_{\text{al}}}{\rho_{\text{cu}}} = \frac{29,41}{18,51} = 1,59$$

Ce qui se traduit par le choix d'une section d'âme en aluminium immédiatement supérieure à celle d'un conducteur en cuivre, dans l'échelonnement normalisé des sections des conducteurs :

cu : 0,5 – 0,7 – 1 – 1,5 – 2,5 – 4 – 6 – 10 – 16 – 25 – 35 – 50 – 70 – 95 – 120 – 150 – 185 – 250

al : 0,7 – 1 – 1,5 – 2,5 – 4 – 6 – 10 – 16 – 25 – 35 – 50 – 70 – 95 – 120 – 150 – 185 – 250

en mm².

$$\frac{\text{Masse aluminium}}{\text{Masse cuivre}} = \frac{1,59 \times 2,7}{8,9} = 0,5$$

donc, à longueur égale 1 kg d'aluminium remplace 2 kg de cuivre.

résistance d'un conducteur :	
$R = \rho \frac{l}{s}$	l : longueur du conducteur en km s : section du conducteur en mm ² ρ : résistivité du conducteur en Ω. mm ² / km

Enveloppe isolante

Caractéristiques générales

L'enveloppe isolante doit assurer une bonne protection de l'âme conductrice et présenter les caractéristiques suivantes :

- générales de tout isolant :
 - résistivité élevée ;
 - très bonne rigidité électrique ;
 - faibles pertes diélectriques.
- particulières à l'emploi des conducteurs et des câbles :

- bonne tenue au vieillissement ;
- bonne résistance au froid, à la chaleur et au feu ;
- insensibilité aux vibrations et aux chocs ;
- bon comportement à l'attaque des agents chimiques.

Principaux matériaux synthétiques utilisés pour l'enveloppe isolante

▪ Matières thermoplastiques

La température provoque, de manière réversible, une variation de la plasticité :

- **polychlorure de vinyle (pvc)** très employé pour ses bonnes caractéristiques : électriques, mécaniques, de tenue au froid et au vieillissement thermique, de résistance à l'eau et aux produits chimiques courants ainsi qu'à la propagation de la flamme ; mais sa combustion s'accompagne de dégagements nocifs et corrosifs ;
- **polyéthylène (pe)** dont les remarquables caractéristiques en font un isolant de choix pour les câbles ht et tht ; de plus sa combustion ne s'accompagne pas de dégagements nocifs et corrosifs.

▪ Elastomères et polymères réticulables

Ils présentent un long domaine d'élasticité :

- **polyéthylène réticulé (pr)**, principalement utilisé dans la perspective de surcharges temporaires et d'un environnement thermique défavorable ; il y a une bonne tenue au froid et l'absence de dégagements nocifs et corrosifs lors d'une combustion ;
- **copolymères d'éthylène-propylène** employés en basse et moyenne tension pour les câbles rigides et surtout les câbles souples ; ce matériau offre une tenue médiocre à l'huile et peu de résistance à la flamme mais n'a pas de dégagements nocifs et corrosifs lors d'une combustion ;
- **caoutchouc de silicone** qui se caractérise par une très bonne tenue aux températures extrêmes et une bonne résistance aux agents extérieurs ce qui entraîne un vieillissement remarquable.

Gaine de protection

Le choix des matériaux qui constituent la gaine de protection doit être fait en tenant compte :

- des contraintes externes auxquelles est soumis le câble ;
- des conditions de fonctionnement, température maximale ;
- des conditions d'installation, température minimale ;
- de la nature des matériaux de l'enveloppe isolante, en particulier quant à leur tenue à la chaleur.

Les matériaux utilisés sont :

- **des isolants** tels que ceux utilisés pour l'enveloppe isolante ;
- **du plomb ou un alliage de plomb**

Cas des câbles à isolant minéral

Constitution

Ces câbles sont constitués par :

- une âme en cuivre recuit ou en aluminium demi-dur ;
- un isolant minéral, magnésien en général, comprimé entre l'âme et la gaine ;
- une gaine de protection en cuivre recuit ;
- éventuellement une gaine de protection supplémentaire en polychlorure de vinyle.

Leur tension nominale est 300/500 v ou 600/1000 v, d'où une désignation normalisée :

- u-500 n et u-1000n s'ils ne comportent pas de gaine en polychlorure de vinyle ;
- u-500 nv et u-1000nv s'ils comportent une gaine en polychlorure de vinyle ;

Emploi

Ces câbles sont employés notamment :

- pour l'alimentation des circuits de sécurité des immeubles de grande hauteur ou des établissements recevant du public ;
- comme éléments chauffants, encastrés dans les planchers, pour le chauffage des locaux.

Dans ce cas, la puissance linéique minimale à installer est de 33 w/m.

Ces câbles sont considérés comme des appareils d'utilisation (nf C 32-330).

Conditions de pose

La gaine peut servir de conducteur de protection ou de terre mais pas comme conducteur actif. Elle doit être mise à la terre.

Lors de la pose, le rayon intérieur de courbure ne doit pas être inférieur à :

- 2 fois l'intérieur du conducteur, s'il est inférieur à 7 mm ;
- 3 fois ce diamètre s'il est compris entre 7 et 12 mm ;
- 4 fois s'il est supérieur à 12 mm.

Les extrémités des conducteurs doivent être protégées de l'humidité par des jonctions étanches et l'isolation doit être séchée avant l'application du produit d'étanchéité.

Repérage des conducteurs

Les conducteurs d'un câble sont repérés :

- ➔ soit par une coloration ;
- ➔ soit par un chiffre imprimé,

Suivant la nature de l'isolant, du nombre de conducteurs, de l'utilisation, etc.

Si dans le câble le conducteur de protection :

- ➔ est présent : le repérage est de type **A** ;
- ➔ est absent : le repérage est de type **B**.

Dans tous les cas :

- ➔ la double coloration vert-jaune est réservée exclusivement au conducteur de protection ;
- ➔ le conducteur bleu clair, ou numéroté 1 s'il y a plus de 5 conducteurs dans le câble, est destiné au neutre si ce dernier est distribué, sinon il peut être utilisé comme conducteur de phase.

les câbles harmonisés ont uniquement le repérage A pour les compositions à 3, 4 et 5 conducteurs.

Système harmonisé de dénomination

Ce système de dénomination des conducteurs et des câbles est adopté par le **Comité Européen de Normalisation électrotechnique, CENELEC**

Symboles	1-Lettre du type de câble				
H A N S J	Modèle harmonisé. Modèle nationAl reconnu par la CENELEC Modèle national non reconnu par la CENELEC Câble faisant l'objet d'une Norme spéciale Câble conforme aux normes CEI				
	2-Chiffre de la tension d'emploi.				
.01 .03 .05 .07 .1 .3 .6 10	100/100 V. 300/300 V. 300/500 V. 450/750 V. 0,6/1 KV. 1,7/3 KV. 3,5/6 KV. 6/10 KV				
	3-Isolation conducteur et gaine				
B E G J M N P Q R S V V2 V3 N A C F K L	Ethylène Propylène Caoutchouc. Polyéthylène Ethylène – acétate de vinyle Tresse de fibre de verre Minéral Polychloroprène. Papier isolant Polyuréthane Caoutchouc naturel. Caoutchouc au silicone. PVC à 70°C. PVC à 90°C. PVC à 105°C. Polyéthylène réticulé. AlumiNium Cuivre Acier ZiNc Plomb				
	4-Forme et type de conducteur.				
F H K M R S U W Y Z	conducteur souple classe 5 cei 228. conducteur souple classe 6 cei 228. conducteur souple pour installations fines. âme segmentée conducteur fixe à fils torsadés cylindriques. conducteur fixe à fils torsadés et contour sectoriel. conducteur fixe à fil massif et cylindrique. conducteur fixe à fil massif de section sectorale âme à fil rosette âme de conformation spéciale				
	5-Nombre de conducteurs				
- N G - N	Nombre, N, de conducteurs En l'absence d'un conducteur vert/jaune A la signification N s'il y a un cond. Vert/jaune Section de l'âme conductrice en mm ² Si le repérage des conducteurs est en chiffres				



Peuvent éventuellement s'intercaler les symboles suivants :

Matériaux pour les écrans :

A : aluminium (A est toujours associé à un chiffre)

C : cuivre (C est toujours associé à un chiffre)

Matériaux pour les armures :

Z : fil ou tresse en acier (Z est toujours associé à un chiffre)

Y : fil d'aluminium (Y est toujours associé à un chiffre)

Éléments constitutifs spéciaux :

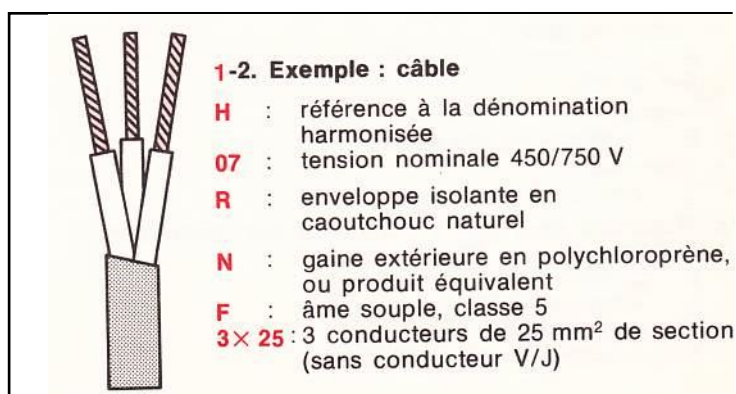
D2 : élément porteur constitué de fils tentiles ou en acier

D4 : câble autoporteur

Constructions spéciales d'un câble :

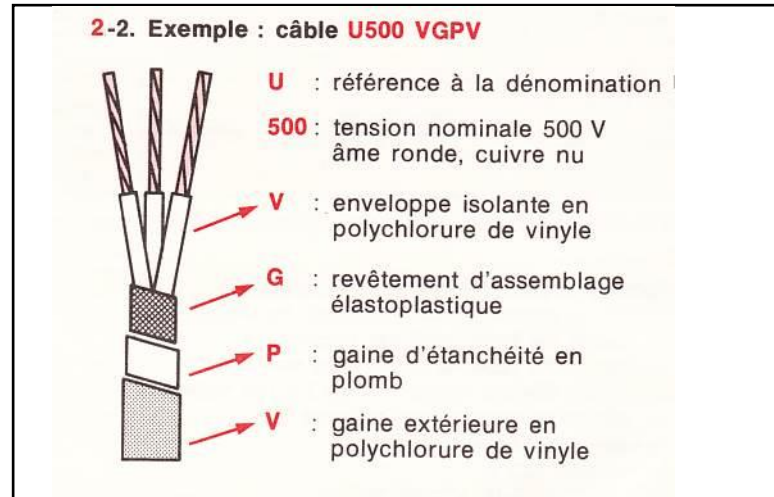
H : câble méplat dont les conducteurs peuvent être séparés

H2 : câble méplat dont les conducteurs ne peuvent être séparés



Système de dénomination UTE

	1-Référence à la Normalisation : U	
Symboles	2-Chiffre de la tension en volts	
	3-Nature de l'âme : A pour l'aluminium, pas de symbole pour le cuivre	
	4-Conformation de l'âme : S pour âme souple, pas de symbole pour âme rigide en cuivre	
	5-Matériaux de l'enveloppe isolante	
B C G E H J K L N R V N.	caoutchouc butyle vulcanisé caoutchouc vulcanisé caoutchouc pur polyéthylène polyéthylène chlorosulfoné papier imprégné caoutchouc silicone éthylène – propylène polychloroprène polyéthylène réticulé polychlorure de vinyle isolant minéral	↓ ↓ ↓ ↓ ↓
	6-Matériaux de bourrage	
G - 0 - 1	matière élastique ou plastique formant gaine de bourrage autour des conducteurs aucun bourrage ou bourrage ne formant pas gaine la gaine d'assemblage ou de protection forme bourrage	
	7-Matériaux de la gaine de protection non métallique	
C E H L N V	caoutchouc vulcanisé polyéthylène polyéthylène chlorosulfoné éthylène - propylène polychloroprène polychlorure de vinyle	
	8 Matériaux pour revêtements métalliques de protection	
	Gaine ou tube : A : aluminium P : plomb Armure : F : feuillards ou fils d'acier Cuirasse : Z : zinc ou autre métal	
	9- Matériaux pour gaine sur revêtement métallique	
H L N V	polyéthylène chlorosulfoné éthylène - propylène polychloroprène polychlorure de vinyle	



Normalisation du Comité Electrotechnique Belge : CEBEC

Pour les fils et les câbles isolés, la marque de conformité est coNstituée :

- Soit de 2 fils blanc tendus parallèlement au conducteur sous la tresse ou gaine intérieur. Ils sont accompagnés d'un ou plusieurs fils colorés qui constituent le signe distinctif du fabricant.
- Soit de la mention CEBEC précédée d'un triangle et suivie du numéro distinctif du fabricant, gravée ou moulée dans la gaine intérieure.

	CEBEC	
--	-------	--

Appellations selon NBN C.32.123 et 131 C.32.124 et 132.

La première lettre du sigle désigne la nature de l'enveloppe isolante en contact direct avec le conducteur.

C=Caoutchouc en : **C.T.L.B**
V+ViNyle en : **V.O.B**

- Le **B** final indique un type ou câble normalisé Belge.
- Les lettres intérieures ou extérieures du sigle :

O=isolant Ordinaire. En : **V O.B**

R=isolant Renforcé. En : **C.R.V.B** (plus en fabrication)

T=Transportable (pour les appareils mobiles, câble souple). En : **V.T.M.B**

L=isolation Légère. En : **V.T.L.B**

M=isolation Moyenne. En : **C.T.M.B**

F= isolation Forte (**F** en 3^{ème} lettre). En : **C.T.F.B**

F=Feuillard (F eN 2^{ème} lettre). En : V.F.V.B. N.F.V.B
Su=suspeNsioN. Cordelette iNtérieur de suspeNsioN, non métallique. En : C.**Su**.B
N=Néoprène (caoutchouc synthétique). En : C.T.M.B/N
V=devant le B=gaine en Vinyle. En : V.F.V.B N.F.V.B V.V.B. N.V.B
G=Gaine (extérieur visible). En : V.G.V.B
S=souple. En : V.O.B.**S**.
St=souple et étamé. En : V.O.B.**St**.
m ou p=méplat ou plat. En : V.T.L.m.B

Indication du nombre de conducteurs sur les câbles.

Sur la plupart des câbles, on signale la présence d'un conducteur de terre par la lettre G. (en anglais, Ground=le sol, le terrain).

En : V.T.M.B 3G2,5mm² = 3 conducteurs au total, de 2,5mm² de section, dont un des conducteurs est réservé exclusivement à la mise à la terre. (jaune/vert).

On sigNale aussi le conducteur de protection en ajoutant la section de celui-ci au nombre de conducteurs d'énergie.

En : N.V.B2n2,5+2,5mm² = 2 conducteurs d'énergie + 1 conducteur de protection. Les 3 conducteurs ont la même section.

N.V.B3n2,5mm² = 3 conducteurs d'énergie.

Section des conducteurs.

Elle exprime l'aire (surface) de la section droite du conducteur. En général, les conducteurs sont cylindriques.

- pour les circuits d'éclairage : 1,5mm² ($\varnothing = 1,382\text{mm}$).
- pour les circuits de prises de courant : 2,5mm² ($\varnothing = 1,784\text{mm}$).
- pour les circuits mixtes (éclairage + prises) : 2,5mm² ($\varnothing = 1,784\text{mm}$).

Comportement au feu

Réaction au feu

Cette aptitude est évaluée en 2 classes :

- **Câbles de catégorie C2, Non propagateurs de la flamme** (selon la Norme NF C32-070). Pris isolément et enflammés, ces câbles Ne propagent pas la flamme et s'éteignent d'eux-mêmes. Exemples : U 1000 R2V, H07 V-U, H07 V-R, H07 V-K.
- **Câbles de catégorie C1, non propagateurs de l'incendie** (selon la Norme NF C32-070). Lorsqu'ils sont enflammés, ces câbles ne dégagent pas de produits volatils inflammables en quantité suffisante pour donner naissance à un foyer d'incendie secondaire. Ils sont caractérisés par une ignifugation renforcée au niveau de leur enveloppe et de leur gaine. Exemple : FR-N07 N4N5-F

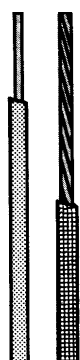
Résistance au feu

Un **câble de catégorie CR1** est dit « **résistant au feu** » s'il ne propage pas la flamme et si, placé au cœur d'un foyer d'incendie, **il continue à assurer son service** pendant un temps limité mais suffisant pour satisfaire à la sécurité des personnes.

C'est le cas des câbles qui doivent, dans les établissements recevant du public, continuer à alimenter pendant trente minutes à une heure les circuits d'éclairage de secours, des ascenseurs, des ventilateurs, afin de permettre l'évacuation des personnes et ce malgré un foyer d'incendie. L'isolation de ces câbles peut être, par exemple, réalisée en caoutchouc de silicone qui se transforme, après combustion, en une gangue de silice isolante.

Principaux types

Basse tension



Ame

U Métal : Cuivre nu. Forme : ronde. Souplesse : classe 1 – massif. Température manimale à l'âme : 70°C en permanence, 160°C en court-circuit.

R : Métal : Cuivre nu. Section : ronde. Souplesse 2 – câblé. Température manimale à l'âme : 70°C en permanence, 160°C en court-circuit.

Isolation

PVC

Repérage : Bleu – noir – gris – brun – rouge – ivoire – orange – vert/jaune

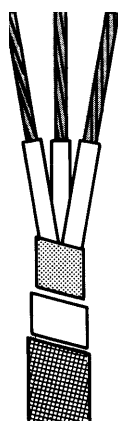
Dénomination

H07 V-U, H07 V-R, H07 V-K. Tension nominale : 450/750 V. Suivant NF C 32-201

Remarque

Les conducteurs de la série H07 V-U sont utilisés dans les circuits des locaux d'habitation.

Les séries H07 V-R ou K, du fait de leur âme câblée, assurent un meilleur contact aux points de connexion et résistent mieux aux vibrations. Ils sont de préférence employés dans l'industrie.



Ame

Métal : cuivre nu. Forme : ronde. Souplesse : $S < 4 \text{ mm}^2$ classe 1 – massif
 $S > 4 \text{ mm}^2$ classe 2 – câblé

Température manimale à l'âme : 70°C en permanence, 160°C en court-circuit.

Isolation

PVC

Repérage ∞
A



noir-bleu
V/J



noir-bleu
brun V/J



noir-bleu-brun
noir V/J

B noir-bleu brun noir-bleu brun-brun noir-bleu-brun noir-noir

Revêtement d'assemblage : gaine élastoplastique

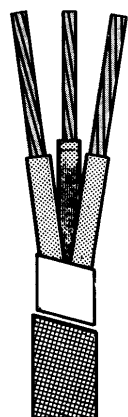
Gaine d'étanchéité : plomb

Gaine extérieure : PVC, couleur : grise

Dénomination : U-500, VGPV. Tension nominale : 300/500 V ; NF C32-211

Remarque

Dans les câbles de la série U-500 VGPV, la gaine d'étanchéité en plomb leur confère une protection efficace contre l'humidité et les produits corrosifs. Cette gaine peut éventuellement servir d'écran électrique.



Ame

$S < 10 \text{ mm}^2$ cuivre nu ; $S > 10 \text{ mm}^2$ cuivre nu ou aluminium. Forme : ronde

Souplesse : $S < 4 \text{ mm}^2$ classe 1 – massif ou classe 2 – câblé

$S > 4 \text{ mm}^2$ classe 2 – câblé

Température manimale à l'âme : 85°C en permanence, 250°C en court-circuit.

Isolation

PRC

Repérage



A

noir-bleu
V/J

noir-bleu
brun V/J

noir-bleu-brun
noir V/J

B

noir-bleu
brun

noir-bleu
brun-noir

noir-bleu
brun-noir

noir-bleu-brun
noir-noir

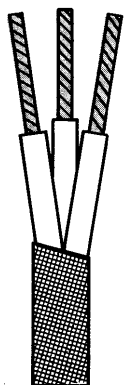
Revêtement d'assemblage : gaine élastoplastique ou ruban synthétique

Gaine intérieure : PVC, couleur noire.

Dénomination : U-1000 R02 V – Tension nominale : 1000 V - NF C32-321

Remarque

Dans la série U-1000 R02 V, l'isolant PRC, la gaine d'assemblage élastoplastique et la gaine PVC intérieure épaisse confèrent aux câbles de très bonnes qualités de tenue et de résistance aux contraintes sévères d'utilisation rencontrées dans l'industrie.



Ame

Métal $S < 6 \text{ mm}^2$ cuivre étamé. $S > 6 \text{ mm}^2$ cuivre rouge. Forme : ronde

Souplesse : classe 5 souple. Température manimale à l'âme : 85°C en permanence, 250°C en court-circuit.

Isolation

Elastomère

Repérage



H07 RN-F

noir-bleu
V/J

noir-bleu
brun V/J

noir-bleu-brun
noir V/J

A07 RN

noir-bleu
brun

noir-bleu
brun-noir

noir-bleu
brun-noir

noir-bleu-brun
noir-noir

Gaine intérieure

Polychloroprène ou produit équivalent. Couleur noire

Dénomination

H07 RN-F et A07 RN-F

Tension nominale 450/750 V - NF C 32-102

Remarque

Les câbles des séries H07 RN-F et A07 RN-F sont des câbles souples à hautes performances. La gaine épaisse en polychloroprène résiste bien au contact des huiles et des hydrocarbures. Ces câbles sont bien adaptés aux chantiers intérieurs.

Conducteurs de phase

Ame

Métal : aluminium. Forme : ronde. Souplesse : classe 1 – massif. Température manimale à l'âme : 90°C en permanence, 250°C en court-circuit.

Isolation

PRC

Repérage : conducteurs noirs marqués 1 – 2 – 3

Neutre

Ame

Aluminium. Forme : ronde. Souplesse : classe 1 – massif

Gaine en plomb

Tous cas

Bourrage

Boudins élastoplastiques

Ecran : feuillard en acier galvanisé

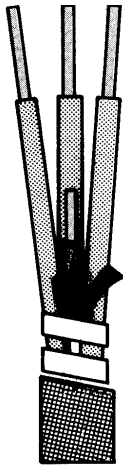
Gaine entérieure : PVC, couleur noire

Dénomination

N 1N DV-A Tension nominale 1000 V. NF C 33-210

Remarque

Les câbles série N1N DV-A sont utilisés pour les branchements souterrains. Ils sont enterrables sans protection particulière. Le neutre non isolé nécessite un système de protection



Conducteurs de phase

Ame

Métal : aluminium. Forme : ronde. Souplesse : classe 2 – câblé. Température manimale à l'âme : 90°C en permanence, 250°C en court-circuit.

Isolation

PRC couleur noire. Marquage UTE 33209. N° phase 1 – 2 – 3

Neutre porteur 54,6 mm²

Ame

Métal : A-GS/L (Almelec). Forme : ronde. Souplesse : composition spéciale 7 fils 3,15 mm

Isolation

PRC couleur noire. Repérage : nervure longitudinale en relief.

Conducteurclairage public

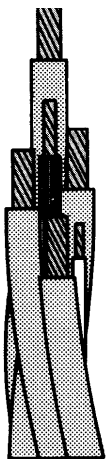
Les phases sont assemblées autour du neutre qui est porteur.

Dénomination

Tension nominale : 1000 V. NF C 33-209

Remarque

Ces câbles pour réseau aérien sont très utilisés. Leur isolation au polyéthylène réticulé présente une très grande fiabilité et confère au réseau une enceptionnelle tenue dans le temps.



Haute tension

Ame

Métal : cuivre nu ou aluminium. Forme : ronde. Souplesse : classe 2 – câblé. Température minimale à l'âme : PVC : 70°C en permanence et 160°C en court-circuit.

EPR PRC : 90°C en permanence et 250°C en court-circuit.

Semi-conducteur

Gaine extrudée ou ruban suivant tension et section.
(Un semi-conducteur est un matériau qui a les caractéristiques électriques d'un isolant, mais pour lequel la probabilité qu'un électron puisse contribuer à un courant électrique, quoique faible, est suffisamment importante. En d'autres termes, la conductivité électrique d'un semi-conducteur est intermédiaire entre celle des métaux et celle des isolants.)

Isolation

PVC : 3,5/6 à 12/20 kV

EPR PRC : 3,5/6 à 18/30 kV

Repérage : couleur ou marquage

Ecran Semi-conducteur : gaine pelable ou ruban suivant tension et section

Revêtement d'assemblage : gaine élastoplastique ou ruban synthétique suivant section

Gaine d'étanchéité : PVC

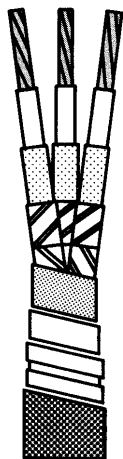
Armure : 2 feuillets acier noir

Gaine intérieure : PVC couleur noire

Dénomination N1-NDV-A Tension spécifiée 3,5/6 kV à 18/30 kV NF C 33-210

Remarque

Les câbles N1-NDV-A sont armés, tripolaires et à champ non radial. Suivant les plages de tensions deux isolants sont utilisés : le polychlorure de vinyle ou le caoutchouc d'éthylène propylène et le polyéthylène réticulé. L'armure en feuillet d'acier lui confère une très bonne protection mécanique.



Conducteur de terre

Ame : Aluminium. Forme ronde. Souplesse : classe 2 – câblé. **Gaine** de plomb.

Conducteurs de phase

Ame

Aluminium. Forme ronde. Souplesse : classe 2. Température à l'âme : 90°C en permanence, 250°C en court-circuit.

Semi-conducteur Gaine extrudée

Isolation : PRC

Semi-conducteur Gaine extrudée pelable

Ecran Ruban d'aluminium contre-collé à la gaine intérieure.

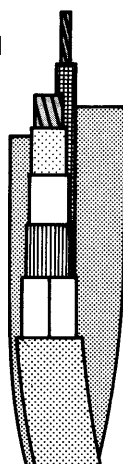
Gaine intérieure : PVC couleur noire

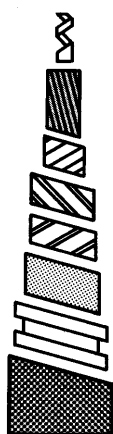
Assemblage Les 3 conducteurs de phase sont assemblés autour du conducteur de terre.

Dénomination : N1-N DV-A Tension spécifiée 12/20 kV

Remarque

Ce sont des torsadés tripolaires très utilisés dans les réseaux de distribution haute tension.





Ame

Métal : cuivre ou aluminium
Forme : Ronde et creuse et câblée.
Température maximale à l'âme :
85°C en permanence 170°C en court-circuit.;

Isolation : Papier imprégné d'huile

Ecran

Ruban semi-conducteur
Papier métallisé

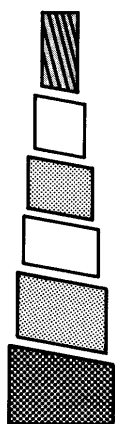
Gaine d'étanchéité : Plomb

Armure Frettage métal amagnétique

Gaine extérieure :

PVC noir –
Spirale d'acier

Dénomination : EDFHN33-S-50 Tension spécifiée de 36/63 KV à 230/400 KV



Ame

Métal : cuivre ou aluminium
Forme : Ronde. Souplesse : classe 2 - câblée
Température maximale à l'âme :
75°C en permanence 180°C en court-circuit.;

Isolation : Polyéthylène haute densité

Ecran

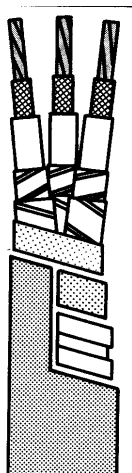
Semi-conducteur extrudé

Gaine d'étanchéité : Plomb

Gaine extérieure :

PVC ou polyéthylène noir

Dénomination : EDF CERT- CPC 37.468 Tension spécifiée de 36/63 KV à 52/90 KV



Ame

Métal : cuivre ou aluminium

Forme : Ronde. Souplesse : classe 2 - câblée

Semi-conducteur : gaine extrudée

Isolation :

PVC ou PRC

Repérage : par couleurs

Ecran

Semi-conducteur : Ruban ou gaine extrudée

Ruban cuivre nu. Epaisseur 10/100

Revêtement d'assemblage :

Gaine élastoplastique ou ruban synthétique suivant section

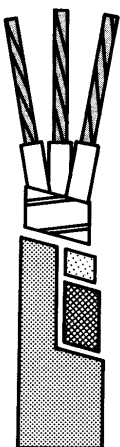
Gaine d'étanchéité :

PVC ou plomb

Armure : matelas papier enduit pour gaine plomb – 2 feuillets d'acier noir pour armure lourde

Gaine extérieure : PVC spécial

Tension : 6/10 KV à 12/20 KV



Ame

Métal : cuivre nu

Forme : Ronde. Souplesse : $S < 4 \text{ mm}^2$ classe 1- massif ou classe 2 câblé. $S > 6 \text{ mm}^2$ classe 2 câblé

Température à l'âme : 95°C en permanence – 300°C en court-circuit

Isolation :

Caoutchouc de silicone

Repérage : par couleurs

Revêtement d'assemblage :

Ruban soie de verre

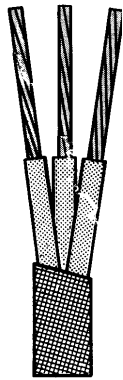
Gaine d'étanchéité :

PVC

Armure : Tresse d'acier galvanisé ou métal amagnétique pour monoconducteur

Gaine extérieure : PVC

Tension : 750 V



Ame

Métal :

$S < 10 \text{ mm}^2$: cuivre

$S > 16 \text{ mm}^2$: cuivre nu ou aluminium

Forme ronde

Souplesse :

$S < 4 \text{ mm}^2$: classe 1 rigide – classe 2 câblé

$S > 6 \text{ mm}^2$: classe 2 câblé

Température maximale à l'âme :

65°C en permanence

250°C en court-circuit.

Isolation :

PRC

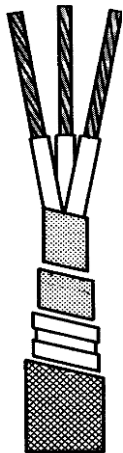
Gaine extérieure :

Polychloroprène ou produit équivalent

Couleur noire

Dénomination :

1000 R 12N – 1000 V – NON PROPAGATEUR DE LA FLAMME



Ame

Métal :

$S < 35 \text{ mm}^2$: cuivre nu

$S > 50 \text{ mm}^2$: aluminium

Forme ronde

Souplesse :

classe 2 câblé

Température maximale à l'âme :

75°C en permanence

160°C en court-circuit.

Isolation :

PRC

Revêtement d'assemblage

Gaine élastoplastique

Gaine d'étanchéité :

PVC spécial

Armure :

2 feuillets d'acier noir

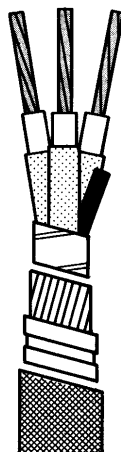
2 feuillets amagnétiques pour monoconducteur

Gaine extérieure :

PVC spécial couleur bleue

Dénomination :

EDF CPTN 74C 003 00 – 1000 V – NON PROPAGATEUR DE LA FLAMME



Ame

Métal : cuivre nu

Forme ronde

Souplesse :

Classe 2 câblé

Température maximale à l'âme :

90°C en permanence

250°C en court-circuit.

Isolation :

Caoutchouc de silicone

Ruban de soie de verre suivant section

Revêtement d'assemblage

Ruban de soie de verre

Bourrage :

Cordons de fibre de verre

Armure :

2 feuillets d'acier noir

Rubans de soie de verre

Gaine extérieure :

PVC spécial couleur orange

Dénomination :

NF C 32-310 – 500 V – RESISTE AU FEU

Sections de câbles nécessaires

Les fabricants de câble donnent les intensités que peuvent transporter les câbles qu'ils fabriquent tout en conservant un échauffement normal du câble.

Ainsi, les tableaux suivant donnent les sections à utiliser en fonction des longueurs, des tensions, et des intensités à transporter pour une chute de tension de 3 % (monophasé) et 5 % (triphase).

230 V Monophasé $\cos\phi = 1$

Puissance eN kW	Intensité eN A	Sections en mm ²														
		1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
0,5	2,3	100	165	265	395											
1	4,6	50	84	135	200	335	530									
1,5	6,8	33	57	90	130	225	355	565								
2	9	25	43	68	100	170	285	430	595							
2,5	11,5	20	34	54	80	135	210	340	470	630						
3	13,5	17	29	45	66	110	180	285	395	520						
3,5	16	14	24	39	56	96	155	245	335	450						
4	18		21	34	49	84	135	210	295	395	580					
4,5	20		19	30	44	75	120	190	260	350	515					

Codification, symboles et normes : Dénominations des conducteurs et câbles

5	23			27	39	68	105	170	235	315	460	630				
6	27			23	32	56	90	140	195	260	385	530				
7	32				28	48	75	120	170	225	330	450	570			
8	36					42	67	105	145	195	290	400	500	620		
9	41					38	60	94	130	175	255	355	440	550		
10	45					34	54	84	120	155	230	320	400	495	615	
12	55						45	70	98	130	190	265	330	410	510	
14	64						38	60	84	110	165	230	285	350	435	560
16	73							53	74	99	145	200	250	305	380	500
18	82							47	65	88	125	175	220	270	340	440
20	91	Longueurs en mètres							59	79	115	160	200	245	310	400
25	114									64	98	130	150	195	245	315
30	136										77	105	135	165	205	265
35	159											90	115	140	175	225
40	182											80	100	125	155	200
45	205												89	110	135	175
50	227													98	120	160
60	273														100	140
70	318															115

Exemple d'utilisation du tableau : soit une intensité de 15 ampères à transporter sur 100 mètres ; il faudra employer un câble de 10 mm².




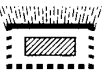



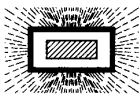

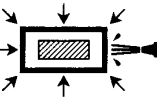

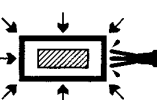
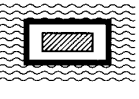
400 V Monophasé Cosφ = 0,8

Puissance eN kW	Intensité eN A	Sections en mm ²														
		1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
2,5	5	190	325	510	745											
3	6	160	270	420	620											
3,5	7	135	230	365	540	895										
4	8	120	200	320	470	785										
4,5	9	105	180	285	420	700										
5	10	96	165	255	375	630	970									
6	12	79	135	210	315	525	810									
7	14	68	115	180	270	455	700									
8	16	60	105	160	240	400	610	940								
9	18	51	92	145	215	355	550	850								
10	19		84	130	190	320	500	780								
12	23		69	110	160	265	415	640	880							
14	27			94	140	230	355	550	750							
16	31			81	120	200	315	485	655	860						
18	35				110	180	280	430	580	770						
20	38				98	160	255	390	520	690						
25	48					130	205	315	420	555	760					
30	57						170	260	355	465	640	840				
35	67						145	225	300	400	550	730				
40	76							195	260	350	480	640	745			
45	86							175	235	310	430	565	670	770		
50	95	Longueurs en mètres						160	215	285	385	510	600	695		
60	114								180	235	320	420	500	580	680	
70	133									200	275	365	430	495	580	
80	152										240	315	375	430	510	600
90	171										215	280	335	385	445	535
100	190											250	300	350	405	480
120	228												250	290	340	400
140	266													250	290	345
160	304														255	300
180	342															265

Longueurs minimales pour une chute de tension de 5 %.

Exemple d'utilisation du tableau : soit à alimenter un moteur de 18 kW cosφ = 0,8 avec un câble de 100 m de long ; il faudra choisir une section de 6 mm².

Indices de protection IP et IK

INDICES DE PROTECTION IP					
1 ^{er} chiffre protection contre les corps solides			2 ^e chiffre protection contre les liquides		
IP	Tests	Définition	IP	Tests	Définition
0		Non protégé.	0		Non protégé.
1 *A		Protégé contre les corps solides étrangers de diamètre supérieur à 50 mm.	1		Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau.
2 *B		Protégé contre les corps solides étrangers de diamètre supérieur ou égal à 12,5 mm.	2		Protégé contre les chutes verticales de gouttes d'eau avec une enveloppe inclinée de 15° maxi.
3 *C		Protégé contre les corps solides étrangers de diamètre supérieur ou égal à 2,5 mm.	3		Protégé contre l'eau de pluie fine jusqu'à 60° de la verticale.
4 *D		Protégé contre les corps solides étrangers de diamètre supérieur ou égal à 1 mm.	4		Protégé contre les projections d'eau provenant de toutes les directions.
5		Protégé contre les poussières (éviter les dépôts nuisibles au bon fonctionnement du matériel ou à la sécurité).	5		Protégé contre les jets d'eau provenant de toutes les directions.
6		Étanche à la poussière. Pas de pénétration de la poussière.	6		Protégé contre les jets d'eau provenant de toutes les directions (ex : paquets de mer).
* Lettres additionnelles : – A : Contact involontaire avec le dos de la main. – B : Contact avec le doigt de la main. – C : Contact avec un outil Ø 2, 5 longueur 100 mm. – D : Contact avec un outil Ø 1 longueur 100 mm.			7		Protégé contre les effets d'une immersion temporaire dans l'eau (pression normale).
			8		Protégé contre les effets d'une immersion prolongée dans l'eau (éventuellement sous pression).

Normes de maintenance

Concepts de maintenance

- NF EN 13306 - Juin 2001 : Terminologie de la maintenance
- FD N 60-000 - Mai 2002 : Maintenance industrielle - Fonction maintenance
- NF N 60-012 - Août 2006 - Remplace FD N 60-012 d'avril 2006 : Maintenance - termes et définitions des éléments constitutifs et de leurs approvisionnements
- NF EN 15341 - Juin 2007 - Remplace NP N 60-020 d'août 1995 : Maintenance - indicateurs de performances clés pour la maintenance

Contrats de maintenance

- N 60-101 - Décembre 1981 : Règles de l'appel d'offres pour un contrat privé de maintenance
- N 60-104 - Décembre 1982 : Cahier des clauses administratives particulières - Types applicables aux contrats de maintenance de certains matériels ou équipements
- N 60-600 - Février 1988 : Logistique de soutien - Clauses contractuelles, moyens et prestations de soutien logistique
- N 60-150 - Décembre 1994 : Maintenance industrielle - questionnaire-type d'évaluation préliminaire d'une entreprise prestataire en maintenance
- FD N 60-090 - Décembre 1995 : Maintenance - critères de choix du type de contrat de maintenance - contrat de moyens - contrats de résultats
- FD N 60-008 - Août 2002 : Maintenance industrielle - projet d'externalisation de la maintenance - démarche pré-contractuelle
- NF EN 13269 - Novembre 2006 - Remplace NP ENV 13269 d'août 2001 : Maintenance - lignes directrices pour la préparation des contrats de maintenance
- FD N 60-100 - Mars 2007 - Remplace NF N 60-100 de décembre 1981 : Maintenance - préalables aux contrats de maintenance - inventaires et expertise d'états de biens

Documentation

- N 60-250 (Novembre 1983) : Maintenance - fonction "documentation technique utilisateur" - recommandations pour sa mise en place ou son organisation chez les constructeurs de biens d'équipement
- NF EN ISO 3952-1 (Mai 1995) - NF EN ISO 3952-1/A1 (Novembre 2004) : Schémas cinématiques - Symboles graphiques - Partie 1
- NF EN ISO 3952-2 (Mai 1995) : Schémas cinématiques - Symboles graphiques - Partie 2
- NF EN ISO 3952-3 (Mai 1995) : Schémas cinématiques - Symboles graphiques - Partie 3

- NP N 50-435 (Septembre 1995) : Management des systèmes - gestion documentaire - concepts généraux
- NF EN ISO 2203 (Février 1998) : Dessins techniques - représentation conventionnelle des engrenages
- NF EN 13460 (Avril 2003) : Maintenance - documents pour la maintenance
- FD N 60-212 (Août 2006) - Remplace NF N 60-212 de Novembre 1983 : Maintenance - référentiel des instructions de maintenance - définitions et principes généraux de rédaction et de présentation
- NF N 60-200 (Avril 2008) : Maintenance - documentations techniques associées à un bien tout au long de son cycle de vie

Disponibilité

- N 60-503 (Novembre 1985) : Introduction à la disponibilité
- N 60-520 (Mai 1988) : Prévisions des caractéristiques de fiabilité, maintenabilité et disponibilité

Fiabilité

- N 06-501 (Septembre 1984) : Applications de la statistique - Introduction à la fiabilité
- N 60-502 (Décembre 1986) : Fiabilité en exploitation et après-vente
- N 60-500 (Octobre 1988) : Terminologie relative à la fiabilité - maintenabilité – disponibilité
- N 60-520 (Mai 1988) : Prévisions des caractéristiques de fiabilité, maintenabilité et disponibilité
- NF EN 60812 (Août 2006) - remplace N 60-510 de décembre 1986 : Techniques d'analyse de la fiabilité du système - procédure d'analyse des modes de défaillance et de leurs effets (AMDE)

Maintenabilité

- N 60-301 (Mai 1982) : Guide pour la prise en compte des critères (maintenabilité des biens durables à usage industriel et professionnel)
- N 60-310 (Novembre 1986) : guide de maintenabilité de matériel : introduction, exigences et programme
- N 60-313 (Mai 2000) : Guide de maintenabilité de matériel : planification de la maintenance et de la logistique de maintenance
- N 60-314 (Mai 2000) : Guide de maintenabilité de matériel : essais pour diagnostic
- N 60-315 (Mai 2000) : Guide (maintenabilité de matériel - partie 6 : section 9 : méthodes statistiques pour l'évaluation de la maintenabilité
- NF EN 60706-2 (Septembre 2006) - remplace N 60-311 de février 1991 : Maintenabilité pendant la phase de conception et de développement
- NF EN 60706-3 (Octobre 2006) - Remplace N 60-312 de mai 1988 : Maintenabilité de matériel : vérification et recueil, analyse et présentation de données

Durabilité

- NF EN 60300-1 (Décembre 2004) : Gestion de la sûreté de fonctionnement - partie 1 : gestion du programme de sûreté de fonctionnement
- NF N 50-501 (Septembre 2007) - Remplace N 50-501 de février 1982 : Maintenance - états de référence des biens : vocabulaire des activités de rénovation et de reconstruction

Langage

Applet : Petit programme téléchargé qui s'exécute sur l'équipement client qui en fait la demande.

AS-i : Actuator Sensor Interface. Norme de bus de terrain*de niveau 0 (ou bus de capteurs et actionneurs).

ASIC : Application Specific Integrated Circuit. Circuit intégré (composant électronique) dédié à une application spécifique.

Il gère, par exemple, la gestion d'un protocole de communication par opposition à un circuit généraliste comme un microprocesseur.

Bande passante : Mesure la largeur de la plage de fréquences dans laquelle les signaux sont transmis avec une atténuation inférieure à trois décibels. Par abus de langage, désigne le débit maximum utile du médium.

Bus déterministe : Bus temps réel ; les temps de réponse du système sont compatibles avec les appareils commandés.

CIM : Concept élaboré dans les années 80, le CIM (Computer Integrated Manufacturing, traduit en français par Système Intégré de Production, soit SIP) s'est avéré quelque peu "académique" vis-à-vis des réalités industrielles. Néanmoins, il a eu le mérite de bien structurer les différentes fonctions dans l'entreprise. Cette structuration a permis de mieux appréhender les besoins, la nature et l'importance des flux d'informations qui conditionnent le choix des solutions optimales de communication dans les différents niveaux de la pyramide CIM.

Coupleur : Interface électronique de communication permettant le raccordement d'un équipement à un réseau.

Diag Viewer : Fonction de diagnostic disponible pour la plate-forme automate Premium.

Équipement : Désigne dans ce guide technique tout produit d'automatisme raccordé au bus : automate, variateur de vitesse, distributeur pneumatique, robot, interface homme/machine, etc.

FIP (Factory Instrumentation Protocol) : Bus de terrain couvrant les niveaux 1 et 2.

HTML : Langage de programmation qui permet la définition et la réalisation de documents (textes, images...) conformes aux algorithmes de décriptage et d'affichage propres aux logiciels de navigation sur Internet.

Java : Langage informatique orienté objet dédié à internet.

LAN (Local Area Network) : Réseau local.

Médium : Support physique de la communication (paire torsadée, câble coaxial, fibre optique).

Message : Information échangée sur un réseau au travers de services définis dans un protocole de messagerie : lecture, écriture, téléchargement de zones mémoires, fichiers, etc.

Objet d'automatisme : Représentation modélisée et structurée décrivant les fonctions, les services offerts et le comportement d'un automatisme.

Protocole : Désigne les règles de dialogue entre mêmes couches des entités communicantes.

Réseau d'entreprise : Réseau local utilisé dans les applications de bureautique et de gestion.

Réseau local : Réseau limité à une zone ne dépassant pas quelques kilomètres ; en général, il s'agit de réseaux restreints à un bâtiment ou une entreprise, c'est-à-dire restant dans un domaine privé et ne traversant pas le domaine public.
Par opposition, on parle de WAN (Wide Area Network) pour les réseaux comme le Réseau Téléphonique Commuté ou le réseau Internet.

RLI : Abréviation pour Réseau Local Industriel. Réseau local utilisé dans un environnement industriel (production...). Il permet la communication entre les équipements d'automatisme.

TCP/IP (Transport Control Protocol/Internet Protocol) :

Protocoles de communication utilisés notamment pour la transmission des informations sur le web.

Trame : Suite de bits ou caractères émis de façon ininterrompue par un équipement sur le réseau et dont l'ensemble constitue une information cohérente interprétable par le ou les destinataires (messages, questions ou réponses, diffusion d'une valeur...).
La longueur des trames est toujours limitée.

WAN (Wide Area Network) : Par opposition aux LAN, réseau couvrant une large zone, en général réseau public : Réseau Téléphonique Commuté, Internet... *A noter que depuis quelques années, on parle aussi de MAN (Metropolitan Area Network) ; il s'agit de réseaux rapides couvrant quelques dizaines, voire centaines de kilomètres (des zones métropolitaines).*

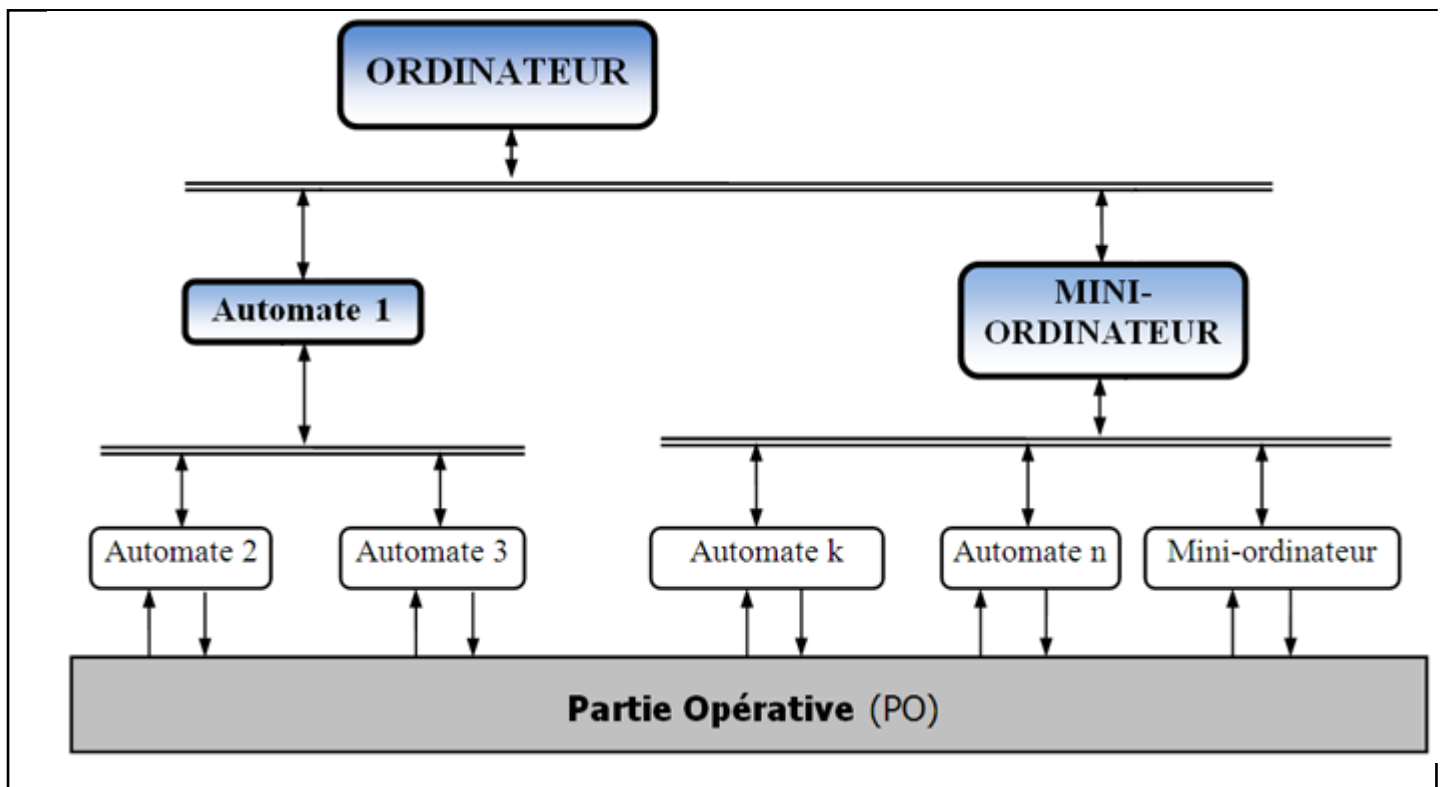
WWW : World Wide Web ou Web.

Permet un accès à l'échelle planétaire à des services et des documents avec un outil hypertexte, tels que Internet Explorer ou Netscape.



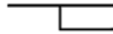
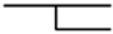


Ces logiciels (ou navigateurs Web) utilisent le protocole HTTP (HyperText Transfer Protocol).

Les documents échangés sont basés sur le langage HTML (HyperText Mark-up Language).

SNCC : Système Numérique à Commande Centralisée



Symboles usuels en automatisme

Fonction	Symbole	
	Européen	Américain
Contact ouvert au repos	---o o---	
Contact fermé au repos	---o̅ o̅---	
Début de branchement		
Fin de branchement		
Affectation	---()---	---()

Lois et valeurs physiques

	Page
Unités de mesure.....	324
Algèbre et géométrie.....	330
Notions fondamentales d'électricité.....	336
Définitions et lois générales en électricité.....	339

Unités de mesure

Tableau des unités légales

Grandeurs de base

Longueur.....	mètre (m) – micron (μ) – kilomètre (km)
Masse.....	kilogramme (kg) – tonne (t) – carat métrique
Temps.....	seconde (s) – minute (mn) – heure (h) – jour (j)
Intensité de courant électrique.....	ampère (A)
Température.....	degré Kelvin ($^{\circ}\text{K}$) – degré Celsius ($^{\circ}\text{C}$)
Intensité lumineuse.....	candela (cd)

Grandeurs géométriques dérivées

Aire ou surface.....	mètre carré (m^2) – are (a)
Volume.....	mètre cube (m^3) – litre (l) – stère (st)
Angle plan.....	radian (rd ou rad) – tour (tr) – grade (gr) – degré ($^{\circ}$) – minute ($'$) – seconde ($''$)
Angle solide.....	stéradian (sr)

Grandeurs massiques dérivées

Masse volumique.....	kilogramme par mètre cube Kg/m^3 gramme par centimètre cube (g/cm^3)
Titre alcoométrique.....	degré alcoométrique centisémal ($^{\circ}\text{GL}$)

Grandeur dérivée du temps

Fréquence.....	Hertz (Hz)
----------------	-------------------

Grandeurs mécaniques et calorifiques

Vitesse.....	mètre par seconde (m/s) – nœud
Accélération.....	mètre par seconde par seconde (m/s^2)
Force.....	newton (N) – dyne (dyn)
Travail et énergie.....	joule (J) – erg - watt-heure (Wh) – elect.volt (eV)
Quantité de chaleur.....	joule (J) – calorie (cal) – thermie (th) – frigorie (fg)
Puissance.....	watt (W) – erg par seconde
Contrainte et pression.....	pascal (Pa) – bar (bar) – barye (dyn/cm^2)
Viscosité dynamique.....	poiseuille (Pl) – poise (Po)
Viscosité cinématique.....	poiseuille (m^2/s) – stokes (St)

Grandeurs électriques dérivées

Fem, différence de potentiel.....	volt (V)
Résistance.....	ohm (Ω)
Quantité d'électricité.....	coulomb (C) – ampère-heure (Ah)
Capacité électrique.....	Farad (F)
Inductance électrique.....	henry (H)
Flux magnétique.....	weber (Wb) – maxwell (M)
Induction magnétique.....	tesla (T) – gauss (G)

Grandeurs optiques dérivées

Flux lumineux.....	lumen (lm)
Eclairement.....	lux (lx) – phot (ph)
Luminance.....	candela par mètre carré (cd/m^2)
Vergence des systèmes optiques.....	dioptrie (δ)

Grandeurs de la radioactivitéActivité nucléaire..... **curie (Ci)**Quantité de rayonnement..... **roentgen (R)****Multiples et sous-multiples décimaux**

Multiples		
Facteur de multiplication	Préfixe	Symbole
$10^{12} = 1\,000\,000\,000\,000$	téra	T
$10^9 = 1\,000\,000\,000$	giga	G
$10^6 = 1\,000\,000$	méga	M
$10^3 = 1\,000$	kilo	k
$10^2 = 100$	hecto	h
$10^1 = 10$	déca	da

Sous-multiples		
Facteur de multiplication	Préfixe	Symbole
$10^{-1} = 0,1$	déci	d
$10^{-2} = 0,01$	centi	c
$10^{-3} = 0,001$	milli	m
$10^{-6} = 0,000\,001$	micro	μ
$10^{-9} = 0,000\,000\,001$	nano	n
$10^{-12} = 0,000\,000\,000\,001$	pico	p
$10^{-15} = 0,000\,000\,000\,000\,001$	femto	f
$10^{-18} = 0,000\,000\,000\,000\,000\,001$	atto	a

Conversion des mesures françaises

- acre** : 1 acre = 4 047 m², 40,47 a, 4 840 sq.yd.
- ampère-heure** : 1 Ah = 3 600 C.
- ampère par mètre** : 1 A/m = (4π/1 000) oersted.
- angle droit** : 1 L = π/2 rad, 1,570 796 rad, 100 gr, 90°, 540', 32 400".
- angström** : 1 Å = 10⁻⁷ mm, 10⁻⁴ μ.
- are** : 1 a = 100 m², 0,02471 acre.
- atmosphère ou pression atmosphérique normale** : 1 atm = 101 325 Pa, 1,013250 bar (ou hpz), 760 mm Hg, 10 332,2 mm CE, 1,033228 kgf/cm² ou kg/cm², 14,696 psi.
- bar** : 1 bar = 100 000 Pa, 1 hpz, 1,0197 kgf/cm² ou kg/cm², 750,06 mm HG, 10 197 mm CE, 14,504 psi, 29,53 in.Hg.
- barrel** (pour raffinage) : 1 barrel = 0,15898 m³, 158, 984 l, 5,6145 cu.ft, 42 gal (USA), 39,97 gal (U.K.).
- barye** : 1 barye = 0,1 Pa, 1 dPa, 1 dyn/cm², 1 μbar.
- bel** : 1 dB = 0,115 Np.
- biot** : 1 Bi = 10 A.
- calorie** : 1 cal = 4,1855 J, 0,42686 kg.m, 10⁻⁶ th, 1 kcal = 3,967 Btu.
- calorie par heure** : 1 cal/h = 0,001163 W, 1 kcal/h = 1,163 W.
- calorie par seconde** : 1 cal/s = 4,1855 W, 0,4268 kg.m/s.
- carat** : 1 carat = 0,2 g, 2dg.
- cheval-heure** : 1 ch.h = 0,7355 kWh.
- cheval-vapeur** : 1 ch = 0,7355 kW, 75 kg.m/s, 0,987 HP.
- coulomb** : 1 C = 1/3 600 Ah, 10¹⁰/3,33563 Fr.
- degré d'angle** : 1° = π/180 rd, 1,111 gr, 60', 3 600 ".
- degré de température** : T°K = t°C + 273,16, t°C = $\frac{5}{9}(t^{\circ}\text{F} - 32)$
- degré Baumé** : si D est la densité du liquide et n le nombre de degrés Baumé, on a les 2 relations suivantes :
- pour un liquide moins dense que l'eau : $D = \frac{144,32}{134,32 + n}$
- pour un liquide plus dense que l'eau : $D = \frac{144,32}{144,32 - n}$
- dyne** : 1 dyn = 10⁻⁵ N, 10μN, 10⁻⁸sn, 10 nsn.
- électron-volt** : 1 eV = 1,59 x 10⁻¹⁹ J.
- erg** : 1 erg = 10⁻⁷ J, 0,1 μJ.
- franklin** : 1 Fr = 333,563 pC.
- gal** : 1 Gal = 0,01 m/s².
- gauss** : 1 G ou Ga = 0,1 mT.
- gilbert** : 1 gilbert = (10/4 π)A.
- grade** : 1 gr = (π/200) rad, 0,01508 rad, 0°54'0".
- grain** : 1 gr = 0,064799 g.
- gramme-force ou gramme-poids** : 1 gf ou gp (ou g) = 0,009806 N.
- gramme par centimètre carré** : 1 gf/cm² ou gp/cm² (ou g/cm²) = 98,0665 Pa, 10 mm CE, 0,736 mm Hg, 0,98066 mbar.
- gramme par centimètre cube** : 1 g/cm³ = 1 000 kg/m³, 1 kg/dm³ ou kg/l, 1 t/M³.
- hertz** : 1 Hz = 1 période par seconde.

heure : 1 h = 60 mn ou min, 3 600 s.

joule : 1 J = 0,0002778 W.h, 0,101972 kg.m, 0,23892 cal, 10^7 erg, 0,737609 ft.lb.

jour : 1 j = 24 h, 86400 s.

kilogramme : 1 kg = 2,20462 lb.

kilogramme par centimètre carré : $1 \text{ kgf/cm}^2 = 98065,5 \text{ Pa ou N/m}^2$, 0,980665 bar ou hpz, 0,967841 atm, 10 000 mm CE, 14,223 psi, 735,5576 mm Hg.

kilogramme par mètre cube : $1 \text{ kg/m}^3 = 0,001 \text{ g/cm}^3$.

kilogramme-force ou kilogramme-poids : 1 kgf ou kgp = 9,80665 N, 2,204623 lbf.

kilogrammètre : 1 kgm = 9,80665 J, 0,002724 Wh, 7,233 ft.lb.

kilogrammètre par seconde : $1 \text{ kgm/s} = 9,80665 \text{ W}$.

kilomètre par heure : $1 \text{ kgm/h} = 0,27777 \text{ m/s}$, 0,62137 mph.

litre : 1 l = 1 dm^3 , $1\,000 \text{ cm}^3$.

lux : 1 lx = 100 μph .

maxwell : 1 M (ou Mx) = 10 nWb.

mètre : 1 m = 1,09361 yd, 3,28083 ft, 39,37 in.

mètre carré : $1 \text{ m}^2 = 1\,550 \text{ sq.in}$, 10,7639 sq.ft, 1,19599 sq.yd.

mètre carré par seconde : $1 \text{ m}^2 / \text{s} = 10^6 \text{ cSt}$.

mètre cube : $1 \text{ m}^3 = 1\,000 \text{ dm}^3$ ou l, 35,3147 cu.ft, 1,30795 cu.yd, 28,368 bushel (USA), 27,496 bushel (UK), 6,290 barrel, 0,8828 shipping ton, 0,3531 registered ton.
 1 dm^3 ou l = 61,024 cu.in, 0,0353 cu.ft, 1,057 liq.quart (USA), 0,908 dry quart (USA), 0,8799 quart (UK).

mètre par seconde : $1 \text{ m/s} = 3,6 \text{ km/h}$.

mètre par seconde par seconde : $1 \text{ m/s}^2 = 100 \text{ Gal}$.

micron : $1 \mu = 0,001 \text{ mm}$, 10^{-6} m , 10^4 Å .

millimètre de colonne d'eau : 1 mm CE = 9,80665 Pa, 10^{-4} kg/cm^2 , 0,07361 mmHg.

millimètre de mercure : 1 mm Hg = 133,322 Pa, 13,59 mm CE, 1/760 atm, 1,357465 g/cm².

minute d'angle : $1' = 60''$, 0,01851 gr, 0,000290 rad.

minute de temps : 1 mn (ou min) = 60 s.

neper : 1 Np = 8,69 dB.

newton : 1 N = 0,001 sn, 1 msn, 10^5 dyn , 100 kdyn, 0,101971 kgf, 7,233 pdl, 0,2248 lbf.

nœud : 1 nœud = 15,43 m (1/120 de mille marin), 0,999361 knot (UK)
 correspond à 1 mille/h ou 0,514 m/s.

oersted : 1 oersted = $(1000/4\pi) \text{ A/m}$.

pascal : 1 Pa ou N/m² = 10 μbar , 10 baryes, 1 mpz, 0,0075 mm Hg, 0,10197 mm CE, 0,000145 psi, 0,004015 in.H₂O, 0,010197 g/cm².
 $1 \text{ daPa} = 0,10197 \text{ g/cm}^2$, 1 Mpa = 10 bar.

phot : 1 ph = 10^4 lx .

pièze : 1 pz = 10^3 Pa , 1 kPa, 10^4 baryes , 10,197 g/cm², 0,01 bar, 10 mbar, 101,97 mmCE, 7,5006 mm Hg.

poise : 1 Po = 0,1 Pl.

poiseuille : 1 Pl = 10 Po.

poncelet : 1 poncelet = 100 kg.m/s.

quintal : 1 q = 100 kg.

radian : 1 rd ou rad = $200/\pi$ ou 63,663 gr.

seconde d'angle : $1'' = 1/60'$, $1/3600^\circ$.
seconde de temps : $1\text{ s} = 1/60\text{ mn}$, $1/3600\text{ h}$.
spat : $1\text{ sp} = 4\pi\text{ sr}$.
stère : $1\text{ st} = 1\text{ m}^3$.
sthène : $1\text{ sn} = 1\,000\text{ N}$, 1 kN .
stilb : $1\text{ sb} = 10\,000\text{ cd/m}^2$.
stoke : $1\text{ St} = 1/10\,000\text{ m}^2/\text{s}$.
tesla : $1\text{ T} = 10\,000\text{ Gs}$.
thermie : $1\text{ th} = 1\,000\text{ kcal}$, 10^6 cal , $4,1855 \times 10^6\text{ J}$, $1,1626\text{ kW.h}$, $3\,967\text{ Btu}$.
tonne : $1\text{ t} = 1\,000\text{ kg}$, 10^6 g .
tonne par mètre cube : $1\text{ t/m}^3 = 1\,000\text{ kg/m}^3$, 1 g/cm^3 .
tonneau : $1\text{ tonneau} = 2,83168\text{ m}^3$, 1 registered ton .
tout par minute : $1\text{ tr/mn} = 2\pi/60$, $0,104719\text{ rd/s}$.
var : $1\text{ var} = 1\text{ VA}$.
watt : $1\text{ W} = 1\text{ J/s}$, 10^7 erg/s , $0,101972\text{ Kg.m/s}$, $0,86011\text{ kcal/h}$, $0,7376\text{ lb/s}$.
 $1\text{ kW} = 0,23892\text{ kcal/s}$, $1,3596\text{ ch}$, $1,341\text{ HP}$.
watt-heure : $1\text{ W.h} = 3\,600\text{ J}$, $367,098\text{ kg.m}$, $1\text{ kWh} = 860\text{ kcal}$, $1,359\text{ ch-h}$.
Weber : $1\text{ Wb} = 10^8\text{ M}$.

Conversion des mesures anglo-saxonnes

british thermal unit : $1\text{ Btu} = 1055,06\text{ J}$, $0,2521\text{ kcal}$. $1\text{ Btu/lb} = 0,55573\text{ kcal/kg}$.
 $1\text{ Btu/cu.ft} = 8,90195\text{ kcal/m}^3$.
bushel (UK) : $1\text{ bu (UK)} = 36,3677\text{ l}$, $1,284315\text{ cu.ft}$.
bushel (USA) : $1\text{ bu (USA)} = 35,2383\text{ l}$, $1,244430\text{ cu.ft}$.
cubic foot : $1\text{ cu.ft} = 28,317\text{ dm}^3\text{ ou l}$, $1\,728\text{ cu.in}$.
cubic foot per pound : $1\text{ cu.ft/lb} = 0,062428\text{ m}^3/\text{kg}$.
cubic inch : $1\text{ cu.in} = 16,387\text{ cm}^3$.
cubic inch per pound : $1\text{ cu.in/lb} = 36,137\text{ cm}^3/\text{kg}$.
cubic yard : $1\text{ cu.yd} = 0,764555\text{ m}^3$, 27 cu.ft , 43656 cu.in .
foot : $1\text{ ft} = 304,8\text{ mm}$, 12 in .
foot of water : $1\text{ ft.H}_2\text{O} = 2\,989\text{ Pa}$, $304,8\text{ mm CE}$, $12\text{ in. H}_2\text{O}$.
foot-pound : $1\text{ ft.lb} = 1,35573\text{ J}$, $0,138245\text{ kg.m}$.
foot-pound per second : $1\text{ ft.lb/sec} = 1,356\text{ W}$.
gallon (UK) : $1\text{ gal (UK)} = 4,54596\text{ dm}^3\text{ ou l}$, $277,41\text{ cu.in}$, $1,201\text{ gal (USA)}$, 4 quart (UK) ,
 8 pt (USA) .
gallon (USA) : $1\text{ gal (USA)} = 3,78533\text{ dm}^3\text{ ou l}$, 231 cu.in , $0,8327\text{ gal (UK)}$, 4 liq.quart (USA) ,
 8 liq.pt (USA) .
horse-power : $1\text{ HP} = 0,7457\text{ kW}$, $1,0139\text{ ch}$.
horse-power-hour : $1\text{ HP-h} = 2\,684,5\text{ kJ}$, $2\,544,4\text{ B.t.u}$.
hundredweight : $1\text{ cwt} = 50,802\text{ kg}$, 112 lb , $1/20\text{ ton ou long ton}$.
short hundredweight : $1\text{ sh.cwt} = 45,359\text{ kg}$, 100 lb , $1/20\text{ sh.ton}$.
inch (pluriel : inches) : $1\text{ in} = 25,4\text{ mm}$.
inch of water : $1\text{ in H}_2\text{O} = 289,089\text{ Pa}$.

inch of mercury : 1 in Hg = 3 386,39 Pa.

knot (UK) : 1 kn (UK) = 1 nautical mile /h, 1,853 184 Km/h, 0,514 772 m/s, 1,000 639 nœud.

mile (nautical UK) : 1 mile = 1 853,184 m, 1,000 630 mille marin international, 6 080 ft.

mile (statute) : 1 mile = 1 609,344 m, 1 760 yd.

mile per hour : 1 m.p.h. = 1,609 344 Km/h.

mile per gallon : 1 m.p.g. (USA) = 235,2 l/100km. 1 m.p.g. (UK) = 282,5 l/100km.

mille (marin, international) : 1 mille = 1 852 m, 0,999 4 nautical mile UK.

ounce : 1 oz = 28,349 g.

fluid ounce (UK) : 1 fl.oz (UK) = 28,412 cm³.

fluid ounce (USA) : 1 fl.oz (USA) = 29,573 cm³.

pint (UK) : 1 pt (UK) = 0,568 l, 34,676 cu.in.

liquid pint (USA) : 1 liq.pt. (USA) = 0,473 l, 28,874 cu.in.

pound : 1 lb = 453,592 g, 16 oz.

pound-force : 1 lbf = 4,448 22 N, 453,6 gf, 32,174 pdl.

pound per cubic foot : 1 lb/cu.ft. = 16,018 kg/m³.

pound (force) per square inch : 1 lbf/sq.in. ou **psi** = 0,068 947 bar.

poundal : 1 pdl = 0,138 255 N.

quart (UK) : 1 quart (UK) = 1,136 49 l, 69,352 7 cu.in.

dry quart (USA) : 1 dry quart (USA) = 1,101 l, 67,199 cu.in.

liquid quart (USA) : 1 liq.quart (USA) = 0,946 3 l, 57,746 cu.in, 2 liq.pints.

square foot : 1 sq.ft. = 929,031 cm². 144 sq.in.

square inch : 1 sq.in. = 645,161 mm², 0,069 444 sq.ft.

square yard : 1 sq.yd. = 0,836 m², 9 sq.ft., 1 296 sq.in.

ton (UK) ou long ton (USA) : 1 ton = 1,016 05 t, 2 240 lb.

ton (USA) ou short ton (UK) : 1 sh.ton = 0,907 185 t, 2 000 lb.

registered ton : 1 registered ton = 2,831 m³, 1 **tonneau**, 100 cu.ft.

shipping ton : 1 shipping ton = 1,132 m³, 40 cu.ft.

ton of refrigeration : 1 ton of refrigeration = 0,84 fg/s, 3,516 kW.

british commercial ton of refrigeration : 1 brit. comm. ton of ref. = 0,927 726 fg/s, 3,883 kW.

tonneau : 1 tonneau = 2,831 m³, 1 registered ton.

yard : 1 yd = 0,914 4 m, 3 ft, 36 in.

Algèbre et géométrie

Rappels

Rapports et proportions

▪ Si : $\frac{a}{b} = \frac{c}{d}$

on peut écrire : $\frac{a}{c} = \frac{b}{d}$; $\frac{a+b}{b} = \frac{c+d}{d}$; $\frac{a-b}{b} = \frac{c-d}{d}$; $\frac{a+b}{a-b} = \frac{c+d}{c-d}$

▪ Si : $\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{e}{f} = \dots\dots\dots$

on peut écrire $\frac{a}{b} = \frac{c}{d} = \frac{e}{f} = \frac{a+c+e+\dots\dots}{b+d+f+\dots\dots} = \frac{ra+sc+te+\dots}{rb+sd+tf+\dots\dots}$

Identités remarquables

$$(a+b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$$

$$(a-b)^2 = a^2 - 2ab + b^2$$

$$(a+b)(a-b) = a^2 - b^2$$

$$a^2 + b^2 = \frac{(a+b)^2 + (a-b)^2}{2}$$

$$ab = \frac{(a+b)^2 - (a-b)^2}{4}$$

$$(a+b)^3 = a^3 + 3a^2b + 3ab^2 + b^3$$

$$(a-b)^3 = a^3 - 3a^2b + 3ab^2 - b^3$$

$$a^3 + b^3 = (a+b)(a^2 - ab + b^2)$$

$$a^3 - b^3 = (a-b)(a^2 + ab + b^2)$$

Logarithmes

On appelle logarithme d'un nombre A, dans le système de base a, un nombre x tel que l'on ait : $a^x = A$, et que l'on écrit : $x = \log_a A$.

Si on prend comme base 10, on a les logarithmes décimaux (le plus courants) et l'on écrit $x = \log A$.

Si on prend comme base e = 2,71828, on a les logarithmes népériens (ou logarithmes naturels) et l'on écrit : $x = \text{Log } A$.

Remarques :

- les nombres négatifs n'ont pas de logarithmes puisque a^x ne peut être négatif ;
- dans tout système de logarithmes, le logarithme de 1 est 0 et le logarithme de la base est 1.

Bases de calculs : logarithme décimaux

$$1. \log_a (A.B.C) = \log_a A + \log_a B + \log_a C$$

$$\log_a \left(\frac{A}{B} \right) = \log_a A - \log_a B$$

$$\log_a A^m = m \log_a A$$

2. On appelle caractéristique la partie entière du logarithme. Elle peut être positive, négative ou nulle.

$$\log 100 = \log 10^2 = 2$$

$$\log \frac{1}{10} = \log 10^{-1} = -1$$

$$\log 1 = \log 10^0 = 0$$

3 . On appelle mantisse la partie décimale du logarithme : $\log 2 = 0,30103$

La mantisse est toujours positive.

Dans les tables de logarithmes décimaux, seules les valeurs des mantisses sont données. La raison est que les nombres formés des mêmes chiffres significatifs ont même mantisse :

$$\log 200 = \log (2 \times 10^2) = \log 2 + 2 \log 10 = 2,30103$$

$$\log 20 = \log (2 \times 10^1) = \log 2 + \log 10 = 1,30103$$

$$\log 2 = \log (2 \times 10^0) = \log 2 + \log 1 = 0,30103$$

$$\log 0,2 = \log (2 \times 10^{-1}) = \log 2 - \log 10 = \overline{1},30103$$

La caractéristique du logarithme d'un nombre supérieur à 1 est positive et égale au nombre de chiffres de la partie entière du nombre moins 1 (ex : $\log 1\,792 = 3,25334$)

La caractéristique du logarithme d'un nombre inférieur à 1 est négative et égale au rang de son premier chiffre significatif après la virgule, ou encore à son nombre de zéros (ex : $\log 0,1792 = \overline{1},25334$; $\log 0,01792 = \overline{2},25334$)

Valeurs calculées

n	n ²	n ³	\sqrt{n}	$\sqrt[3]{n}$
1	1	1	1	1
2	4	8	1,4142	1,2599
3	9	27	1,7321	1,4422
4	16	64	2	1,5874
5	25	125	2,2361	1,7100
6	36	216	2,4495	1,8171
7	49	343	2,6458	1,9129
8	64	512	2,8284	2
9	81	729	3	2,0801
10	100	1000	3,1623	2,1544
20	400	8000	4,4721	2,7144
30	900	27000	5,4772	3,1072
40	1600	64000	6,3246	3,4200
50	2500	125000	7,0711	3,6840
60	3600	216000	7,7460	3,9149
70	4900	343000	8,3666	4,1213
80	6400	512000	8,9443	4,3089
90	8100	729000	9,4868	4,4814
100	10000	1000000	10	4,6416
200	40000	8000000	14,1421	5,8480
300	90000	27000000	17,3205	6,6943
400	160000	64000000	20	7,3681
500	250000	125000000	22,3607	7,9370
600	360000	216000000	24,4949	8,4343
700	490000	343000000	26,4575	8,8790
800	640000	512000000	28,2843	9,2832
900	810000	729000000	30	9,6549
1000	1000000	1000000000	31,6228	10

Pour des valeurs intermédiaires : décomposer le chiffre en deux et appliquer la formule suivante
 $(a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$

Valeurs de π

Facteur	Valeur	Facteur	Valeur	Facteur	Valeur
π	3,141592	$\frac{\pi}{2}$	1,570196	$\frac{\pi}{6}$	0,523598
2π	6,283185	$\frac{\pi}{3}$	1,047197	$\frac{\pi}{8}$	0,392699
3π	9,424777	$\frac{\pi}{4}$	0,785398	π^2	9,869604
4π	12,566370	$\frac{\pi}{5}$	0,628318	π^3	31,006276

Valeurs de g , accélération de la pesanteur

$g = 9,80978$ à Paris, $9,8323$ au Pôle, $9,7804$ à l'Equateur

$g^2 = 96,17038$

$1/g = 0,101971$, $1/g^2 = 0,050985$

Résolution des équations

Equation du 1^{er} degré

A une inconnue

$$ax + b = c : x = \frac{c - b}{a}$$

A deux inconnues

$$ax + by = c$$

$$a_1x + b_1y = c_1$$

$$x = \frac{cb_1 - bc_1}{ab_1 - a_1b} \quad y = \frac{ac_1 - a_1c}{ab_1 - a_1b}$$

Equation du 2^{ème} degré

A une inconnue

$$ax^2 + bx + c = 0$$

1. $b^2 - 4ac > 0$: il y a deux racines distinctes :

$$x' = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x'' = \frac{-b - \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

2. $b^2 - 4ac = 0$: il y a une seule racine :

$$x' \text{ ou } x'' = \frac{-b}{2a}$$

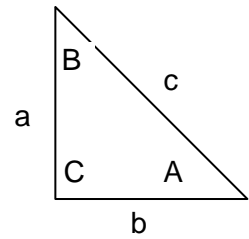
3. $b^2 - 4ac < 0$: pas de racine.

Trigonométrie

Bases

$$\sin A = \frac{\text{côté opposé}}{\text{hypothénuse}} = \frac{a}{c} \quad \cos A = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{hypothénuse}} = \frac{b}{c}$$

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sin A}{\cos A} = \frac{\text{côté opposé}}{\text{côté adjacent}} = \frac{a}{b} \quad \operatorname{cotg} A = \frac{1}{\operatorname{tg} A} = \frac{\text{côté adjacent}}{\text{côté opposé}} = \frac{b}{a}$$



Formules diverses

$$\sin (A + B) = \sin A \cos B + \sin B \cos A$$

$$\sin (A - B) = \sin A \cos B - \sin B \cos A$$

$$\cos (A + B) = \cos A \cos B - \sin A \sin B$$

$$\cos (A - B) = \cos A \cos B + \sin A \sin B$$

$$\operatorname{tg} (A + B) = \frac{\operatorname{tg} A + \operatorname{tg} B}{1 - \operatorname{tg} A \operatorname{tg} B}$$

$$\operatorname{cotg} (A + B) = \frac{\operatorname{cotg} A \operatorname{cotg} B - 1}{\operatorname{cotg} A + \operatorname{cotg} B}$$

$$\operatorname{tg} (A - B) = \frac{\operatorname{tg} A - \operatorname{tg} B}{1 + \operatorname{tg} A \operatorname{tg} B}$$

$$\operatorname{cotg} (A - B) = \frac{\operatorname{cotg} A \operatorname{cotg} B + 1}{\operatorname{cotg} A - \operatorname{cotg} B}$$

$$\cos^2 A + \sin^2 A = 1 \quad \sin^2 A = \frac{\operatorname{tg}^2 A}{1 + \operatorname{tg}^2 A}$$

$$\cos^2 A = \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 A}$$

Valeurs usuelles

Angle	30°	45°	60°	90°
sin	0,5	0,70711	0,86457	1
cos	0,86603	0,70711	0,5	0
tg	0,57735	1	1,73205	0
cotg	1,73205	1	0,57735	*

Degrés, grades et radians

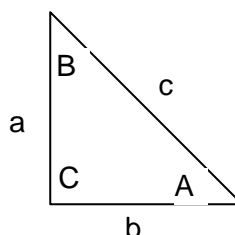
$$360^\circ = 2 \pi = 400 \text{ gr}$$

Formules de géométrie

Résolution des triangles

Triangle rectangle

Soit A, B et C les angles
a, b et c les côtés respectivement opposés
S la surface du triangle



$$B = 90^\circ - A$$

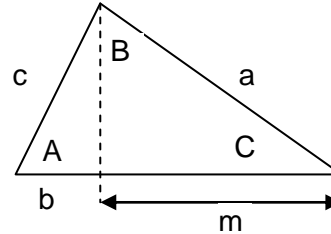
$$b = a \cotg A \quad a = b \tg A \quad a = c \sin A \quad c = \frac{b}{\cos A} \quad b = c \cos A \quad a = c \cos B$$

$$S = \frac{a^2}{2} \cotg A \quad S = \frac{b^2}{2} \tg A \quad S = \frac{c^2}{2} \sin \frac{b}{\cos A} \quad i = \frac{ab}{2}$$

$$b = \sqrt{c^2 - a^2} \quad c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Triangle quelconque

Soit A, B et C les angles
a, b et c les côtés respectivement opposés
S la surface du triangle



$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A \quad b^2 = a^2 + c^2 - 2ac \cos B \quad c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

$$A = 180^\circ - (B + C) \quad B = 180^\circ - (A + C) \quad C = 180^\circ - (A + B)$$

$$c = a \frac{\sin C}{\sin A} = b \frac{\sin C}{\sin B} \quad b = a \frac{\sin B}{\sin A} = c \frac{\sin B}{\sin C} \quad a = b \frac{\sin A}{\sin B} = c \frac{\sin A}{\sin C}$$

$$S = \frac{ab}{2} \sin C = \frac{a^2}{2} \times \frac{\sin B \times \sin C}{\sin A}$$

Note : connaissant les trois côtés d'un triangle quelconque, on peut ramener la solution à celle de deux triangles rectangles. Le côté m d'un des deux triangles a pour valeur :

$$m = \frac{a^2 + b^2 + c^2}{2b} \quad \text{Le côté de l'autre triangle devient : } b - m$$

Périmètres, surfaces, volumes

Périmètre

Circonférence de cercle : Rayon R, diamètre D, longueur de la circonférence C
 $C = 2 \pi R = \pi D$

Secteur du cercle : périmètre p, angle a (en degrés)

$$p = \frac{\pi R a}{180} = R a \times 0,01745329 \quad a = \frac{180 p}{\pi R} = \frac{p}{R} \times 57,295779$$

Segment du cercle : corde c, flèche f, apothème h

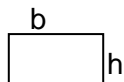
$$e = R \sin \frac{a}{2} = \sqrt{R^2 - h^2} = \sqrt{2 R f - f^2}$$

Surface

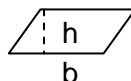
$$\text{Surface du cercle : } \pi R^2 = \frac{\pi}{4} D^2 = 0,785 \, 398 D^2$$

$$\text{Surface du secteur} = \frac{pR}{2}$$

$$\text{Surface du rectangle} \quad S = b h$$



$$\text{Surface du parallélogramme} \quad S = b h$$



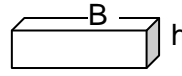
Surface du tronc de cône circulaire à bases parallèles : aire latérale = $\pi (R + r) l$

Surface de la sphère : $S = 4 \pi R^2 = \pi D^2$

Volume

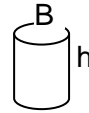
Volume du parallélépipède rectangle : $V = B \times h$

Volume du prisme droit ou oblique : $V = B \times h$



Volume du cylindre droit : $V = \pi R^2 h = B h$

Volume du cylindre creux : $V = \pi (R^2 - r^2) h$



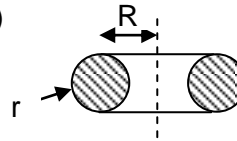
Volume du tronc de cône : $V = \frac{\pi h}{3} (R^2 + r^2 - Rr)$

Volume de la sphère : $V = \frac{4}{3} \pi R^3 = 4,189 R^3$



Volume de la sphère creuse : $V = \frac{4}{3} \pi (R^3 - r^3)$

Volume du tore de révolution : $V = 2 \pi^2 R r^2$



Notions fondamentales d'électricité

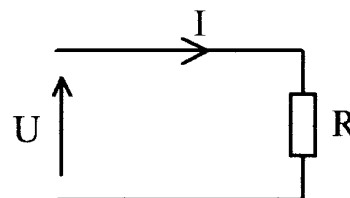
Tensions, courant, résistance

Le courant (I) dépend de la différence de potentiel (U) et de la résistance (R).

Loi d'Ohm :

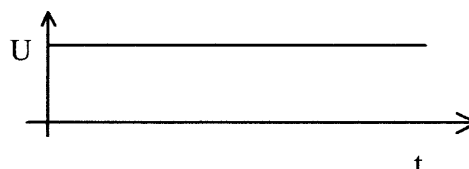
$$\text{Soit } I = \frac{U}{R} \text{ ou } U = RI$$

Différence de poteNtiel = tensioN U en Volt (V)
 Courant I en Ampères (A)
 Résistance R en Ohm (Ω)

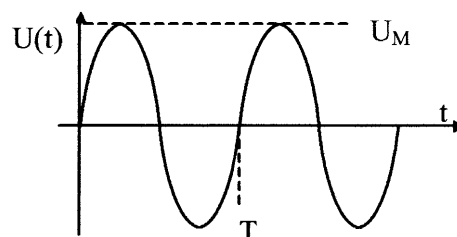


Courant continu, alternatif

Continu



Alternatif



U_M est l'amplitude en V

T est la période

$$u(t) = U_M \sin \omega t \quad \text{avec } \omega = 2\pi \cdot f$$

f est la fréquence $f = 1/T$

$$\text{A chaque fois que } t = T \quad \omega t = \omega T = 2\pi \cdot f \cdot T = 2\pi \rightarrow u(T) = 0$$

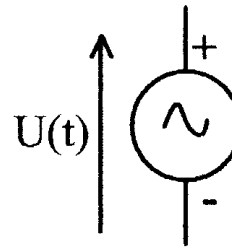
$$\text{Réseau EDF : } T = 20 \text{ ms} \rightarrow f = 50 \text{ Hz}$$

Schémas d'alimentation

Source de tension continue (pile, batterie...)



Source de tension alternative (secteur, onduleur...)



Puissance électrique sur résistance

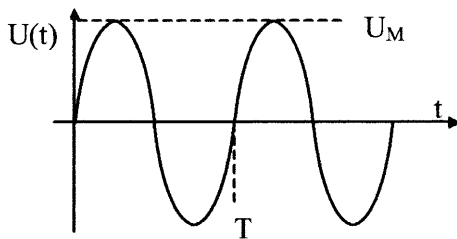
En courant continu

$$P = UI \text{ en Watt (W) } \rightarrow P = R.I^2 \rightarrow P = \frac{U^2}{R}$$

\Rightarrow La puissance dissipée provoque de la chaleur (Effet Joule).

En courant alternatif

On parle de « valeur efficace » de la tension.



$u(t)$ a pour valeur efficace $U = \frac{U_M}{\sqrt{2}}$, c'est-à-dire qu'elle provoque le même échauffement dans une résistance qu'une tension continue de valeur $U = \frac{U_M}{\sqrt{2}}$

Réseau EDF domestique : $U = 230 \text{ V}$ ($U_M = 325 \text{ V}$)

Idem pour le courant alternatif $I = \frac{I_M}{\sqrt{2}}$ est la valeur efficace du courant d'amplitude I_M

$$P = U.I$$

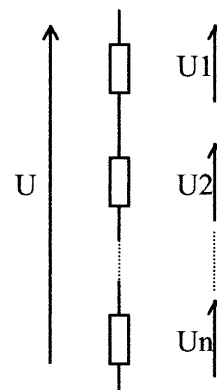
$$P = R.I^2$$

$$P = \frac{U^2}{R}$$

Lois et outils

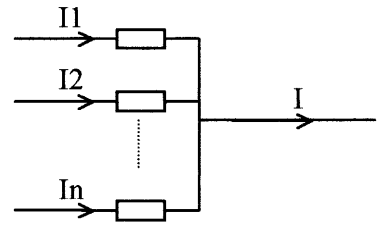
Lois des mailles

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_N$$



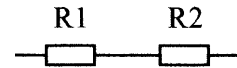
Lois des Noeuds

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$



Résistances en série

Résistance en série : $R = R_1 + R_2$

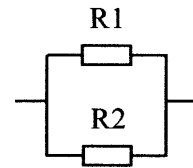


Résistances en parallèle

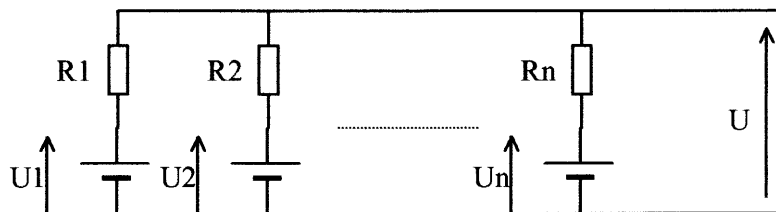
$$I_1 = \frac{U}{R_1} \quad I_2 = \frac{U}{R_2} \quad I = I_1 + I_2$$

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \cdot U$$

$$\rightarrow U = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot I \quad \rightarrow U = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot I$$



Théorème de Milleman



$$U = \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}}$$

Définitions et lois générales en électricité

Grandeur	S.	Définition	Unité	S.
Tension	U	La tension électrique est la circulation du champ électrique le long d'un circuit. elle est souvent confondue avec la différence de potentiel électrique entre deux points d'un circuit électrique, car les deux notions coïncident en régime stationnaire.	Volt	V
Différence de potentiel	ddp	La différence de potentiel électrique entre deux points d'un circuit permet de calculer la variation d'énergie potentielle d'une charge électrique ou de trouver plusieurs tensions inconnues dans un circuit électrique ou électronique.	Volt	V
Intensité	I	Les charges électriques se déplacent dans un circuit électrique comme un fluide (air, eau) dans un tuyau. Le débit représente la quantité de fluide qui passe dans une section du tuyau pendant l'unité de temps. de même, l'intensité du courant représente le débit des charges électriques en un point du circuit (dans une section du conducteur)	Ampère	A
Résistance	R	Grandeur caractérisant la "force" avec laquelle le conducteur s'oppose au passage du courant. Elle s'exprime en ohms La résistance r d'un conducteur ohmique est le quotient de la tension u entre ses bornes par l'intensité du courant i qui le traverse : $r = u/i$.	Ohm	Ω
Capacité	C	La capacité représente la quantité de charge électrique stockée pour un potentiel électrique donné. Elle est définie comme étant la somme des charges électriques d'un élément divisée par le potentiel de cet élément : $c = q/u$	Farad	F
Inductance	L	Tout courant parcourant un circuit crée un champ magnétique à travers la section qu'il entoure. L'inductance de ce circuit est le quotient du flux de ce champ magnétique par l'intensité du courant traversant le circuit L'unité de l'inductance est le henry (h). En toute rigueur ce terme n'a d'intérêt que pour les situations dans lesquelles le flux est proportionnel au courant.	HenNry	H
Impédance	Z	L'impédance électrique mesure l'opposition d'un circuit électrique au passage d'un courant alternatif sinusoïdal. La définition d'impédance est une généralisation de la loi d'ohm dans l'étude des circuits en courant alternatif.	Ohm	Ω
Quantité d'électricité ou charge électrique	Q	La charge électrique est une propriété fondamentale de la matière qui lui permet d'interagir par le biais de champs électromagnétiques. La force résultant de cette interaction produit un mouvement de matière chargée. Le courant électrique. Un coulomb est la quantité d'électricité traversant une section d'un conducteur parcouru par un courant d'intensité de 1 ampère pendant 1 seconde ($1\text{ c} = 1\text{ a}\cdot\text{s}$)	Coulomb	C
Champ électrique	E	Grandeur vectorielle e , à l'origine des forces électriques (force de coulomb). unité : volt par mètre ($\text{v}\cdot\text{m}^{-1}$). Le champ électrique est une notion qui remonte aux travaux de Coulomb (1785), C'est le champ de force associé à une charge électrique unité. Il dérive du potentiel électrique. Le champ électrique est couplé au champ magnétique par les équations de Maxwell et de Lorentz (champ électromagnétique).	Volt/mètre	$\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$
Résistivité	ρ	La résistivité d'un matériau, généralement représente sa capacité à s'opposer à la circulation du courant électrique. Elle correspond à la résistance d'un tronçon de matériau de 1 m de longueur et de 1 m^2 de section et est exprimée en ohm-mètre.	Ohm.mètre	$\Omega\cdot\text{m}$
Conductance	G	La conductance est une représentation de cette capacité à laisser passer le courant. elle est donc l'inverse de la	SiemeNs	

		résistance : conductance = $1 / r$		
Induction	B	L'induction électromagnétique, aussi appelée <i>induction magnétique</i> , est un phénomène physique produisant une différence de potentiel électrique dans un conducteur électrique soumis à un champ magnétique variable. Cette différence de potentiel peut engendrer un courant électrique dans le conducteur. Ce phénomène est notamment utilisé dans les s électriques, les bobines, ou encore les plaques à induction grâce aux courants de foucault.	Tesla	T
Flux magnétique	Φ	Le flux magnétique ou flux d'induction magnétique, souvent noté Φ , est une grandeur physique mesurable caractérisant l'intensité et la répartition spatiale du champ magnétique. Cette grandeur est égale au x du champ magnétique à travers une surface orientée.	Weber	Wb
Fréquence		En physique, la fréquence désigne en général la mesure du nombre de fois qu'un phénomène périodique se reproduit par unité de temps	Hertz	Hz
Travail	W	Le travail d'une force est l'énergie fournie par cette force lorsque son point d'application se déplace. Il est responsable de la variation de l'énergie cinétique du système qui subit cette force.	Joule	J
Energie	W	L'énergie est la capacité d'un système à produire un travail entraînant un mouvement ou produisant par exemple de la lumière, de la chaleur ou de l'électricité. C'est une grandeur physique qui caractérise l'état d'un système et qui est d'une manière globale conservée au cours des transformations. l'énergie s'enprime en joules (dans le système international d'unités) ou souvent en kilowatt-heure (kw-h ou kwh).	Joule	J
Puissance	P	En physique, la puissance est la quantité d'énergie par unité de temps fournie par un système à un autre. La puissance correspond donc à un débit d'énergie.	Watt	W

Voir les formules page suivante

Loi d'Ohm	Tension	Résistance	Intensité	Cette formule ne s'applique qu'aun conducteurs passifs
	U	= R	x I	
	volt	ohm	ampère	

Puissance absorbée par un récepteur	Puissance	Tension	Intensité	
	P	= U	x I	
	watt	volt	Ampère	

Résistance	Résistance	Résistivité	Longueur / Surface	ρ : caractérise un matériau	
	R	= ρ	x L/S		
	Ohm	ohm.mètre	mètre/ mètre carré		
	Résistance	Résistance	Coef. T°	Températ.	R0 = résistance du matériau à zéro degré a = coefficient de température
	R	= R0	(1 + a	t)	
	ohm	ohm		degré	
	Pour le calcul des résistances en série ou en parallèle : voir la page précédente				

Capacité Couplage parallèle Couplage série	Capacité			Surface / distance	Constante ε0 : permittivité du vide = 8,85.10 ⁻¹² εr permittivité relative ou constante diélectrique du milieu isolant
	C	= ε0	x εr	x S/d	
	farad			Mèt. carré /mètre	
	C	= C1	+ C2	+ C3	
	1/C1	= 1/C2	+ 1/C3	+ 1/C4	W : énergie calorifique
	Energie	Résistance	Intensité	Temps	
	W	= R	x I ²	x t	
	joule	ohm	Amp. Carré	seconde	

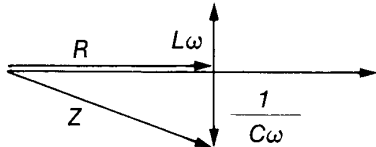
Energie de la force électrique	Energie	Tension	Quant. D'élec.	Force électrique appliquée à une charge Q passant d'un point A à un point B
	W	= VAB	x Q	
	joule	volt	coulomb	

Travail - Energie	Travail	Force	Déplacement	Déplacement dans le sens de la force	
	W	= F	x d		
	joule	newton	mètre		
	Travail	Moment-force	Rotation	Travail au cours d'une rotation	
	W	= M	x cos θ		
	joule	newton-mètre	radian		
	Moment-force	Force	Rayon	Moment d'une force par rapport à son axe de rotation	
	W	= F	x r		
	Newton-mètre	newton	mètre		
	Travail	Force	Déplacem.	Cos Angle	Déplacement suivant un angle α par rapport à la force
	W	= F	x d	x cosa	
	joule	newton	mètre	cos degrés	

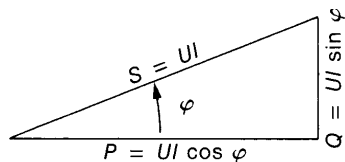
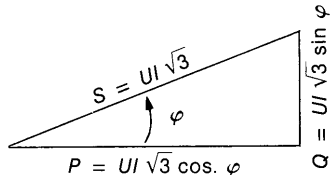
Puissance mécanique	Puissance	Travail / Temps	Travail fourni par seconde
	P	= W / t	
	watt	joule / seconde	

Travail de la force électrique	Energie	Tension	Quant. D'élec.	Force électrique appliquée à une charge Q passant d'un point A à un point B
	W	= VAB	x Q	
	joule	volt	coulomb	

Intensité du courant	Intensité	Charge / Temps	L'ampère est l'intensité d'un courant qui transporte 1 coulomb par seconde. 1 ampère heure = 3600 coulombs
	I	= Q / t	
	ampère	coulomb / seconde	

Energie absorbée par un récepteur	Energie	Tension	Charge	L'énergie absorbée par un récepteur est le travail des forces en coulombs		
	W	=	U x Q			
	joule		volt		coulomb	
Pulsation d'un courant	Pulsation		Fréquence			
	ω	=	2 x π x t			
	radian/sec				hertz	
Impédance	Impédance	Résistance	Réactance			
	Z	=	√R²+ X²			
	ohm	ohm	ohm			
Générateur Récepteur	Tension	F.é.m.	Résistance	Intensité	E : force électromotrice à vide	
	U	=	E - (r x I)			
	volt	volt	ohm	ampère		
	Tension	C.f.é.m.	Résistance	Intensité	E : force contre-électromotrice	
	U	=	E + (r x I)			
	volt	volt	ohm	ampère		
Circuit impédant	Tension	Impédance	Intensité			
	U	=	Z x I			
	joule	ohm	ampère			
	Tension	Inductance	Pulsation		Intensité	
	U	=	L x ω x I			
	volt	henry	radian/sec		ampère	
Condensateurs : Charge	Charge	Capacité	Tension	C : capacité ou facteur de proportionnalité		
	Q	=	C x U			
	coulomb	farad	volt			
	Capacité			Surface / distance	Constante εo : permittivité du vide = 8,85.10 ⁻¹² εr permittivité relative ou constante diélectrique du milieu isolant	
	C	=	εo x εr x S/d			
	farad			Mèt. carré /mètre		
	Couplage parallèle	C	=	C1 + C2 + C3		
	Couplage série	1/C1	=	1/C2 + 1/C3 + 1/C		
	Circuit capacitif pur	Impédance	Tension / Intensité	Capacité	Pulsation	
		Z	=	U/I	=	
ohm		volt/ampère	farad	radian/sec		
Inductance, capacité et résistance en série	Impédance	Résistance	Inductance Pulsation	Capacité Pulsation		
	Z	=	√R²+ (Lω - 1/Cω)²			
	ohm	ohm	henry radian/sec	farad radian/sec		
Circuit en résonance	LCω² = 1				Le courant est intense, la tension est très grande : résonance pour un montage série.	

Inductance, capacité et résistance en parallèle	Impédance	Résistance	Inductance Pulsation	Capacité Pulsation		
	$Z = \sqrt{(1/R)^2 + (1/L\omega - C\omega)^2}$					
	ohm	ohm	henry radian/sec	farad radian/sec		
Circuit bouchon	$\frac{1}{L\omega} = C\omega$				Le courant est nul quelle que soit la tension U (résonance pour montage parallèle)	
Inductance sans fer F.e.m. d'auto-induction Etablissement du courant	Flux	Inductance	Intensité	T : constante de temps du phénomène		
	ϕ	= L	x I			
	wéber	henry	ampère			
	$e = -L \times \frac{dI}{dt}$					
$\tau = L/R$						
Champ électrique	Champ		Quant. d'élec /Surface	Champ uniforme Constante ϵ_0 : permittivité du vide = $8,85 \cdot 10^{-12}$		
	$E = \frac{1}{\epsilon_0} \times \frac{Q}{S}$					
	Volt/mètre		Coulomb / m. carré			
Force de Laplace	Force	charge	Vitesse	Induction		
	$F = Q \times V \times B$					
	newton	coulomb	m / sec	tesla		
Loi de Laplace	Force	Induction	Intensité	Longueur	sin angle	L'intensité est maximum lorsque le courant et l'induction font un angle de 90°
	$F = B \times I \times L \times \sin \alpha$					
	newton	coulomb	m / sec	tesla	sin degré	
Flux magnétique	Flux	Induction	Surface	cos.angle	α : angle que fait le vecteur induction B avec la normale à la surface S	
	$\Phi = B \times S \times \cos \alpha$					
	wéber	testa	mètre carré	cos.degré		
Champ magnétique des courants	Force magnétomotric	Nb de spires	Intensité	L'unité de la force magnétomotrice est l'ampère mais on la désigne souvent par l'ampère-tour.		
	$F = N \times I$					
	ampère-tour	spires	ampère			
	Induction	Perméabilité	Excitation Magnétique	B_0 = induction dans le vide perméabilité dans le vide = $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$ μ = perméabilité relative du matériau		
	$B_0 = \mu_0 \times H$					
	testa		amp. Tour/mètre			
	$B = \mu \times B_0$					
	$B = \mu_0 \mu \times H$					
	Excitation magnétique	Force magnétomotrice / Longueur				
	$H = F / L$					
	ampère-tour/mètre		ampère-tour mètre			

Travail des forces électromagnétiques	Travail	Flux	Intensité	
	W	=	$\Phi \times I$	
	joule		wéber ampère	
F.e.m. induite	F.e.m.	Induction	Longueur	Vitesse
	E	=	$B \times L \times V$	$\Delta \Phi$: variation du flux
	volt	tesla	mètre	m / sec
	$E = - \Delta \Phi / \Delta t$			Δt : variation du temps
Condensateur : charge	Const. de temps	Résistance	Capacité	
	T	=	R / C	
	seconde	ohm	farad	
Energie du champ électrique	Energie	Capacité	Tension	Energie mise en réserve dans le condensateur
	W	=	$1/2 C \times U^2$	
	joule	farad	volt	
Puissance monophasée : Puissance active	Puissance	Tension	Intensité	cos ϕ : facteur de puissance en voltampère réactif (var) Q :
	P	=	$U \times I \times \cos \phi$	
	watt	volt	ampère	
Puissance réactive	Puissance	Tension	Intensité	
	Q	=	$U \times I \times \sin \phi$	
	var	volt	ampère	
Puissance apparente	Puissance	Tension	Intensité	
	S	=	$U \times I$	
	voltampère	volt	ampère	
Puissance triphasée : Puissance active	Puissance	Tension	Intensité	cos ϕ : facteur de puissance en voltampère réactif (var) Q :
	P	=	$U \times I \times \sqrt{3} \cos \phi$	
	watt	volt	ampère	
Puissance réactive	Puissance	Tension	Intensité	
	Q	=	$U \times I \times \sqrt{3} \sin \phi$	
	var	volt	ampère	
Puissance apparente	Puissance	Tension	Intensité	
	S	=	$U \times I \times \sqrt{3}$	
	voltampère	volt	ampère	
Moteur à courant continu	Couple	Coefficient	Flux	Intensité
	M	=	$K \times \Phi \times I$	
	newton-mètre		wéber	ampère
	F.é.m.	Coefficient	Flux	vitesse
	E	=	$K \times \Phi \times \Omega$	
	volt		wéber	radian / sec
	F.é.m.	Conducteur	Vitesse	Flux
	E	=	$N \times n \times \Phi$	
	volt	N	tours / seconde	wéber
	$K = (p / a) \times (N / 2 \pi)$ N : nombre de conducteurs actifs p : nombre de paires de pôles a : nombre de paires de voies d'enroulement			

Moteur asynchrone	F.é.m.	Fréquence	Spires	Flux	K = coefficient de Kapp = 2,22 N : nombre de conducteurs actifs g : glissement Ω : vitesse de rotation : vitesse de synchronisme vitesse de glissement
	E = K f x N x Φ				
	volt	coef. Hertz		wéber	
	Vitesse		Glissement	vitesse	
	Ω = (1 - g) x Ωs				
	rad/sec			radian / sec	
Ωb = g Ωs					

Loi de Coulomb

Deux charges électriques au repos q et q' s'attirent ou se repoussent mutuellement avec une force F :

- proportionnelle à chacune des charges Q et q'
- dirigée suivant la droite joignant les deux charges
- inversement proportionnelle au carré de la distance r qui les sépare



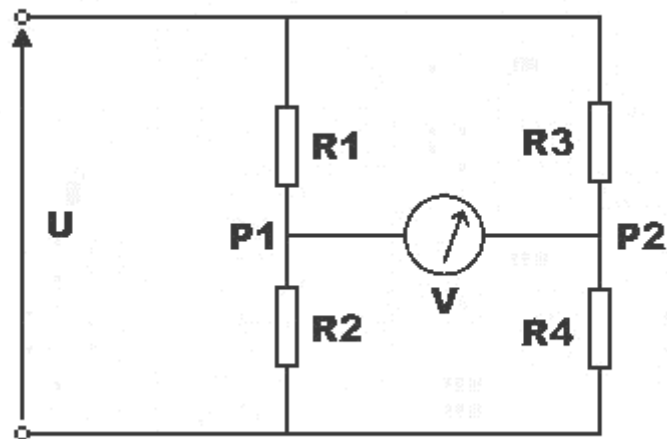
Lorsque les charges sont de même signe, le produit Qq' est positif et les forces d'interaction sont répulsives



Dans les deux cas, en définissant un vecteur unitaire \vec{u} dirigé de Q vers q' , on peut exprimer la force exercée par Q sur q' sous la forme vectorielle suivante :

$$\vec{F}_{q'} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q \cdot q'}{r^2} \vec{u} \quad \text{avec} \quad \epsilon_0 = \frac{1}{36 \cdot \pi \cdot 10^9} \text{ F.m}^{-1}$$

Pont de Wheatstone



Un courant s'établit dans les quatre résistances R1 à R4.
 En faisant varier la valeur des résistances, on peut faire en sorte qu'aucun courant ne passe.
 Pour cela il faut que la tension au point 1 soit identique à la tension au point point 2.
 Dans ce cas comme il n'y a pas de différence de potentiel entre P1 et P2, aucun courant ne pourra s'établir, Par conséquent, on dit que le pont est équilibré.

Calcul de la tension au point 1 appelée U1 et celle au point 2 appelée U2 en fonction de la tension U.

$$U_1 = U \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$$

$$U_2 = U \cdot R_4 / (R_3 + R_4)$$

En Remplaçant U1 et U2 par leur valeur, on obtient:

$$U \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = U \cdot R_4 / (R_3 + R_4)$$

Après simplifications, on obtient:

$$R_2 / (R_1 + R_2) = R_4 / (R_3 + R_4)$$

En appliquant le produit en croix, cela donne :

$$R_2 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_4 = R_4 \cdot R_1 + R_4 \cdot R_2$$

Après simplifications, on obtient:

$$R_2 \cdot R_3 = R_1 \cdot R_4$$

Si l'on connaît le valeur de 3 résistances sur 4 il sera facile de calculer la résistance inconnue.

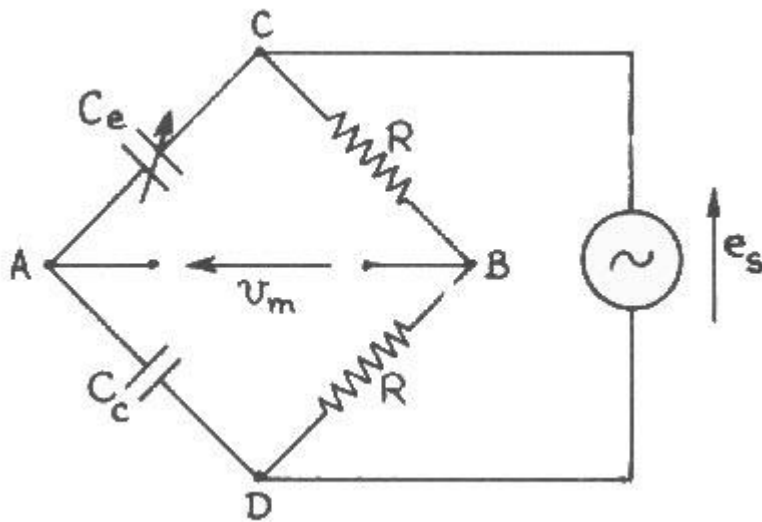
Dérivés du pont de Wheatstone.

Pour les condensateurs Pont de Sauty.

Pour les inductances Pont d'Anderson

Pour les Shunts, (très petites résistances) Pont de Kelvin.

Pont de Sauty



Le pont de **Sauty** est constitué de deux résistances, de deux condensateurs, d'un générateur de tension sinusoïdale et d'un détecteur ayant une grande impédance d'entrée.

R_1 et R_2 sont constituées par un potentiomètre dont le curseur est relié au détecteur, C_o est un condensateur de valeur connue et C_x est le condensateur de valeur inconnue.

Comme la résistance de fuite des condensateurs modernes est très grande l'impédance d'un condensateur est égale à $Z = 1 / C\omega$.

A l'équilibre du pont, c'est-à-dire quand $(V_A - V_B) = 0$, on peut écrire : $C_x = C_o.R_2 / R_1$

A l'équilibre d'un pont, les produits en croix des impédances sont égaux.

La sensibilité optimale d'un pont est obtenue quand les 4 impédances ont des valeurs voisines. Comme l'impédance des condensateurs est élevée, il faut utiliser un potentiomètre dont la résistance est assez grande.

Remarque :

Cette technique de mesure des capacités est obsolète. On utilise maintenant la méthode suivante : On charge le condensateur à mesurer avec un générateur de courant constant I_0 jusqu'à ce que la tension aux bornes du condensateur atteigne la valeur U . Comme $Q = CU = I_0 t$, la valeur de C est proportionnelle à la durée de la charge.

Utilisation :

Un click sur le bouton **[Nouveau Cx]** provoque le calcul d'une valeur aléatoire de C_x .

Avec le curseur de commande du potentiomètre rechercher l'équilibre du pont.

Pour parvenir à équilibrer le pont, il faut prendre une valeur convenable pour C_o .

Quand plusieurs valeurs de C_o sont possibles, il faut choisir celle qui permet l'équilibre avec la valeur du rapport R_2 / R_1 la plus voisine de 1.

Quand la tension aux bornes du détecteur devient inférieure à 1 V, le gain est multiplié par 10 (un point coloré s'allume alors sur l'image du détecteur).

Un click sur le bouton **[Réponse]** affiche la valeur de C_x

Pont de Kelvin

Le pont de Kelvin est une variante du classique pont de Wheatstone et permet de mesurer des faibles résistances comprises entre 0,0001 et 26,6 . Sa complexité additionnelle est rendue nécessaire par l'exigence d'éviter des erreurs dues aux résistances des fils le long des chemins de courants entre la résistance à mesurer et celle servant de référence.

Il comprend un réseau de résistances étalons commutables et deux potentiomètres permettant de déterminer le rapport résistance à mesurer/résistance étalon.

Deux échelles sont disponibles, le passage de l'une à l'autre s'effectuant au moyen de deux clés notées BR. Le schéma de principe est donné sur la figure ci-contre.

La mesure de la résistance inconnue X se fait au moyen de la méthode dite des 4 fils.

Les bornes C1 et C2 sont utilisées pour amener le courant traversant ladite résistance. Etant donné que les fils d'amenée ont une certaine résistance (r_1 et r_2), la tension aux bornes de X est prise par les deux bornes P1 et P2.

Ceci a pour but d'éviter d'introduire une erreur en mesurant une résistance qui serait la somme de X et de r_1+r_2 . Les courants qui traversent les deux potentiomètres R', c'est-à-dire I1 et I2, sont beaucoup plus petits que le courant de mesure I.

A l'équilibre, lorsque le courant traversant le galvanomètre G devient nul, la valeur de la résistance inconnue est donnée par:

$$X = R \cdot \frac{1 - k}{k}$$

Cage de Faraday

Quand une charge électrique s'accumule à l'extérieur d'une boîte métallique, les électrons dans le métal, qui constituent celle-ci, se déplacent pour annuler toute charge se trouvant à l'intérieur. Très tôt dans l'histoire de l'exploration de l'électricité, Michael Faraday a découvert que l'on ne peut pas faire passer une charge électrique à l'intérieur d'une boîte en métal ou d'un maillage métallique, appelé aussi cage de Faraday. Il n'y a donc rien qui passe à l'intérieur de la cage. C'est pourquoi on dit souvent, et c'est vrai, que l'un des endroits les plus sûrs au sol pendant un orage est l'intérieur d'une voiture. Et il en est de même dans un avion qui, lui, a en revanche besoin de protections. La plus grande crainte est que la surtension à la surface de l'avion ne perturbe les systèmes électriques essentiels au contrôle de l'avion. Bien que la décharge électrique ne puisse pénétrer la coque de l'avion, elle peut produire des effets électromagnétiques qui vont induire un courant, comme un . C'est pour cela que tous les avions sont équipés de dispositifs de protection contre la foudre qui déchargent toute accumulation électrique, la version moderne du paratonnerre qui se trouve sur les clochers.

Exemples d'application (à conciser)

- la L'automobile est une *cage de Faraday* courante, qui bien qu'imparfaite joue parfois bien son rôle. L'utilisation de matériaux composites non conducteurs ainsi que les ouvertures vitrées font que, suivant le modèle, l'automobile n'est que rarement une bonne *cage de Faraday*.
- Le boîtier métallique des ordinateurs constitue également une *cage de Faraday*. Si ce boîtier est non métallique (plastique), il est, pour répondre aux normes de radio-compatibilité, doublé aux endroits stratégiques, d'une fine feuille métallique reliée à la masse électrique de la machine.
- En général, beaucoup d'appareils électroménagers sont équipés de *blindage internes* formant des cages de Faraday au moins pour les parties sensibles. Bien souvent pour des impératifs de coûts de construction, les feuilles métalliques de blindage sont remplacées par une couche d'un matériau conducteur appliqué par projection sur l'intérieur de la carrosserie faite de matériaux isolants. Exemple : un four à micro-ondes est composé d'une cage de Faraday dans laquelle on place les aliments à chauffer, et la porte est munie d'un grillage assez fin pour retenir les ondes et assez grand pour permettre de voir à l'intérieur. Cela du moins en théorie, car en pratique des tests réalisés avec des appareils de mesure de rayonnements hautes fréquences mettent en évidence des fuites sur de nombreux modèles actuellement commercialisés.^[réf. nécessaire] Ces fuites peuvent notamment affecter

qualité des réseaux Wi-Fi ; il n'est pas rare d'observer des déconnexions du Wi-Fi — voire des pertes de signal — lorsqu'un four à micro-ondes est mis en fonctionnement, les fréquences utilisées étant sensiblement les mêmes.

- Les appareils d'IRM sont entourés d'une cage de Faraday pour isoler la pièce des ondes pouvant interférer avec les ondes de radiofréquence émises par le générateur d'ondes radio.
- Les équipements d'électrophysiologie sont toujours entourés d'une cage de Faraday, pour maintenir le bruit parasite faible, augmentant ainsi le rapport signal sur bruit.
- Les maisons individuelles sont parfois munies d'une cage de Faraday ce qui permet de protéger tous ceux qui sont à l'intérieur. Cette protection des rayonnements extérieurs ne permet cependant pas aux champs électromagnétiques générés à l'intérieur de s'évacuer normalement.

Cinquième partie

Matériels courants

	Page
Moteurs.....	351
Appareils complémentaires aux moteurs.....	385
Protections.....	396
Production et transformation d'électricité.....	413
Appareillage électrique.....	423
Equipements de commande.....	442
Composants électroniques.....	498
Capteurs.....	519
Supports.....	556

Moteurs

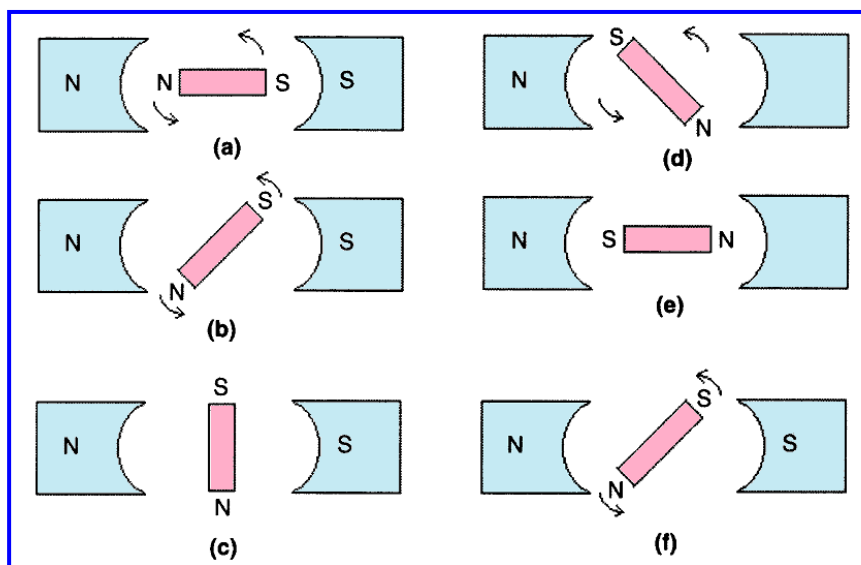
	Page
Moteurs à courant continu.....	352
Moteurs asynchrones - généralités.....	357
Moteurs asynchrones triphasés à cage.....	361
Moteurs asynchrones triphasés à rotor bobiné.....	365
Moteurs asynchrones à double cage.....	368
Moteurs asynchrones monophasés	369
Moteurs asynchrones diphasés.....	371
Moteurs synchrones.....	372
Modes de freinage des moteurs.....	374
Moteurs brushless.....	378
Fixation des moteurs.....	382
Remarques maintenance.....	383

Moteurs à courant continu

Principe

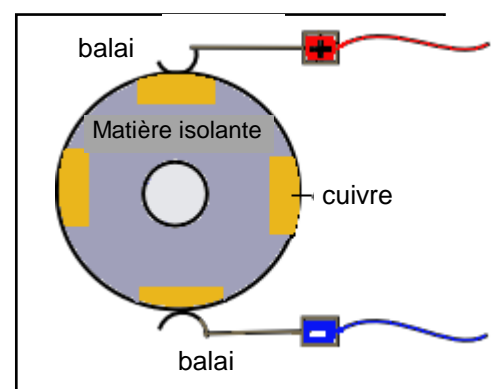
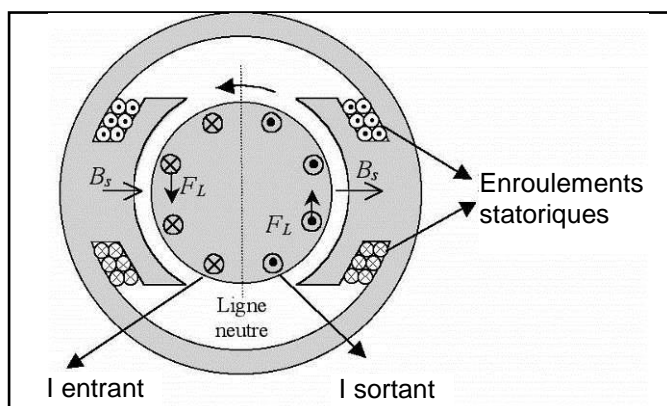
Le fonctionnement d'un moteur repose sur le fait qu'un conducteur porteur de courant placé dans un champ magnétique subit une force.

Voyons le cas d'un moteur à courant continu simple, équipé d'une bobine porteuse de courant placée entre deux aimants permanents. La bobine se comporte comme un aimant droit. Lorsque le courant commence à passer les lignes de force du champ magnétique de la bobine réagissent avec les lignes de force de l'aimant permanent. La force d'attraction et de répulsion entre les deux champs provoque le mouvement de la bobine. La bobine tourne jusqu'à atteindre un angle de 180° (a \rightarrow d) ; les pôles opposés se retrouvent alors face à face (e) annulant ainsi toute force d'attraction ou de répulsion. Les balais du collecteur inverse la polarité de l'alimentation continue reliée à la bobine, ce qui provoque un changement de direction du champ magnétique et entraîne une nouvelle rotation de 180° de la bobine (f), etc.



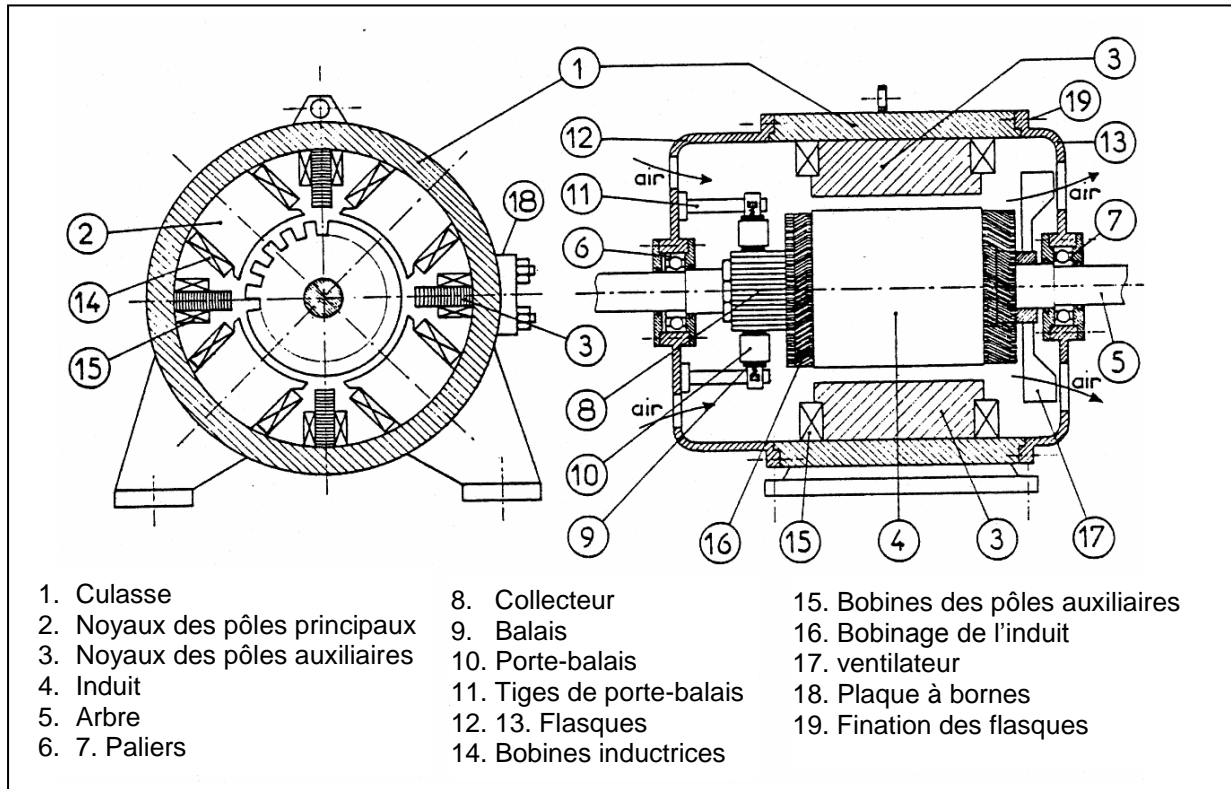
Une machine électrique à courant continu est constituée :

- d'un stator qui est à l'origine de la circulation d'un flux magnétique longitudinal fixe créé soit par des enroulements statoriques (bobinage) soit par des aimants permanents. Il est aussi appelé « inducteur » en référence au fonctionnement en génératrice de cette machine.
- d'un rotor bobiné relié à un collecteur rotatif inversant la polarité de chaque enroulement rotorique au moins une fois par tour de façon à faire circuler un flux magnétique transversal en quadrature avec le flux statorique. Les enroulements rotoriques sont aussi appelés enroulements d'induits, ou communément « induit » en référence au fonctionnement en génératrice de cette machine.



Constitution

Comme toute machine d'induction, le moteur à courant continu est constitué d'une partie magnétique, d'une partie électrique et d'une partie mécanique.



Partie magnétique

La partie magnétique est destinée à créer un champ magnétique radial et à canaliser le flux dans la partie tournante qui est l'induit.

Le circuit magnétique comprend :

- une partie fixe constituée par la carcasse du moteur sur laquelle sont fixés les noyaux avec leur épanouissement polaire ;
- une partie mobile qui est l'induit.

Entre l'induit et les épanouissements polaires il y a un entrefer aussi petit que possible.

Noyaux polaires

Ils peuvent être massifs mais ils sont généralement feuilletés. Souvent les tôles utilisées sont en acier au silicium à 3%, isolées entre elles par oxydation naturelle. Les épanouissements polaires sont découpés en même temps que les noyaux.

Carcasse

Elle assure à la fois des fonctions magnétiques et mécaniques. On utilise le plus souvent la forme circulaire cuirassée.

Induit

Il supporte les enroulements induits. Obligatoirement feuilleté, il a la forme d'un tambour dans lequel sont pratiquées des encoches. Les tôles, en acier au silicium, sont isolées entre elles par oxydation ou au vernis.

Partie électrique

La partie électrique se compose des bobines inductrices qui sont fines, du bobinage induit qui est mobile, du collecteur, des balais et des porte-balais, de la plaque à bornes.

Bobines inductrices

Elles sont généralement constituées par des enroulements comportant beaucoup de spires de fil de faible section. Les moteurs de grosse puissance possèdent des inducteurs constitués par des enroulements en barre de cuivre de forte section. Les bobines inductrices sont finies sur les noyaux polaires.

Bobinage induit

C'est un enroulement constitué de sections réunies aux lames du collecteur. Chaque section comporte plusieurs faisceaux (ensembles de conducteurs) qui sont logés dans les encoches de l'induit. Il y a généralement plusieurs faisceaux par encoche. Les encoches sont isolées et fermées par une cale en bois ou un isolant stratifié.

Collecteur, balais, porte-balais

Ils assurent la liaison électrique entre l'induit et le circuit extérieur d'alimentation.

Les balais sont de qualités différentes suivant la puissance du moteur et surtout selon le diamètre du collecteur et la vitesse de rotation.

Exemples : balais durs pour une intensité de courant de 4 à 8a/cm et une vitesse linéaire de 25 m/sec ; balais tendres pour une intensité de 10 à 12a/cm et une vitesse linéaire supérieure à 45 m/sec.

Plaque à bornes

Elle comporte généralement quatre bornes : deux bornes de l'induit et deux bornes de l'inducteur. les bornes de l'induit sont généralement d'un diamètre plus grand que celui des bornes de l'inducteur.

Partie mécanique

En plus de l'arbre, le moteur comporte des flasques et des paliers.

Le refroidissement est obtenu par un ventilateur lorsque cela est nécessaire.

Différents types de moteurs à courant continu

Les moteurs à courant continu ont l'avantage sur les moteurs à courant alternatif d'avoir une régulation de vitesse plus simple et plus économique.

Ils sont classés en quatre catégories :

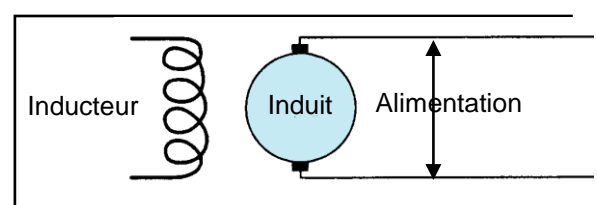
- ✓ moteur à excitation séparée ;
- ✓ moteur série à courant continu ;
- ✓ moteur dérivation à courant continu (ou moteur shunt) ;
- ✓ moteur à courant continu à excitation composée.

Moteur à excitation séparée

Avec ce type de moteur, l'alimentation de l'inducteur est indépendante de celle de l'induit.

Le flux reste donc indépendant et n'affecte pas le couple et la vitesse.

Ce type de moteur n'est pas souvent utilisé.



Moteur série à courant continu

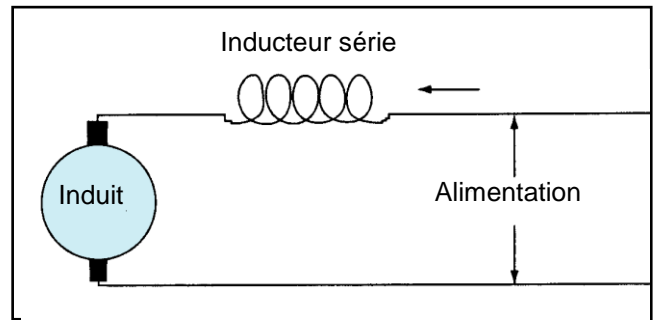
Avec ce type de moteur, les enroulements d'inducteur et d'induit sont connectés en série. L'enroulement d'excitation est constitué de quelques spires de fil de grand diamètre, afin de maintenir une faible résistance de l'enroulement inducteur. Ceci permet d'éviter des vitesses dangereusement élevées quand les charges sont faibles.

Quand le courant renforce le champ d'excitation, la vitesse du moteur diminue ; à l'inverse, si la charge diminue la vitesse augmente, et donc pour les charges faibles, la vitesse peut être excessive.

L'avantage de ce moteur est qu'on peut obtenir un débit de démarrage élevé du fait que l'augmentation du courant d'induit parallèlement à la charge croissante entraîne une augmentation du couple.

L'inconvénient est que la vitesse ne peut pas être maintenue constante.

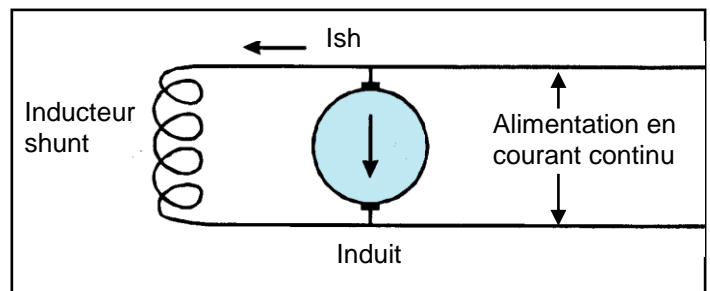
On les utilise surtout dans les appareils de levage, les grues et élévateurs.



Moteur dérivation à courant continu

A l'inverse les moteurs dérivation sont utilisés dans des applications pour lesquelles une bonne régulation de vitesse est nécessaire.

Comme le montre la figure, l'enroulement d'inducteur est connecté en parallèle avec l'enroulement d'induit. A l'inverse du moteur série, l'inducteur est constitué de nombreuses spires de fil de petit diamètre afin de maintenir une résistance élevée.



On utilise ce type de moteur quand une vitesse plus ou moins constante, un couple de démarrage faible et une surcharge faible sur le moteur sont requis.

Si l'on place une résistance variable dans le circuit excitation (inducteur), la vitesse du moteur peut être contrôlée (variation de courant). On peut faire de même en plaçant une résistance variable dans le circuit de l'induit (variation de tension)

Les moteurs dérivation à vitesse réglable sont utilisés particulièrement sur des machines outils.

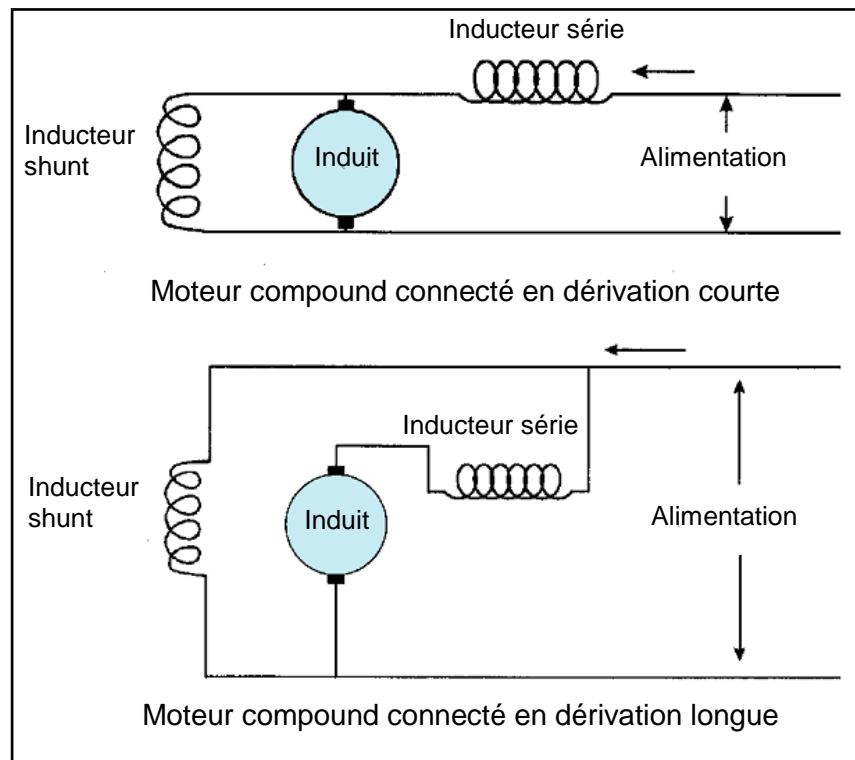
Moteur à enroulement compound

Type de moteur marie les avantages du moteur série avec ceux du moteur dérivation :

- couple de démarrage élevé ;
- bonne régulation de vitesse.

Il est équipé de deux enroulements d'excitation : l'un en série avec l'induit et l'autre en parallèle avec l'induit.

Il est très utilisé.



Caractéristiques des moteurs à courant continu

- Les moteurs à courant continu offrent un couple de démarrage et des capacités de régulation de vitesse satisfaisantes.
- Il est possible d'inverser le sens de marche d'un moteur en courant continu en modifiant les fils de l'induit ou de l'inducteur.
- La vitesse d'un moteur à courant continu peut varier si l'on modifie la tension d'induit ou le courant d'inducteur.
- ✓ Les moteurs à aimant permanent sont utilisés pour le positionnement exact d'objets avec des couples de fonctionnement élevés (c'est l'invention de H.Fontaine).
- ✓ Les moteurs série ont un couple de démarrage élevé et peuvent donc démarrer avec des charges importantes.
- ✓ Les moteurs série fonctionnant à vide peuvent atteindre des vitesses élevées, ce qui endommage le moteur.
- ✓ Les moteurs en dérivation offrent une bonne régulation de vitesse.
- ✓ Dans les moteurs en dérivation, le couple est proportionnel à l'intensité du courant d'induit
- ✓ Dans les moteurs en série, le couple est proportionnel au carré de l'intensité du courant d'induit

Moteurs asynchrones – généralités

Il existe plusieurs types de moteurs asynchrones :

- triphasés à cage,
- triphasés à rotor bobiné,
- triphasés à double cage,
- monophasés,
- diphasés,

Auxquels il convient d'ajouter le cas particulier des moteurs freins.

Principe de fonctionnement des moteurs asynchrones

Les moteurs asynchrones sont équipés de trois bobines, distantes de 120 degrés, formant l'enroulement du stator.

Le rotor est à cage d'écureuil (solide) et comprend des conducteurs en cuivre, reliés à une extrémité à une plaque de raccordement circulaire.

Lorsqu'une tension est appliquée à l'enroulement du stator, le courant passe à travers ce dernier créant un champ magnétique tournant. La vitesse de ce champ magnétique tournant dépend du nombre de pôles du stator et de la fréquence de l'alimentation qu'il reçoit.

Le champ magnétique tournant induit une f.é.m. dans le rotor par induction. Etant donné que le rotor est un ensemble fermé de conducteurs, le courant circule à l'intérieur. Les champs tournants résultant des courants statoriques réagissent avec les courants rotoriques et exercent des forces sur les conducteurs et les couples du rotor.

Nombre de pôles – vitesse

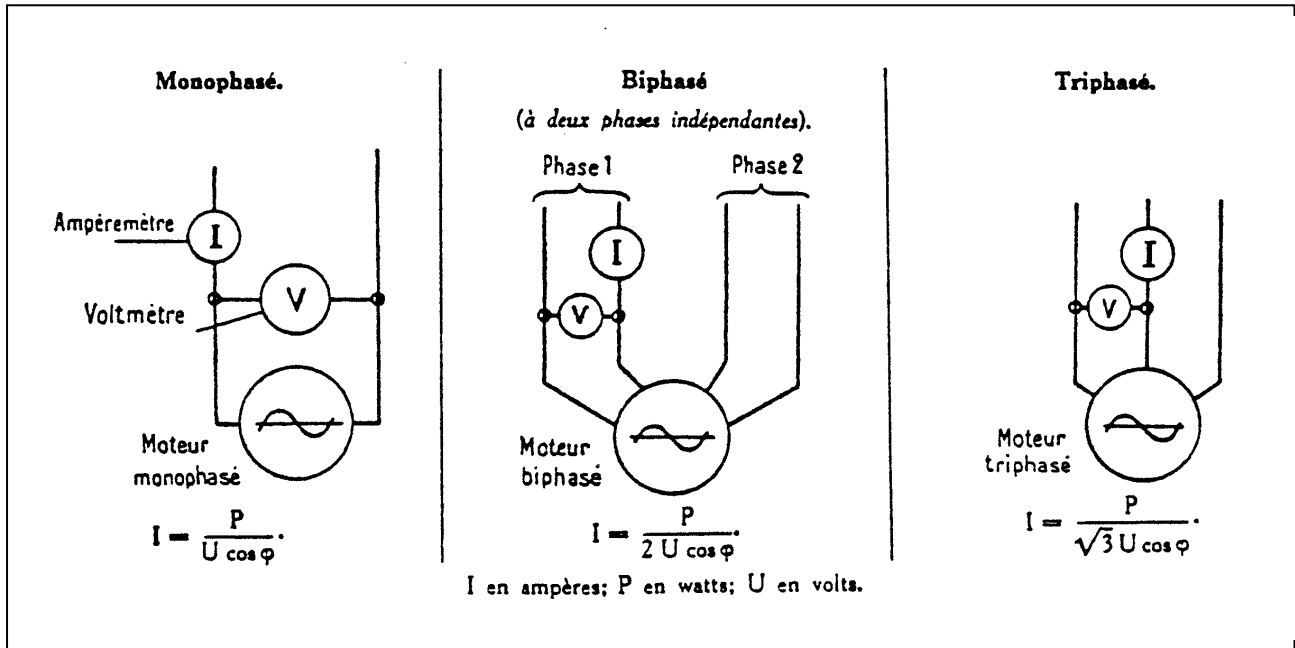
La vitesse à vide V (tr/miN) d'un moteur asynchrone est donnée par la formule : $V = \frac{f \times 120}{P}$

f étant la fréquence du courant alternatif et P le Nombre de pôles.

Pour la fréquence habituelle $f = 50$, cette vitesse est la suivante :

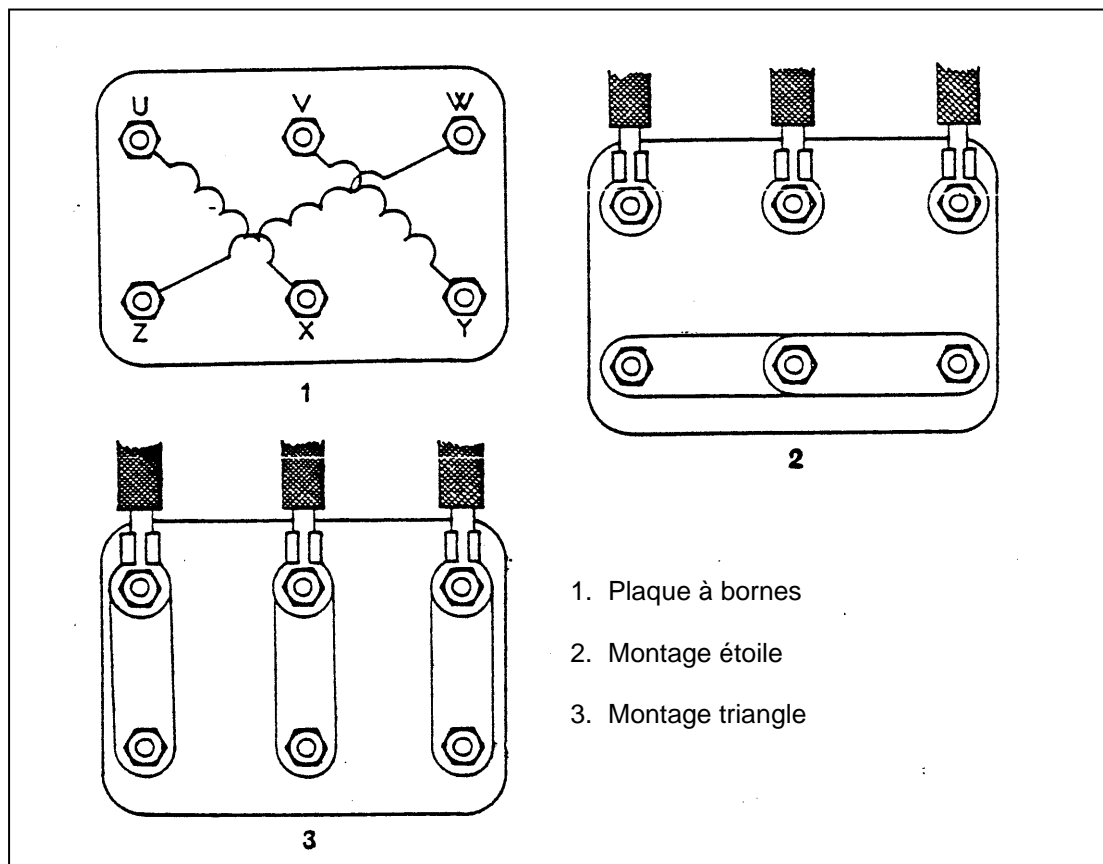
2 pôles	3000 tr/miN
4 pôles	1500 tr/miN
6 pôles	1000 tr/miN
8 pôles	750 tr/miN

Intensité du courant consommé

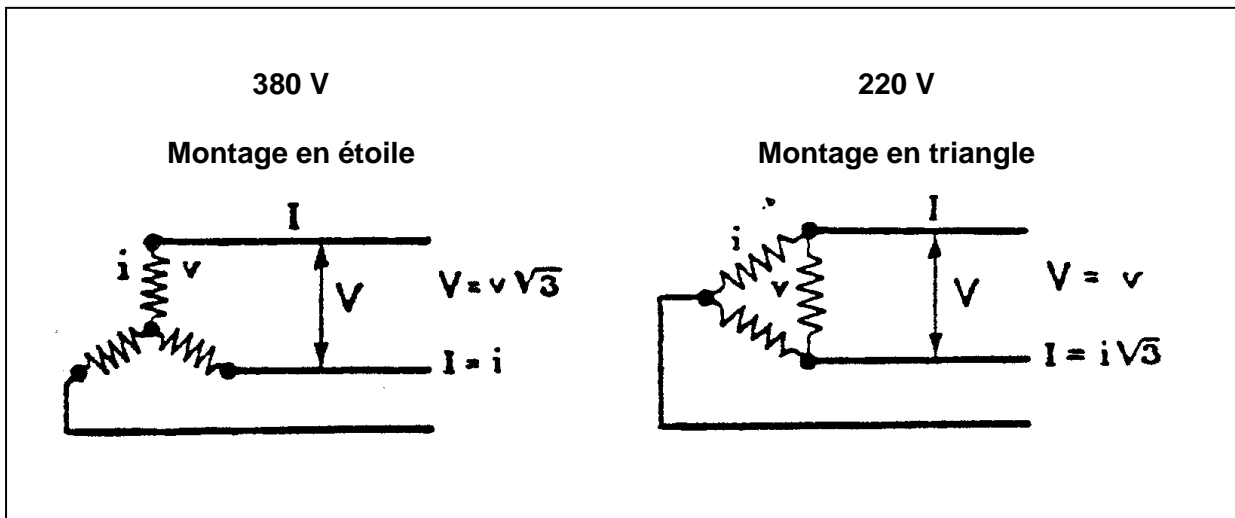


Branchement étoile – triangle des moteurs triphasés

Pour les moteurs triphasés, les entrées et les sorties du stator sont réunies à une plaque isolante comportant 6 bornes. Cette plaque est fixée sur le côté de la carcasse ou sur une partie supérieure. Elle est protégée par un capot. La disposition des bornes est normalisée et doit permettre le montage des phases en étoile ou en triangle par simple déplacement de trois barrettes conductrices.



Nous donnons ci-dessous les schémas de branchement des moteurs triphasés. Le montage Y correspond à la plus haute tension notée sur la plaque moteur, le montage Δ à la plus basse. Pour inverser le sens de rotation d'un moteur triphasé : inverser deux fils de la ligne.



Caractéristiques d'un moteur asynchrone triphasé

- Aucun mécanisme de démarrage n'est requis.
- La vitesse est intrinsèquement constante.
- Les puissances nominales disponibles sont nombreuses.
- Le sens de rotation peut être facilement inversé en inversant deux lignes d'alimentations du moteur.
- Le moteur tourne à une vitesse inférieure à la vitesse synchrone selon un facteur de glissement.
- Pour les charges réduites, le facteur de puissance est faible.
- Pour les moteurs à cage d'écureuil on peut avoir plusieurs vitesses en modifiant les connexions externes pour changer le nombre de pôles statoriques.

Intensités absorbées par les moteurs triphasés < 50 CV

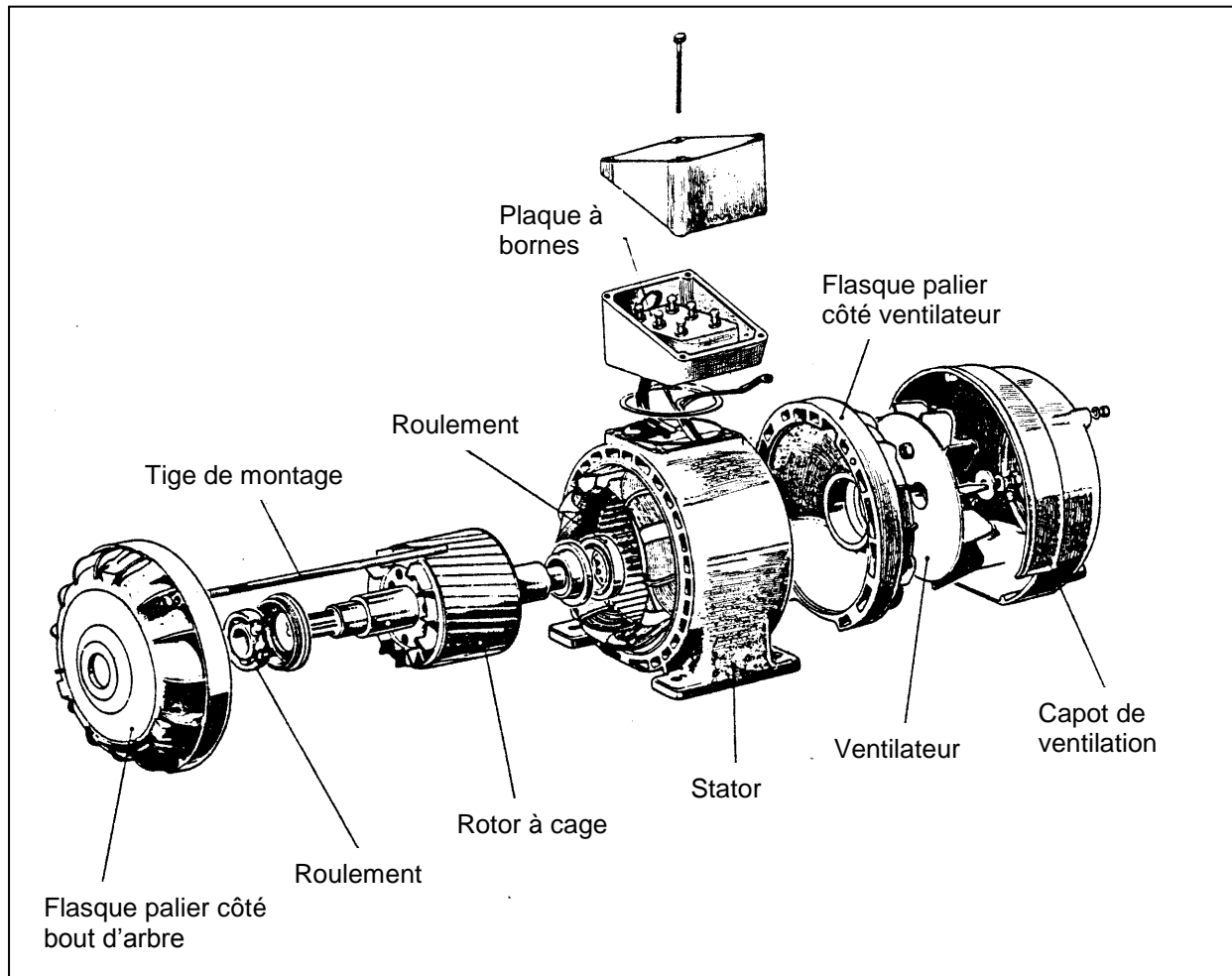
Puissance		125 V	220 V	380 V	500 V
Ch.	Kw.	A	A	A	A
0,33	0,25	2	1,1	0,65	0,5
0,5	0,37	3	1,7	1	0,75
0,75	0,55	4,4	2,5	1,4	1,1
1	0,75	5,5	3,1	1,8	1,4
1,5	1,1	8,1	4,6	2,7	2,1
2	1,5	10,5	6	3,5	2,7
3	2,2	16	9	5,3	4
4	3	21	12,1	7	5,3
5	3,7	26,5	15,1	8,7	6,7
6	4,4	32	18	10,5	8
7	5,1	37	21	12	9,3
8	5,9	41	23	13,5	10,3
9	6,5	44	25	14,5	11
10	7,3	49	28	16,2	12,3
15	11	72	41	23,5	18
20	15	97	55	32	24
25	18,5	116	66	38	29
30	22	137	78	45	34
40	30	183	104	60	46
50	37	220	125	72	55

Moteurs asynchrones triphasés à cage

Constitution

Ce sont les moteurs les plus simples que l'on fabrique à l'heure actuelle. Ils démarrent directement et leur sens de rotation s'inverse par simple croisement de deux fils d'alimentation sur la plaque à bornes.

Leur puissance n'est limitée que par l'appel de courant important au démarrage.



Partie magnétique

Elle est destinée à créer un champ tournant radial et à canaliser le flux dans la partie mobile appelée rotor.

Partie fixe ou stator

Le courant qui crée le champ tournant étant alternatif, le circuit magnétique doit être feuilleté. Les tôles sont en acier au silicium, isolées entre elles par oxydation artificielle ou par un vernis. Des encoches sont pratiquées à la découpe et forment, après empilage, des rainures dans lesquelles se logent les bobines du stator.

Partie mobile ou rotor

La partie magnétique du rotor est destinée à canaliser le flux dans la cage où se produisent les courants induits. Le circuit magnétique est feuilleté et constitué de tôles identiques, quant à la qualité du métal, à celles du stator. Les tôles du rotor sont toujours découpées dans le même flan, en même temps que les tôles du stator. Elles sont isolées entre elles et empilées sur l'arbre où

elles sont maintenues serrées par des plateaux ou des bagues. des encoches sont pratiquées à la découpe pour recevoir le faisceau de la cage.

Partie électrique

Stator

les bobines du stator sont généralement préfabriquées sur des gabarits avant d'être logées dans les encoches isolées et fermées par une cale. Le fil utilisé est cuivre émaillé. Les bobines sont disposées de telle façon qu'elles constituent un ensemble triphasé à 2, 4, 6 ou 8 pôles et plus si nécessaire. Les trois entrées et les trois sorties sont réunies à la plaque à bornes. Après mise en place des sections et isolements, l'ensemble est imprégné de vernis isolant au trempé ou sous vide, puis séché à l'étuve.

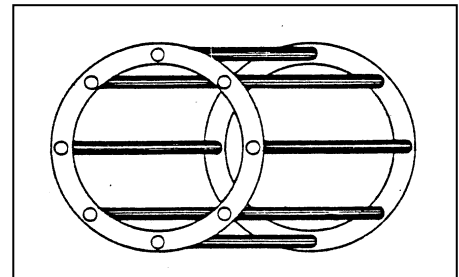
Rotor

La partie électrique du rotor est une cage en cuivre ou en aluminium logée dans les encoches de la partie magnétique. Pour les moteurs de petite puissance, et pour les diamètres de rotor inférieurs à 200mm, on moule la cage sur le rotor par injection d'aluminium fondu.

Pour les moteurs plus puissants on place des barres de cuivre dans les encoches et on brase des anneaux à chaque extrémité.

L'isolement des encoches n'est pas nécessaire car les tensions induites au rotor sont très faibles. Afin de régulariser le couple, les encoches du rotor, et par conséquent de la cage, ont une forme hélicoïdale dans la plupart des cas.

La simplicité du rotor du moteur à cage est un élément de robustesse et bas prix de revient.



Plaque à bornes

voir les explications précédentes.

Partie mécanique

Les moteurs asynchrones à cage possèdent un arbre généralement horizontal ou vertical et des paliers identiques à toutes les machines tournantes.

Les paliers sont très souvent à roulements à billes montés directement dans les flasques de la machine. Dans certains cas, un flasque est complété par une bride. le refroidissement est obtenu par un ventilateur monté sur l'arbre ou directement moulé sur la cage en aluminium.

Selon le degré de protection du moteur, on adapte la forme de la carcasse et des flasques.

Démarrage des moteurs asynchrones triphasés à simple cage

Il existe quatre méthodes de démarrage :

- le démarrage direct ;
- le démarrage étoile-triangle ;
- le démarrage par résistance statorique ;
- le démarrage par autotransformateur

Démarrage direct

C'est le procédé le plus simple. le moteur est branché directement sous tension par simple manœuvre d'un interrupteur ou d'un contacteur. Le couple au démarrage est bon mais l'à-coup de courant peut atteindre des valeurs élevées de l'ordre de cinq à six fois l'intensité nominale. De ce fait, on limite la puissance des moteurs à démarrage direct et, en pratique on ne fabrique pas de moteur à simple cage à démarrage direct d'une puissance supérieure à 25 kw.

La protection électrique des moteurs à démarrage direct doit tenir compte de la pointe d'intensité et on utilise les relais magnéto-thermiques ou les fusibles spéciaux à fusion retardée.

Démarrage étoile-triangle

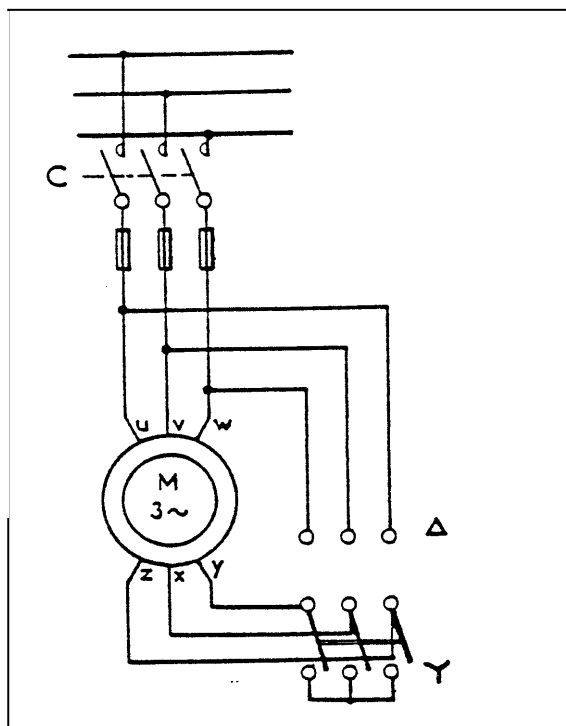
Le démarrage s'effectue en deux temps, avec un coupleur ou un équipement à contacteurs.

Au premier temps les bobinages sont couplés en étoile. L'appel de courant est alors trois fois plus faible que pour le démarrage direct mais le couple est également trois fois plus petit.

Lorsque le moteur atteint une certaine vitesse, on couple en triangle.

Ce procédé est utilisé pour la commande des machines qui démarrent à vide. Il n'est applicable qu'aux moteurs dont la tension aux bornes de chaque enroulement correspond à celle du secteur.

Exemple : moteur 220/380 V possible sur un secteur 220 V.



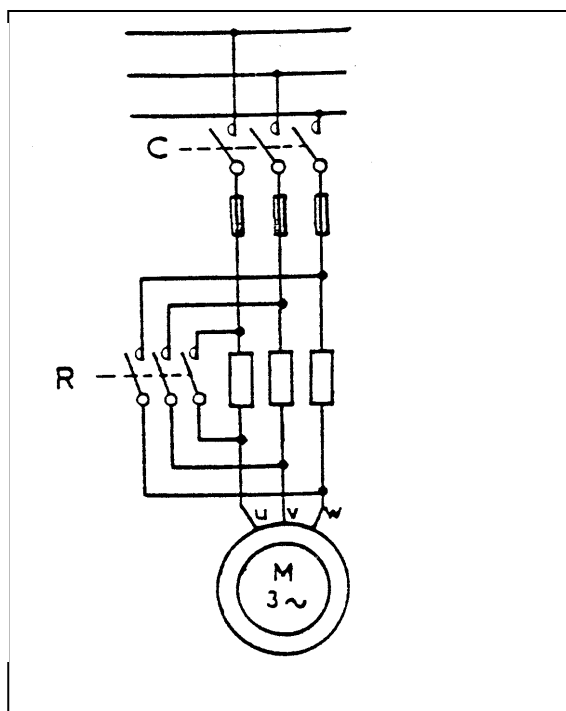
Démarrage par résistances statoriques

On démarre le moteur sous tension réduite en insérant dans le circuit d'alimentation du stator une résistance dans chaque phase.

Lorsque le moteur est lancé, on court-circuite les résistances en un, deux ou trois temps au moyen de contacteurs appropriés.

L'intensité au démarrage est réduite mais le couple est très faible. Il présente les mêmes inconvénients que dans le cas du démarrage étoile-triangle mais, ici, on évite l'interruption du courant au moment du passage de l'étoile au triangle.

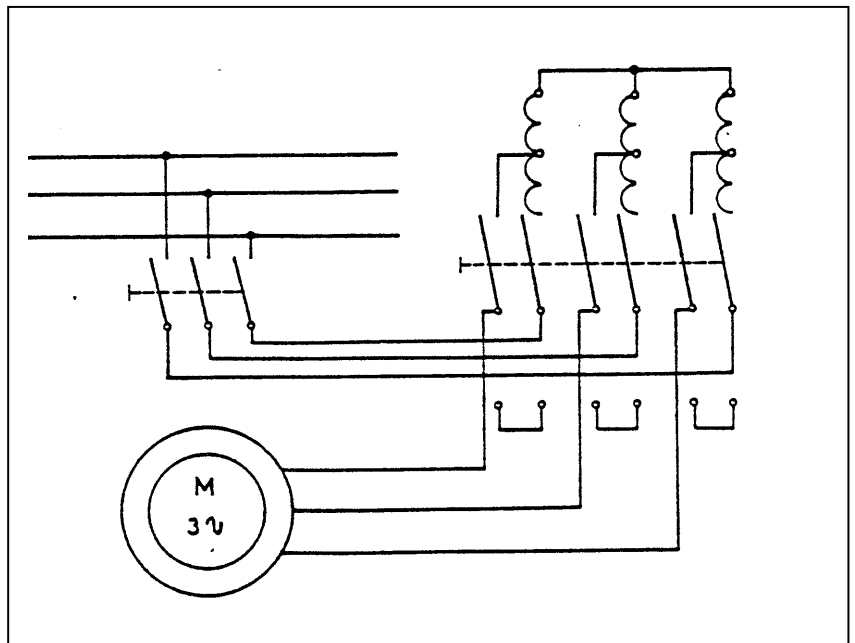
Le démarrage par résistances statoriques est utilisé lorsque le couple au démarrage est bien connu ; il est alors possible d'adapter les résistances à sa valeur.



Démarrage par auto transformateur

Le démarrage s'effectue par un auto transformateur qui est branché directement sur le réseau. une ou plusieurs prises médianes permettent d'adapter la tension et, par conséquent, l'intensité au couple nécessaire au démarrage.

Ce dispositif coûteux n'est utilisé que pour le démarrage de gros moteurs, particulièrement en ht.



Moteurs asynchrones triphasés à rotor bobiné

Lorsqu'il est nécessaire d'avoir un couple important au démarrage et lorsque la puissance du moteur est telle que l'on craint l'à-coup de courant à la mise en route, on utilise le moteur à rotor bobiné avec rhéostat de démarrage ou dispositif de démarrage automatique.

Les moteurs à rotor bobiné permettent d'obtenir des couples au démarrage pouvant atteindre une fois et demie le couple nominal tout en réduisant l'appel de courant à valeur acceptable.

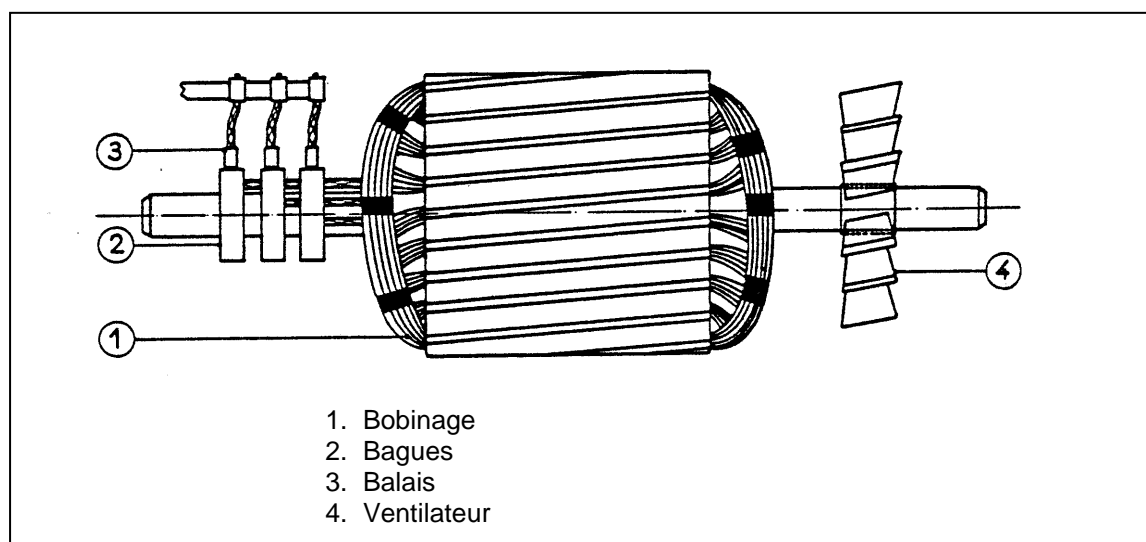
Caractéristiques

Le moteur asynchrone triphasé à rotor bobiné ne diffère du moteur à cage que par son rotor. La partie magnétique du moteur, la partie électrique du stator et la partie mécanique sont identiques. Seule la partie électrique du rotor est différente.

Elle comprend :

Bobinage induit

La partie magnétique du rotor, qui est constituée par un empilage de tôles au silicium, comporte des encoches dans lesquelles sont logées les bobines du circuit électrique rotorique. Ce circuit est composé de sections de plusieurs spires de fil de cuivre émaillé isolées de la masse par des isolants d'encoche (carton, toile huilée...).



Le bobinage constitue un ensemble triphasé monté en étoile. Le point neutre se trouve à l'intérieur du bobinage et les trois entrées sont reliées à trois bagues en bronze solidaires de l'arbre.

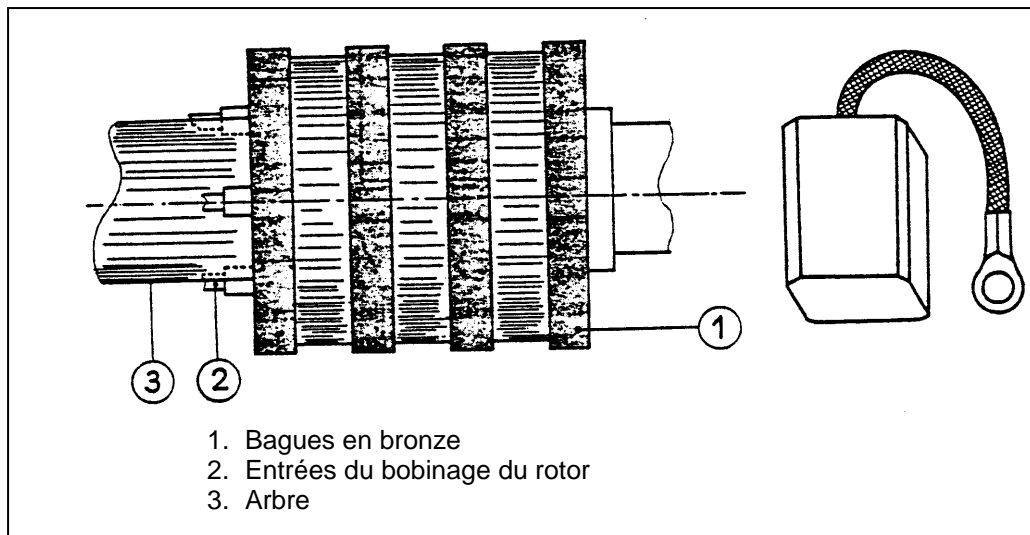
Bagues et balais

Les bagues permettent, par l'intermédiaire de trois balais, d'insérer des résistances en série avec le bobinage lors du démarrage du moteur.

Ces résistances ont le double avantage de diminuer l'appel de courant et d'augmenter le couple au démarrage. Elles sont généralement en bronze et se trouvent placées soit à l'intérieur d'un rhéostat, soit dans un système de démarrage automatique à contacteurs temporisés.

Sur ces bagues frottent des balais métallographitiques supportés par des porte-balais à pince ou à gaine indentiques à ceux des machines à courant continu.

Lorsque les moteurs asynchrones à rotor bobiné sont prévus pour des démarrages peu fréquents et qu'ils sont accessibles, on utilise un système de relevage des balais.



Démarrage des moteurs asynchrones à rotor bobiné

Utilisation de rhéostats de démarrage

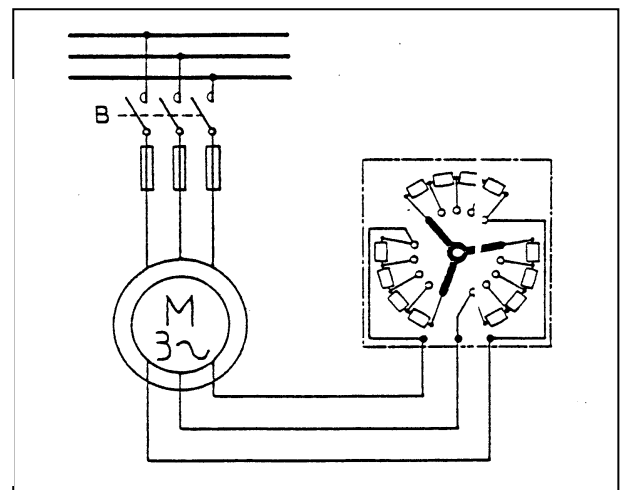
Les résistances de démarrage sont montées en étoile et leur élimination s'effectue par une manette à trois frotteurs.

La résistance totale d'une phase est environ quinze fois celle du bobinage.

L'élimination s'effectue généralement par sin ou sept plots.

Un plot mort est prévu pour éviter le démarrage non contrôlé du moteur.

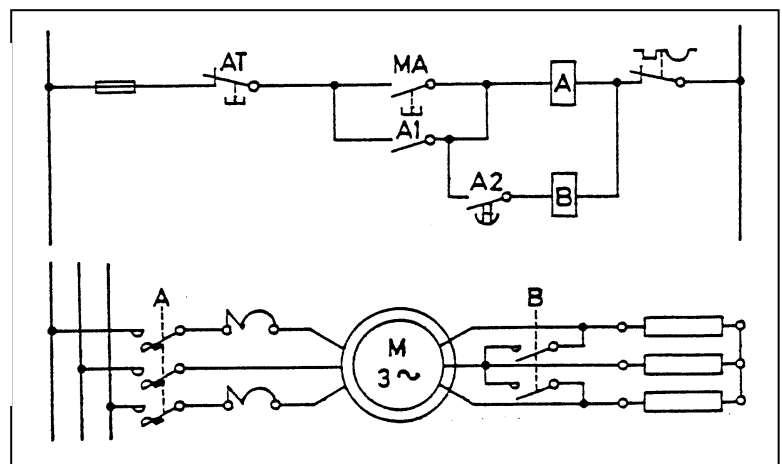
Il ne faut jamais oublier de ramener le théostat à sa position de démarrage lors de l'arrêt du moteur.



Utilisation d'un démarreur automatique

Souvent on préfère avoir recours à des démarreurs automatiques qui éliminent les résistances par un système de contacteurs temporisés. Ceun-ci s'enclenchent successivement et éliminent l'ensemble des résistances en deun, trois ou quatre temps.

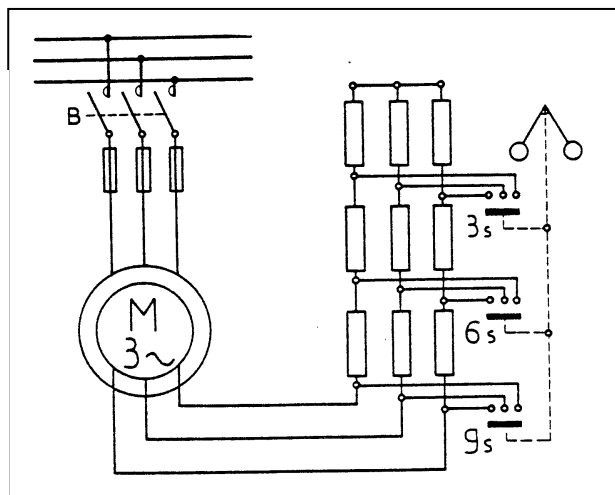
Ce procédé permet la commande par boîte à voutons poussoirs.



Démarrateurs centrifuges

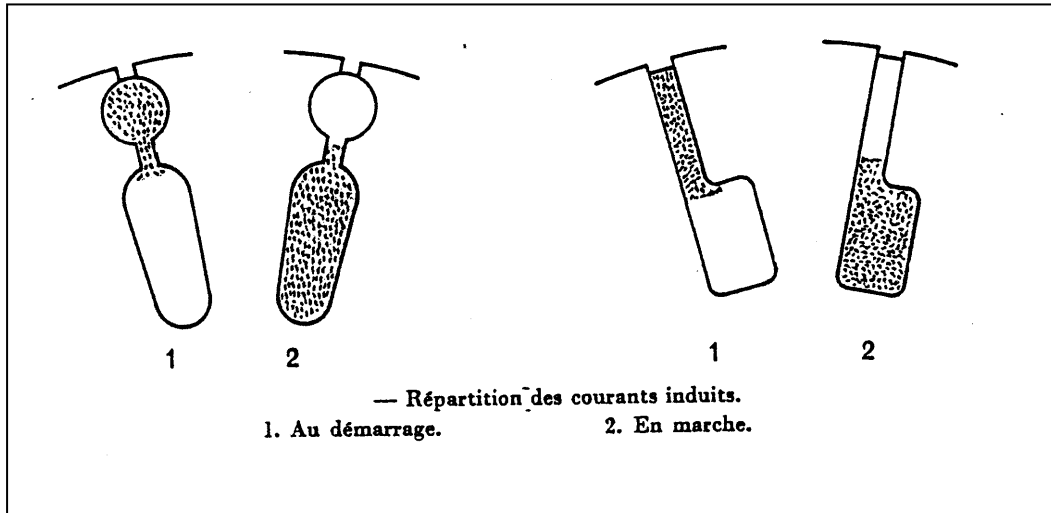
Le système de démarrage est solidaire de l'arbre de la machine. Il comprend les résistances qui sont bobinées sur des supports en stéatite et des contacts centrifuges qui, sous l'action de la vitesse de rotation, éliminent ces résistances en deux ou trois temps.

Ce dispositif permet la suppression des bagues et des balais. Malheureusement l'encombrement d'un tel dispositif limite son utilisation à des moteurs de puissance inférieure à une trentaine de kilowatts.



Moteurs asynchrones à double cage

Les moteurs à double, et même triple cage, sont un moyen terme entre le moteur à cage, qui est simple et robuste, et le moteur à rotor bobiné, qui est plus compliqué et qui nécessite un système de démarrage.



Au démarrage les courants induits se partagent dans deux cages d'une façon inversement proportionnelle à leurs impédances.

Il existe des rotors à double cage et des rotors à barres profondes.

La fabrication est identique à celle des moteurs simple cage.

Les moteurs à double cage peuvent démarrer dans les mêmes conditions que les moteurs à simple cage. Dans le cas du démarrage direct l'appel de courant est plus faible et le couple plus important à puissance égale.

Moteurs asynchrones monophasés

Les moteurs monophasés fonctionnent sur les branchements lumière. leur puissance est faible et dépasse très rarement 1 kw. Ils sont très utilisés et on en trouve dans presque tous les appareils électroménagers.

Moteurs monophasés à induction

Ils sont d'une constitution très voisine de celle des moteurs triphasés à cage. On trouve :

- un stator muni d'un bobinage monophasé. l'enroulement comporte ou non un enroulement spécial pour le démarrage ;
- un rotor à cage dont les encoches sont inclinées pour faciliter le démarrage et pour rendre le moteur plus silencieux en marche.

Ces moteurs ne démarrent pas seuls : il faut les doter d'un moyen de démarrage.

Démarrage par lancement

Le moteur est lancé à la main en tirant sur la courroie ou au moyen d'un dispositif mécanique approprié.

Démarrage par phase auxiliaire

Le démarrage est réalisé à l'aide d'un enroulement auxiliaire décalé électriquement par rapport à la phase principale. Le décalage entre les courants des deux enroulements s'obtient en insérant dans la phase auxiliaire une inductance ou un condensateur qui seront éliminés par un interrupteur spécial, un relais temporisé ou un coupleur centrifuge lorsque la vitesse sera voisine des deux tiers de la vitesse normale.

Le démarrage par inductance donne un couple au démarrage d'environ le tiers du couple normal et un appel de courant d'environ trois fois l'intensité normale.

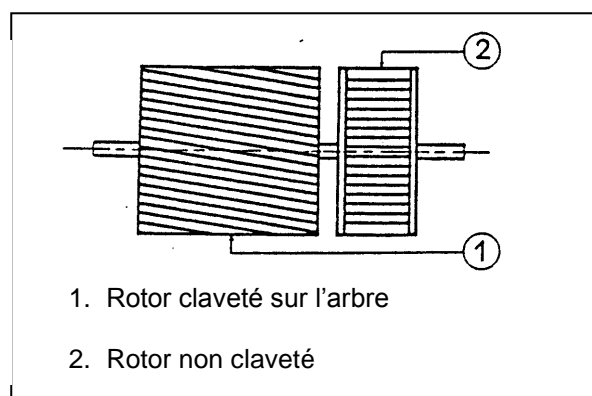
Le démarrage par condensateur donne un couple élevé au démarrage (deux à trois fois le couple normal) et un appel de courant d'environ quatre à cinq fois l'intensité normale (convient bien pour les compresseurs de frigérateurs qui démarrent toujours en charge).

Moteur birotor

Lorsqu'on utilise un moteur à deux vitesses très différentes, on a intérêt à employer un moteur birotor.

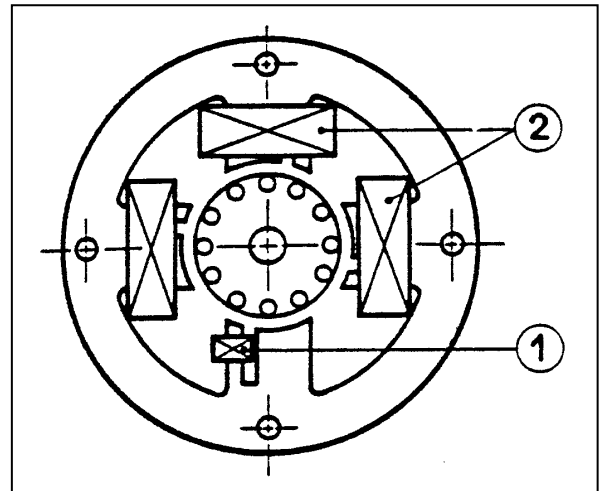
Au moment du démarrage le rotor libre démarre avant le rotor principal ce qui limite l'appel de courant et augmente le couple à petite vitesse.

Surtout utilisé dans les machines à laver automatiques.



Moteur avec bagues de court-circuit

Chaque pôle saillant du stator comporte une spire de Frager qui produit un flux décalé en arrière de celui provenant des pôles principaux. Ce décalage donne naissance à un champ tournant suffisant pour entraîner le petit rotor. Le couple au démarrage est faible, ce qui limite l'utilisation.



Moteurs monophasés à collecteur

Les moteurs monophasés à collecteur démarrent seuls et possèdent un couple de démarrage élevé. Ils sont utilisés dans beaucoup d'appareils électroménagers.

Moteur série universel

Le sens de rotation d'un moteur série ne change pas quand on inverse le sens du courant. un tel moteur fonctionne en courant continu aussi bien qu'en alternatif, d'où son nom de moteur universel.

Les inducteurs sont feuilletés pour éviter les pertes par hystérésis et courants de foucault. ces moteurs démarrent directement ou par l'intermédiaire d'un rhéostat qui permet de régler la vitesse. La puissance est limitée car une bonne commutation est impossible à réaliser. la présence d'étincelles au collecteur exige un système antiparasite.

Moteur série compensé

Pour améliorer la commutation du moteur universel, on ajoute aux inducteurs un enroulement compensateur qui crée un flux opposé au flux de réaction d'induit. Souvent cet enroulement est en court-circuit sur lui-même et fonctionne comme le secondaire d'un .

De tels moteurs peuvent atteindre plusieurs centaines de kilowatts de puissance.

Moteur à répulsion

C'est un moteur série normal dont l'induit est mis en court-circuit.

Les balais sont réunis par un conducteur de grosse section. pour une certaine position des balais, il y a répulsion entre l'inducteur et l'induit car l'inducteur fonctionne comme le primaire d'un qui induit des courants dans le bobinage mobile.

Avec ce type de moteur le réglage de la vitesse est facile.

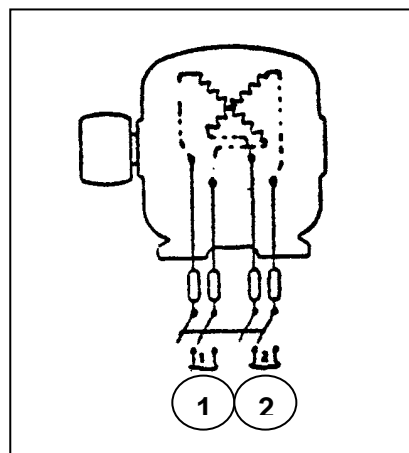
Moteurs asynchrones diphasés

Entre les moteurs triphasés et les moteurs monophasés, se trouvent les moteurs diphasés (à deux phases indépendantes).

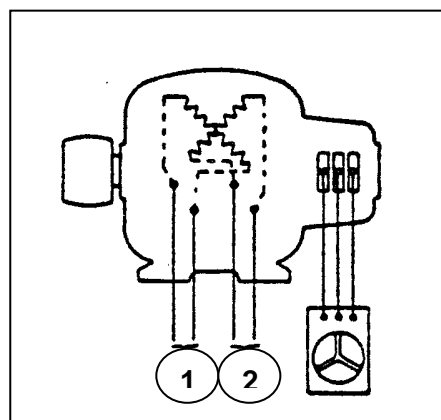
Nous donnons ci-dessous les schémas de branchement des moteurs diphasés à cage et à bagues (ou rotor bobiné).

Pour inverser le sens de rotation d'un moteur diphasé, il faut intervertir les deux fils de l'une des phases.

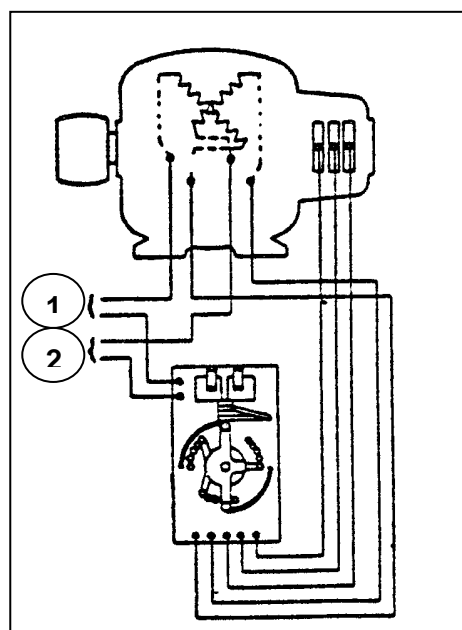
Branchement d'un moteur diphasé à cage.



Branchement d'un moteur diphasé à bagues.
Démarrage par rhéostat sans déclenchement



Branchement d'un moteur diphasé à bagues.
Démarrage par rhéostat à déclenchement automatique à mini d'intensité.



Moteurs synchrones

Le moteur synchrone se compose ordinairement d'un inducteur mobile (rotor) alimenté en courant continu et d'un induit triphasé immobile (stator) de structure identique à celle de l'inducteur du moteur asynchrone.

Une fois qu'il tourne à sa vitesse normale le moteur peut développer un couple moyen non nul et le rotor se maintient à vitesse constante. Si l'on dépasse le couple manimal, on détruit le « lien magnétique » entre le rotor et le stator, le moteur « décroche » et ralentit jusqu'à l'arrêt ;

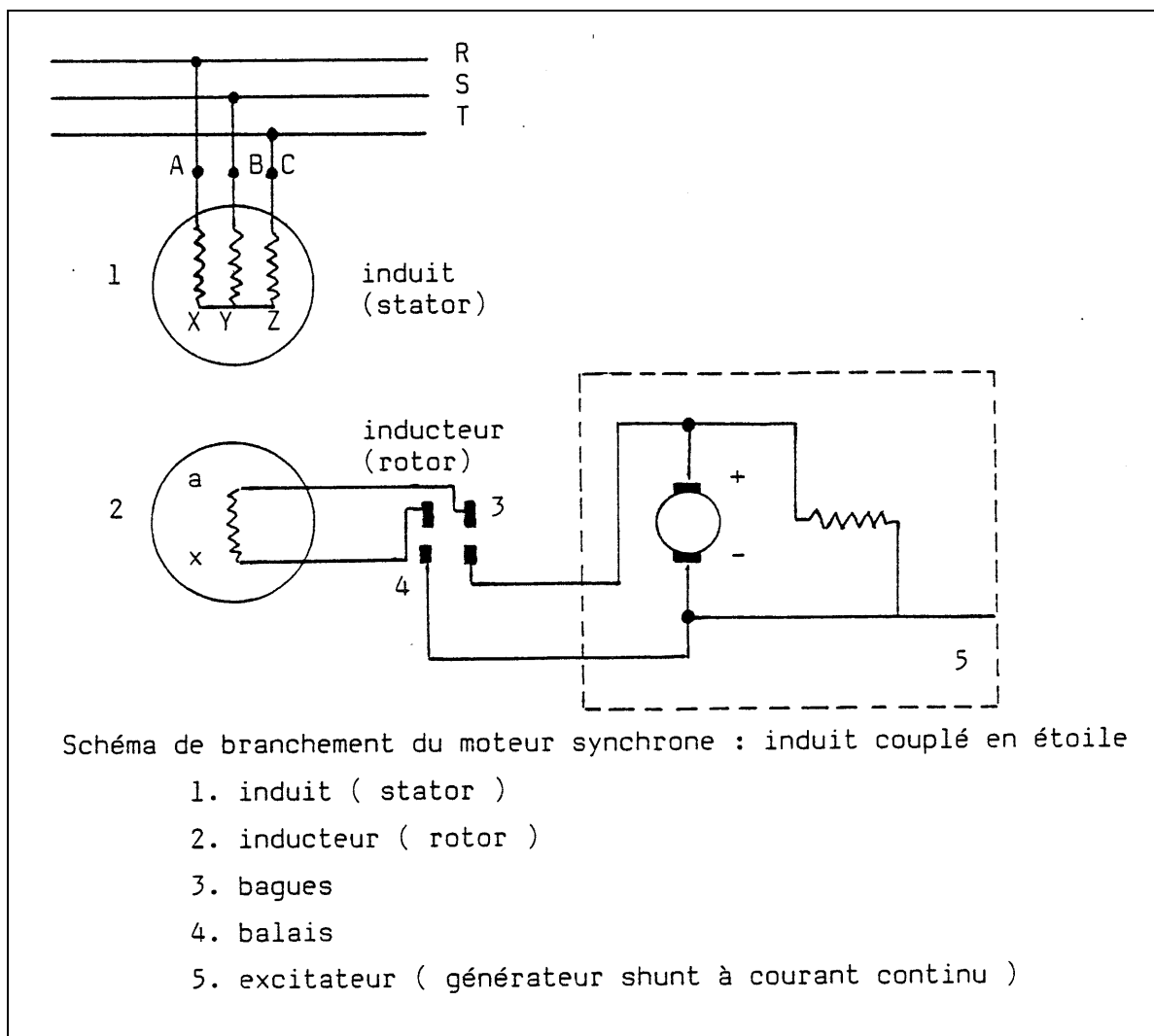
Le circuit magnétique du stator est constitué par un empilement de tôles magnétiques ; ce circuit comporte, pour des machines de grande puissance, des canaux de refroidissement dans lesquels on fait circuler soit de l'air, soit de l'hydrogène.

Les bobines induites sont logées dans les encoches du stator. Elles sont en fil rond ou en barres de cuivre.

Le rotor (inducteur) est réalisé de deux manières différentes ; il peut être :

- soit cylindrique (machine à pôles lisses),
- soit à pôles saillants.

Les bobines inductrices sont alimentées en courant continu par l'intermédiaire de bagues finées sur l'arbre du rotor.



Le moteur synchrone ne peut pas démarrer tout seul.

Démarrage à l'aide d'une machine auxiliaire

Le démarrage s'effectue à l'aide d'un dispositif de lancement, constitué généralement par un moteur asynchrone, ou un moteur à courant continu ou parfois par une excitatrice convenablement dimensionnée.

Ce type de démarrage est très rarement employé.

Démarrage à fréquence variable

Cette méthode consiste à alimenter le stator, le rotor étant alimenté en courant continu, à partir d'une génératrice synchrone dont la vitesse de rotation (donc la fréquence) est augmentée lentement de zéro jusqu'à la vitesse de synchronisme.

Cette méthode, comme la précédente, est peu économique car elle exige des installations de lancement assez importantes : elle est par conséquent peu utilisée.

Démarrage synchrone

Cette méthode ne peut être employée que pour des moteurs spécialement conçus à cet effet.

Sur le rotor, on prévoit un enroulement supplémentaire sous la forme d'une « cage d'écureuil » (identique à l'induit des moteurs asynchrones). Cet enroulement est placé généralement sur le périmètre des pôles magnétiques. Après alimentation du stator en courant polyphasé, le moteur démarre comme une machine asynchrone pour atteindre une vitesse proche du synchronisme. Si alors on alimente le rotor en courant continu, les champs tournants du rotor et du stator créent un couple variable dans le temps mais, étant donné que la vitesse du rotor est voisine de la vitesse du synchronisme, le glissement est faible. L'impulsion mécanique provenant du couple d'interaction du rotor et du stator est suffisante pour accélérer le moteur qui se stabilise à la vitesse du synchronisme. Remarquons que, lors du démarrage asynchrone, l'enroulement d'excitation du rotor doit être fermé sur une résistance importante, pour diminuer les courants induits par le champ statorique qui, à faible vitesse du rotor, peuvent atteindre des valeurs considérables.

.....

Les moteurs synchrones sont peu utilisés ; on les emploie pour des puissances de 50 à 3000 kW lorsqu'on désire une vitesse constante, un bon facteur de puissance et un matériel sûr.

On les utilise également comme compensateur pour relever le $\cos\phi$ à l'échelon des réseaux de transport.

Modes de freinage des moteurs

Pour stopper rapidement un moteur électrique un système de freinage est requis. C'est particulièrement vrai pour les systèmes de levage, les laminoirs, etc.

Les mécanismes de freinage sont classés en deux groupes :

- freinage mécanique ;
- freinage électrique.

➤ Freinage mécanique

La force de friction sur un disque ou un tambour de frein produit le freinage nécessaire. Pour ce faire, un équipement mécanique est requis.

➤ Freinage électrique

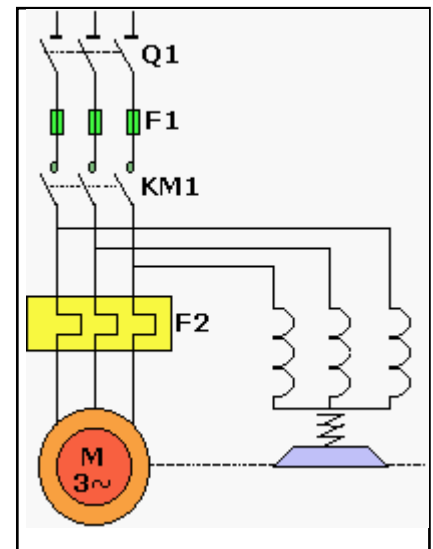
Dans ce cas, l'enroulement du moteur est utilisé pour produire un couple de freinage. Pour ce faire les connexions électriques du moteur sont modifiées.

Comparaison des freinages mécanique et électriques

	Freinage électrique	Freinage mécanique
1. Maintenance	Peu de maintenance ; Fonctionnement hors poussière dû à l'absence d'équipement mécanique.	Les freins mécaniques nécessitent une maintenance fréquente. Il faut régler les freins et remplacer les garnitures en fonction de l'usure.
2. Utilisation de l'énergie	L'énergie des parties rotatives peut être utilisée ou renvoyée vers le réseau lors du freinage.	L'énergie des parties rotatives est perdue sous forme de chaleur.
3. Souplesse du freinage	Le freinage est doux, sans à-coups.	Le freinage peut manquer de souplesse.
4. Equipement	Un équipement dont la puissance nominale est supérieure à celle du moteur peut être requis dans certaines applications.	Un équipement de type segment, garniture, disque ou tambour de frein est requis.
5. Maintien	Pour produire un couple statique, l'énergie électrique est nécessaire.	Un freinage mécanique peut être appliqué pour maintenir la partie rotative dans une position spécifique.

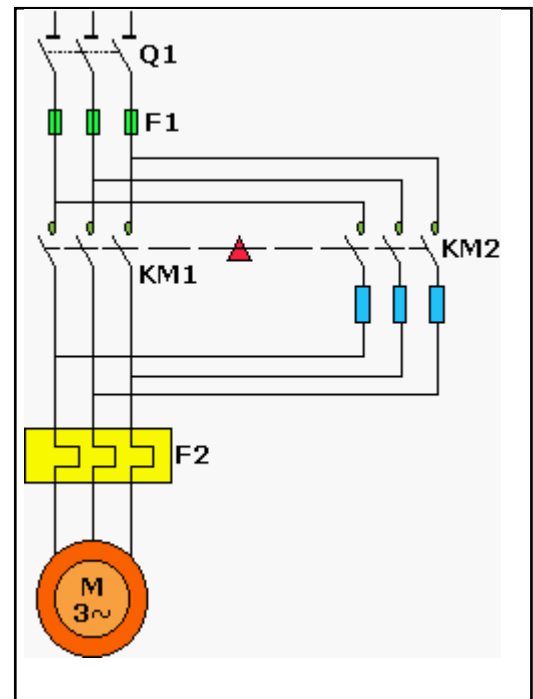
Moteur frein

Le moteur est muni d'un frein électromagnétique à disque monté du côté opposé à l'arbre de sortie. En l'absence de courant (ouverture de KM1 ou coupure du réseau), un ressort de rappel permet d'assurer le freinage. C'est un élément important de sécurité, en particulier dans les applications de levage.



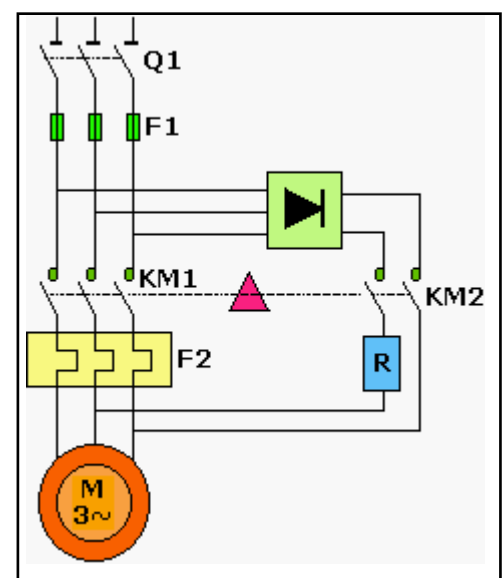
Freinage par contre - courant

Lors du freinage, il y a ouverture de KM1 puis fermeture de KM2 : le moteur est alimenté par un champ statorique inverse. Les pointes de courant sont très importantes et il est conseillé d'insérer un jeu de résistances pour limiter ce courant. KM2 doit s'ouvrir dès l'arrêt du moteur, pour éviter un redémarrage en sens inverse : il est donc nécessaire de prévoir un capteur détectant l'absence de rotation (capteur centrifuge).



Freinage par injection de courant continu

Au moment du freinage, KM1 s'ouvre puis KM2 se ferme. Un courant continu est envoyé dans le stator. Le moteur se comporte comme un alternateur dont l'inducteur est constitué par le stator, l'induit par le rotor en court - circuit.



Freinage par récupération

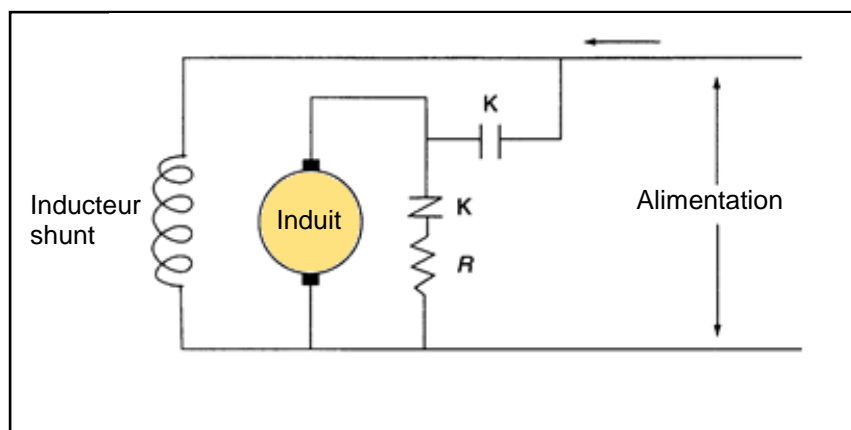
Dans un moteur synchrone, lorsque la vitesse du rotor est supérieure à la vitesse synchrone du champ statorique, le glissement devient négatif et la machine génère de la puissance. Dès lors le moteur a tendance à tourner plus vite que le champ tournant, un freinage par récupération a lieu et l'énergie cinétique des parties rotatives est restituée au réseau. En raison des effets de résistance statorique, le couple maximal développé pendant la récupération est supérieur à celui développé pendant la marche du moteur. La récupération automatique stoppe toute accélération excessive. Dans un tel cas, le contrôle de la résistance rotorique peut être utilisé pour obtenir un meilleur couple de freinage.

On peut obtenir par ailleurs le freinage par récupération grâce aux deux moyens suivants.

- ✓ On peut l'obtenir avec un moteur à inversion de pôles lorsque la vitesse est réduite.
- ✓ On peut également utiliser le freinage par récupération dans les entraînements à fréquence variable en diminuant la fréquence du moteur momentanément.

Lors du freinage par récupération le risque d'atteindre des vitesses dangereuses existe ; cette situation se produit si le couple de charge est supérieur au couple de décrochage du moteur. Cette éventualité peut être éliminée en introduisant une résistance élevée dans le rotor.

Freinage dynamique ou aérostatique



Avec ce mode de freinage, l'induit est déconnecté de l'alimentation et il est relié à travers une résistance variable. Une résistance de freinage est placée en parallèle de la résistance d'induit. Lorsque le moteur fonctionne, la résistance reste isolée. Lorsque le bouton d'arrêt est actionné, la résistance de freinage fonctionne comme une charge. Le freinage est contrôlé en faisant varier la résistance.

Freinage par inversion de phases

Dans ce cas les connexions de l'induit sont inversées pour que le moteur (à courant continu) tourne en sens inverse. Le freinage par inversion de phases fournit un couple de freinage plus important que le freinage rhéostatique. Mais attention : dans le cas d'un moteur de grande capacité, l'application soudaine d'un couple inverses peut endommager la machine.

Freinage des moteurs asynchrones

Les modes de freinage utilisés sont :

- Moteur-frein
- Contre-courant.
- Injection de courant continu.
- Récupération

Freinage des moteurs à courant continu

Les modes de freinage utilisés sont :

- Moteur-frein
- Récupération
- Inversion de phases ou inversion du couple.
- Freinage dynamique ou aérostatique.

Moteur brushless

Introduction

AU 19^{ème} siècle le français Hippolyte FONTAINE, ingénieur Arts et Métiers, a travaillé avec le belge Z. GRAMME, inventeur de la dynamo.

Il a inventé :

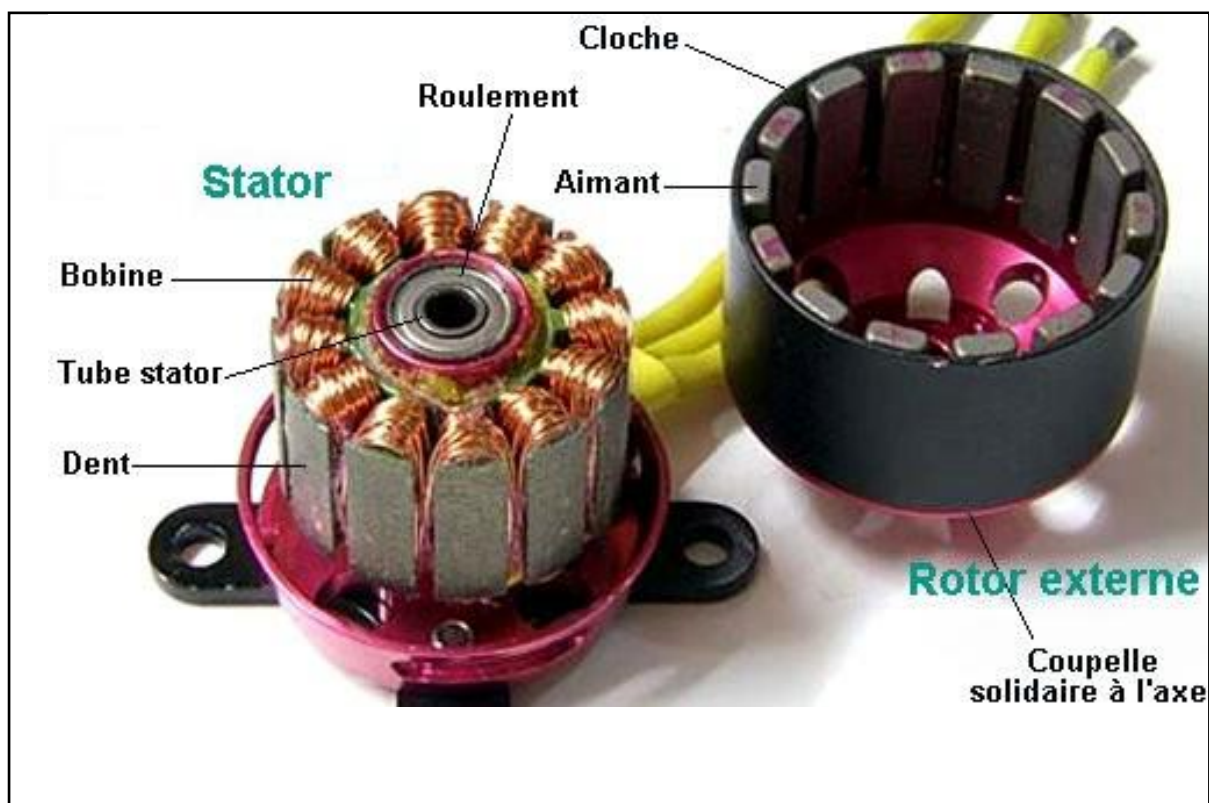
- Le premier moteur électrique ; il était à courant continu sans balais.
- Le transport du courant électrique par câble, avec une première expérience en Allemagne sur 1 km.
- La lampe à arc (avant Edison).

Evidemment aucun français ne connaît H. FONTAINE.

Le moteur brushless reprend cette invention mais avec le rotor porteur d'aimants en externe.

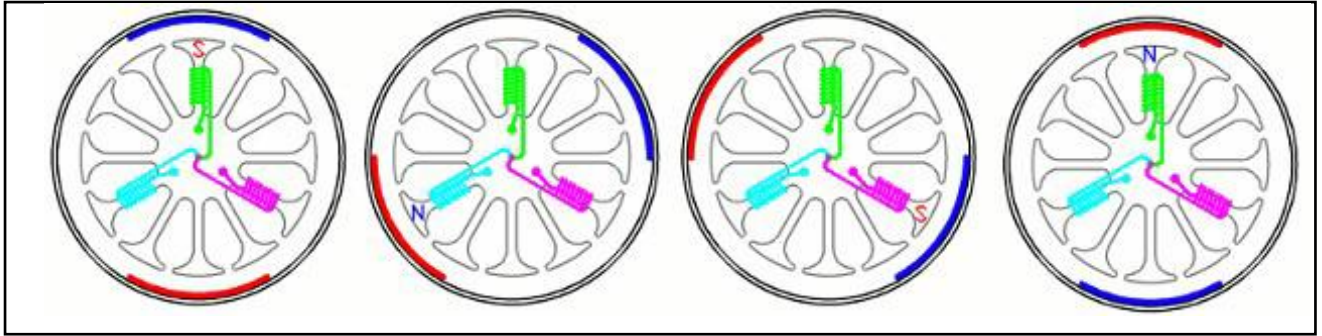
Composition d'un moteur brushless

Un moteur brushless comporte les mêmes éléments qu'un moteur à courant continu, excepté le collecteur, mais l'emplacement des bobines et des aimants permanents sont inversés. Le rotor est composé d'un ou plusieurs aimants permanents, et le stator de plusieurs bobinages.



Fonctionnement du moteur brushless simple

Les bobines sont alimentées de façon séquentielle. Cela crée un champ magnétique tournant à la même fréquence que les tensions d'alimentation. L'aimant permanent du rotor cherche à chaque instant à s'orienter dans le sens du champ. Pour que le moteur brushless tourne les tensions d'alimentation doivent être adaptées continuellement pour que le champ reste en avance sur la position du rotor, et ainsi créer un couple moteur. L'animation ci-dessous montre le fonctionnement ::



Commande des moteurs brushless

Dans un moteur à courant continu avec balais, l'ensemble collecteur-balais assure mécaniquement la commutation dans l'alimentation des bobines en fonction de l'angle du rotor. Dans un moteur brushless cet élément n'existe plus, il faut donc créer cette commutation électroniquement.

Moteur brushless en régime établi

Le moteur brushless est un moteur synchrone, c'est-à-dire qu'il tourne à la même vitesse que le système de tensions qui l'alimente. Tant que le couple moteur est supérieur à la charge à entraîner la rotation du rotor est synchronisée avec le champ magnétique. Si le couple résistant devient supérieur au couple moteur, et que la tension d'alimentation n'est pas ajustée en conséquence, il y a un risque de décrochage, c'est-à-dire que le rotor risque de ne plus suivre le champ magnétique. A partir de ce moment là, le rotor va se mettre à osciller, sans pouvoir se resynchroniser avec le champ magnétique, ce qui peut provoquer sa destruction. Pour éviter cela, le système d'asservissement doit être en mesure de réagir si le couple résistant augmente, et ajuster la tension d'alimentation en conséquence.

Démarrage d'un moteur brushless

Le même problème se pose pour le démarrage du moteur brushless, car le rotor ne peut pas atteindre instantanément la vitesse de rotation du champ. Le système de contrôle électronique doit donc assurer un démarrage progressif, l'objectif étant toujours de reproduire la fonction du collecteur. La fréquence des tensions d'alimentations sera donc très basse au départ, puis augmentée progressivement en tenant compte de la réaction du moteur.

Principe de commutation des moteurs brushless

Moteurs brushless à Capteurs à effet hall

Dans ce type de moteur brushless, des capteurs à effet hall (3 en général) sont utilisés pour connaître à tout moment la position du rotor, et adapter en conséquence l'alimentation des bobines et le champ magnétique. Le capteur va détecter le passage d'un pôle magnétique, et à partir cette information le circuit de commande électronique assurera la commutation des bobines. L'utilisation de capteurs à effet hall dans les moteurs brushless permet une excellente régulation, cependant l'ajout de ces composants, et le fait qu'il faille les placer très près du rotor entraîne un surcoût et un risque de panne supplémentaire. Cette solution est la plus employée dans les moteurs brushless utilisés en industrie.

Régulation de vitesse d'un moteur brushless

Globalement, la vitesse maximale d'un moteur brushless est liée à sa tension d'alimentation, ou du rapport cyclique dans le cas d'une commande en PWM, par un coefficient appelé Kv. La valeur de ce coefficient dépend de la construction du moteur (nombre de bobines, de pôles, d'encoches, type de fil pour les bobines, ...). Contrairement à un moteur synchrone triphasé où on ajuste la fréquence pour obtenir la vitesse souhaitée, ici c'est la vitesse du moteur brushless qui va indiquer au contrôleur à quelle fréquence il doit assurer la commutation.

Pour réguler la vitesse d'un moteur brushless il faut donc faire varier la tension d'alimentation de chaque bobinage, tout en maintenant une fréquence de commutation adaptée à la fréquence de rotation mesurée du moteur. En pratique, les contrôleurs de moteurs brushless les plus performants peuvent intégrer les deux fonctions : commutation des bobines en fonction des données des capteurs à effet hall, et régulation de la vitesse en PWM sur l'alimentation de chaque bobine.

Les différents types de moteurs brushless

Selon les applications, il existe une grande variété de moteurs brushless avec des caractéristiques de couples, vitesses, inertie différentes en fonction de leurs constitutions.

Moteurs brushless outrunner

On appelle « outrunner » les moteurs brushless dont le rotor est autour du stator. Cette configuration est intéressante en termes de couple moteur, car les aimants sont disposés sur un diamètre important, ce qui crée un bras de levier très intéressant. De plus, cette disposition permet de placer facilement plusieurs séries d'aimants (jusqu'à 32 pôles sur certains moteurs brushless outrunners) et de bobines. Les bobines sont toujours câblées par groupes de 3, et les aimants sont soit collés par groupes de 2, soit constitués d'une partie magnétique comprenant plusieurs pôles. moteur_brushless.odt 4



Tutoriel

Comme pour un moteur pas à pas, les moteurs brushless outrunners comprenant plus de 3 bobines et 2 pôles ne font qu'une fraction de tour lorsque le champ a tourné de 180°. Leur fréquence de rotation est donc plus faible mais le couple très élevé. Ces moteurs brushless outrunners sont souvent utilisés dans des applications qui nécessitent un fort couple, car ils peuvent être reliés à la charge sans nécessiter de dispositif de réduction. Leur coefficient Kv est relativement faible par rapport aux autres types de moteurs brushless. Les principales applications des moteurs brushless outrunners sont les suivantes : ventilateurs, moteurs de disques durs, Cd-rom, moteurs de vélos électriques (intégrés dans le moyeu), bateaux ou avions radio commandés...

Moteurs brushless inrunner

Contrairement au type précédent, les moteurs brushless inrunners ont le rotor à l'intérieur du stator. Ils n'ont généralement qu'une seule paire de pôles sur le rotor, et 3 bobines au stator. L'inertie du rotor est beaucoup plus faible que pour un moteur outrunner, et les vitesses atteintes par ce type de moteur sont beaucoup plus élevées (Kv jusqu'à 7700tr/min/V).

La gestion électronique de la commutation est par contre plus simple car le rotor tourne à la même fréquence que le champ magnétique. Le couple des moteurs brushless inrunners est plus faible que pour un outrunner car les aimants sont sur un diamètre plus petit à taille de moteur égale. Ce type de moteur brushless est très utilisé dans l'industrie car il se rapproche beaucoup d'un moteur à courant continu à balais et collecteur.



Moteurs brushless disques

Le rotor et le stator peuvent également être constitués de deux disques faces à face, avec les rayons et les bobines répartis selon les rayons de ces deux disques. Ce type de moteur brushless est peu employé car l'action des bobines sur les aimants crée un effort axial important qui nécessite des butées à billes conséquentes, sans offrir de différences notables au niveau des performances par rapport à un moteur brushless outrunner. moteur

Les nombreux avantages du moteur sans balai :

Durée de vie et fiabilité. La longévité (env. 20000h) est équivalente aux moteurs AC et jusqu'à 4 fois supérieur à un moteur DC avec balais. Les soucis liés au frottement des charbons sur le collecteur disparaissent : plus de parasites, plus d'échauffement du collecteur et de pertes dues à l'étincelage, plus d'usure mécanique (hormis les roulements).

Encombrement et poids. Plus compact que les moteurs AC et DC, un moteur sans balai est également 2 à 3 fois plus léger qu'un moteur DC traditionnel. Pour un poids et un encombrement identique, le moteur DLDC sera donc bien plus efficace en terme puissance.

Consommation électrique. Le rendement est bien supérieur à celui d'un moteur DC traditionnel à balais (pas de chute de tension au niveau du collecteur et pas de friction). Gestion électronique pour un rendement maximum.

Niveau sonore. Le bruit et les vibrations générés par un moteur sans balai sont inférieurs aux autres types de moteur. La variation de vitesse aisée permet également de rechercher facilement le point de fonctionnement le plus silencieux.

Variation de débit et asservissement. La technologie du moteur « brushless » avec son module électronique offre de nouvelles possibilités de variation de la vitesse. Plus de souplesse en effet, avec une plage de variation plus étendue et surtout le maintien du couple (couple constant car on ne modifie pas la tension d'alimentation).

Le moteur « brushless » se permet donc le cumul des avantages du moteur DC et AC. Voici une liste d'autres avantages intéressants : fort couple au démarrage, parasitage électrique limité, échauffement du moteur plus limité et refroidissement (perte joules) du moteur facilité par son architecture, indice de protection IP en général plus élevé du fait de l'absence de balais, moins d'inertie, moins de débris et résidus (pas d'usure des collecteurs).

Maintenance

Moteurs brushless à régulation basée sur la fcem

Pour éviter l'utilisation de capteurs à effet hall, certains circuits de commande de moteurs brushless utilisent les bobines non alimentées à un instant donné pour mesurer la force contre électromotrice et en déduire le moment pour déclencher la commutation. Cette solution permet d'éviter l'emploi de capteurs à effet hall, et donc de réduire le prix du moteur brushless. Par contre, au démarrage, la fcem est trop faible pour être utilisable. Il faut donc utiliser un autre mode de commande pour le démarrage des moteurs brushless sans capteurs. Généralement, ils sont démarrés comme des moteurs pas à pas, en commutant les phases à une fréquence croissante, suffisamment prédéfinie lentement pour que le moteur brushless ne décroche pas. Le couple dans cette phase est très mauvais. La mise au point de ce système de commande est très difficile, requiert une puissance de calcul importante et nécessite des solutions de filtrage pour distinguer la fcem des parasites engendrés par le moteur. Cette technique est principalement employée dans les petits moteurs brushless.

Bien sûr nous ne recommandons pas ce type de moteur.

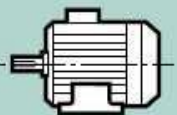
Fixation des moteurs

(norme CEI 34-7)

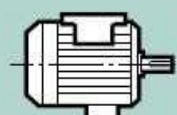
Moteurs à pattes de fixation

• toutes hauteurs d'axes

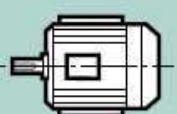
IM 1001 (IM B3)
- Arbre horizontal
- Pattes au sol



IM 1071 (IM B8)
- Arbre horizontal
- Pattes en haut



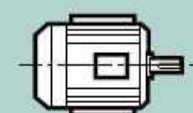
IM 1051 (IM B6)
- Arbre horizontal
- Pattes au mur à gauche
vue du bout d'arbre



IM 1011 (IM V5)
- Arbre vertical vers le bas
- Pattes au mur



IM 1061 (IM B7)
- Arbre horizontal
- Pattes au mur à droite
vue du bout d'arbre

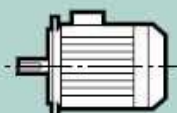


IM 1031 (IM V6)
- Arbre vertical vers le haut
- Pattes au mur

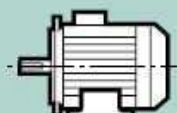


Moteurs à bride (FF) de fixation à trous lisses • toutes hauteurs d'axes

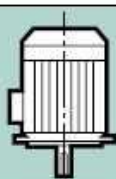
IM 3001 (IM B5)
- Arbre horizontal



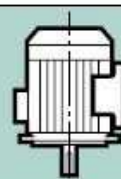
IM 2001 (IM B35)
- Arbre horizontal
- Pattes au sol



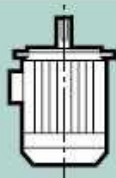
IM 3011 (IM V1)
- Arbre vertical en bas



IM 2011 (IM V15)
- Arbre vertical en bas
- Pattes au mur



IM 3031 (IM V3)
- Arbre vertical en haut



IM 2031 (IM V36)
- Arbre vertical en haut
- Pattes au mur



(excepté IM 3001 limité à hauteur d'axe 225)

Maintenance des moteurs

→ Transport

Il faut absolument éviter tout choc quand l'arbre du moteur est porteur d'un codeur ou d'une dynamo tachymétrique, ces appareils étant fragiles.

Voir la Règle de l'art : « Manutention des moteurs électriques »

→ Raccordement

Un sens de rotation est-il désiré ? Avec le moteur asynchrone triphasé il n'est pas possible de connaître à l'avance le sens de rotation. **Donc, à la première mise en route il ne faut pas accoupler le moteur à la machine à entraîner si un mauvais sens de rotation peut entraîner des détériorations ; ceci vaut à chaque remplacement pour les moteurs > 5 CV.**

Si le moteur est accouplé, un mauvais sens de rotation peut entraîner de graves dégâts matériels et parfois de très graves accidents de personnes.

→ Accouplement

Les moteurs doivent être alignés avec précision ; l'alignement est particulièrement important dans le cas de moteurs à accouplement direct. Un défaut d'alignement peut provoquer la détérioration des roulements, des vibrations, voire la rupture des bouts d'arbres. En cas d'un bruit de roulement ou de vibrations, vérifiez immédiatement l'alignement.

Il y a trois méthodes possibles (voir fiches spécifiques) :

- lignage laser ;
- méthode des comparateurs ;
- utilisations de règle, calibre à lame, calibre en coin..

Pour un petit moteur, si on ne veut pas faire appel à l'une de ces méthodes, il importe de procéder comme suit :

Pour vérifier si les arbres sont parallèles, mesurez avec une jauge d'épaisseur la distance x entre les bords intérieurs des demi-accouplements sur un point de la circonférence. Tournez ensuite les deux demi-accouplements ensemble sur 90° , sans modifier la position relative des arbres et remesurez exactement au même point. Mesurez à nouveau la distance après rotation sur 180° et 270° . En principe, l'écart entre la mesure maxi et la mesure mini ne doit pas dépasser 0,05 mm.

Entraînement par courroie

L'alignement doit être fait de telle façon que la courroie reste bien en position durant la marche.

La pose d'une courroie nécessite que :

- les deux poulies se trouvent sur le même alignement ;
- sa tension soit suffisante pour éviter le glissement, mais sans excès car cela pourrait endommager les roulements du moteur. Il faut la contrôler avec un **tensiomètre** (voir Mécanique).

Pour minimiser le nombre de remplacements de moteurs, le Responsable de Maintenance doit définir une procédure stricte à respecter pour les transports, raccords, accouplements et lignages des moteurs.

Maintenance : CONTROLES

- (A) Les desserrages aux boîtes à bornes des moteurs sont l'une des principales causes de défaillances des moteurs. Au moins pour les moteurs moyens et importants, il est judicieux de faire un contrôle de ces serrages une fois par an.
- (B) Après avoir dépanné en intervenant sur un disjoncteur thermique ou magnétique, il faut rechercher la cause de la panne. C'est très souvent un déséquilibre de phases dû à un desserrage. Il faut donc obligatoirement revenir une pince ampèremétrique pour faire ce contrôle.
Notons que l'utilisation de la pince ampèremétrique présente un autre intérêt. En effet, la charge approximative d'un moteur triphasé peut être déterminée en marche. Pour cela il faut pincer successivement l'instrument sur chacun des conducteurs.
- (C) Il est nécessaire de contrôler régulièrement la température du moteur avec un thermomètre infrarouge ; rappelons que la température généralement admise est de 55°C au-dessus de la température ambiante.
- (D) La grille arrière du moteur doit être maintenue propre ; sinon le moteur chauffe. Dans la très grande majorité des cas, un nettoyage et un soufflage de la grille et du ventilateur sont suffisants une fois par an. Mais cela dépend de l'ambiance et des conditions de travail de l'atelier. Par exemple, là où l'on fait des essuie-tout et des mouchoirs en papier, de l'ouate de cellulose se dépose. C'est à chaque équipe que l'on doit passer la main pour enlever les dépôts ; sinon le moteur chauffe. On doit imposer des vérifications de la réalisation de ce travail coutumier.
- (E) Certains moteurs nécessitent une lubrification des paliers, soit à la graisse, soit à l'huile. Voir à ce sujet la règle de l'art : « Lubrification d'un moteur électrique ».
- (F) L'état des paliers doit être régulièrement contrôlé soit par analyse de vibrations (4 points), soit avec l'appareil de mesure d'ondes de chocs, soit avec l'appareil de mesure d'ultrasons.
- (G) Pour les moteurs moyens et importants, un contrôle d'isolement est nécessaire une fois par an.
Il est nécessaire pour tous les moteurs (surtout ceux en position verticale) placés à l'extérieur ou dans des atmosphères pénétrantes (sidérurgie par ex.) tous les 6, voire 3, mois.
- (H) Pour les moteurs à courant continu et les moteurs asynchrones à rotor bobiné, il ne faut pas oublier de contrôler régulièrement les balais. Ceux-ci ne peuvent être remplacés qu'au maximum par tranche de 1/3 du nombre total (quand c'est possible par rangée quand il y en a trois).
Cela est vrai également pour les balais des dynamos tachymétriques.

Par ailleurs, il convient de nettoyer régulièrement les moteurs ne serait-ce que pour éviter l'entrée de matières abrasives dans les roulements.

Pour les moteurs importants et critiques les contrôles suivants sont souvent recommandés :

- Essai de résistance des enroulements.
- Essai de Résistance d'Isolement électrique
- Essai Index de Polarisation
- Essai d'écart à la loi d'ohm CC (H

Appareils complémentaires aux moteurs

	Page
Thermistances.....	386
Dynamo tachymétrique.....	388
Codeurs.....	392
Variateur de vitesse.....	394

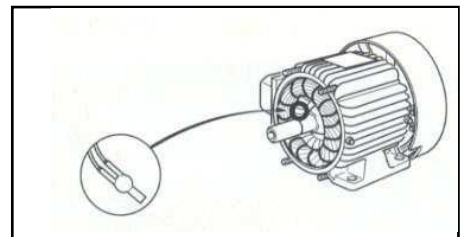
Thermistances

En contrôlant directement la température des enroulements statoriques, les relais à sondes protègent les moteurs contre les échauffements quelle qu'en soit l'origine (surcharge, élévation de la température ambiante, défaut du circuit de ventilation, fréquence de démarrage trop élevée, marche par à-coups,).

Ce mode de protection ne peut être utilisé que si des sondes ont été incorporées aux enroulements lors de la fabrication du moteur (ou du rebobinage de celui-ci).

Les relais à sondes peuvent également être utilisés pour surveiller les échauffements des organes mécaniques des moteurs ou d'autres matériels susceptibles de recevoir une sonde (paliers, circuits de graissage, radiateurs de semi-conducteurs, fluides de refroidissement, résistances de démarrage,...).

Ce système de protection contrôle la température réelle de l'élément à protéger.



Une thermistance est un élément de détection de température composé d'un matériau semi-conducteur fritté qui présente une variation importante de la résistance, proportionnelle à un petit changement de température. Les thermistances ont généralement des coefficients de température négatif (NTC) ce qui signifie que la résistance de la thermistance diminue lorsque la température augmente.

Les thermistances sont l'un des types les plus précis de capteurs de température. Les précisions sont de l'ordre de $\pm 0,1^\circ$ ou $\pm 0,1^\circ$ selon le modèle de thermistance. Cependant les thermistances sont assez limitées dans leur plage de température, et ne fonctionnent que sur une plage nominale de -80°C à $+120^\circ\text{C}$.

L'équation de Steinhart-Hart est devenu la méthode généralement acceptée pour définir la courbe pour les thermistances de température vs. résistance.

L'équation Steinhart-Hart pour la température en fonction de la résistance est la suivante:

$$1/T = a + b \ln(R) + c \ln(R)^3$$

Où: a, b et c sont des constantes fournies par le fabricant de thermistance, ou dérivées de 3 points d'essai de température.

T est la température en degrés Kelvin

R est la résistance de thermistance en ohms

Les valeurs communes de résistance de la thermistance à 25°C sont 3kO, 5kO, 10k et 30kOhm

Les thermistances terminées sont chimiquement stables et ne sont pas significativement affectées par le vieillissement.

Connexion d'une thermistance

Étant donné que les thermistances sont des matériels résistifs, il faut leur fournir une source d'excitation, puis lire la tension aux bornes de leurs terminaux. Cette source doit être constante et précise.

L'utilisateur prend les mesures de température en connectant la thermistance de manière différentielle à une entrée analogique. En d'autres termes, il est nécessaire de connecter à la fois les terminaux +ve et -ve de l'entrée analogique aux bornes de la thermistance.

Les thermistances sont configurées à deux, trois ou quatre fils.

Lorsqu'il y a plus de deux fils, les fils supplémentaires servent uniquement à la connexion avec la source d'excitation. Une méthode de connexion à trois ou quatre fils place les conducteurs sur un chemin de haute impédance qui traverse le matériel de mesure, atténuant ainsi efficacement l'erreur causée par la résistance du fil conducteur.

Le moyen le plus simple de connecter une thermistance à un matériel de mesure est la connexion à deux fils. Avec cette méthode, les deux fils qui fournissent la source d'excitation à la thermistance sont également utilisés pour mesurer la tension aux bornes du capteur. Comme les thermistances ont une résistance nominale élevée, une résistance de fil conducteur n'affecte pas la précision de leurs mesures ; de ce fait, les mesures à deux fils conviennent parfaitement aux thermistances. Les thermistances à deux fils sont les plus répandues.

Dynamo tachymétrique

Mesures des vitesses de rotation par tachymètres

Rappelons les principaux appareils à lecture directe utilisés pour les machines électriques :

- appareils chronométriques (compte-tours, compte-tours chronométriques, tachymètres chronométriques) ;
- tachymètres à force centrifuge ;
- tachymètres magnétiques.

Ces appareils à lecture directe sont surtout employés en régime permanent. Leur puissance absorbée, bien que faible, en interdit l'utilisation pour les petits moteurs de puissance inférieure à quelques dizaines de watts, dont ils fausseraient l'essai.

Tachymètres à génératrice électrique

La génératrice peut être soit une dynamo à courant continu, généralement à aimant permanent, soit un alternateur dont on mesure la fréquence ou la tension. On peut citer également le tachymètre asynchrone à deux enroulements en quadrature, dont l'un est alimenté en courant alternatif.

Ces générateurs sont très utiles quand la vitesse est variable, car on peut généralement enregistrer leurs données. Toutefois, ils peuvent seulement être employés quand leur puissance absorbée est suffisamment faible pour ne pas fausser l'essai.

Tachymètres à mesure de fréquence

Un capteur permet de compter pendant un temps déterminé le nombre de passages d'un repère fixé à l'arbre de la machine ; ce repère peut être formé soit par une marque de peinture pour les capteurs photo-électriques à réflexion, soit par des disques à fentes ou à trous pour les capteurs photo-électriques à transmission, soit par une roue métallique dentée pour les capteurs magnétiques ou à réluctance variable.

On peut inclure, dans cette catégorie de tachymètres, les capteurs incrémentaux rotatifs associés à une électronique adaptée qui peut, selon sa conception, être utilisée pour les mesures en régime variable.

Le premier type, par réflexion, peut être utilisé même pour les plus petites machines ; pour les autres types, il est nécessaire de s'assurer que les pertes par ventilation des disques, ou les pertes mécaniques des capteurs, sont négligeables devant la puissance des machines en essai.

De plus, certains capteurs et leur électronique associée sont parfois sensibles aux perturbations électromagnétiques extérieures et il est bon de vérifier que les résultats sont reproductibles.

Tachymètres à stroboscope

Ils ont l'avantage d'être utilisables pour les plus petites machines.

Dans le modèle mécanique, l'opérateur vise la machine à travers le trou d'un disque tournant dont il règle la vitesse pour obtenir l'immobilisation apparente du rotor ou d'un repère qui lui est lié.

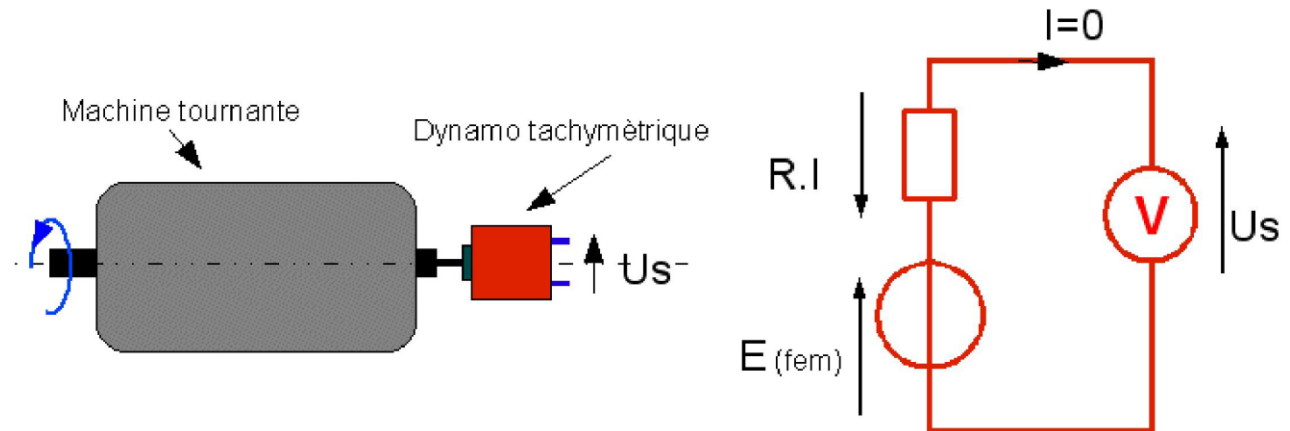
Dans le type à éclairs lumineux, l'opérateur règle la fréquence des éclairs pour obtenir cette immobilisation.

Dans les deux cas, il est nécessaire de s'assurer que l'on ne fait pas une erreur de rapport 2 ou même plus, soit en connaissant à l'avance l'ordre de grandeurs de la vitesse à mesurer, soit en doublant la fréquence d'observation afin d'observer le rotor dans deux positions apparentes différentes.

Génératrice tachymétrique

La tension E étant proportionnelle à la fréquence de rotation, le moteur peut être utilisé comme capteur de vitesse

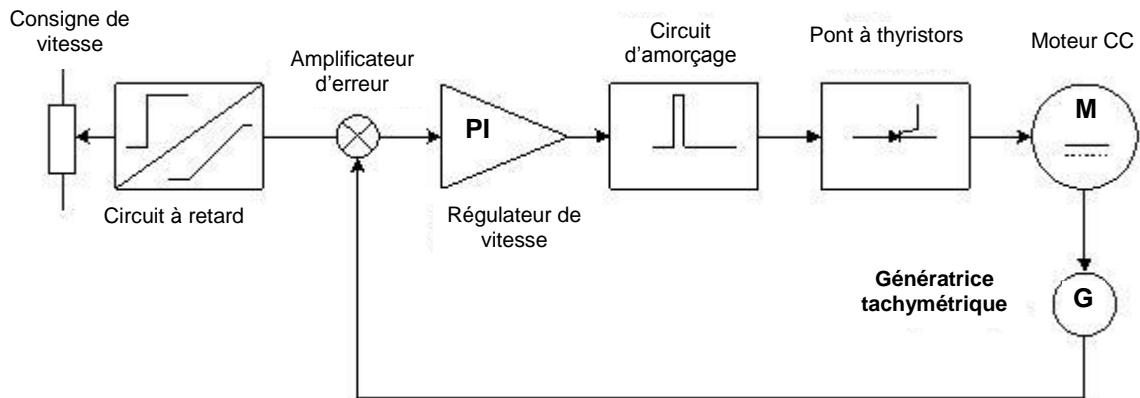
On le nomme alors génératrice tachymétrique et on mesure la tension U à ses bornes.



Régulation de vitesse par génératrice tachymétrique

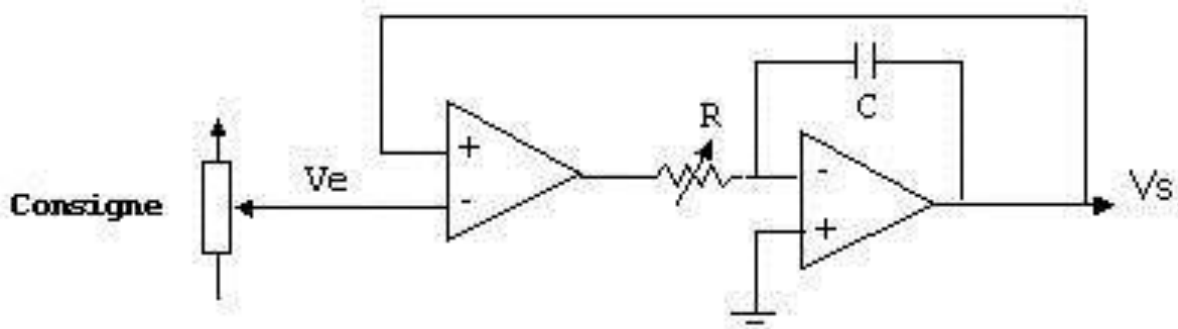
Celle-ci, placée en bout d'arbre du moteur, fournit une tension proportionnelle à la vitesse de rotation. Le régulateur agit pour que cette tension (la vitesse de rotation) soit égale à la tension de consigne. Cette méthode permet d'avoir une très grande précision, de 0,1% pour une variation de charge importante.

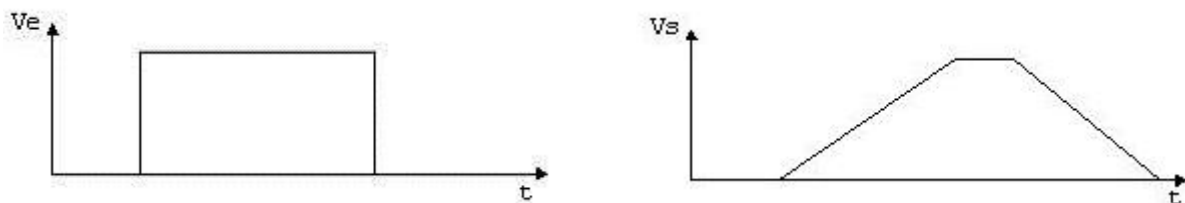
La figure suivante montre les différents éléments d'une boucle de régulation utilisant une génératrice tachymétrique.



Circuit à retard

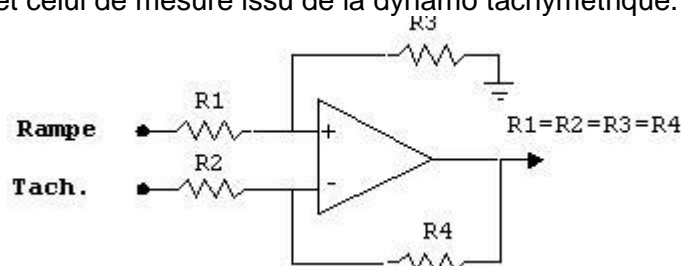
Le rôle de ce circuit est de transformer un échelon de tension d'entrée en une tension de sortie en forme de rampe. Le circuit se compose d'un intégrateur rebouclé sur un comparateur qui permet de maintenir constante la tension de sortie lorsque celle-ci a rattrapé le niveau de la tension d'entrée. Le circuit permet alors d'avoir des démarrages ou des arrêts progressifs.





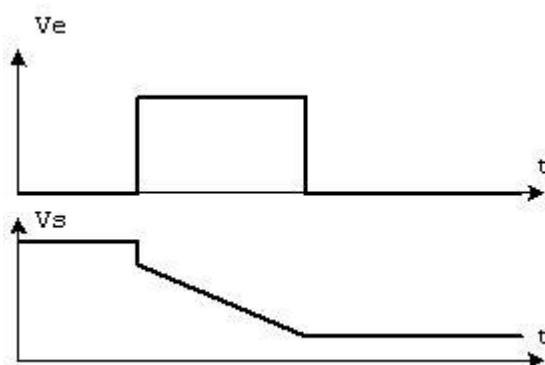
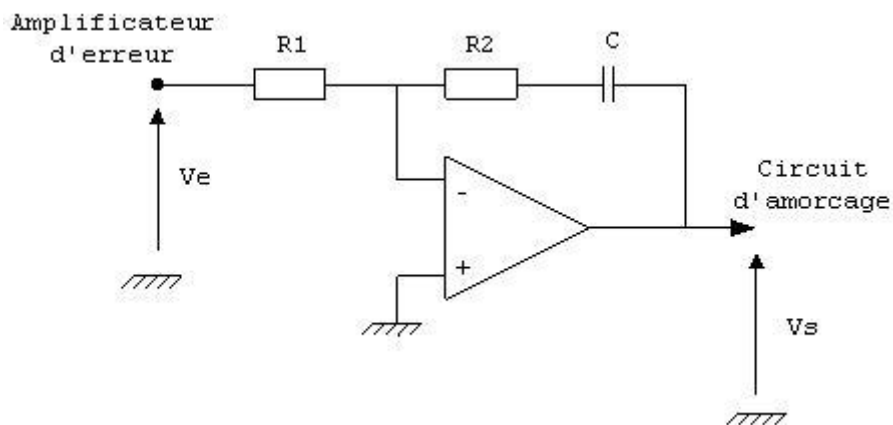
Amplificateur d'erreur

C'est un amplificateur différentiel qui fournit une image amplifiée de la différence de tension entre le signal de consigne et celui de mesure issu de la dynamo tachymétrique.



Régulateur

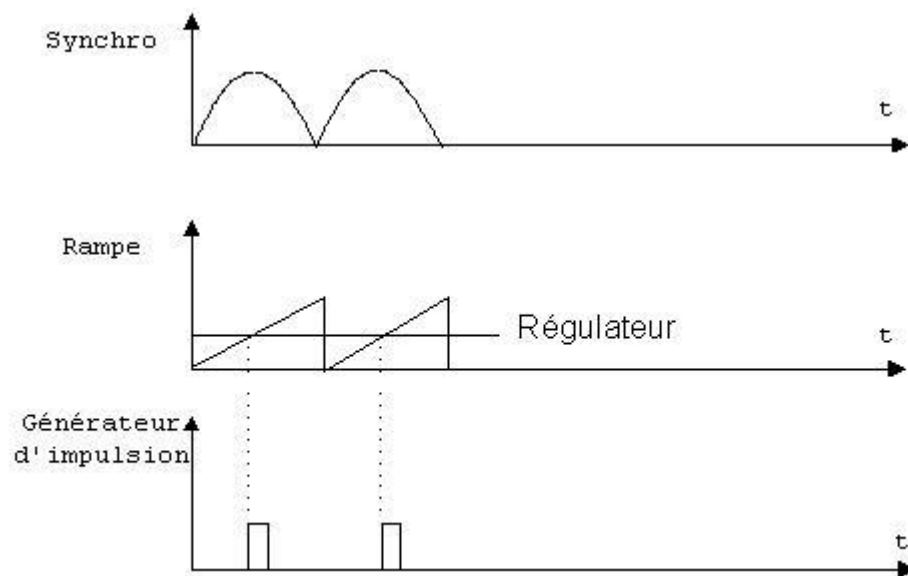
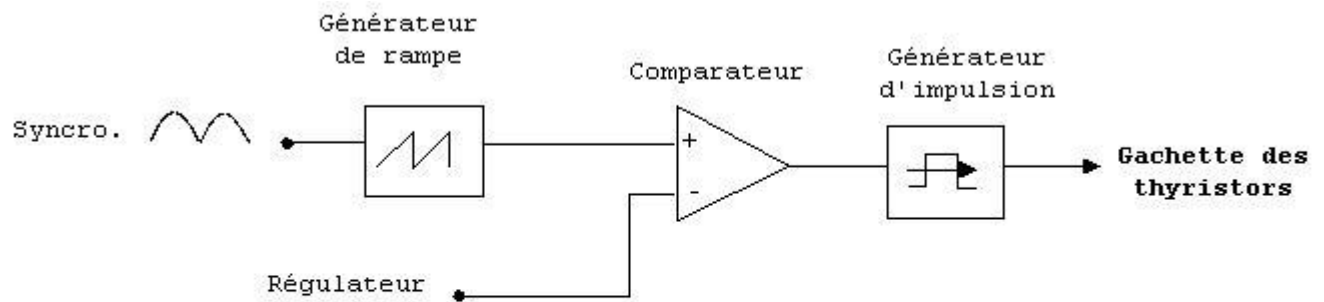
Le régulateur est de type proportionnel, intégral (PI). La partie proportionnelle permet une correction rapide de l'erreur, tandis que la partie intégrale corrige tant qu'il y a une erreur. Cette correction agit sur le circuit d'amorçage.



d/ Le circuit d'amorçage :

C'est un circuit qui permet d'amorcer à un moment bien précis le ou les thyristors qui alimentent le moteur. Ce circuit génère une rampe qui est synchronisée sur le secteur, celle-ci est comparée à la tension provenant du

régulateur. La sortie du comparateur permet à un générateur d'impulsions de commander les thyristors avec un angle pouvant varier entre 0° et 180° . L'isolation entre le circuit d'amorçage et les thyristors se fait par d'impulsion.



Codeurs

Les codeurs rotatifs sont un type de capteurs permettant de délivrer une information d'angle, en mesurant la rotation effectuée autour d'un axe.

L'information de vitesse peut alors être déduite de la variation de la position par rapport au temps. Plus le codeur rotatif tourne lentement, plus la déduction de vitesse perd en précision.

Il existe 2 principaux types :

Le codeur rotatif incrémental

qui ajoute ou soustrait (selon le sens de rotation) une unité à un compteur à chaque rotation supérieure à la résolution du capteur. Le compteur est généralement remis à zéro lorsque l'appareil est allumé. C'est le cas de la souris d'ordinateur à boule.

Le codeur rotatif absolu

qui intègre son propre compteur. Ce genre de capteur est généralement calibré et initialisé une seule fois, et il conserve normalement sa valeur lors de l'arrêt de l'appareil. C'est le cas des compteurs kilométriques des automobiles à la différence du "compteur journalier" qui peut être remise à zéro par l'utilisateur.

Codeur incrémental

Le codeur incrémental est un capteur angulaire de position. Il est destiné à des applications de positionnement, de contrôle de déplacement ou de mesure de vitesse d'un mobile, par comptage et décomptage des impulsions qu'il délivre.

Son axe est lié mécaniquement à l'arbre de la machine qui l'entraîne. Il fait tourner un disque incassable comportant des zones opaques et transparentes. Une diode L.E.D. émet un rayonnement lumineux arrivant sur des photodiodes au passage de chaque zone transparente du disque.

Le codeur incrémental délivre des impulsions permettant la définition d'une direction et un comptage.

Codeur absolu

Les codeurs multitours sont capables de détecter les incréments angulaires pour une rotation, mais aussi pour plusieurs rotations. Une transmission démultiplicatrice interne est reliée à l'arbre d'entraînement ; c'est elle qui enregistre le nombre de rotations, opération qui peut également être assurée par électronique.

La valeur mesurée par les codeurs multitours se compose ainsi d'une position angulaire et d'un nombre de rotations. Elle est également imputée et transmise, en fonction de l'interface, par différentes interfaces : SSI, Profibus, bus CAN et BISS.

Codeur incrémental

Un codeur incrémental est un "générateur d'impulsions", les impulsions sont doublées et déphasées électriquement de 90 °.

Une logique associée au codeur analyse :

- l'ordre d'apparition des impulsions pour déterminer le sens de déplacement du mobile,
- le nombre d'impulsions pour déterminer l'amplitude du déplacement.

Par ailleurs, la logique ayant mémorisé la position de départ du mobile, elle définit la position instantanée à partir de ces 3 informations : position initiale, sens du déplacement et amplitude de celui-ci.

Bien évidemment, toute rupture de liaison entre logique et codeur ou toute perte de mémoire de la logique (suite à une coupure d'alimentation par exemple) fait perdre des informations. La logique

est alors dans l'impossibilité de définir la position du mobile ; une "remise à zéro" est nécessaire dans ce cas.

Codeur absolu

Un codeur absolu est un générateur de messages (ou mots) codés :

- chaque position élémentaire du mobile est caractérisé par une valeur particulière de message,
- le codeur absolu délivre un message correspondant à la position instantanée du mobile.

Une logique associée au codeur reconnaît la position instantanée du mobile en comparant le message délivré par le codeur à la table de correspondance position/message.

Dans les 2 types de codeurs, la résolution dépend de l'amplitude élémentaire de déplacement pour une impulsion (codeur incrémental) ou un message (codeur absolu).

Variateur de vitesse

Généralités

Les moteurs asynchrones à cage offrent d'excellentes performances en termes de disponibilité, de fiabilité et de rendement. Cependant, ils ont deux points faibles : leurs performances au démarrage et une régulation de vitesse peu précise sur une large plage. Leur mise en vitesse variable, avec commande par un convertisseur de fréquence, permet de résoudre ces deux problèmes.

Les principaux avantages de la variation électronique de vitesse (VEV) sont :

- Optimisation et précision de la commande et de la régulation de vitesse amenant d'importantes économies d'énergie.
- Réduction de la maintenance.
- Amélioration de la qualité de production et gains de productivité.

Les moteurs à bagues ne sont pas recommandés pour la commande par convertisseurs.

Convertisseurs

➤ Convertisseurs directs (cycloconvertisseurs et convertisseurs matriciels)

Ils convertissent directement la puissance d'entrée en puissance de sortie sans circuits intermédiaires. Les cycloconvertisseurs sont utilisés pour les fortes puissances et aux basses fréquences.

➤ Convertisseurs indirects

Ils sont soit à source de courant, soit à source de tension.

Dans un convertisseur à source de courant, le circuit intermédiaire joue le rôle de source de courant c.c. et la sortie est constituée d'impulsions de courant commandées en Fréquence qui varient en continu et sont transmises aux différentes phases du système triphasé.

Dans un convertisseur à source de tension, le circuit intermédiaire joue le rôle de réseau de tension c.c. et la sortie est une impulsion de tension ou une série d'impulsions.

➤ Modulation de largeur d'impulsions

Le redresseur convertit l'alimentation réseau de tension et fréquence assignées fines en alimentation de tension c.c. fine. Cette tension c.c. fine est ensuite filtrée pour réduire la tension d'ondulation résultant du redressement de l'alimentation c.a. L'onduleur convertit ensuite l'alimentation c.c. de tension fine en alimentation de sortie c.a. de tension et fréquence variables.

Capacité de charge

Le couple manimum (limite de décrochage) doit être au moins supérieur de 40% au couple de la charge à n'importe quelle fréquence et la vitesse mani admissible du moteur ne doit pas être dépassée.

Le couple est réduit du fait d'un échauffement supplémentaire lié aux harmoniques et le refroidissement est réduit selon la plage de fréquence.

➤ Filtrage

Le filtrage de la tension de sortie du convertisseur réduit la teneur en harmoniques de la tension et du courant moteur, et réduit donc les pertes supplémentaires dans le moteur. Il faut tenir compte de la puissance totale et de la plage de vitesse pour dimensionner les réactances (filtres)

Cependant, les filtres limitent le couple maxi du moteur.

➤ Refroidissement

L'efficacité du refroidissement est améliorée en montant un ventilateur de refroidissement séparé et tournant à vitesse constante, plus particulièrement pour les basses vitesses.

Mise à la terre

Dans un entraînement par convertisseur, une attention particulière doit être accordée à la mise à la terre pour garantir :

- ✓ un fonctionnement correct de tous les dispositifs de protection et des relais assurant la sécurité en général,
- ✓ un niveau minimum ou acceptable de perturbations électromagnétiques,
- ✓ un niveau acceptable de tensions dans les paliers pour éviter les courants parasites et la détérioration des roulements

Vitesse critique

La première vitesse critique d'un moteur standard ne doit jamais être dépassée, et une marge de sécurité de 25% doit être prévue.

Maintenance

Avant toute mise en service d'un variateur de vitesse les vérifications ci-après sont nécessaires.

- ➔ Les câbles de puissance et du moteur sont correctement dimensionnés, installés et raccordés.
- ➔ Tous les blindages des câbles de puissance ont été correctement mis à la terre à chaque extrémité (pour maintenir un effet de cage de Faraday), à la borne de terre de protection du convertisseur, du moteur et du tableau de distribution.
- ➔ Les câbles de commande ont été installés conformément à la configuration du système de commande.
- ➔ Tous les blindages des câbles de commande ont été correctement mis à la terre à une extrémité seulement, de préférence à l'extrémité du système de commande de processus.
- ➔ Les câbles sont exempts de défauts avant la première mise sous tension.
- ➔ Les connexions du ventilateur doivent être vérifiées.

Maintenance

Il est souhaitable de noter les valeurs de réglage d'un variateur dans un fichier informatique pour le cas d'un remplacement.

Sinon, on risque d'avoir des pannes pendant 2 à 3 semaines avant de retrouver les bons réglages.

Protections

	Page
Fonction de sectionnement.....	397
Prptections contre les court-circuits.....	400
Protections contre les surcharges.....	407
Protections des personnes.....	410

Fonction de sectionnement

Principe

Le sectionnement a pour but de séparer de sa source une installation ou une partie d'installation électrique. C'est une fonction de sécurité qui est un critère important de sûreté pour la protection des personnes et des biens.

C'est une obligation suivant la norme NF C15-100 et le décret du 14-11-1988 : « des dispositifs de sectionnement doivent être prévus pour permettre la séparation d'une installation électrique, de circuits ou d'appareils individuels de leur source d'alimentation, afin de permettre l'entretien, la vérification, la localisation des défauts et les réparations ».

Donc en tête de chaque circuit, il faut un dispositif de sectionnement qui peut être :

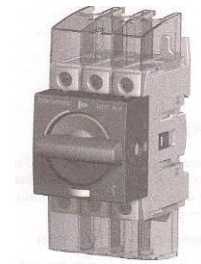
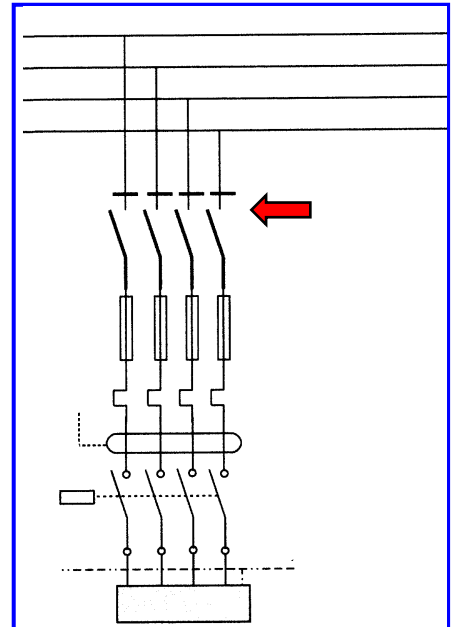
- un interrupteur ou un disjoncteur, pourvu qu'il ait les propriétés requises ;
- un sectionneur.

Propriétés requises

La fonction de sectionnement doit toujours se situer en amont des autres.

Elle repose sur deux qualités principales :

- En position ouverte, la garantie d'isolement de la partie séparée doit être assurée en toutes circonstances.
- La position « O » doit être sûre, c'est-à-dire que la position ouverte ne peut être indiquée que si et seulement si tous les pôles sont effectivement ouverts. Cette position doit être stable et elle ne doit pas être quittée d'une manière intempestive.



La fonction de sectionnement s'applique :

- ✓ aux appareils sur lesquels on peut vouloir interdire une remise en marche intempestive :
 - sectionneurs ;
 - prises de courant ;
 - appareils débrochables.
- ✓ aux appareils de coupure :
 - interrupteurs ;
 - disjoncteurs.

Obligations

- En tête de chaque circuit un dispositif de sectionnement doit être installé.
- Il doit couper tous les conducteurs actifs sauf le PEN.

La norme EN 60947-3 spécifie pour contrôle de la position sectionnée, soit une indication sur l'organe de manœuvre, soit un indicateur mécanique séparé. En cas d'impossibilité ou d'insuffisance de ces dispositifs, la norme demande que « tous les contacts principaux soient nettement visibles en position d'ouverture ».

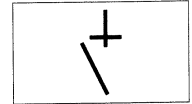
Les dispositifs de sectionnement montés en coffrets individuels à capots ou fenêtres transparents peuvent apporter une confiance supplémentaire dans l'indication de la position de séparation.

Mais il n'est pas souhaitable que ce soit la seule indication.

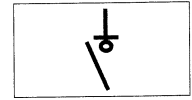
Un indicateur de position I/O ou ON/OFF doit être incorporé.

Représentation

Un appareil qui a l'aptitude à la fonction de sectionnement doit porter le symbole :



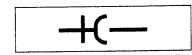
Si l'appareil est également un interrupteur, il doit porter le symbole :.....



S'il est également un disjoncteur, il doit porter le symbole :.....



Cas d'un dispositif débrochable :.....



Sectionneur

Le sectionneur, à la différence du disjoncteur ou de l'interrupteur, n'a pas de pouvoir de coupure, ni de fermeture. Il est impératif d'arrêter l'équipement aval pour éviter une ouverture en charge. Dans le cas contraire de graves brûlures pourraient être provoquées, liées à un arc électrique provoqué par l'ouverture.

Le sectionneur, pour satisfaire aux normes en vigueur, **doit pouvoir être condamné en position ouverte.**

Dans la plupart des cas, il comporte des fusibles de protection ainsi qu'un ou deux contacts de pré-coupure.

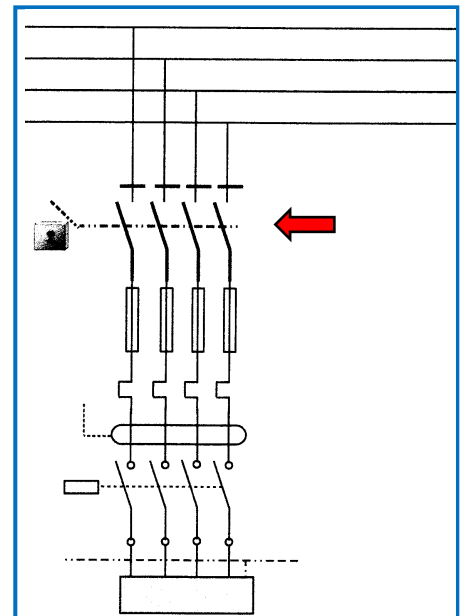
Consignation

La consignation consiste à mettre en place, en position ouverte du sectionneur, un dispositif de verrouillage ayant pour but d'empêcher une mise sous tension sans avoir vérifié toutes les conditions de sécurité.

On distingue en général :

- Une consignation effectuée par un électricien habilité. Elle s'effectue en principe par un cadenas, lequel peut être accessible à l'intérieur du tableau ou de la salle électrique.
- Une consignation effectuée par un opérateur non électricien. Cette opération ne doit pouvoir se faire qu'à partir d'un ensemble protégé par une enveloppe ou des barrières de degré de protection IPxxB minimum.

Dans ce cas, l'appareil est forcément verrouillable par trois cadenas, donc consigné par 3 corps de métiers dont un seul électricien.



Interrupteur

Un interrupteur est un appareil mécanique de connexion capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans des conditions normales du circuit, y compris éventuellement les conditions spécifiées de surcharge en service, ainsi que de supporter pendant une durée spécifiée des courants dans des conditions anormales spécifiées du circuit telles que celles du court-circuit.

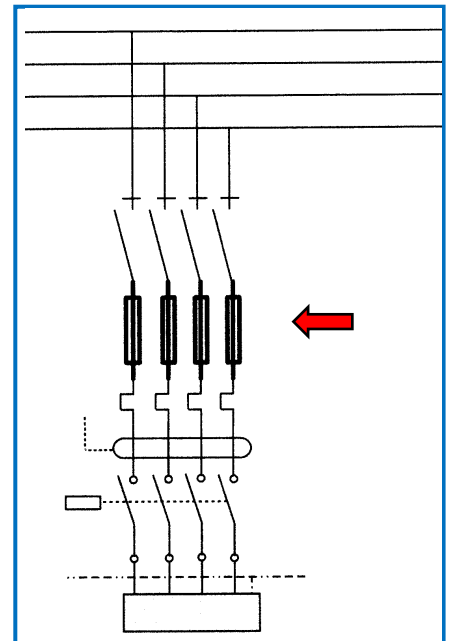
Protection contre les courts-circuits

Un courant de court-circuit est défini par la norme NF C15-100 comme « une surintensité produite par un défaut ayant une impédance négligeable entre des conducteurs actifs présentant une différence de potentiel en service normal ».

Cette surintensité peut prendre une valeur très élevée que ne peuvent supporter très longtemps les parties conductrices parcourues par ce courant.

A ce jour, les appareils de protection restent essentiellement les fusibles et les disjoncteurs.

Fusibles

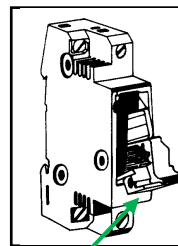
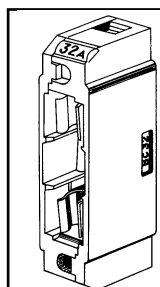


Le coupe-circuit à fusible, par abréviation fusible, est un appareil de connexion dont la fonction est d'ouvrir, par la fusion d'un ou de plusieurs de ses éléments conçus et calibrés à cet effet, le circuit dans lequel il est installé et d'interrompre le courant, lorsque celui-ci dépasse pendant un temps déterminé une valeur donnée.

Un appareil de connexion complet est constitué des parties ci-après.

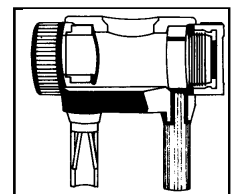
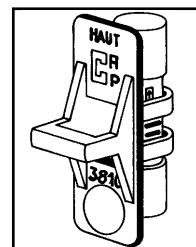
Socle

C'est la partie fixe d'un coupe-circuit munie de bornes destinées à être raccordées au réseau. Tous les éléments du socle sont réalisés en matériau isolant, incassable, auto-extinguible, à haute résistance mécanique et haute tenue en température (supérieure à 200°C).



Porte fusible

C'est la partie mobile destinée à recevoir le fusible

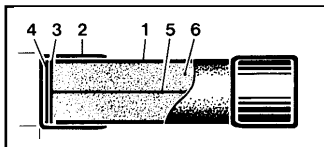
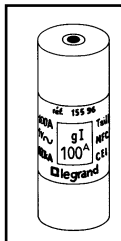


Fusible

Pour éviter que la fusion du fusible ne provoque des effets nuisibles externes dus au développement d'un arc, à l'émission de gaz ou à la projection de flammes ou de particules métalliques, les éléments de remplacement (fusible) sont généralement à fusion enfermée.

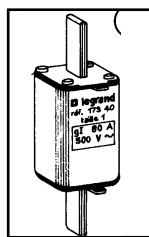
Deux types d'élément de remplacement sont à distinguer :

- Les cartouches cylindriques ;



1. tube en stéatite
2. capsule de contact à fond renforcé
3. disque de centrage de la lame
4. plaquette de soudure pour jonction capsule et lame-fusible
5. lame-fusible à strictions
6. sable réfrigérant et extincteur de l'arc

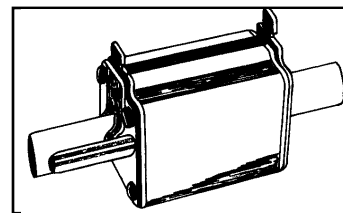
- Les cartouches à couteaux.



Lorsqu'il y a lieu de signaler le fonctionnement d'un coupe-circuit, on a recours à un indicateur de fusion visuel situé sur l'élément de remplacement.

Mais il est souvent nécessaire que l'interruption du circuit soit signalée à distance ou agisse sur une protection complémentaire (disjoncteur par exemple). On utilise alors un coupe-circuit à percuteur qui, en cas de fusion, libère un travail mécanique pouvant actionner soit un contact électrique, soit un organe mécanique de déclenchement, soit un indicateur mécanique à distance.

Ces percuteurs peuvent être soit intérieurs au coupe-circuit, soit indépendants.



Classification des fusibles

Les fusibles sont classés en fonction :

- de la nature de la protection assurée ;
- du degré de protection contre les chocs électriques ;
- du type de protection contre les surintensités.

Nature de la protection assurée

Classement suivant la protection assurée :

- ✓ à la fois contre les surcharges et les court-circuits : fusibles gI, gII ;
- ✓ uniquement contre les court-circuits : fusibles aM ;
- ✓ en association avec un disjoncteur à pouvoir de coupure limité : fusibles AD.

Protection contre les contacts directs

La protection des personnes est envisagée dans les trois situations suivantes :

- ✓ après enlèvement de l'élément de remplacement (fusible) ;
- ✓ pendant sa mise en place ou son enlèvement ;
- ✓ lorsque l'élément de remplacement est en place.

Cette notion définit quatre classes de coupe-circuit.

Classe	Degré de protection
2.2	La protection contre le contact des doigts avec les parties actives est assurée dans les trois situations avec le degré de protection IP2XX
2.1	Situation 1 : degré de protection IP2XX. Autres situations : uniquement protection contre les contacts accidentels ou involontaires de la main : degré IP1XX.
1.1	La protection contre les contacts accidentels ou involontaires de la main avec les pièces sous tension est assurée dans les trois situations : degré IP1XX.
0.0	Quelle que soit la situation, aucune protection n'est assurée : degré IP0XX.

Protection contre les surintensités

6. Les fusibles gI et gII assurent la protection des installations à la fois contre les surcharges et contre les courts-circuits : ce sont des fusibles à usage général.
7. Les fusibles de classe aM protègent uniquement contre les courts-circuits : ils sont appelés : fusibles d'accompagnement. La protection n'étant pas totale les coupe-circuit aM doivent toujours être utilisés conjointement avec d'autres appareils de protection (disjoncteur, discontacteur).
8. Les coupe-circuits AD sont associés à des disjoncteurs de type B qui n'ont pas des performances de coupure compatibles avec les courants de court-circuit de valeur élevée. Ils sont capables d'interrompre efficacement tous courants compris entre 10 fois le courant nominal du disjoncteur et leur pouvoir de coupure nominal. Quel que soit le modèle de la cartouche fusible, le pouvoir de coupure nominal est fixé à 20 kA.

Pouvoir de coupure

Le courant présumé coupé est le courant dans le circuit à l'instant de l'amorçage de l'arc dans le fusible. Grâce à leur rapidité de fonctionnement en cas de court-circuit, les fusibles possèdent des pouvoirs de coupure élevés.

Exemple : fusible gI, calibre 16 A, $U_n = 500$ V, pouvoir de coupure : 50 kA.

Disjoncteurs

On appelle disjoncteur un appareil mécanique de connexion capable :

- d'établir, de supporter et interrompre des courants dans les conditions normales du circuit ;
- et d'établir, de supporter pendant une durée spécifiée et d'interrompre des courants dans des conditions anormales spécifiées du circuit telles que celles du court-circuit.

Catégories de disjoncteurs

La norme EN 60947-2 distingue deux catégories de disjoncteurs « industriels » :

- ➔ **Catégorie A** : disjoncteurs à action instantanée dont le déclencheur de court-circuit est non temporisé ;
- ➔ **Catégorie B** : disjoncteurs dont le déclencheur de court-circuit est temporisé en vue d'assurer une sélectivité.

Pour les disjoncteurs de type A, deux définitions de pouvoir de coupure sont proposées :

- pouvoir de coupure de service : Ics ;
- pouvoir de coupure Icu.

Pour les disjoncteurs de type B, les deux définitions de pouvoir de coupure sont applicables avec une troisième :

- courant de courte durée admissible : I_{cw} .

I_{cw} est le courant que peut supporter le disjoncteur pendant le temps t sans que l'appareil ne chauffe excessivement, principalement à ses bornes.

Disjoncteurs miniatures

Ce sont ceux qui sont utilisés couramment pour la connexion et la protection des applications domestiques, industrielles et commerciales. Ils remplacent avantageusement les fusibles classiques tout en offrant une plus grande flexibilité.

Un tel appareil est utilisé comme un interrupteur, et il fonctionne comme un dispositif de protection, dans des conditions de surcharge ou de court-circuit, en isolant la partie présentant un défaut.

Des capteurs magnétiques ou thermiques actionnent un mécanisme de déclenchement. Les tensions concernées sont de 240 V / 415 Vca, 50 V / 110 Vca, et le courant nominal est de 1 à 55A.

Disjoncteur haute tension

Un disjoncteur haute tension est soit à huile, soit à soufflage d'air.

Dans le premier cas, les contacts s'ouvrent dans l'huile.

Dans le deuxième cas, de l'air à haute pression est forcé sur l'arc à travers une tuyère lorsque les contacts se séparent. L'air ionisé entre les contacts est soufflé par la propulsion de l'air à haute pression.

Le principe est un transformateur de courant, basé sur un relais à retardement. Dans celui-ci le temps de fermeture des contacts de relais est une fonction inverse de l'intensité du courant. En conséquence plus l'intensité du courant est élevée, plus le temps de fermeture est court.

Lorsque le circuit continu est fermé par un contact de relais, une bobine déclenche le disjoncteur. Le temps d'ouverture est d'environ 6 cycles.

Disjoncteurs à air

Les disjoncteurs à air de capacité nominale élevée sont considérés comme des alimentations d'entrée du d'alimentation, tandis que les disjoncteurs à boîtier moulé sont utilisés pour toutes les alimentations de sortie.

L'air, sous pression atmosphérique, est utilisé comme moyen d'extinction. On utilise le principe d'interruption de haute résistance : l'arc est allongé à l'aide de boîtes de soufflage et de canaux.

Les disjoncteurs à air sont utilisés dans les circuits alternatifs et continus jusqu'à 11 kV, généralement en intérieur. Ils sont disponibles dans une gamme allant de 630 à 5000 A en version tripolaire et quadripolaire.

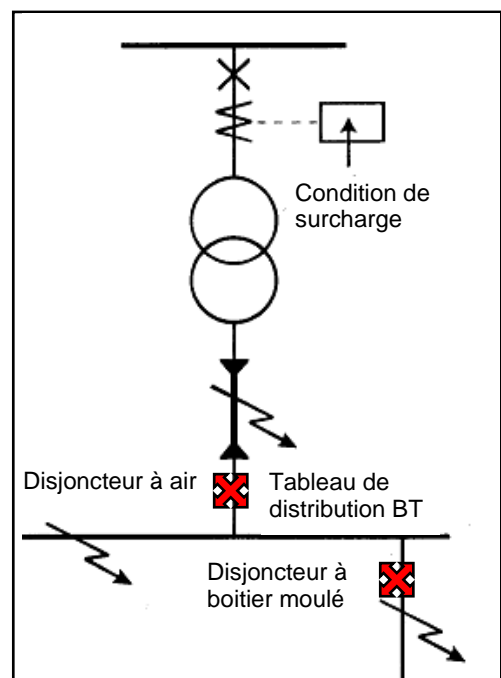
Leur fabrication est simple.

Ils conviennent particulièrement aux applications qui nécessitent des coupures répétées.

Il existe des modèles fixes et des modèles amovibles.

Chaque unité est équipée d'un dispositif de protection, généralement électronique.

Les temps de coupure typiques sont de l'ordre de 40-50 ms pour les défauts de court-circuit.



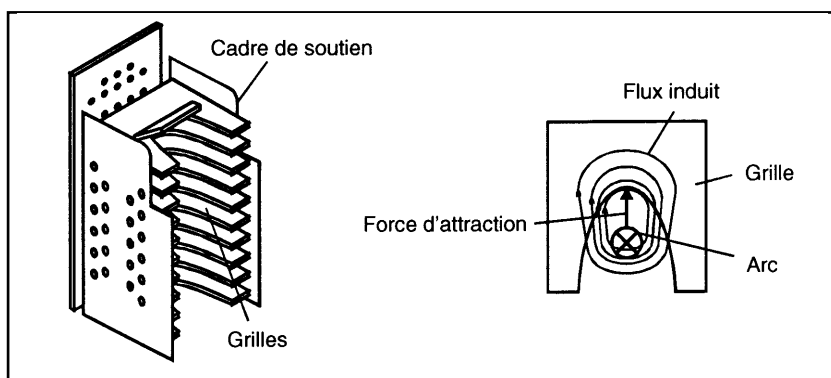
Maintenance

1. L'élément thermique du disjoncteur peut être réglé de façon à protéger le transformateur contre les surcharges excessives, étant donné que le courant circulant dans le transformateur traverse également le disjoncteur à air. Le déclenchement du disjoncteur supprime la surcharge et permet au transformateur de se refroidir. Le transformateur est toujours actif du côté HT et ne présente pas de défaut ; il est simplement en condition de surcharge.
En contrôlant la température sur les indicateurs du transformateur, le technicien a une idée précise du problème. .
Une pratique courante consiste à déclencher le transformateur côté HT en cas de surcharge. Dans ce cas, on ne sait pas si le transformateur présente un défaut ou s'il est en surcharge.
2. Les valeurs de réglage du disjoncteur à air (comme pour tous les disjoncteurs d'ailleurs) doivent être conservées dans une documentation facilement accessible. Elles ne doivent pas être changées sauf instructions particulières, et il est souhaitable de les contrôler périodiquement.
S'il semble souhaitable de les changer, il est préférable de s'adresser à une société d'électricité compétente.

Disjoncteurs à boîtier moulé

Jusqu'à une capacité nominale de 3000 A, les disjoncteurs à boîtier moulé sont capables d'interrompre des courants atteignant 200 kA. Ils sont utilisés pour contrôler les réseaux basse tension.

Les mécanismes de déclenchement et de contacts d'extrémité sont rassemblés dans un boîtier moulé. Ce système permet d'avoir une rigidité diélectrique élevée ainsi qu'une bonne résistance mécanique. Par ailleurs, la boîte de soufflage permet d'accroître la longueur de l'arc et en même temps de limiter les gaz chauds entrant en contact avec les parties importantes du disjoncteur.

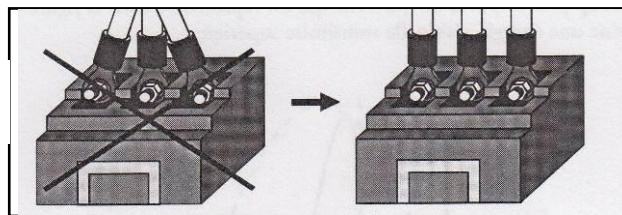


Afin d'interrompre les courants de court-circuit élevés, de grandes quantités d'énergie doivent être dissipées. Pour cela, on utilise une boîte de soufflage contenant un ensemble de grilles en acier de forme spéciale, séparées les unes des autres et logées dans une enceinte isolée. Lorsque les contacts s'ouvrent et qu'un arc se forme, un champ magnétique est induit dans les grilles, ce qui entraîne l'arc à l'intérieur. L'arc est donc allongé puis décomposé en une série d'arcs plus petits, refroidis par la conduction de chaleur des grilles. L'arc étant allongé, une tension beaucoup plus importante est nécessaire pour le maintenir. De plus en étant refroidi l'arc a tendance à perdre son niveau d'ionisation et à s'éteindre.

Les nouveaux disjoncteurs à boîtier moulé sont équipés de dispositifs à déclenchement électronique et de s de courant intégrés au cadre du disjoncteur. Le principal avantage du système électronique est que les caractéristiques du déclenchement peuvent être ajustées contrairement

aux anciens appareils. Par ailleurs, en étant insensibles aux harmoniques les dispositifs de protection électroniques détectent la valeur efficace réelle du courant.

Une précaution est nécessaire : installer les conducteurs en parallèle pour tous les pôles.



Maintenance

Comme pour le disjoncteur à air, les valeurs de réglage du disjoncteur à air doivent être conservées dans une documentation facilement accessible. Elles ne doivent pas être changées sauf instructions particulières, et il est souhaitable de les contrôler périodiquement. S'il semble souhaitable de les changer, il est préférable de s'adresser à une société d'électricité compétente.

Disjoncteurs à vide

Les disjoncteurs à vide sont très utilisés dans l'industrie.

Le principe utilisé est le suivant : quand deux contacts porteurs de courant se séparent dans une chambre à vide, un arc se forme entre eux ; en courant alternatif, le courant diminue pendant une partie de l'onde puis tend vers zéro.

Le dispositif est scellé dans des bouteilles en céramique qui contiennent des contacts amovibles dans un vide poussé.

Le pouvoir de coupure de cet appareil est très élevé et de nombreux court-circuits peuvent être réalisés avant qu'un remplacement soit nécessaire.

Les avantages présentés par un disjoncteur à vide sont les suivants :

- ❑ absence d'arc exposé ;
- ❑ sécurité de fonctionnement élevée ;
- ❑ durée de vie élevée, jusqu'à 30 000 cycles de manœuvre à courant nominal ;
- ❑ excellente tenue de courte durée ;
- ❑ dispositif de surveillance de l'érosion de contact ;
- ❑ aucune maintenance n'est nécessaire.

Disjoncteurs SF6

Les disjoncteurs SF6 sont utilisés à part égale avec les disjoncteurs à vide dans l'industrie.

Le SF6 est un gaz inerte qui possède des qualités de résistance diélectrique et d'extinction d'arc. Dans ces disjoncteurs le taux d'augmentation de la résistance diélectrique est très élevé et la constante de temps très réduite. Mais la durée de vie des contacts est réduite par rapport à celle d'un disjoncteur à vide.

Les avantages présentés par ce disjoncteur sont les suivants :

- ❑ pas de risque d'explosion ou d'incendie ;
- ❑ excellentes capacités d'extinction d'arc en un temps minimal ;
- ❑ bonne protection contre l'humidité et la poussière ;
- ❑ ce type de disjoncteur convient pour des tensions comprises entre 3,6 et 760 kV ;
- ❑ en général les modèles sont simples, économiques, compacts et ne nécessitent aucune maintenance.

Disjoncteurs à huile

Ici l'arc se décompose dans l'huile diélectrique et les gaz, formés en raison de la décomposition, sont acheminés dans une chambre d'évacuation à travers un conduit. L'arc est confiné dans la chambre d'extinction puis est balayé par la pression gazeuse résultante à travers les aérations latérales.

L'huile doit être remplacée régulièrement.

Ces disjoncteurs sont utilisés jusqu'à un niveau de 145 kV, malgré le risque perçu d'incendie.

Disjoncteurs de moteur

Les disjoncteurs de moteur protègent les moteurs triphasés contre les courts-circuits, les surcharges et la marche en monophasé. Ils sont équipés d'un interrupteur à levier, de contacts auxiliaires, de contacts indicateurs de déclenchement et d'un déclencheur shunt.

Ils fonctionnent sur le principe du limiteur de courant. En cas de court-circuit, les contacts sont ouverts électrodynamiquement par le courant de court-circuit. Grâce à un commutateur, le déclencheur instantané à maximum de courant déclenche les trois pôles du disjoncteur. Une tension d'arc élevée se forme rapidement dans la chambre d'extinction, limitant le court-circuit.

Protections contre les surcharges

Les moteurs sont souvent chargés au-delà de leur capacité nominale en raison de mauvaises conditions de fonctionnement (problèmes d'alignement par ex.). Cela entraîne une surcharge du moteur, une augmentation du courant circulant à travers l'enroulement et une augmentation de la température de l'enroulement. L'enroulement du moteur et les câbles sont alors endommagés de façon définitive.

Une règle simple est à connaître : pour les enroulements à fils émaillés, une élévation de température de 10 % diminue la longévité des isolants de moitié. Puisque la température dépend de I^2 , on en déduit qu'une telle élévation correspond à une élévation de courant de 5 %.

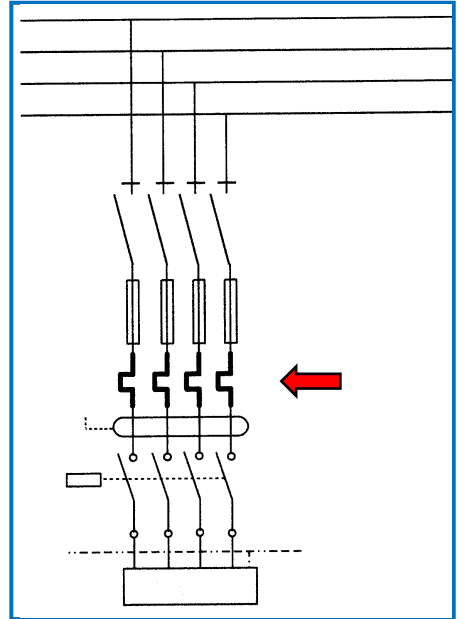
En conséquence, les surcharges des appareils à enroulements bobinés comme les moteurs et les s nécessitent des moyens de protection.

L'utilisation d'un moteur se caractérise par un courant de démarrage dont la valeur est assez typiquement égale à 6 fois le courant nominal. Ce courant persiste durant tout le temps de démarrage qui varie de 2 à 30 secondes.

Dans ces conditions, la protection des moteurs contre les surcharges doit répondre aux conditions suivantes :

- le dispositif de protection ne doit pas fonctionner pour une utilisation normale du moteur ;
- le dispositif doit fonctionner pour protéger le moteur au calage, cela assez rapidement car le moteur n'est pas ventilé dans ces conditions ;
- le dispositif doit fonctionner au maximum entre 1,05 et 1,2 x I_r (I_r : intensité de réglage) ;
- en cas de coupure de phase, le dispositif doit fonctionner entre 1 à 1,15 x I_r ;
- le dispositif doit être peu sensible aux variations de température.

La protection des s à primaire à basse tension pose les mêmes problèmes que celle des moteurs. Mais la protection des s peut être répartie entre primaire et secondaire.



Déclencheur thermique

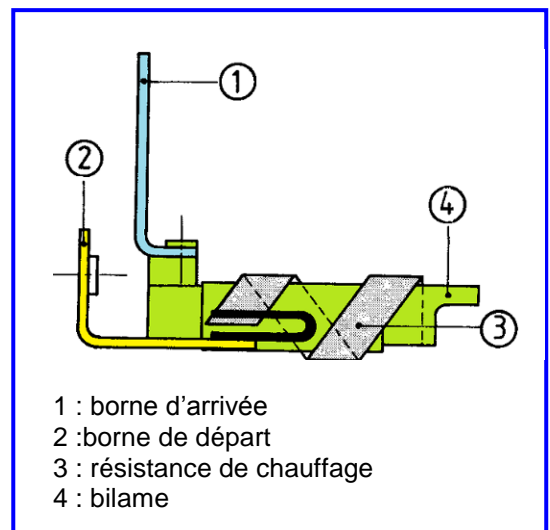
Le principe du déclencheur thermique repose sur la déformation, sous l'effet de la chaleur, d'une pièce métallique appelée bilame et constituée de deux lames dont les coefficients de dilatation sont différents : chrome et fer, nickel et fer, par exemple.

L'une des extrémités de la bilame est fine alors que l'autre peut se mouvoir. Lorsque la bilame est soumise à une élévation de température, l'extrémité libre se déplace suivant une trajectoire curviligne.

L'intensité du courant libère une énergie Joule (donc une température) nécessaire pour cette déformation. Pour une certaine valeur de celle-ci (appelée **seuil de réponse**), le déclenchement a lieu par l'intermédiaire d'une chaîne cinématique agissant sur le mécanisme d'ouverture du disjoncteur.

Au-delà du seuil de réponse, le délai de déclenchement diminue en même temps que l'intensité augmente.

Dans le cas d'ambiances chaudes, on prévoit des déclencheurs thermiques compensés rendant le courant de réglage insensible aux variations de température ambiante.



Dans un système triphasé, le déclencheur comporte une bilame sur chaque phase. Lorsque les bilames sont parcourues par des courants déséquilibrés, un dispositif différentiel basé sur la différence d'alignement de l'extrémité des bilames provoque le déclenchement.

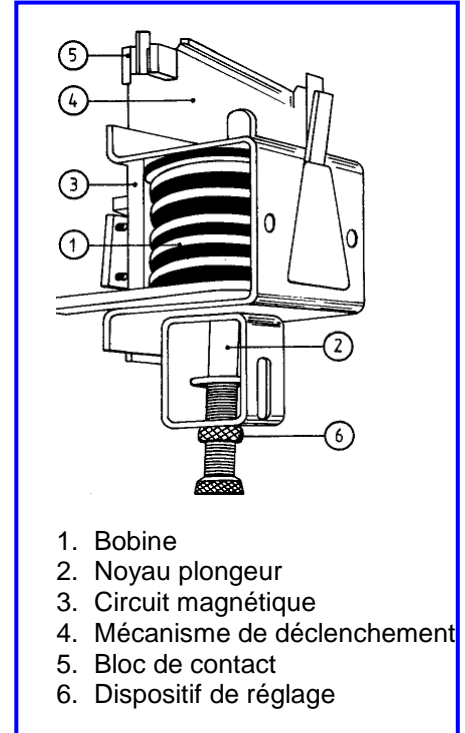
Le déclencheur thermique est un déclencheur **à manimum d'intensité et à seuil de fonctionnement réglable, convenant particulièrement à la protection contre les surcharges.**

Déclencheur magnétique

La bobine enerce dans son secteur de magnétisation une attraction proportionnelle au carré des ampères-tours pour un nombre de spires constant. Pour une valeur donnée du courant d'excitation (**seuil de réponse réglable**) l'attraction magnétique devient prépondérante et met en œuvre la chaîne cinématique entraînant l'ouverture du disjoncteur.

Dans la zone qui est juste au-dessus du seuil l'accélération fournie au déplacement est assez limitée ce qui entraîne des temps de déclenchement de 0,05 s à 0,1 s. Mais dans la plage supérieure des courants le délai de déclenchement reste constant de l'ordre de quelques millisecondes quelle que soit la valeur de la surintensité.

Le déclencheur magnétique est un déclencheur instantané à **manimum d'intensité, à seuil de déclenchement réglable bien adapté à la protection contre les très fortes surcharges et les courts-circuits.**



Déclencheur magnéto-thermique

Ce déclencheur résulte de l'association des principes régissant le fonctionnement respectif des déclencheurs thermiques et des déclencheurs magnétiques.

Cette association peut se traduire :

- soit par la conception d'un dispositif technologique unique réagissant à l'un ou à l'autre des phénomènes physiques, selon la valeur de la surintensité ;
- soit par la juxtaposition d'un déclencheur thermique et d'un déclencheur magnétique.

Par exemple on peut avoir une association d'un bobinage primaire et d'un bobinage secondaire :

- le bobinage primaire crée les ampères-tours nécessaires à la fonction magnétique ;
- par ailleurs, il induit un courant dans le bobinage secondaire aux bornes duquel est branchée la bilame qui assure la fonction thermique.

Maintenance

- ➔ Le courant de réglage du déclencheur doit avoir la même valeur que le courant nominal du moteur, ce qui signifie que le déclenchement se fait à environ 1,15 courant nominal. Cette recommandation n'est pas toujours respectée ; de plus, parfois les électriciens remontent la valeur pour diminuer le nombre de déclenchements.
Rappelons le constat suivant : pour les enroulements à fils émaillés, une élévation de température de 10 % diminue la longévité des isolants de moitié. Puisque la température dépend de I^2 , on en déduit qu'une telle élévation correspond à une élévation de courant de 5 %.
En conséquence il semble souhaitable de rappeler périodiquement la règle.
- ➔ Trop souvent, lors d'un arrêt de moteur on se contente de réarmer le déclencheur. Or il arrive fréquemment que le déclenchement est dû à un déséquilibre de phases dont la cause est un desserage à la boîte à bornes du moteur. Il faudrait que systématiquement l'électricien revienne faire un contrôle avec la pince ampèremétrique (ou à l'arrêt avec un ohmmètre). Encore faut-il qu'il y ait assez de pinces ampèremétriques adaptées dans le Service.

Déclencheur à minimum de tension

Ce déclencheur magnétique possède une bobine volt-métrique présentant une impédance propre de valeur donnée. Son **fonctionnement dépend directement de la tension appliquée**.

Excité sous la tension normale, le déclencheur provoque l'ouverture du disjoncteur pour une décroissance de la tension comprise entre :

- 70 et 35 % de U : **déclencheur à minimum de tension** ;
- 35 et 10 % de U : **déclencheur à manque de tension**.

Ces déclencheurs ont un temps de réponse très court : quelques millisecondes.
pour éviter des déclenchements intempestifs, on fait appel à des dispositifs de temporisation.

Protection des personnes

Cela concerne la protection contre des faibles courants de défaut qui, dans certaines conditions, peuvent amener une situation dangereuse pour une installation ou pour les personnes et animaux.

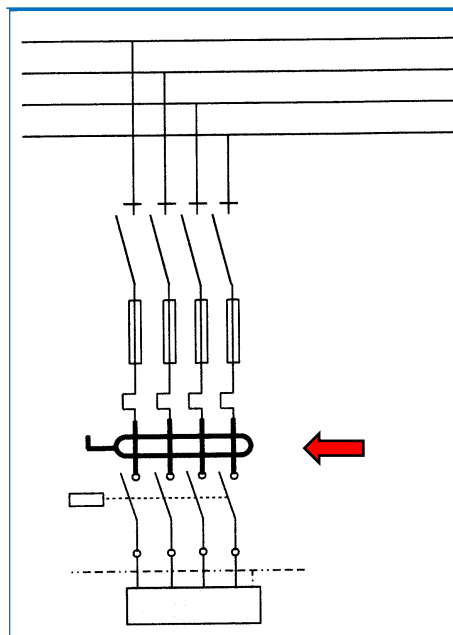
Les dispositifs utilisés sont appelés « dispositifs à courant différentiel résiduel » ou DDR.

Nous savons qu'en courant alternatif triphasé avec ou sans neutre, la somme de tous les courants des conducteurs actifs (phases et neutre) d'un même circuit est nulle.

Si cette somme n'est pas nulle, c'est qu'une fuite est présente : le courant a trouvé un chemin parallèle au circuit normal. La cause principale est bien sûr un défaut d'isolement.

Le courant de fuite est appelé « courant résiduel ».

Le dispositif différentiel comporte un circuit magnétique en forme de tore sur lequel sont bobinés le ou les circuits de phases et de neutre.



Déclencheur à tore de détection du courant différentiel résiduel

La détection du courant de défaut s'effectue par un toreïdal au travers duquel passent tous les conducteurs actifs du circuit à protéger.

Tant que le niveau d'isolement des équipements en aval du disjoncteur est correct, aucun flux ne circule dans le circuit magnétique puisque la somme vectorielle des courants est nulle.

Si un **défaut d'isolement** se manifeste, il y a déséquilibre des courants. Le courant différentiel résiduel qui en résulte provoque l'excitation du circuit magnétique et l'induction d'une tension sur l'enroulement secondaire du toreïdal. Cette tension, amplifiée, entraîne le **déclenchement du disjoncteur dans un délai très court**.

Les DDR sont des matériels définis par la norme internationale CEI 60755 qui prescrit trois types de protections, ainsi que des seuils de déclenchement ou sensibilités.

- **Différentiel Classe AC** (courants alternatifs sinusoïdaux) :
- **Différentiel classe A** (courants alternatifs sinusoïdaux ou à composante continue pulsée)
- **Différentiel classe B** : Le différentiel classe B est un appareil conçu pour la protection des réseaux à simple alternance redressés et filtrés par charge capacitive.

Le marché du différentiel est aujourd'hui tenu par les appareils standard de type AC et par les appareils de type A.

Les **sensibilités normalisées** dans la CEI 60755 sont regroupées en trois appellations :

- haute sensibilité -HS- : 6, 10 et 30 mA,
- moyenne sensibilité -MS- : 100, 300 et 500 mA
- basse sensibilité -BS- : 1, 3, 5, 10 et 20 A.

La haute sensibilité est utilisée le plus souvent en moyen complémentaire de sécurité contre le contact direct. Les autres sensibilités le sont pour toutes autres nécessités de protection (contacts indirects, risques d'incendie, risques de destruction de machines).

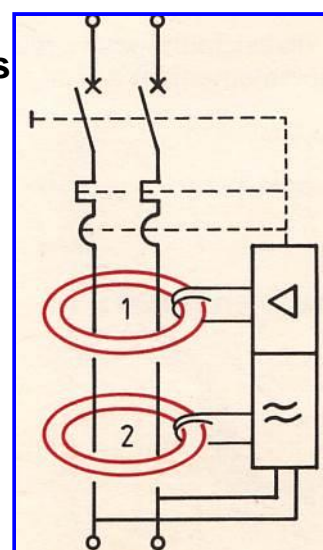
Application NF C 15-100	Mesures de protection		
	TT	TN	IT
Dispositions générales	DDR	Déclencheurs magnéto-thermiques	CPI : Contrôleur permanent d'isolement
Grandes longueurs de câbles		3 solutions : . augmenter section des câbles . magnétique bas . DDR	
Masses non interconnectées		DDR	DDR
Locaux à risques d'incendie	DDR < 500 mA	DDR < 500 mA	DDR < 500 mA
Sites classés avec risque d'explosion	DDR avec préalarme		
Protections complémentaires contre les contacts directs : . Circuits prises de courants . prises < 32 A	DDR 30 mA		
Salles d'eau, installations de chantier, piscines, établissements agricoles, installations foraines, alimentations de caravanes et bateaux de plaisance. Alimentations de véhicules ou de remorques à usage médical, atelier, exposition. Conducteurs électriques chauffants noyés dans les parois du bâtiment. Locaux d'habitation et mobilier urbain.			
Eclairage public et enseignes lumineuses			

Disjoncteur à déclencheurs multiples

Ce système est constitué de 3 déclencheurs :

- thermique ;
- magnétique ;
- différentiel à très haute sensibilité (10 mA).

Ce disjoncteur, outre son tore de détection du courant différentiel, comporte un tore inducteur qui induit un signal de fréquence 5kHz permettant de détecter en toute circonstance un défaut neutre-masse.



1. Tore de détection du courant différentiel résiduel
2. Tore inducteur

Maintenance

Notre expérience nous a montré que lorsqu'après quelques années on fait un contrôle des appareils de protection dans les armoires électriques, 50 % d'entre eux, ou leurs valeurs de réglage, ne sont pas les bons.

Cela provient du fait que, notamment, lors d'un dépannage on ne trouve pas la bonne référence pour le remplacement (surtout en dehors des heures ouvrables), ou on ne connaît pas la valeur de réglage car dans l'armoire il n'y a pas la liste des références et des valeurs de réglage.

Cette déviation s'amplifie d'année en année.

Nous conseillons :

1. De mettre une documentation de référence dans l'armoire ;
2. De demander à chaque électricien de signaler les manques de références, à chaque fois que cela se produit ;
3. De faire des contrôles systématiques une fois par an, ou tous les deux ans.

Production et transformation d'électricité

	Page
Dynamo.....	414
Alternateur.....	415
Transformateur.....	418

Dynamo

Le principe de fonctionnement de la dynamo est simple : cette **machine** produit du **courant** grâce à une bobine tournant dans le champ magnétique d'un aimant. Ce phénomène appelé "**induction électromagnétique**" est à la base de toutes les génératrices mécaniques d'électricité.

Ci-contre la première dynamo inventée par le belge Z. Gramme au 19^{ème} siècle.

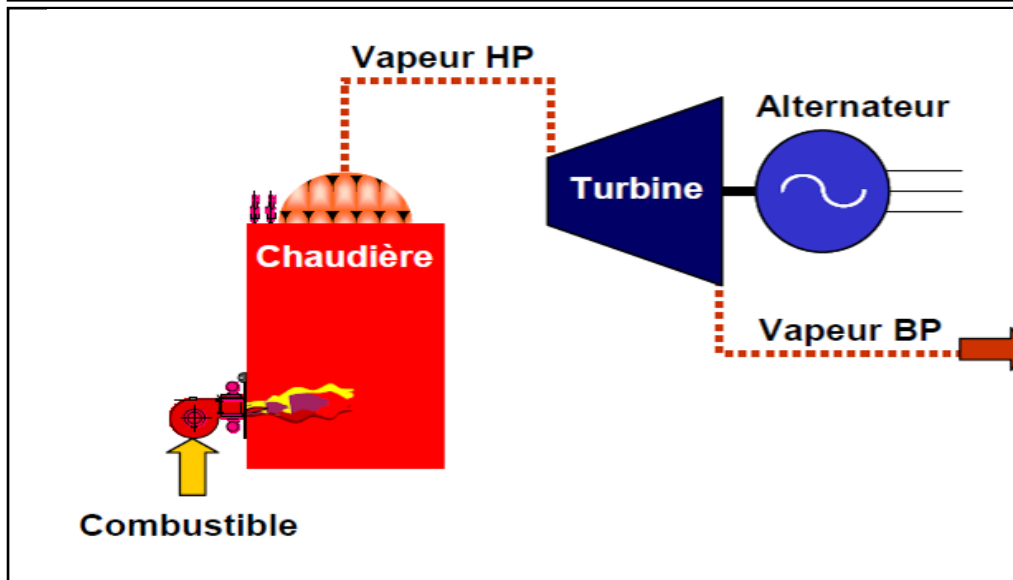
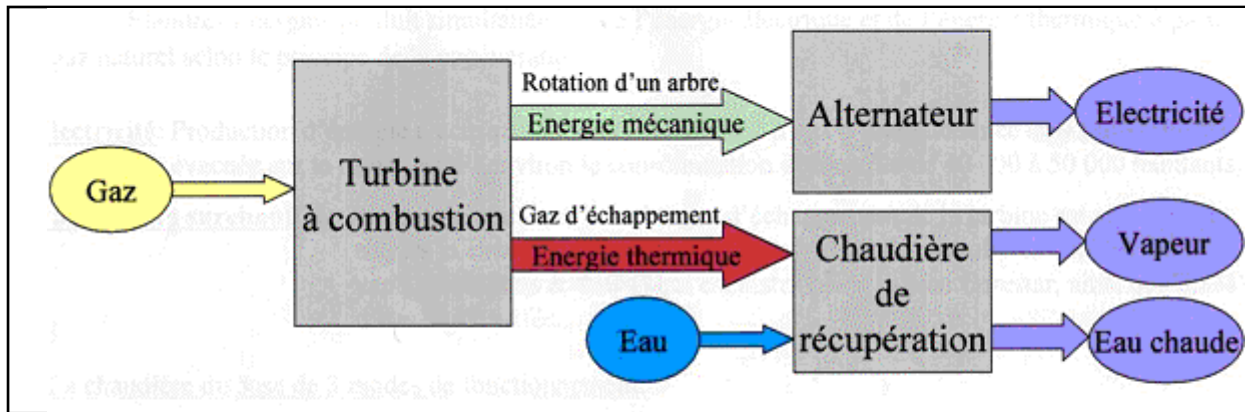


La photo montre une dynamo actionnée par une roue de bicyclette. Elle alimente en électricité les lampes avant et arrière.



Alternateur

L'alternateur a pour fonction de produire de l'électricité. Ses dimensions sont très variables. Elles vont du petit alternateur de voiture automobile au gros alternateur de centrale nucléaire. Dans l'industrie il y a des alternateurs dans les usines qui font de la cogénération : production d'électricité à partir de gaz ou de vapeur récupérée.



Le fonctionnement des alternateurs repose sur le principe de l'induction magnétique.

1. Inducteur et induit

Du point de vue électrique, les alternateurs se composent de deux éléments distincts : **l'inducteur et l'induit**.

L'inducteur a pour rôle de produire le champ magnétique. Il est donc constitué d'électro-aimants disposés de manière à créer alternativement des pôles nord et sud.

L'induit est constitué de l'ensemble des enroulements dans lesquels la tension est induite.

L'inducteur de la majorité des alternateurs est mobile, tandis que l'induit constitue la partie fixe de la machine.

2. Stator et rotor

Du point de vue mécanique, les deux principaux composants d'un alternateur **sont le rotor et le stator**.

Stator :

Comme son nom l'indique, le stator constitue la partie fixe ou statique, de l'alternateur. Il s'agit donc le plus souvent de l'**induit**.

Le stator se compose alors **d'un noyau en tôle d'acier muni** d'encoches destinées à recevoir les **conducteurs formant les enroulements** de l'induit.

Les enroulements du stator sont fabriqués en fils de cuivre. Chaque spire de fil est isolée des autres spires. Dans le cas des alternateurs monophasés, les enroulements sont reliés en série.

Dans le cas **des alternateurs triphasés**, les enroulements du stator **sont divisés en trois enroulements distincts, disposés à 120°** les uns des autres.

Rotor :

Le rotor constitue l'**élément mobile** de l'alternateur. Il **renferme les pièces polaires qui constituent l'inducteur de la machine**, c'est pourquoi on l'appelle aussi "roue polaire".

On distingue deux types de rotors : les rotors à pôles saillants et les rotors à pôles lisses.

On utilise le rotor à pôles saillants lorsque l'alternateur tourne à basse vitesse. Des bobines d'excitation, fabriquées de fils ou de barres de cuivre, sont fixées directement sur les pièces polaires. Ces bobines sont reliées en série, de façon à créer des polarités contraires entre deux pôles voisins.

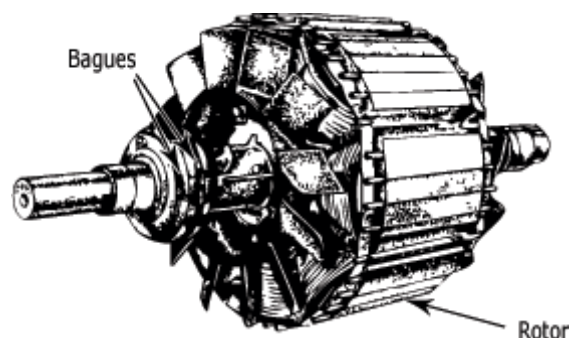
Ce type d'alternateur, dont la puissance varie de 1 000 kVA à 250 MVA équipe la plupart des centrales hydrauliques, les groupes de secours des administrations et les navires.

Les rotors à pôles lisses, comme celui apparaissant à la figure suivante, **sont conçus pour les petits alternateurs tournant à haute vitesse**.

Comme vous pouvez le constater sur la figure suivante, leur forme est cylindrique ; les bobines d'excitation s'insèrent dans les entailles usinées à cette fin.

Cette machine est appelée "turbo-alternateur" du fait de sa vitesse de rotation élevée. **Leur puissance peut atteindre 1,5 GVA** et ils équipent la plupart des centrales thermiques classiques et nucléaires.

Rotor à pôles lisses :



3. Bagues collectrices

Les bagues collectrices sont montées sur l'arbre du rotor et branchées aux extrémités de l'enroulement inducteur.

Des balais en carbone sont maintenus en contact avec la surface des bagues à l'aide de ressorts.

Ce mécanisme permet de brancher l'enroulement inducteur à une source d'énergie extérieure, responsable de son alimentation.

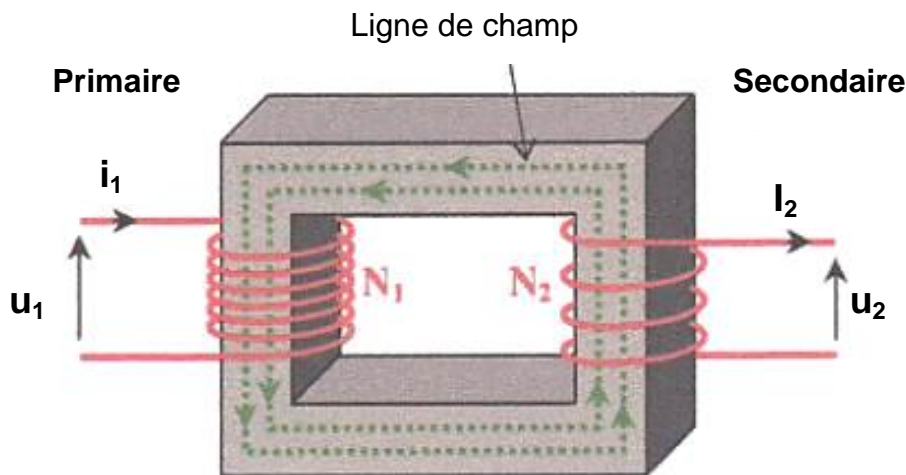
Pour que l'ensemble bagues/balais fonctionne bien, il importe de maintenir une **pression constante sur les balais**.

Le ressort doit donc remplir efficacement cette fonction pendant toute la durée de vie des balais.

Transformateur

Le transformateur électrique est un outil essentiel dans le système de distribution électrique.

C'est un convertisseur d'énergie électrique. Son but principal est d'abaisser ou d'élever la tension présente.



Le principe de fonctionnement est le suivant.

1. Une source de tension alternative u_1 est branchée au primaire et fait circuler un courant i_1 qui crée un champ magnétique dans la structure métallique (carcasse).
2. La carcasse métallique canalise les lignes de champ vers la bobine secondaire.
3. La bobine secondaire est donc le siège d'un champ magnétique variable et une tension induite u_2 prend naissance aux bornes de la bobine secondaire.

4. Le courant i_1 et le courant i_2 sont imposés par la charge branchée au secondaire. En effet, le générateur impose les tensions et la charge impose les courants.

Si on a N_1 spires au primaire et N_2 spires au secondaire, on a les relations suivantes :

$$\frac{u_2}{u_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

5. Il n'y a aucun contact électrique entre le circuit primaire et le circuit secondaire, ce qui donne une isolation galvanique.

Il y a différentes utilisations :

- ✓ Augmentation de tension : c'est le cas par exemple des transformateurs en sortie de centrale qui font passer la tension de 20kV à 400kV.
- ✓ Diminution de tension : c'est le cas des transformateurs placés en fin de réseau.
- ✓ Isolement galvanique : le nombre de spires du secondaire est égal au nombre de spires de primaire.
- ✓ L'autotransformateur permet de régler le rapport entre tensions de sortie et d'ent

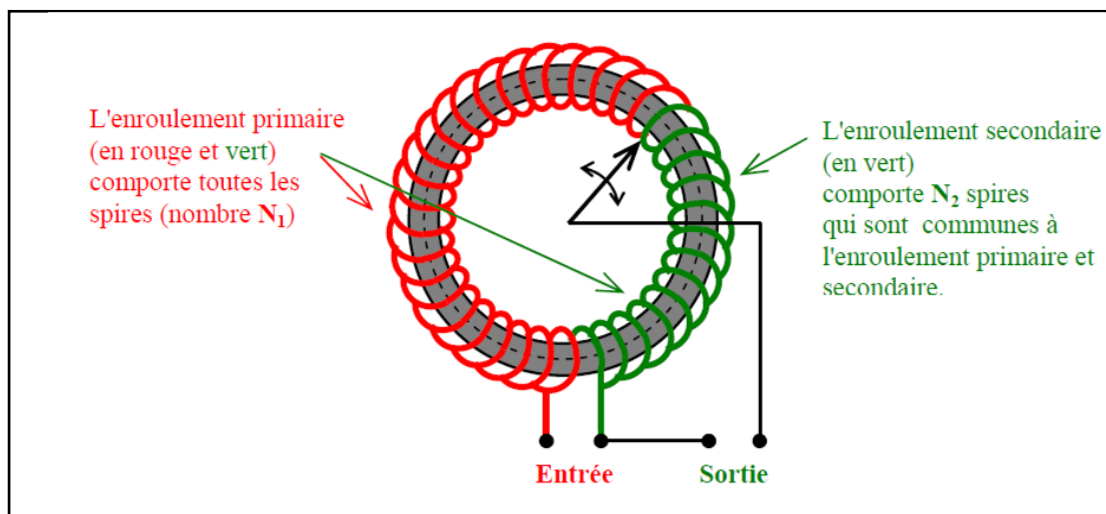
Utilisation des transformateurs :

- ➔ **Augmentation de tension**
Le nombre de spires au primaire est inférieur au nombre de spires du secondaire, la tension en sortie sera donc supérieure à la tension en entrée.
C'est le cas, par exemple, des transformateurs en sortie de centrale qui font passer la tension de 20kV à 400kV.
- ➔ **Abaissment de tension :**
Le nombre de spires au primaire est supérieur au nombre de spires du secondaire, la tension en sortie sera donc inférieurs à la tension en entrée.
C'est le cas, par exemple, des transformateurs placés en fin de réseau électrique pour abaisser la tension de 20kV à 400V.
- ➔ **Isolation galvanique :**
Le nombre de spires au secondaire est égal au nombre de spires du primaire.
Ces transformateurs sont utilisés pour isoler galvaniquement deux circuits qui utilisent la même tension (de sécurité).

Un cas particulier : l'autotranformateur

L'autotransformateur permet de régler le rapport de transformation : $\frac{N_2}{N_1} = \frac{U_{\text{sortie}}}{U_{\text{entrée}}}$

L'enroulement secondaire est constitué d'une partie de l'enroulement primaire par l'intermédiaire d'un curseur qui "frotte" sur les spires du primaire (schéma ci-dessous)



L'auto transformateur permet d'avoir une tension de valeur efficace réglable en sortie (N_1 est ajustable par curseur).

_ Attention : Il n'y a pas d'isolation galvanique avec l'auto transformateur.

Récapitulatif sur le transformateur

On retiendra les principes suivants :

- Un transformateur est un convertisseur statique qui permet de passer d'un réseau alternatif à un autre réseau alternatif, **de même fréquence**, mais **d'amplitude différente** et isolé galvaniquement du premier.
- L'isolation galvanique est la transmission d'énergie électrique entre deux systèmes, **sans aucun contact électrique**, sous la forme d'une énergie de transition (énergie magnétique pour le transformateur).
- L'auto transformateur permet de régler la tension de sortie mais n'assure pas l'isolation galvanique

Transformateurs immergés ou secs?

L'une des principales façons de classer les transformateurs de distribution est de les répartir selon leur technique de refroidissement. La plupart des transformateurs sont placés dans une citerne remplie d'huile. L'huile refroidit les bobines et sert en même temps d'isolant électrique.

Autrefois, l'huile de BPC était l'une des huiles isolantes les plus courantes à utiliser pour les transformateurs, grâce à sa grande résistance au feu et à ses excellentes qualités électriques. Toutefois, les BPC ne se décomposent pas facilement; ils peuvent donc s'accumuler dans la chaîne alimentaire et représenter ainsi un danger pour la santé publique. Par ailleurs, les émissions dégagées lorsqu'on brûle des BPC peuvent contenir des dioxines. Par conséquent, la plupart des pays ont imposé un programme visant à mettre hors service tous les transformateurs remplis avec des BPC. Aujourd'hui, presque toutes les huiles isolantes à base de BPC ont été remplacées par de l'huile minérale ou de l'huile de silicone.

Les transformateurs refroidis à l'huile sont les plus efficaces, mais ils sont interdits dans les environnements à risque d'incendie élevé. Dans ces endroits, on utilise plutôt des transformateurs refroidis à l'air (ou «transformateurs secs»). Le refroidissement à air peut se combiner à une résine époxyde ou à du papier vernissé pour assurer l'isolation électrique.

Types de pertes

Un transformateur peut occasionner les types de pertes d'énergie suivants :

- Perte à vide (aussi appelée perte par le fer, ou perte par le noyau) : Provoquée par un courant magnétisant dans le noyau. Cette perte est toujours présente lorsque le transformateur est connecté, mais elle demeure indépendante de la charge. Il peut s'agir d'une perte d'énergie constante – et donc importante.

- Perte en charge (ou perte par le cuivre, perte par courtcircuit) : Provoquée par la perte en résistance dans les spires et les raccordements, ainsi que par les courants de Foucault dans la structure métallique et les spires. Elle varie en fonction du carré du courant de charge.

- Perte due au refroidissement (seulement pour les transformateurs refroidis par ventilateur) : Provoquée par la consommation d'énergie du ventilateur. Plus les autres types de pertes sont importants, plus le refroidissement est nécessaire, et plus la perte en refroidissement sera élevée.

- Pertes supplémentaires, produites par les harmoniques.

Pertes supplémentaires générées par les harmoniques

Les charges non linéaires du réseau, telles que les différentes vitesses des systèmes à moteur, les ordinateurs et les systèmes d'alimentation non interruptible (UPS), provoquent des harmoniques dans le réseau : il s'agit de petits courants, dont la fréquence est un multiple de la fréquence principale.

Les harmoniques ont deux impacts négatifs sur les transformateurs

: d'une part, ils augmentent la perte en charge, d'autre part, ils augmentent la température des spires et de la structure métallique, réduisant la durée de vie du transformateur

Les répercussions concrètes des courants harmoniques dépendent en grande partie de leur fréquence, de la conception et de la charge du transformateur.

Les pertes provoquées par les harmoniques augmentent de façon plus que proportionnelle avec l'augmentation de la charge. Par conséquent, dans un transformateur très chargé, les harmoniques peuvent provoquer une perte tellement importante que la température devient trop élevée à certains endroits dans les spires. Cela peut nettement réduire la durée de vie d'un transformateur, et peut même causer des dommages immédiats

Maintenance : visites recommandées

Nature travaux et contrôle	Moyen	Périodicité
- <u>Visite d'inspection</u>		
. Détection des fuites, bruits anormaux, échauffements	Visuel ou auditif	Mensuelle
. Surveillance des niveaux	Visuel	Mensuelle
- <u>Entretien des radiateurs aéroréfrigérants et hydroréfrigérants</u>		
. Nettoyage des échangeurs	Air ou eau sous pression	Annuelle
. Nettoyage du faisceau	Mécanique ou chimique	Annuelle
. Moto ventilateur	Contrôle vibrations	Sur défaut
- <u>Entretien des traversées HT-MT-BT et Parafoudre</u>	Contrôle visuel	Annuelle
- <u>Entretien de l'armoire électrique des auxiliaires</u>	Contrôle visuel	Annuelle
- <u>Entretien des assécheurs d'air</u>	Remplacement Silicagel	Annuelle
- <u>Analyses de l'huile diélectrique</u>		
a) Physico-chimique	Prélèvement	Annuelle
b) Analyse des gaz dissous... (chromatographie)	Prélèvement puis transmission au laboratoire spécialisé	Annuelle
c) Détection du furfural et de ses dérivés	Prélèvement puis transmission au laboratoire	2 ans
- <u>Manceuvre du commutateur hors tension</u>	Manuel	Annuelle
- <u>Changeur de prises en charge</u>		
. Analyse d'huile		Annuelle
. Contrôle du fonctionnement et sécurités		Annuelle
. Révision complète du régleur avec échange des pièces	Constructeur	50 000 manœuvres ou 5 ans ; 100 000 manœuvres si le circuit est filtré en permanence
- <u>Contrôle des connexions haute et basse tensions</u>	Thermographie	Annuelle
- <u>Protections transformateurs</u>		Annuelle
. Thermostats		Annuelle
. Buchholz		Annuelle
. Relais RS 2000 ou 2001		Annuelle

Maintenance

Nature travaux et contrôle	Moyen	Périodicité
. Contrôle circulation d'huile		Annuelle
. Niveau d'huile		Mensuel
. Circuits de refroidissement		Annuelle
. Colmatage filtre		Annuelle
. Pompe régleur		Annuelle
- <u>Autres travaux d'entretien</u>		
. Traitement d'huile		Suivant analyse
. Changement d'huile		Suivant analyse
. Peinture cuve et tuyauterie		Retouches annuelles

Appareillage électrique

	Page
Condensateur.....	424
Contacteurs.....	427
Bobine.....	430
Potentiomètre.....	432
Electro-aimant.....	434
Bilame.....	436
Temporisateur électrique.....	438
Redresseur.....	441

Condensateurs

Le **condensateur** est un autre composant largement utilisé dans les **circuits électriques** et **électroniques**.

D'une façon similaire à la bobine, le condensateur placé dans un circuit à courant alternatif s'oppose, par sa capacité, à la variation de tension appliquée à ses bornes, en présentant une réactance capacitive.

Cette opposition provoque dans le condensateur un **déphasage** qui se produit entre la **tension** et **le courant**.

1. La construction d'un condensateur

Un condensateur est constitué de **deux plaques conductrices**, communément **appelées armatures**, placées parallèlement, face à face et **séparées par un matériau diélectrique** (non conducteur), comme l'air, le mica, le papier paraffiné, etc.

Les matériaux couramment utilisés dans les condensateurs sont :

- le mica,
- le papier,
- la céramique,
- l'air.

Les condensateurs construits avec ces matériaux sont dits **non polarisés** pour les distinguer des condensateurs électrolytiques.

Dans **les condensateurs électrolytiques**, le matériau diélectrique est une mince couche d'oxyde moléculaire. Dans le but de **conserver l'action électrolytique** de cette couche, la polarité des condensateurs est marquée sur leurs bornes.

2. Capacité

La capacité est la grandeur caractéristique d'un condensateur. Elle correspond, en fait, au pouvoir qu'a ce dernier d'emmagasiner de l'énergie. Ce pouvoir dépend directement de la construction de chacun des condensateurs.

Chaque condensateur est caractérisé par sa capacité. Plus sa capacité est grande, plus le condensateur peut emmagasiner de l'énergie. **La valeur de capacité d'un condensateur est calculée à partir de sa dimension physique et des matériaux utilisés** pour sa construction.

La formule suivante peut être utilisée pour calculer la capacité d'un condensateur :

$$C = 8,85 \times 10^{-12} \times \frac{S}{d} \times \epsilon_r$$

Où : **C** : capacité en farads (F)

S : surface des plaques en mètres carrés (m²)

d : distance entre les deux plaques en mètres (m)

ε_r : constante diélectrique correspondant au matériau séparant les deux plaques

Les constantes diélectriques de quelques matériaux sont les suivantes :

Matériau diélectrique	ϵ_r (valeur moyenne)
Air	1
Téflon	2
Papier paraffiné	2,5
Mica	5
Verre (semi-cristal)	7
Eau	80

La capacité d'un condensateur est **symbolisée par C** et **son unité de mesure est le farad (F)**, donné en l'honneur du physicien anglais Michael Faraday. La représentation graphique d'un condensateur telle qu'elle apparaît dans les dessins de circuits électriques est :



ou



Dans le domaine du commerce, **deux notations** sont utilisées par les fabricants de condensateurs :

- μF (10^{-6} F);
- pF (10^{-12} F).

La capacité d'un condensateur peut être mesurée de façon précise par **un capacimètre**. Par ailleurs, **l'état de fonctionnement** d'un condensateur peut être vérifié à l'aide d'un **ohmmètre**.

Lorsqu'un ohmmètre est branché aux bornes d'un condensateur en bon état:

- la lecture de la résistance montre une valeur qui augmente graduellement pour s'arrêter à un niveau de l'ordre de **méga-ohms**.

Si un condensateur est défectueux à la suite d'un court-circuit entre les deux plaques ou d'une détérioration du matériau isolant qui sépare les plaques:

- la lecture de l'ohmmètre indiquera respectivement **zéro ou une très faible valeur de résistance**.

3. Réactance capacitive

a. Symbole, unité et calcul

Lorsqu'un condensateur est placé dans un circuit à courant alternatif, il s'oppose à la variation de tension qui se trouve à ses bornes en présentant une réactance capacitive.

La valeur de la réactance capacitive d'un condensateur est déterminée par sa capacité et la fréquence de la tension appliquée à ses bornes.

La réactance capacitive, symbolisée par X_C , est exprimée mathématiquement par **la formule**

suivante :
$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{C\omega}$$
 . Où :

X_C : réactance capacitive en ohms

π : la constante 3,14

f : fréquence du courant alternatif en hertz (Hz)

C : capacité du condensateur en farads (F)

ω : pulsation du courant alternatif en radians par seconde (rad/s)

Application pratique

Le condensateur est utilisé dans tout genre de circuit électronique. Sa première raison d'utilisation est d'emmagasiner temporairement des charges électriques et donc de l'énergie électrique. De plus, les condensateurs jouent un rôle important dans les circuits de synchronisation électronique (radio, TV), dans les filtres électroniques de fréquences et dans les circuits de transmission de signaux.

Les condensateurs plans modernes se présentent sous différentes formes. Le plus commun est formé par deux feuilles d'aluminium séparées par une feuille de diélectrique (papier, mica,...), le tout enroulé en un petit cylindre et scellé.

Contacteurs

Contacteurs courants

Introduction

Le contacteur est un appareil mécanique de connexion ayant une seule position de repos et une seule position de travail.

Il est capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit, y compris les conditions de surcharges en service.

L'intérêt du contacteur est de pouvoir être commandé à distance.

Il fait partie de la famille des préactionneurs puisqu'il se trouve avant l'actionneur dans la chaîne des énergies.

Un contacteur peut être actionné à partir des éléments du circuit de commande (Bouton poussoir, Capteur, Etc...)

Visuels de contacteurs



Un contacteur est composé de deux parties:

Une partie fixe appelée « armature fixe »

Une partie mobile appelée « armature mobile ».

Fonctionnement

La bobine du contacteur peut être alimentée aussi bien par un courant alternatif que par un courant continu (de 24 à 400 V).

Elle génère un champ magnétique

La partie mobile de son armature est attirée contre la partie rigide.

En fonction du modèle, les contacts se ferment ou s'ouvrent alors.

Si la bobine n'est pas alimentée, le ressort de rappel renvoie en position initial la partie mobile de l'armature et les contacts reprennent leur position.

Ce mécanisme permet de contrôler la mise en service des appareils électriques en aval de celui-ci

Symboles

Un contacteur de puissance ou auxiliaire est équipé de contact dit **F** "à Fermeture", de contact **O** dit "à Ouverture".

Ces contacts peuvent être utilisés dans la partie commande (contact auxiliaire) ou dans la partie puissance (contact de puissance) de l'installation en fonction de leurs caractéristiques

électriques.

La différence entre contact de puissance et contact auxiliaire réside dans le fait que le contact de puissance est prévu pour résister à l'apparition d'un arc électrique issu d'un fort courant, à l'ouverture ou à la fermeture du circuit.

Le contact auxiliaire fait partie de la partie commande du montage dont les courants restent faibles face à la partie puissance.

Contacteurs à barreaux

En général, les contacteurs sur barreaux sont fixés sur 2 montants verticaux.

Les cotes de fixation des barreaux supports sont normalisées ainsi que le diamètre des trous de fixation.

Chaque barreau comporte aux 2 extrémités un perçage avec encoches, l'une verticale, l'autre horizontale.

Afin d'obtenir une bonne tenue mécanique aux vibrations, nous conseillons le serrage direct du barreau sur les 2 montants par les vis de diamètre préconisé pour chaque calibre de contacteur.

Entretien

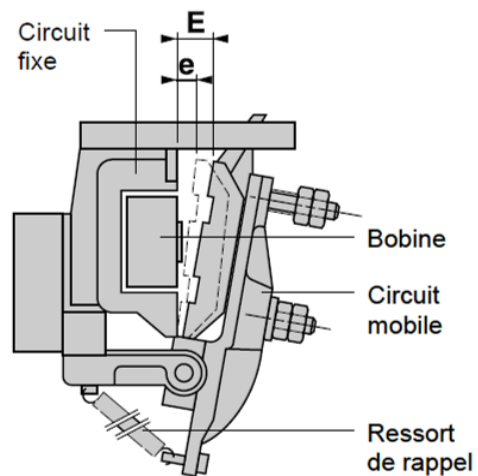
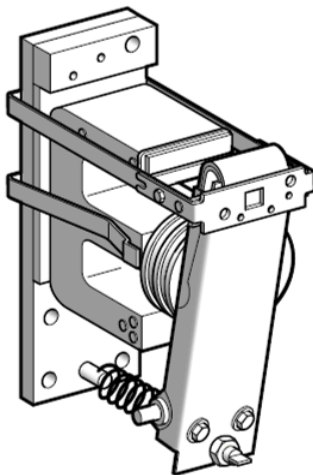
Ces contacteurs sur barreau ne nécessitent aucun entretien mécanique particulier.

Caractéristiques de réglage des contacteurs CV1, calibres F à L

Electroaimant pour courant alternatif

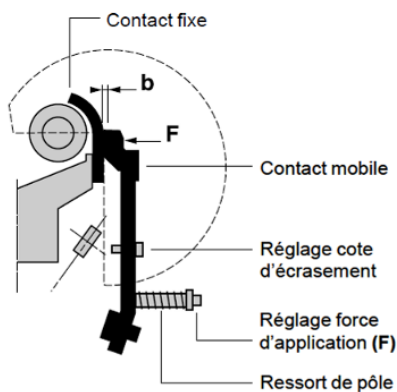
Electroaimant EB1 ou EC1

Réglage course d'appel (E) et d'écrasement (e)

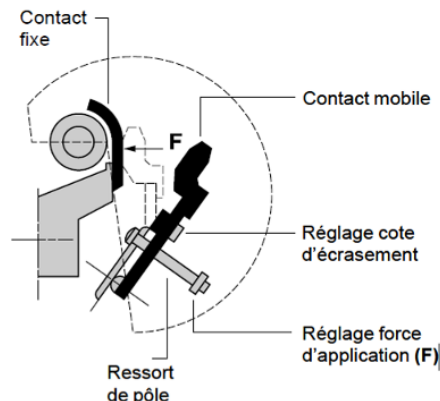


Electroaimant pour courant continu

Pôle à ouverture



Pôle à fermeture



Ces contacteurs sur barreau ne nécessitent aucun entretien mécanique particulier.
Nous recommandons d'effectuer la vérification périodique des contacts principaux.
Les contacts ayant effectué de nombreuses coupures peuvent donner une impression d'usure.
Seule la vérification de la cote d'écrasement permet d'évaluer le degré d'usure.
Pendant la période d'utilisation ne jamais procéder à des réglages de la cote d'écrasement.
Lorsque celle-ci se trouve entre 20 et 50 % de la cote initiale d'écrasement, changer systématiquement tous les contacts du contacteur.
Après chaque changement de contacts :
Aligner les contacts à la cote initiale d'écrasement.
Vérifier la force d'application de chaque contact (contacteur fermé électriquement ou calé mécaniquement).
Nettoyer par grattage les parois latérales intérieures des boîtiers de soufflage.
Vérifier le serrage des vis et écrous de réglage.

Pièces de rechange

Nous recommandons d'avoir en réserve des pièces de rechange pour les pièces, d'usure :
Bobines d'électroaimants
Boîtiers de soufflage et pôles complets
Jeux de contacts, pages
Contacts auxiliaires instantanés et temporis

Bobine

L'inductance est **l'une des principales caractéristiques de la bobine**. Elle se définit comme l'aptitude de celle-ci à *s'opposer à la variation de l'intensité du courant* qui la traverse. L'inductance d'une bobine est une valeur propre, **dépendante** de la dimension physique de la bobine ainsi que du matériel utilisé pour sa fabrication.

1. Construction

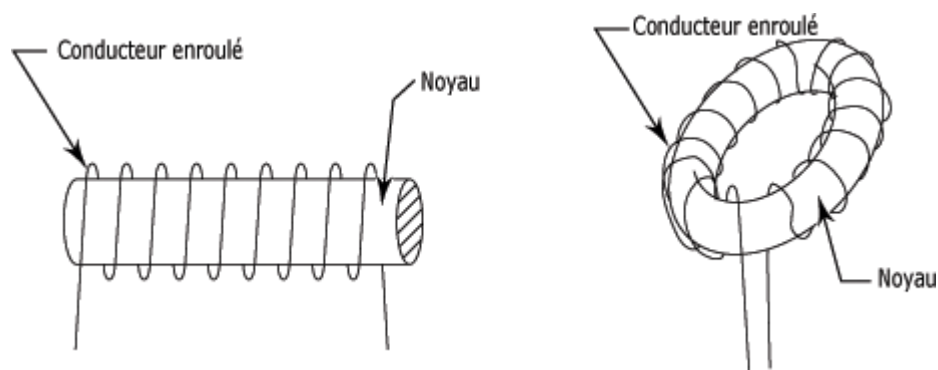
Une bobine est construite à **partir d'un fil conducteur isolé**, enroulé **autour d'un noyau**. Ce noyau peut être fait de **matériau magnétique**, comme :

- le fer doux,

ou de **matériau non magnétique** tel que :

- le carton,
- le plastique,
- l'air.

Constructions typiques de bobines :



Représentation graphique d'une bobine :



2. Inductance propre

L'inductance propre, ou simplement l'inductance, est la valeur caractéristique d'une bobine. C'est pourquoi on utilise parfois le terme "inductance" plutôt que "bobine" pour désigner cette dernière.

L'inductance, symbolisée par L , est la mesure de l'aptitude d'une bobine à s'opposer à la variation de l'intensité du courant qui la traverse.

Elle est **déterminée** principalement par les facteurs suivants :

- **les dimensions** et la forme de la bobine ;
- **la grosseur et le nombre de spires** (tours) du fil conducteur ;
- **le type de matériau** utilisé pour le noyau.

Il existe plusieurs formules mathématiques permettant de **calculer l'inductance** d'une bobine. Ces formules sont très complexes. Cependant, l'inductance d'une bobine peut être déterminée avec une bonne précision par **la formule simplifiée** suivante :

$$L = \frac{\mu S N^2}{l}$$

Où :

L : inductance en henrys (H) en l'honneur du physicien Joseph Henry

μ : perméabilité du matériau utilisé pour le noyau

S : surface transversale du noyau en mètres carrés (m^2)

N : nombre de spires formées par le fil conducteur

l : longueur du noyau en mètres (m)

Physiquement, une bobine est construite d'un fil conducteur enroulé. Ce fil conducteur est responsable d'une certaine **résistance (R_L)** d'une petite valeur, quelques ohms seulement, qui peut parfois être négligée.

Dans le cadre de ce cours, cette résistance ne sera pas considérée à moins d'avis contraire. Cependant, si l'on désire en tenir compte, il est possible de représenter la bobine par **une résistance (R_L) raccordée en série à une inductance (L)**, comme le fait voir la figure 2.3.

Circuit équivalent d'une bobine :



3. Vérification d'une bobine

Une bobine, comme tout autre composant électrique, peut être défectueuse à la suite :

- d'un défaut de l'isolant du fil conducteur;
- d'un échauffement excessif;
- ou d'une surcharge.

Le fil conducteur de la bobine est responsable d'une faible résistance.

Une des méthodes pour vérifier le bon état d'une bobine est **l'utilisation d'un ohmmètre**;

Les lectures à l'ohmmètre permet d'obtenir s'interprètent de la façon suivante :

- **$R = \text{infini}$** (circuit ouvert) signifie que **la bobine ne fonctionne pas**. Ce mauvais état de fonctionnement peut être causé par le sectionnement du fil conducteur à l'intérieur de la bobine ;

- **$R = \text{quelques ohms}$** (1 à 8 ohms) signifie que **la bobine est en bon état**.

4. Réactance inductive: Symbole, unité et calcul

Tout comme une résistance, une bobine dans un circuit à courant alternatif *s'oppose au passage du courant*, en présentant une réactance inductive.

La valeur de la réactance inductive d'une bobine est déterminée **par son inductance et la fréquence du courant qui la traverse**.

Le symbole utilisé pour la réactance inductive est X_L , et, tout comme la résistance, son **unité de mesure est l'ohm**.

Lorsqu'une bobine est raccordée dans un circuit à courant alternatif, **sa réactance** peut être déterminée par **la formule suivante** : $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$.

Où :

X_L : réactance inductive en ohms

π : la constante 3,14

f : fréquence du courant alternatif en hertz (Hz)

L : inductance de la bobine en henrys (H)

Nous avons vu que la pulsation $\omega = 2 \pi f$. **La réactance peut donc s'écrire** :

$$X_L = L \omega$$

Où : ω : pulsation du courant alternatif en radians par seconde (rad/s).

Potentiomètre Ou Rhéostat

Généralités :

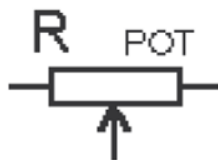
Ce sont des résistances que l'on peut faire varier manuellement (les potentiomètres de tableau) ou avec un tournevis (les potentiomètres ajustables). Ils peuvent être aussi appelés rhéostat ou résistance variable.

Le symbole est aussi parfois utilisé pour exprimer que dans un circuit, la valeur de la résistance est commandée.

Un potentiomètre est un élément résistif possédant trois bornes:

- Deux correspondent aux extrémités du corps de la résistance,
- La dernière correspond au curseur qui peut se déplacer sur le corps de la résistance.

Symbole associé

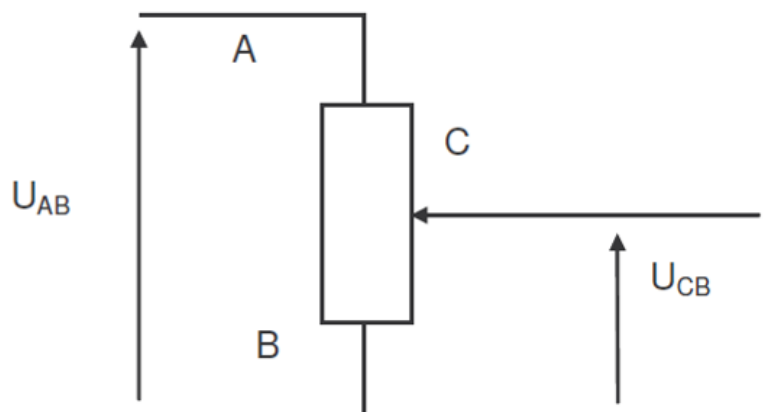


Les caractéristiques des potentiomètres :

Loi de variation :

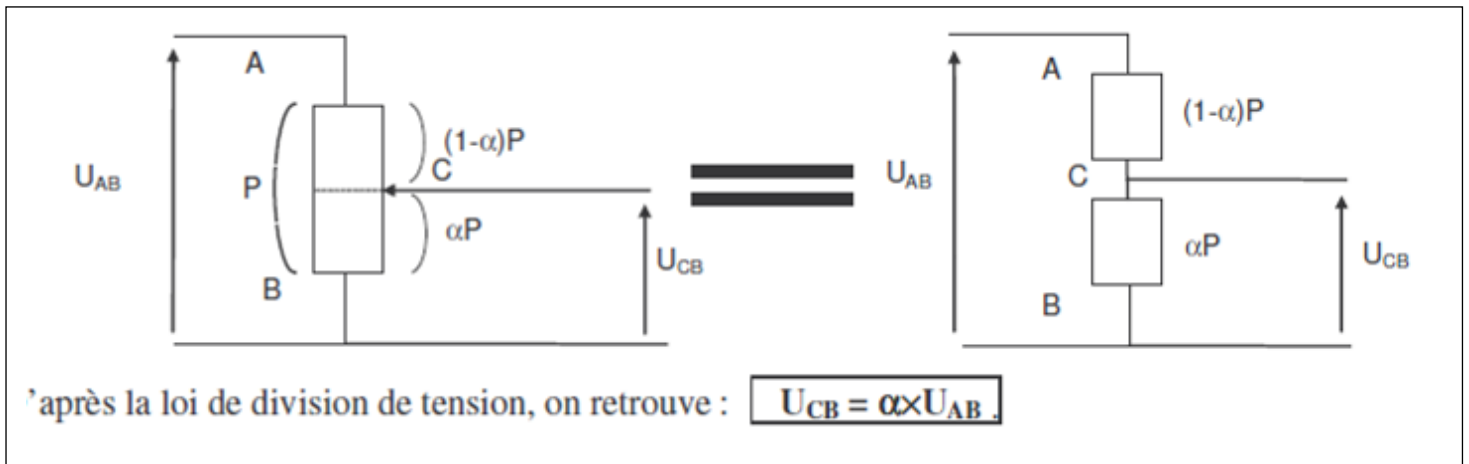
Cette loi lie la variation en pourcentage de la résistance totale à la position du curseur. Dans la plupart des cas cette loi est linéaire (repérage par la lettre A : ex 10kW A).

La figure ci-dessous schématise le montage potentiométrique.



Si on appelle a la position du curseur en B), égale à U_{AB} si $a=1$ (curseur en A), comprise entre 0 et U_{AB} lorsque le curseur est dans une position intermédiaire.

Pour faciliter les calculs, il est possible de représenter un potentiomètre de valeur P par deux dipôles résistifs dont les valeurs seront proportionnelles à la position du curseur et à P .



Le montage potentiométrique est un diviseur de tension dont le coefficient varie selon la position du curseur.

Electro-aimant

L'électro-aimant est un type d'aimant dans laquelle le champ magnétique est produit par l'écoulement d'un courant électrique. Si le flux de courant électrique disparaît également le champ magnétique disparaît et l'effet résultant.

Les caractéristiques des électroaimants

L'électro-aimant est un simple morceau de fil métallique enroulé dans une bobine. Une bobine cylindrique de fil enroulé (comme un tire-bouchon en forme de tire-bouchon) solénoïde généralement nommé en forme d'hélice; un électro-aimant serait un tore fermé.

Peut se produire si des champs magnétiques plus forts au sein de la bobine devient un noyau d'un matériau ferromagnétique ou paramagnétique, fer couramment utilisé. Le noyau se concentre le champ magnétique de sorte qu'il sera plus intense que s'il n'y avait que la bobine d'enroulement.

Les champs magnétiques causés par des bobines suivent une forme de règle droite (pour le courant ou le débit des charges positives dans le cas d'un flux de charges négatives électrique classique suivre la règle de la main gauche). Si les doigts de la main gauche sont courbés dans la direction d'écoulement du courant d'électrons à travers la bobine, le pouce dans la direction du champ à l'intérieur de la bobine. Le côté des lignes de champ magnétique émergents est considéré comme le pôle Nord.

Importance des électroaimants dans les moteurs électriques

Cette fonction a conduit au principe de l'utilisation de l'électricité pour fabriquer des machines pratiques et contrôlables et a jeté les bases pour les communications électroniques. Électroaimants finalement convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique. Pour cette raison, les électroaimants sont essentiels pour le développement de moteurs électriques.

Différences entre un électro-aimant et un aimant permanent

Un **électroaimant** produit un champ magnétique lorsqu'il est alimenté par un courant électrique : il convertit de l'énergie électrique en énergie magnétique. Il a été inventé par les Français André-Marie Ampère et François Arago. Il est constitué d'un bobinage et d'une pièce polaire en matériau ferromagnétique doux appelé cœur magnétique qui canalise les lignes de champ magnétique. Les électroaimants sont très largement utilisés dans l'industrie.

Un **aimant permanent**, ou simplement **aimant** dans le langage courant, est un objet fabriqué dans un matériau magnétique dur, c'est-à-dire dont l'aimantation rémanente et le champ coercitif sont grands (voir ci-dessous). Cela lui donne des propriétés particulières liées à l'existence du champ magnétique, comme celle d'exercer une force d'attraction sur tout matériau ferromagnétique.

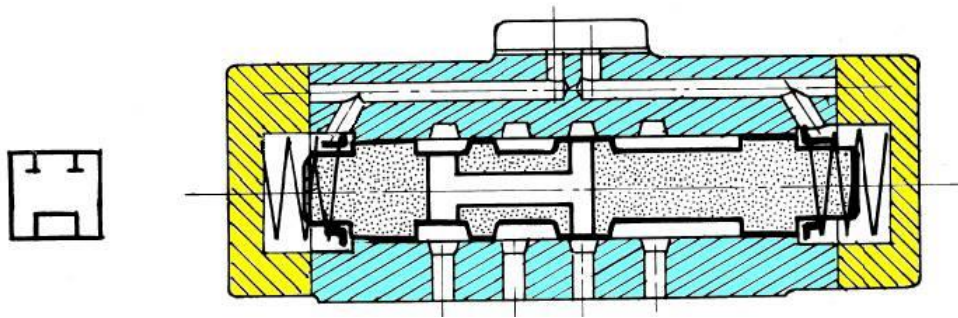
L'avantage principal d'un électro-aimant vers un aimant permanent réside dans le fait que le champ magnétique peut être manipulé à commander rapidement le courant électrique. Au contraire, il est nécessaire qu'il y ait un apport continu d'électricité pour maintenir le champ

Champ magnétique des électroaimants

Il y a magnétique dans tous les fils transportant l'électricité. Cette fonction peut être démontrée par une expérience simple: Placez la boussole sur la table, avec le câble près de la boussole, branchez-le pendant quelques secondes entre les pôles positifs et négatifs d'une batterie

Ce que nous constatons est que l'aiguille de la boussole se déplace. Initialement, la boussole pointe vers le pôle Nord de la Terre, mais le câble est connecté à la batterie, les Oscillations de l'aiguille de la boussole, comme cette aiguille est un petit aimant avec un pôle nord et un pôle sud. Étant donné que l'aiguille est faible, il est sensible à de faibles champs magnétiques.

De cette façon, le champ magnétique créé dans le fil par l'écoulement d'électrons affecte la boussole.



Cas d'une électro-vanne dont le tiroir est commandé par deux bobines. Certaines ont parfois une bobine et un ressort.

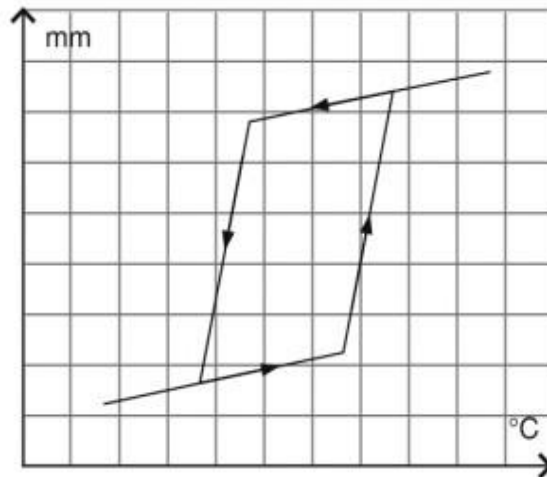
Bilame

Le bilame est une pièce métallique fabriquée à partir de bimétal.

Le bimétal est produit par co-laminage de 2 bandes de métal (faites pour la plupart de Fe+Ni), à coefficients de dilatation différents. La bande ainsi obtenue a la propriété de se déformer sous l'effet de la température.

La maîtrise du choix de la nuance et des dimensions du bimétal permet, par une mise en forme adéquate, et selon un procédé de fabrication particulier, de garantir, sur spécifications :

- un mouvement progressif (déflexion lente) ou brusque (cloquant)
- une force mécanique donnée
- une amplitude de mouvement en fonction d'une plage de températures (pour les applications à déflexion lente)
- une température de déclenchement et une température de réarmement données (pour les applications à retournements brusques)



- un réarmement automatique ou manuel
- une précision, une fiabilité et une durabilité importantes

Les propriétés thermiques et mécaniques d'un bilame lui permettent, une fois découpé et mis en forme, d'assurer lui-même la fonction de régulation ou de sécurité, ou bien d'actionner :

- un contact électrique,
- un clapet d'admission d'air ou de liquide,
- toute sorte de système mécanique

Pour fonctionner, le bilame utilise :

- soit la chaleur naturelle de l'environnement que ce dernier est censé mesurer
- soit un composant chauffé électriquement (de type thermistance) . un tel système est plus avantageux qu'un électro-aimant, pour la même fonction.

Les avantages de la technologie bilame :

- Simple et peu coûteuse (une simple pièce de métal sert à la fois de détecteur thermique et d'actionneur ou de valve)
- Autonome, écologique, le bilame n'a, en général, pas besoin de source énergétique pour fonctionner
- Fiable et durable, il peut subir des milliers de cycles, avec une très faible dérive de ses caractéristiques
- le contrôle de fiabilité est possible à tout moment sans effet destructif (ex : fusible électrique ou thermique).

Les applications industrielles sont très diverses – à titre d'exemples :

- L'électroménager (systèmes anti-goutte des fers à repasser, verrouillage de sécurité des portes de fours ou de lave-linge, des couvercles d'appareils chauds, d'insert de cheminée, coupure du réfrigérateur si porte ouverte prolongée...)
- L'automobile (coupe-circuits et thermo-contacts ...)
- L'électromécanique (micro-disjoncteurs, sécurité surchauffe de moteurs électriques ...)
- L'électronique (détection de surchauffe d'un composant défectueux)
- L'aéronautique (amortissement à l'ouverture d'un parachute humanitaire)
- Le médical et l'alimentaire (témoin de rupture de la chaîne du froid)

Temporisateur électrique

Présentation

Un temporisateur est un circuit électronique qui permet de mettre en route un système pendant un certain temps, ou qui permet de le mettre en route au bout d'un certain temps. Les applications d'un temporisateur sont multiples et variées, et on peut aussi bien avoir besoin d'activer un circuit pendant quelques secondes que pendant quelques heures voir plusieurs jours. Un temporisateur peut être construit à partir d'un simple [monostable](#), mais nous verrons qu'il existe d'autres solutions, un peu moins simples mais qui permettent d'obtenir des durées de temporisation très longues.

Utilisations (exemples)

Le temporisateur est un circuit très utilisé. Il permet par exemple :

- d'allumer une lampe pendant trois heures à partir du moment où la nuit tombe;
- d'allumer une lampe dans une cage d'escalier pendant 5 minutes à partir du moment où un usager appui sur un bouton poussoir;
- de laisser allumée une ampoule de plafonnier de voiture pendant 1 minute, à partir du moment où les portes sont fermées;
- de retarder la production d'un événement, par exemple déclencher une sirène au bout de 15 seconde si aucun code valide n'a été saisi sur un clavier, après détection de l'intrusion;
- de définir précisément le temps pendant laquelle une sirène d'alarme doit se faire entendre (30 secondes par exemple).

Caractéristiques principales

On peut faire un rapprochement assez serré entre monostable et temporisateur, même si la finalité n'est pas forcément exactement la même. En effet, le monostable délivre une impulsion d'une durée donnée et revient ensuite à son état initial. Si le but de la temporisation est de faire fonctionner un appareil *pendant un certain temps*, un monostable peut donc faire l'affaire. Si le but de la temporisation est de mettre en route un appareil *au bout d'un certain temps*, un monostable peut aussi faire l'affaire, non en agissant comme commande, mais en agissant comme *retardateur* de commande. Il est donc normal de le voir partager certaines caractéristiques avec celles du monostable.

Impulsion de déclenchement (ou impulsion d'entrée)

Il s'agit de l'événement qui démarre la temporisation. Il peut s'agir d'une impulsion ou d'un simple changement d'état logique sans retour à l'état initial. L'impulsion de déclenchement peut provoquer le changement immédiat de l'état logique de la sortie du temporisateur (si fonctionnement pendant un temps donné) ou provoquer son changement d'état de façon retardée (si démarrage au bout d'un certain temps).

Polarité de l'impulsion de déclenchement

Elle peut être positive (bas-haut-bas ou bas-haut) ou négative (haut-bas-haut ou haut-bas).

Etat de la sortie

C'est ainsi que l'on nomme l'état logique de la sortie dans lequel le temporisateur se trouve lorsqu'il vient d'être déclenché, c'est à dire quand l'état logique de sa sortie se trouve à l'opposé de l'état logique présent au repos.

Polarité de l'impulsion de sortie

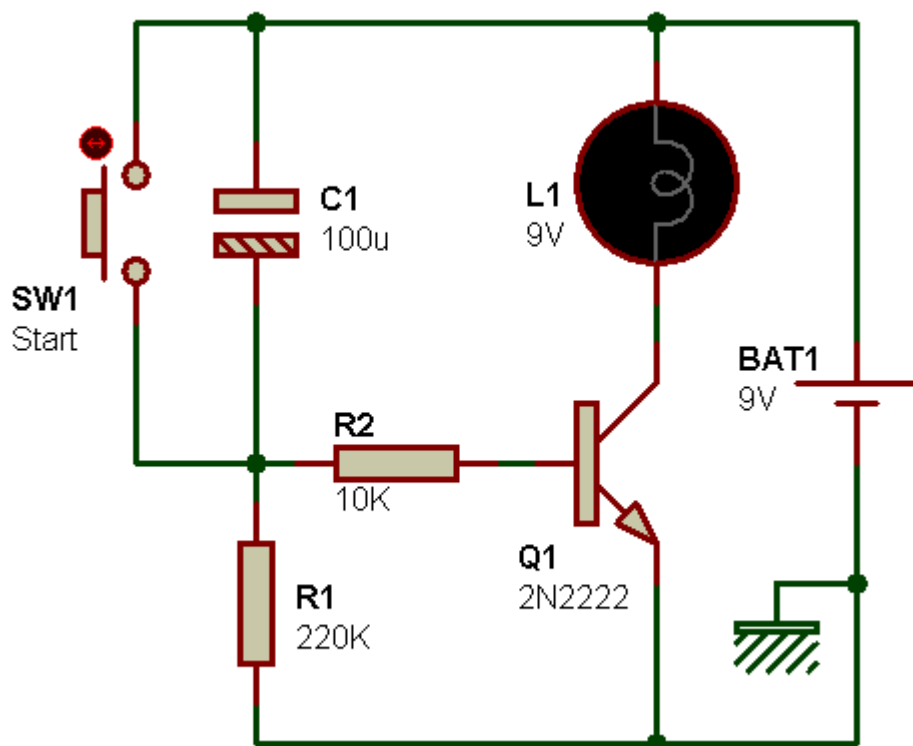
Au repos, la sortie du temporisateur peut être à l'état haut ou à l'état bas, et lors de son activation, passer à l'état opposé, bas ou haut.

Durée de la temporisation

C'est la durée pendant laquelle la sortie du temporisateur est activée, ou le temps au bout duquel elle le sera.

Temporisateur simple, de quelques secondes à quelques dizaines de secondes

Le temporisateur simple permet de mettre en route un appareil pendant un certain temps, dès apparition de la commande de déclenchement. L'exemple qui suit permet d'allumer une lampe pendant quelques secondes, à partir du moment où on appuie sur un bouton poussoir. Comme vous pouvez le constater, le nombre de composants requis est très restreint.



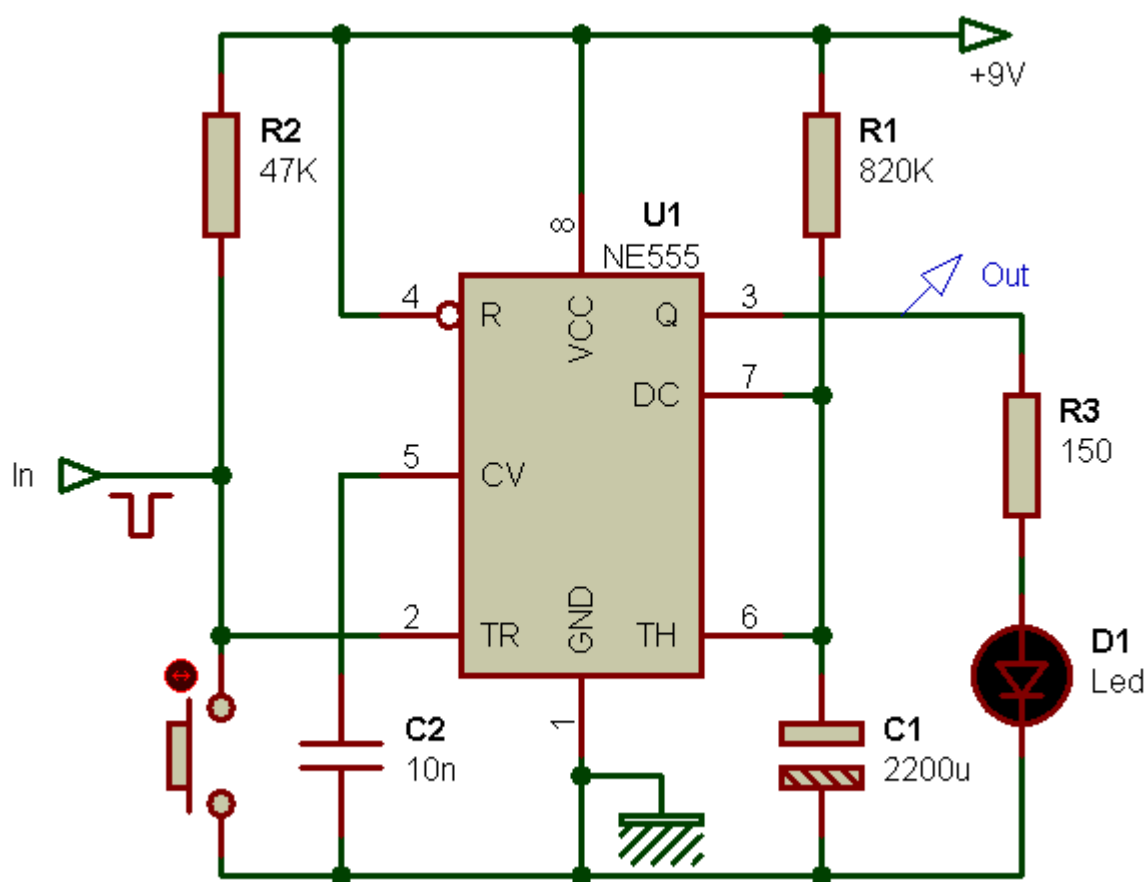
Le principe de fonctionnement est très simple : à la mise sous tension du montage, le condensateur C1 est déchargé et se comporte donc comme un court-circuit. Un courant s'établit donc au niveau de la base du transistor Q1, via C1 et R2, et le transistor conduit, provoquant l'allumage de la lampe L1. Puis le condensateur se charge lentement au travers de R1, ce qui conduit à une diminution lente du potentiel au point commun R1 / C1, puisque le courant circulant dans R1 diminue petit à petit. Au bout d'un certain temps, la tension aux bornes de R1 est trop faible pour maintenir la conduction de Q1 : Q1 se bloque et la lampe s'éteint. Pour redémarrer le processus, il suffit d'appuyer sur le bouton poussoir SW1, ce qui décharge d'un coup le condensateur C1, qui peut alors recommencer son cycle de charge. Ce circuit est certes très simple, mais présente deux petits inconvénients, qui n'en sont pas forcément toujours :

- pour obtenir une temporisation de quelques secondes seulement, il faut utiliser un condensateur de forte valeur;

- la transition lampe allumée / lampe éteinte n'est pas franche, la durée de l'extinction dépend de la valeur de la résistance de base R2. Si la valeur de R2 est trop faible, le courant de base Pourrat être trop important au moment de l'appui sur le bouton poussoir, et le transistor peut griller. Si la valeur de R2 est trop grande, la temporisation sera allongée mais le courant de base de Q2 sera probablement insuffisant et la lampe ne s'allumera pas entièrement.

Temporisateur simple, de quelques minutes à une heure

Si l'on veut disposer d'une grande durée de temporisation tout en conservant une valeur de condensateur raisonnable, il convient de réfléchir à une autre façon de faire. Cette autre façon de faire pourrait bien être un circuit mettant en oeuvre un circuit intégré style "Timer" tel le célèbre NE555, ou encore un [AOP](#) câblé en comparateur de tension.



Ce circuit à base de NE555 permet d'atteindre une durée de l'ordre de la demi-heure avec un condensateur de 2200 uF et une résistance de 820 KO, à condition que le condensateur soit de bonne qualité et présente un faible courant de fuite (résistance parallèle parasite la plus élevée possible). Si le condensateur n'est pas de bonne qualité ou est trop vieux, son courant de fuite l'empêchera de se charger au deux tiers de l'alimentation (seuil de basculement "supérieur" du NE555) et la sortie restera toujours activée. Le déclenchement se fait en portant la broche 2 du NE555 à la masse. C'est ce que fait le poussoir quand on appuie dessus, mais on peut aussi amener une impulsion négative (active à l'état bas) sur la broche 2 (entrée de déclenchement In). En remplaçant le bouton poussoir par un condensateur, vous obtenez un temporisateur / minuteur déclenché dès la mise sous tension, qui s'arrête de lui-même une fois la durée de temporisation atteinte.

Redresseur

Un **redresseur**, également appelé **convertisseur alternatif/continu ou pont de GRAETZ**, est un convertisseur destiné à alimenter une charge qui nécessite de l'être par une tension et un courant tous deux les plus continus possibles, à partir d'une source de tension alternative. L'alimentation est, la plupart du temps, un générateur de tension.

- Les redresseurs non commandés, essentiellement réalisés à partir de diodes, sont utilisés lorsque la tension de sortie n'a pas besoin d'être ajustée.
- Les redresseurs commandés dont la tension de sortie peut être variable comportent des thyristors ou des ensembles de diodes et de thyristors. Du fait de leur importante puissance massique ces redresseurs sont toujours utilisés en forte puissance et lorsqu'il est nécessaire de réguler ou de faire varier les grandeurs électriques en sortie. En faible et moyenne puissance, les redresseurs commandés à thyristors sont en voie d'obsolescence et sont avantageusement remplacés par la « mise en cascade » d'un redresseur commandé ou non et d'un convertisseur continu-continu. Dans les petites puissances, la commande d'un transistor à effet de champ ou d'un IGBT est plus simple que celle d'un thyristor, d'autre part, les fréquences de fonctionnement des hacheurs, qui sont aujourd'hui du domaine des 200 kHz, permettent de diminuer considérablement la taille des composants de filtrage (inductances et condensateurs). Enfin il existe des redresseurs à absorption sinusoïdale construits à l'aide de diodes, transistors Ballast MOSFET ou IGBT qui sont utilisés afin d'améliorer la forme d'onde du courant alternatif consommé côté réseau.

Maintenance

Quand la puissance est élevée, le redresseur est doté d'un système de refroidissement. Si celui-ci comporte une circulation d'eau en boucle il y a un risque de bouchage par des bactéries, et donc un échauffement anormal et une perte de capacité du redresseur.

En effet, les huiles et les eaux industrielles contiennent souvent des « ferro-bactéries » aérobies ou anaérobies. Une bactérie se divise toutes les vingt minutes donnant naissance à un milliard de bactéries en 12 heures.

Les bactéries aérobies donnent des acides, les anaérobies peuvent donner du H₂S.

Dans les 2 cas cela donne le résultat :

- bouchage des filtres et tuyauteries
- détérioration des tuyauteries.

Les 2 solutions possibles :

- utiliser des produits anti-bactéries (voir une société spécialisée du traitement de l'eau);
- mettre des anneaux magnétiques.

A proscrire : l'eau de javel si l'acier inoxydable est utilisé.

Equipements de commande

	Page
Systèmes automatisés de production.....	443
Processeur.....	465
Automate programmable API.....	473
Commande numérique.....	491
Régulateur PID.....	494

Systèmes Automatisés de Production

Définition

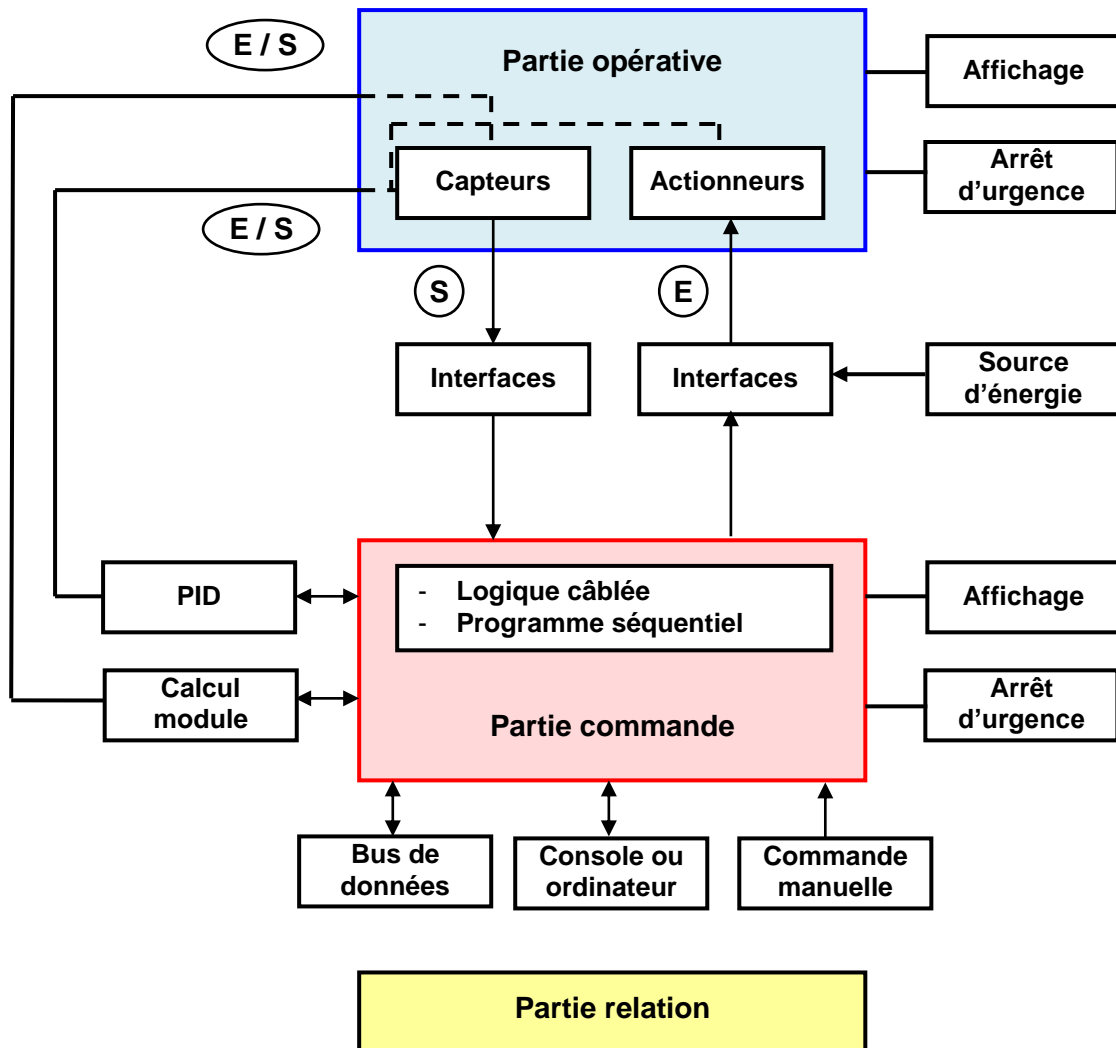
Un système de production est dit automatisé lorsqu'il peut gérer de manière autonome un cycle de travail préétabli qui se décompose en séquences et/ou en étapes.

Les systèmes automatisés, utilisés dans le secteur industriel, possèdent une structure de base identique. Ils sont constitués de plusieurs parties plus ou moins complexes reliées entre elles :

- la partie opérative (PO) ;
- la partie commande (PC) ou système de contrôle/commande (SCC) ;
- la partie relation (PR) de plus en plus intégrée dans la partie commande

Description des différentes parties

Ensemble constitué de 3 parties



Partie opérative

La partie opérative est la partie la plus visible ; elle comporte les éléments du procédé :

- des **pré-actionneurs** (distributeurs, contacteurs) qui reçoivent des ordres de la partie commande ;
- des **actionneurs** (vérins, moteurs, vannes) qui ont pour rôle d'exécuter ces ordres. Ils transforment l'énergie électrique, ou hydraulique, ou pneumatique en énergie mécanique ;
- des **capteurs** qui informent la partie commande de l'exécution du travail ; leur rôle est donc de contrôler, mesurer, surveiller et informer la partie commande (PC) sur l'évolution du travail.

Partie commande

La partie commande gère le déroulement ordonné des opérations à réaliser suivant une suite logique.

Elle reçoit des informations des capteurs de la partie opérative et les restitue vers cette même partie en direction des pré-actionneurs et actionneurs.

L'outil de description de cette partie commande est le **GRAphe Fonctionnel de Commande Etape / Transition (GRAFCET)**.

Partie relation

Elle regroupe les différentes commandes nécessaires au bon fonctionnement du procédé, c'est à dire marche/arrêt, arrêt d'urgence, marche automatique, etc. . .

L'outil de description s'appelle le **Guide d' Etudes des Modes de Marches et d'Arrêts (GEMMA)**.

Les outils graphiques, que sont le GRAFCET et le GEMMA, sont utilisés par les automaticiens et les techniciens de maintenance.

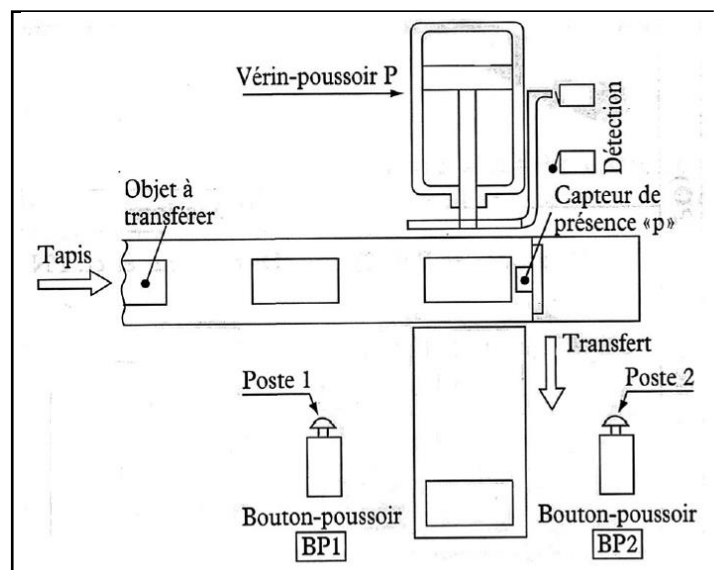
Différents types de commandes

Système automatisé combinatoire

Ce système n'utilise aucun mécanisme de mémorisation : à une combinaison d'entrées ne correspond qu'une seule combinaison des sorties. Il s'agit là de la logique combinatoire : les outils utilisés pour la concevoir sont l'algèbre de Boole, les tables de vérité, les tableaux de Karnaugh.

Exemple ci-contre : si la présence de l'objet à transférer est détectée par le capteur de présence "p", alors le vérin-poussoir P entrera en fonction si l'opérateur du poste 1 ou celui du poste 2, appuie sur le bouton poussoir correspondant (BP1 ou BP2).

Ce type de système est aujourd'hui peu utilisé.



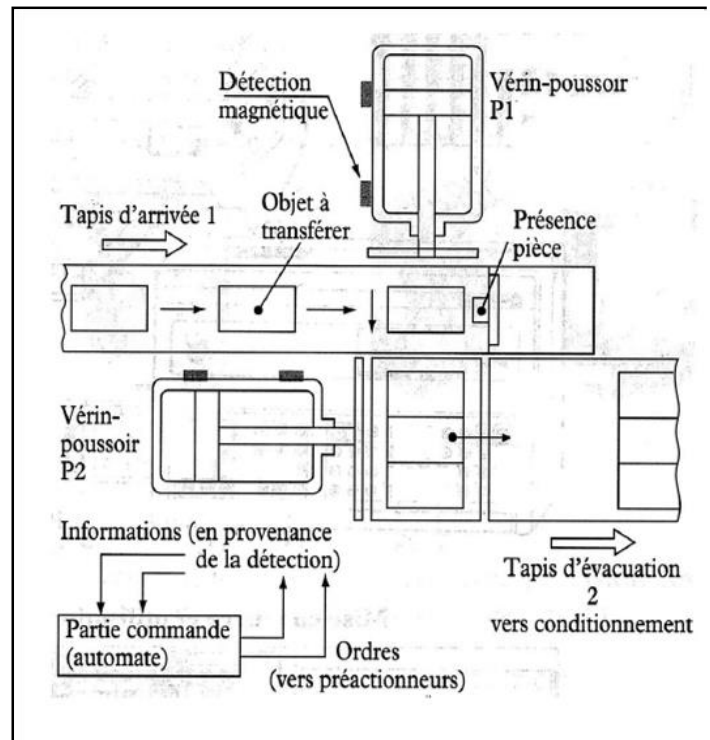
Système automatisé séquentiel

Le système automatisé séquentiel est très répandu dans le domaine industriel. A une situation des entrées peuvent correspondre plusieurs situations de sorties. Le déroulement du cycle s'effectue étape par étape : la sélection d'une étape ou d'une autre dépend de la situation antérieure du cycle.

Exemple ci-contre :

le système place les objets côte à côte 3 par 3, sur un tapis d'évacuation. Ainsi placés les objets sont emmenés vers un dispositif de conditionnement sous film plastique rétractable. La logique associée est appelée logique séquentielle. Elle peut être avec commande :

- pneumatique, c'est alors de la logique câblée
- ou électrique, c'est de la logique programmée.



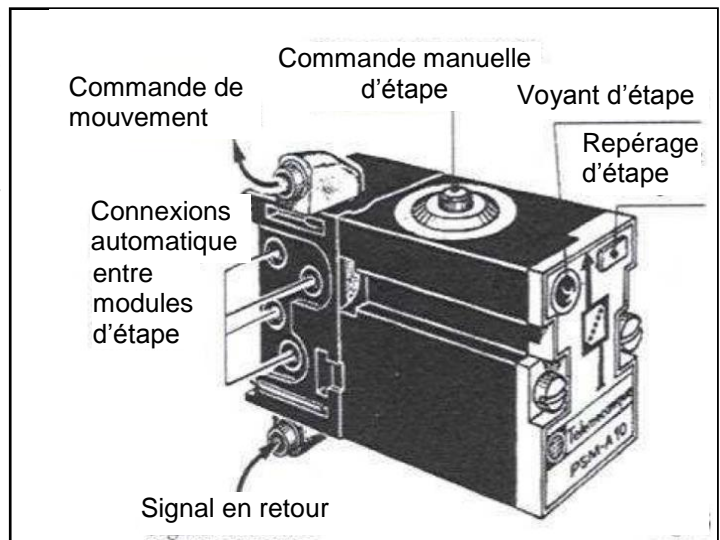
Logique programmée : commande électrique

L'élément principal de la logique programmée est l'Automate Programmable Industriel ou **API**. Le pilotage des actionneurs se fait par l'intermédiaire de relais ou de distributeurs.

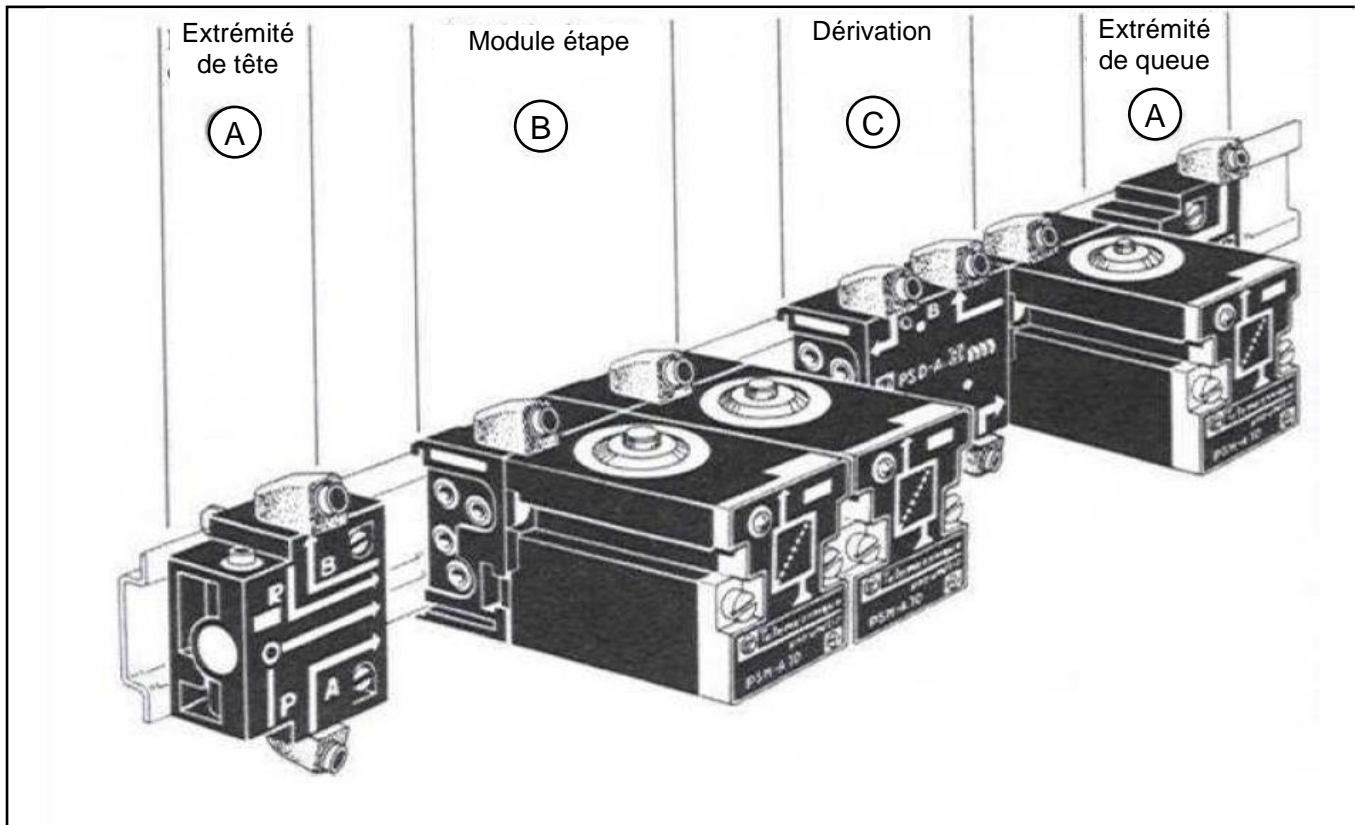
Logique câblée : commande pneumatique

L'élément principal est le module séquenceur. L'association de plusieurs modules séquenceurs constitue un ensemble appelé séquenceur.

La détection est pneumatique ; le pilotage des distributeurs se fait par une action d'air comprimé qui fait déplacer le tiroir du distributeur.



Exemple de module séquenceur Télémécanique



Exemple de séquenceur Télémécanique

L'extrémité de tête du séquenceur comporte :

- P : arrivée de pression
- R : entrée de remise à zéro du séquenceur (des modules)
- A : entrée d'armement
- B : retour du module n-1 (si n étapes dans le grafcet)

En assurant le déroulement du cycle, le séquenceur constitue l'épine dorsale du schéma de commande. La liaison entre GRAFCET et SEQUENCEUR est directe :

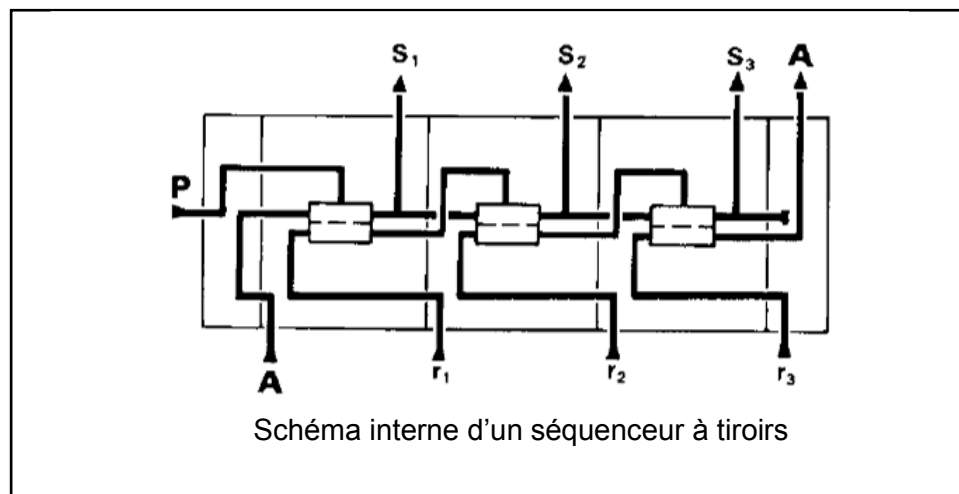
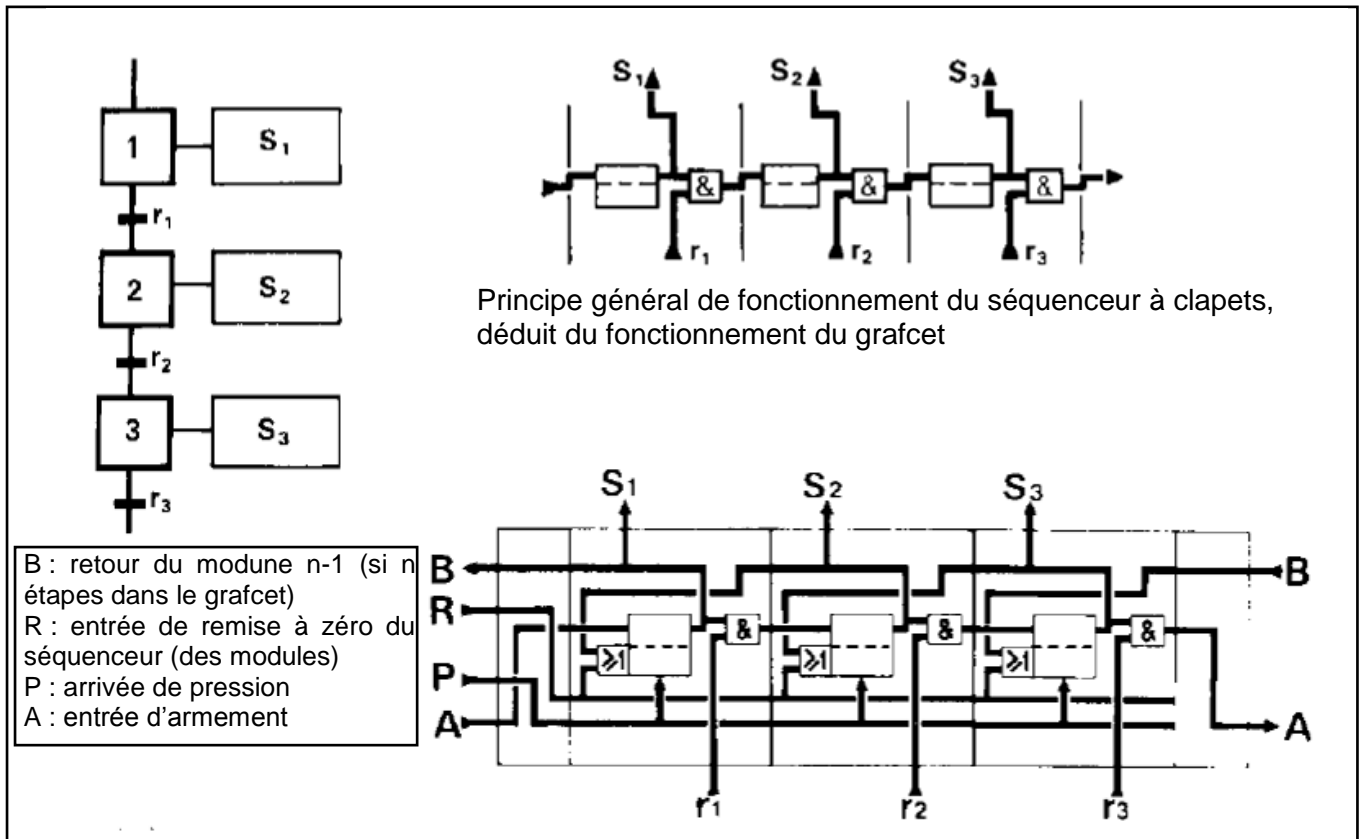
- à chaque étape du GRAFCET correspond un module d'étape du SEQUENCEUR (sauf pour l'étape initiale).
- ces modules s'associent de façon qu'à chaque branche de GRAFCET corresponde un bloc SEQUENCEUR dans l'équipement de commande.

Le cycle décrit par GRAFCET est commandé par une chaîne dont le principe est commun à tous les SEQUENCEURS.

A chaque étape correspondent une fonction MEMOIRE et une fonction ET :

- La fonction MEMOIRE concrétise l'étape et délivre les signaux d'actions.
- La fonction ET autorise le passage à l'étape suivante lorsque l'étape est active ET que la réceptivité correspondant à la transition est satisfaite.

Dans un séquenceur à base de relais à tiroir à 2 sorties, la fonction ET est réalisée par une mise en série des relais.



On remarque que la modularité permet de s'adapter à chaque cycle ; l'implantation et le câblage sont très simples.

Pour ce qui concerne l'exploitation on observe que :

- la simplicité de mise en oeuvre, qui peut se faire par du personnel non spécialiste en automatisme ;
- la source d'énergie pour la commande est la puissance est la même, ce qui en fait un système homogène ;
- la recherche de panne est facile ; le séquenceur est équipé d'un système de visualisation qui matérialise l'étape d'arrêt par un voyant ;
- Lors d'un arrêt intempestif de la machine, le séquenceur affiche ainsi l'étape et permet de diagnostiquer rapidement la panne
- En cas de panne, il suffit de changer le module défaillant (maintenu par deux vis sur son embase), sans avoir à démonter l'ensemble .

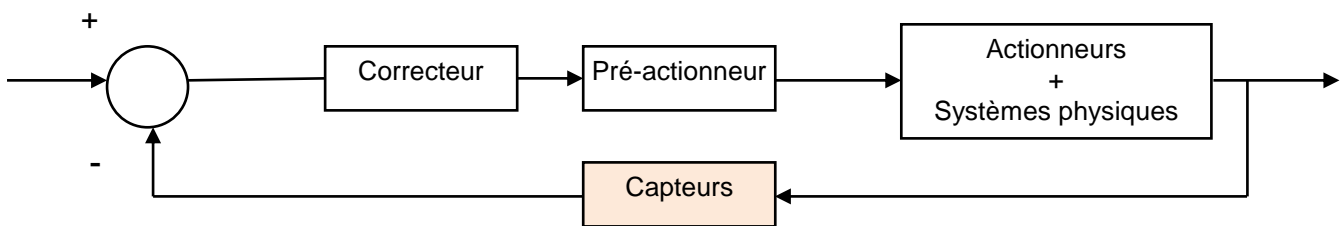
Systèmes asservis

Pour ces systèmes, on désire que la sortie suive avec précision les variations de l'entrée, et ceci avec un temps de réponse réduit. C'est par exemple le cas d'une direction assistée d'automobile ou la commande des gouvernes d'un avion. Applications : les robots industriels.

Voir la description en Annexe 2.

Capteurs

Le schéma général d'une boucle d'asservissement est le suivant.



Les capteurs y tiennent une place importante, surtout qu'une grande partie des défaillances peut leur être imputée.

Passons en revue les principaux types de capteurs.

Capteurs Tout ou Rien

Ils délivrent un signal électrique ou une pression pneumatique dès qu'une grandeur physique, ou un changement d'état, est détectée. Les capteurs T.O.R. sont par exemple :

- Les capteurs à **commande manuelle** destinés à l'équipement des pupitres comme les bourns poussoirs, les boutons à 2 ou 3 positions, les arrêts « coup de poing ».
- Les capteurs à **commande mécanique ou interrupteurs de position** ; ils détectent par contact la présence d'une partie mobile.

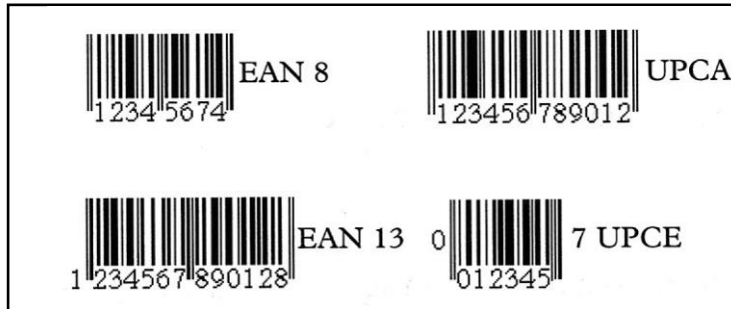
Capteurs sans contact

- Les capteurs de **proximité à jet d'air** permettent la détection d'une présence ou du passage d'une pièce par réflexion d'un jet d'air. Le fonctionnement est assuré par un amplificateur, et la détection est de 0 à 6 mm.
- Les détecteurs de **proximité magnétique**. Les Interrupteurs à Lame Souple se ferment au passage d'un aimant.
- Les détecteurs **inductifs** pour les métaux ferreux.
- Les détecteurs **capacitifs** pour les métaux non ferreux.
- Les détecteurs **infrarouges** pour détecter une source de chaleur.
- Les détecteurs de **passage photoélectrique** (barrage ou réflexion) pour lesquels la source de lumière est une diode électroluminescente infrarouge.

Codes barres

Le code barre est très utilisé dans les domaines agro-alimentaires, pharmaceutiques et industriels. Une étiquette, composée de barres noires et blanches alternées verticales, est lue par un crayon optique. Il existe deux familles de codes :

- Les codes dits « alimentaires » sont composés de barres et d'espaces dont la largeur peut varier de 1 à 3 ;
- Les codes « industriels » sont composés de barres et d'espaces larges représentant le 1 logique et de barres et d'espaces minces représentant le 0 logique



Code EAN en Europe, code UPC aux Etats-Unis.

Le lecteur/décodeur fonctionne comme une caméra vidéo analysant une image électronique. Celle-ci est lue, décodée puis transmise à une unité de traitement. Le système est fiable et économique.

Annexe 1 : GEMMA

Définition :

GEMMA : l'acronyme GEMMA signifie : **G**uide d'**E**tude des **M**odes de **M**arche et d'**A**rrêt. Comme son nom l'indique, c'est un guide d'étude.

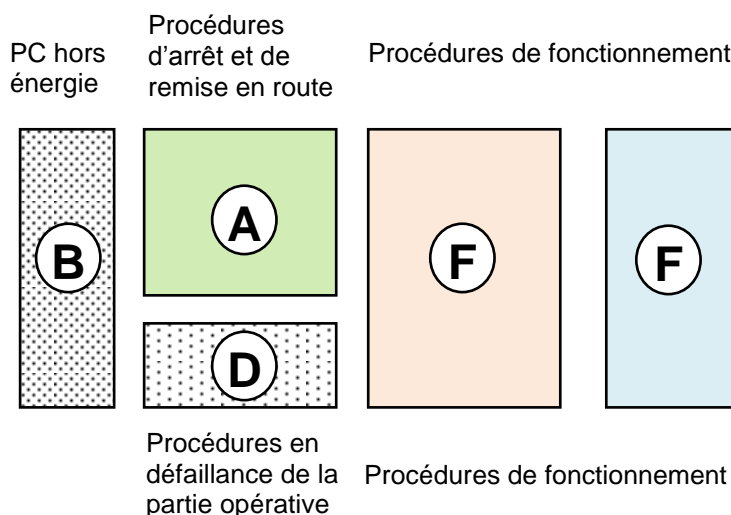
Pourquoi le GEMMA ?

L'étude faite avec un Gemma est très importante dans l'élaboration du fonctionnement d'un système automatisé. Elle va permettre de structurer le fonctionnement du système. Si généralement on souhaite que le système automatisé soit en production automatique, il est nécessaire de connaître précisément tous les autres comportements. Ce n'est pas en appuyant sur l'arrêt d'urgence que l'on "découvrira" le comportement du système dans cet état...

Le GEMMA est un guide graphique structuré qui propose des modes de fonctionnement types. Selon les besoins du système automatisé à étudier on choisit d'utiliser certains modes de fonctionnement. Le guide graphique GEMMA est divisé en "rectangle d'état". Chaque rectangle d'état a une position précise sur le guide graphique. Chaque rectangle d'état est relié à un ou plusieurs autres rectangles d'états par des flèches orientées. Le passage d'un rectangle d'état à un autre s'effectue un peu à la manière du franchissement d'une transition de grafcet. Le guide graphique GEMMA n'est pas un outil figé, il est modulable à volonté suivant les spécifications à obtenir.

Le GEMMA définit l'état dans lequel se trouve la partie commande du système automatisé. Dans un premier temps, on peut dire que le GEMMA est divisée en deux parties

- Partie commande hors énergie (zone B)
- Partie commande en énergie (zones A, D, F)



Partie commande hors énergie (PZ) :

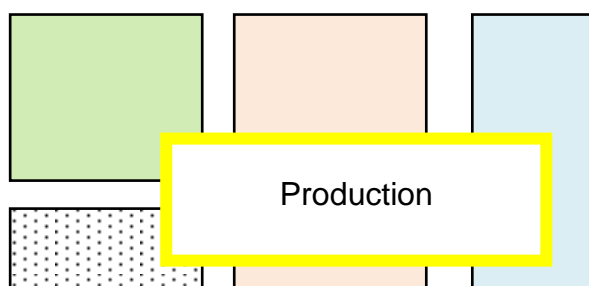
C'est la partie gauche, repérée B, sur le graphique précédent. Dans cette zone, la partie commande est hors énergie. Dans cette partie il n'y a pas de modes traités par la partie commande. Seules des actions dites actions réflexes peuvent se réaliser. Le choix des composants du système sera prépondérant dans ce mode pour des raisons de sécurité.

Partie commande en énergie (A, D, F) :

Cette zone, que nous privilégierons dans cette étude, regroupe trois zones que l'on appelle les familles de procédures. Il en existe trois :

1. *Les procédures de fonctionnement;*
2. *Les procédures en défaillances;*
3. *Les procédures d'arrêts.*

Une distinction supplémentaire est faite parmi ces trois familles de procédures. On distingue la zone de production de la zone hors production par un double encadrement de la zone de production en jaune. La zone de production se trouve à cheval sur les trois types de procédures.



Définition des procédures

Les procédures de fonctionnement (F)

Les procédures de fonctionnement définissent les états de fonctionnement du système. Ils sont au nombre de 6. Dans ces rectangles d'état, le système peut produire, mais on peut aussi le régler, le tester. C'est dans ces procédures que l'on trouve le rectangle d'état caractérisant la production normale de tout système.

F1 Production normale :

Dans cet état le système produit normalement.

F2 Marche de préparation :

Cet état permet au système d'atteindre les conditions nécessaires pour pouvoir accéder à la production normale. (Préchauffage du fourreau d'une presse à injecter, mise en place d'une boîte avant remplissage,...).

F3 Marche de clôture

Cet état permet au système d'atteindre une certaine position avant un arrêt prolongé. (Avant l'arrêt de la presse à injecter les plastiques thermodurcissables, il est nécessaire de vider le fourreau afin de pouvoir réutiliser la presse).

F4 Marche de vérification dans le désordre

Cet état permet la vérification dans le désordre des différents actionneurs du système automatisé sans respecter l'ordre de production normale. Cet état correspond le plus souvent au mode manuel.

F5 Marche de vérification dans l'ordre

Cet état permet la vérification dans l'ordre de production normale des différents actionneurs du système automatisé. Cet état permet de faire évoluer le cycle de production normale tâche par tâche. Dans cet état la machine est en production ou hors production.

F6 Marche de test

Cet état permet le réglage de différents éléments du système qui nécessitent un réglage. Ces réglages peuvent être effectués en ou hors production.

Les procédures d'arrêts (A)

Les procédures d'arrêt définissent les états de d'arrêt du système... Ils sont au nombre de 7. Ces rectangles d'état permettent d'amener le système à un arrêt normal ou de préparer le système à une procédure de remise en route.

A1 Arrêt dans l'état initial

C'est l'état dans lequel se trouve la machine avant de passer en production normale. Ce rectangle d'état est caractéristique sur un GEMMA car il est matérialisé par un double encadrement. Il correspond un peu à l'état initial d'un grafcet.

A2 Arrêt demandé en fin de cycle

Cet état permet de conduire le système à un arrêt en fin d'un cycle de production. Le système va continuer de produire et s'arrêter lorsque le cycle de production sera terminé. Cet état est utilisé lorsque l'on souhaite réalimenter en matière première un système.

A3 Arrêt demandé dans un état déterminé

Cet état permet de conduire le système à un arrêt différent du précédent. Il permet par exemple d'arrêter le système dans un état permettant une intervention sur un système.

A4 Arrêt obtenu :

Cet état permet de conduire le système à un arrêt différent de l'arrêt en fin de cycle.

A5 Préparation pour remise en route après défaillance :

Cet état permet de ramener le système après une défaillance dans une position qui lui permettra de remettre en route le système. Dans cet état l'opérateur intervient en général manuellement pour dégager, nettoyer ou vider le système.

A6 Mise PO dans état initial:

Cet état permet, en général après une remise en route après défaillance du système de ramener le système manuellement ou automatiquement en position initiale.

A7 Mise PO dans état déterminé :

Cet état permet d'arrêter le système dans une position autre que la position initiale. Le redémarrage du système ne se fera donc pas de l'état initial.

Les procédures en défaillances (D)

Les procédures en défaillance définissent les états que devra avoir la partie opérative en cas de défaillance. Ils sont au nombre de 3. Ces rectangles d'état permettent gérer les défaillances du système tel que par exemple l'arrêt d'urgence. Les états de défaillance sont les états de défaillance de la P.O.

D1 Marche ou arrêt en vue d'assurer la sécurité :

Cet état permet de gérer le système lors d'un arrêt d'urgence. On prévoit dans cet état toutes les mesures visant à protéger le système, cycle de dégagements et précautions pour limiter les conséquences de la défaillance.

D2 Diagnostic et ou traitement de défaillance

Cet état permet à la maintenance de diagnostiquer l'origine de la défaillance et d'envisager le traitement approprié qui permettra le redémarrage du système après traitement de la défaillance.

D3 Production tout de même

Cet état permet de continuer la production après défaillance du système en cas de nécessité. La production n'est plus forcément automatisée, elle peut être alors accompagnée par un opérateur. On parlera alors de marche dégradée.

Utilisation pratique du GEMMA :

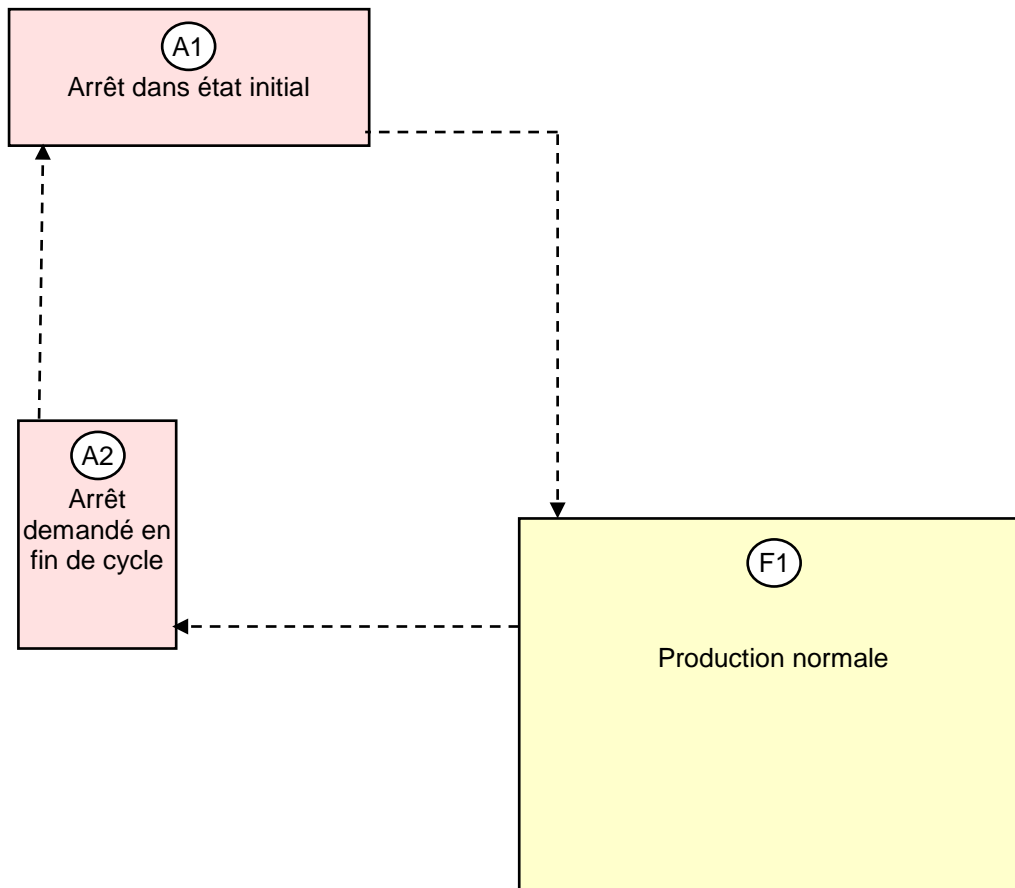
Sur le Gemma, chaque rectangle d'état est caractérisé par son nom et son repère. L'automaticien va dans un premier temps sélectionner les rectangles d'état nécessaires à la description du système automatisé étudié, puis définir les liaisons entre les rectangles d'état. Une brève définition de l'effet attendu pourra être utilisée pour décrire le comportement attendu dans chaque rectangle d'état.

Notion de boucle opérationnelle :

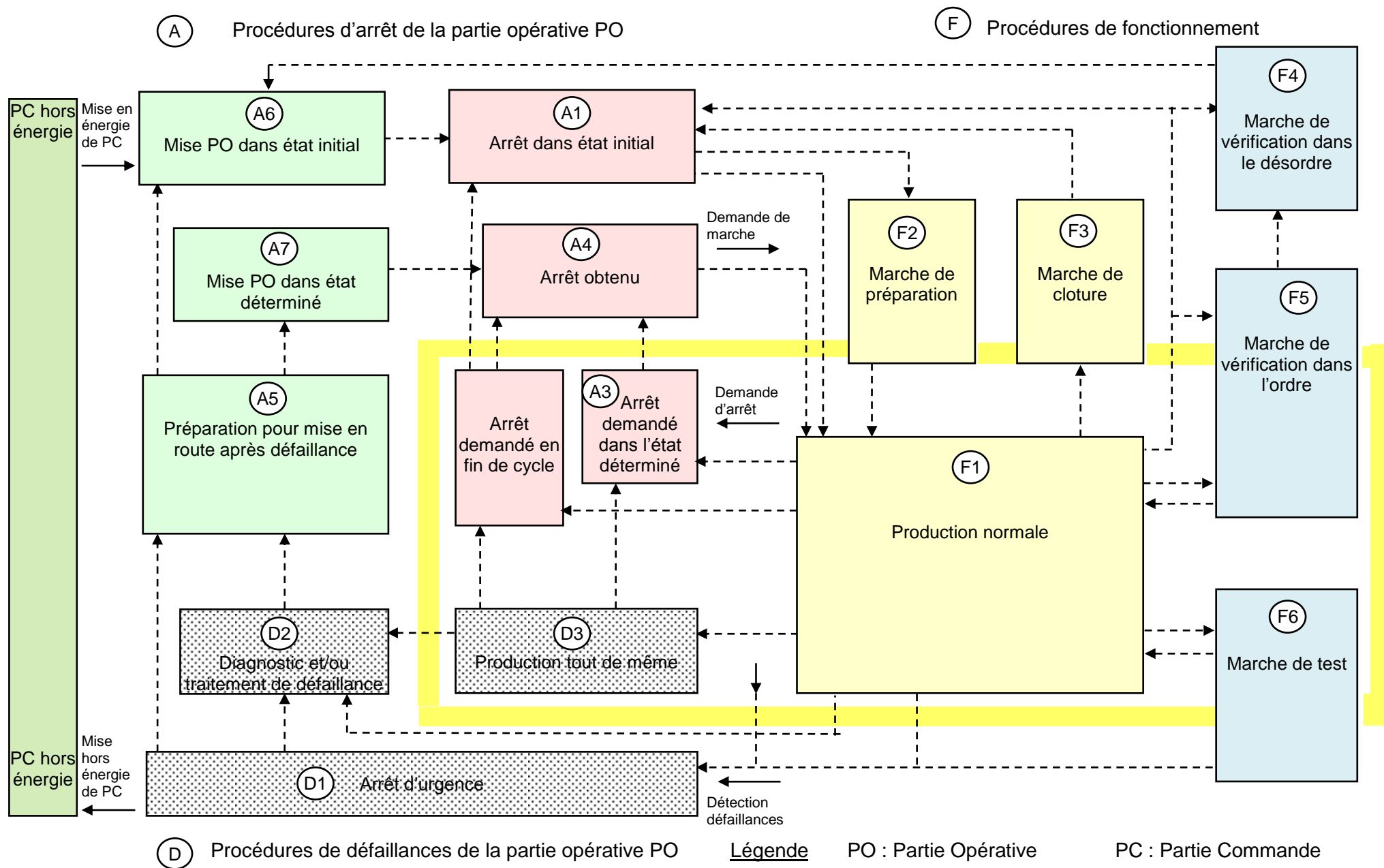
Sur le GEMMA on caractérise plusieurs "boucles". Une boucle est une succession d'états caractérisant le fonctionnement du système. En effet il n'est possible de passer d'un état à un autre que si les conditions d'évolutions sont respectées, mais il est parfois impossible de passer d'un état à un autre sans utiliser un état intermédiaire. Cet état intermédiaire permettra d'atteindre l'état final sans risque pour le système, ce qui est l'objectif premier.

Analyse des boucles opérationnelles de GEMMA (voir le schéma global en format paysage)

Marche normale



La boucle A1 - F1 - A2 - A1 est la boucle de marche normale. C'est en suivant cette boucle que le système va pouvoir fonctionner correctement. Cette boucle décrit le fonctionnement normal du système, puis en fin de cycle lors d'un arrêt du cycle de fabrication, le système vient se remettre en position initiale et sera donc prêt pour un prochain cycle ou série de cycles

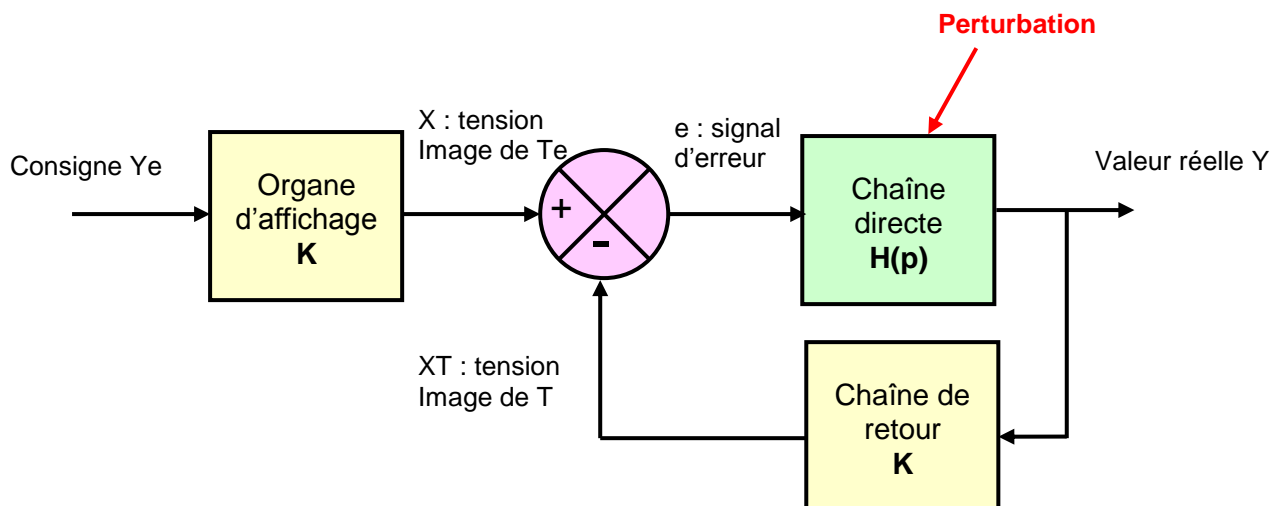


Annexe 2 : Système asservi

Structure

Un système asservi est un système commandé possédant un dispositif de retour permettant de compenser le manque de fidélité d'un système physique. Il comprend :

- **la chaîne directe $H(p)$** : c'est le système commandé qui est soumis à l'influence des perturbations et manque donc de fidélité. Sa transmittance est souvent notée $H(p)$.
- **la chaîne de retour K** : elle convertit la grandeur de sortie en une tension qui est le signal de retour x_r . Ce capteur doit être fidèle (insensible aux perturbations).
- **l'organe d'affichage K** : il transforme la valeur désirée Y_e de y (consigne) en tension x . Il n'est pas présent dans tous les asservissements.
- **le comparateur** : il élabore le signal d'erreur $e = x - x_r$



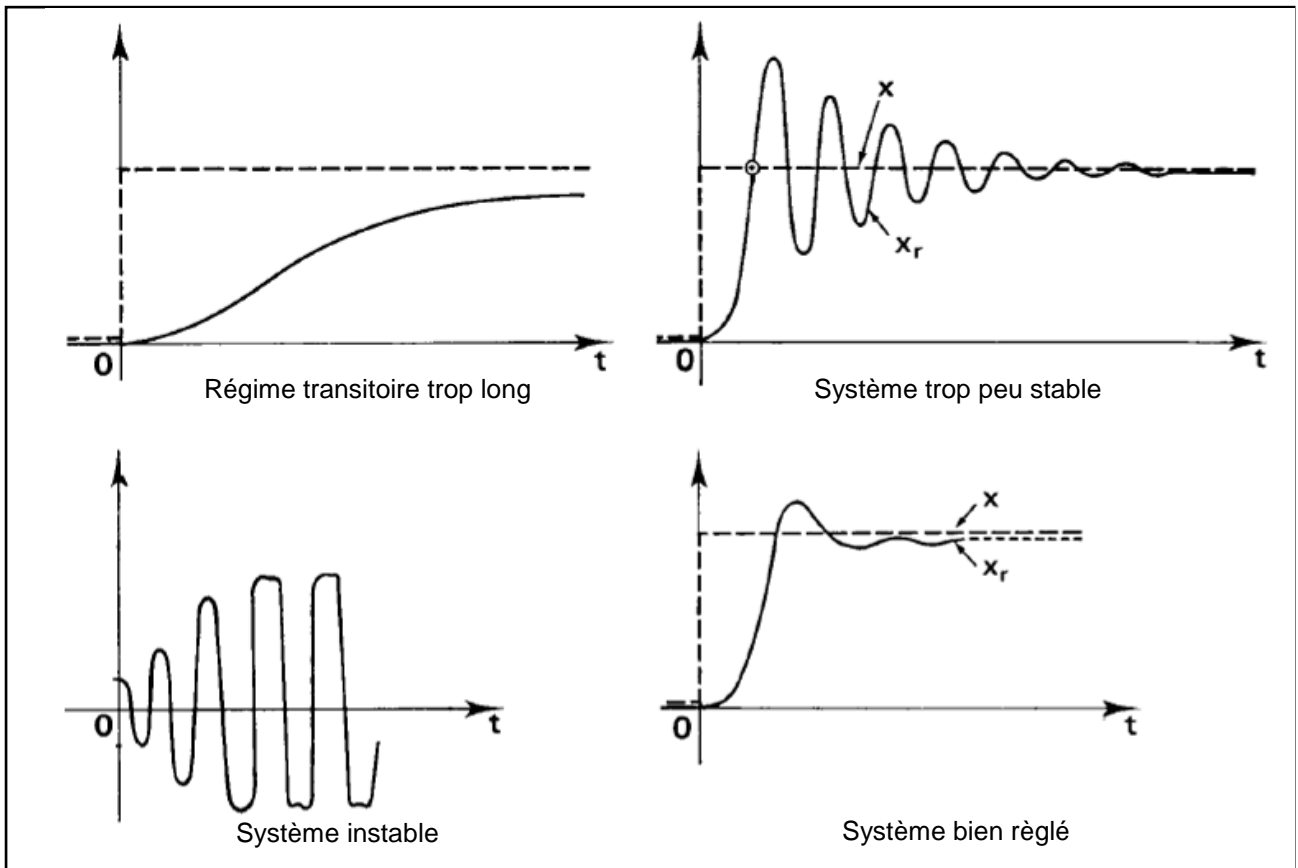
L'organisation d'un système asservi est la suivante :

- ➔ la **chaîne directe** constituée du système commandé soumis à l'influence des perturbations et manquant de fidélité ;
- ➔ la **chaîne de retour** ou **capteur** qui convertit la grandeur de sortie en une tension appelée signal de retour XT ;
- ➔ l'**organe d'affichage** qui transforme la valeur désirée, ou consigne, en tension x ;
- ➔ le **comparateur** qui élabore en permanence le signal d'erreur $e = X - XT$;
- ➔ le dispositif d'affichage et le capteur ont la **même transmittance K** .

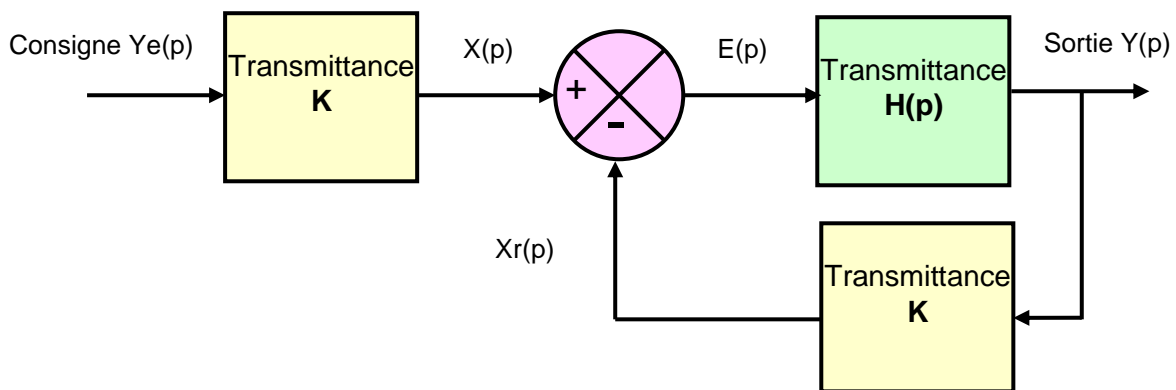
Un bon système asservi sera caractérisé par :

- une erreur très faible, et si possible nulle en régime permanent
- un temps de réponse le plus court possible en régime transitoire

Un système idéal est caractérisé par une sortie égale à la consigne.



Transmittances en boucle fermée ou ouverte



La transmittance K se réduit la plupart du temps à une simple constante.
Calculons la relation entre $Y(p)$ et $Y_e(p)$:

$$Y(p) = H(p) \cdot E(p) = H(p)[X(p) - X_r(p)] = H(p)[KY_e(p) - KY(p)]$$

$$\text{d'où : } Y(p)[1 + H(p)K] = Y_e(p) \cdot H(p)K$$

$$\text{et enfin : } T'(p) = \frac{Y(p)}{Y_e(p)} = \frac{H(p) \cdot K}{1 + H(p) \cdot K} \quad \text{qui est la transmittance de l'asservissement.}$$

On introduit alors deux grandeurs fondamentales :

- la transmittance en boucle ouverte : $T(p) = \frac{X_r(p)}{E(p)} = H(p).K$

- la transmittance en boucle fermée : $T'(p) = \frac{T(p)}{1 + T(p)} = \frac{H(p).K}{1 + H(p).K}$

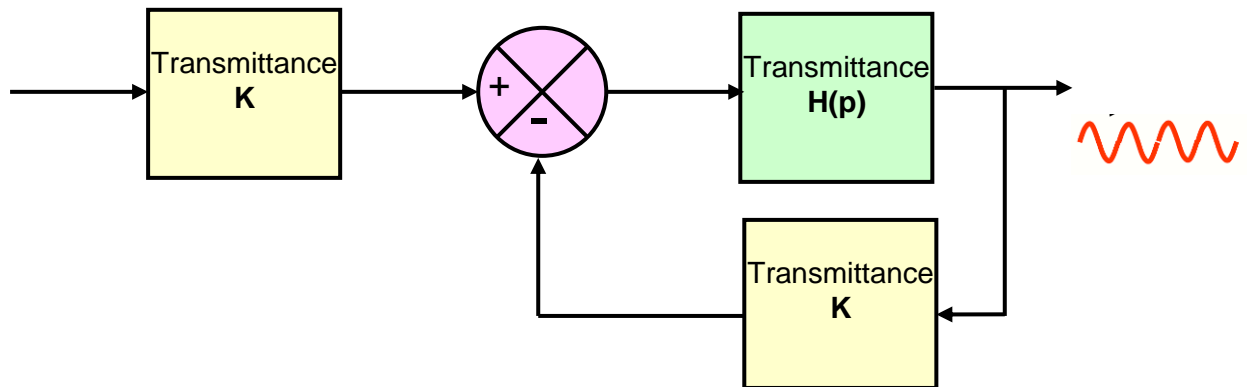
Cette dernière relation est appelée formule de Black.

Si l'organe d'affichage est absent (ce qui est souvent le cas en pratique), la grandeur d'entrée est directement la tension x fournie par un potentiomètre de consigne ou un convertisseur numérique-analogique (CNA).

- La transmittance en boucle fermée s'écrit alors : $T'(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{H(p)}{1 + H(p).K}$

Stabilité d'un système asservi

Un système asservi instable peut avoir des variations importantes de la sortie, ce qui peut créer de graves perturbations.



Pour déterminer les conditions de stabilité d'un système, on dispose de 2 outils.

Outil mathématique : un système linéaire est stable si tous ses pôles ont une valeur réelle négative.

Pour trouver les pôles du système bouclé, il faudra donc résoudre l'équation :

$$1 + H(p).K = 0 \quad \text{soit} \quad T(p) = -1$$

Ce calcul n'est simple que si $T(p)$ ne dépasse pas le troisième degré.

IL est donc peu utilisé.

Outil graphique : il permet de prévoir la stabilité à partir du diagramme de Bode ou de Nyquist de la transmittance en boucle ouverte $T(p)$.

L'étude des oscillateurs nous montre qu'un système bouclé oscille s'il existe une pulsation ω_0 pour laquelle le gain de boucle est égal à 1.

Cette condition devient, si on tient compte du signe (-) introduit par le comparateur :

$$-H(j\omega_0).K = 1 \quad \text{soit} \quad \underline{T}(j\omega_0) = \underline{H}(j\omega_0).K = -1$$

Graphiquement cela veut dire que la boucle oscille s'il existe une fréquence pour laquelle on a $|\underline{T}| = 1$ et $\arg(\underline{T}) = -\pi$ sur le diagramme de Bode ou de Nyquist de la transmittance en boucle ouverte $\underline{T}(j\omega)$

Remarques :

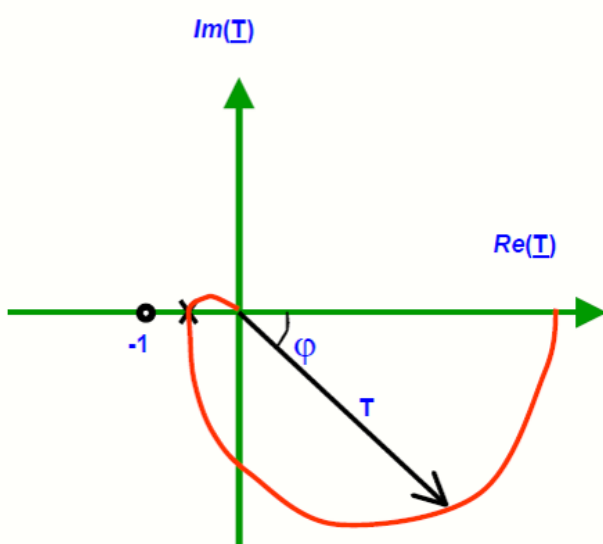
- la transmittance en boucle ouverte d'un SA est accessible facilement par un relevé de son diagramme de Bode, ou par l'enregistrement de sa réponse indicielle
- ces relevés en boucle ouverte se font sans risque, puisque le système ne peut devenir instable qu'en boucle fermée
- si les relevés montrent qu'il existe une fréquence f_0 où la condition d'oscillation est vérifiée, alors on ne boucle pas le système pour éviter toute casse mécanique résultant de l'entrée en oscillation du SA

Graphique de Nyquist

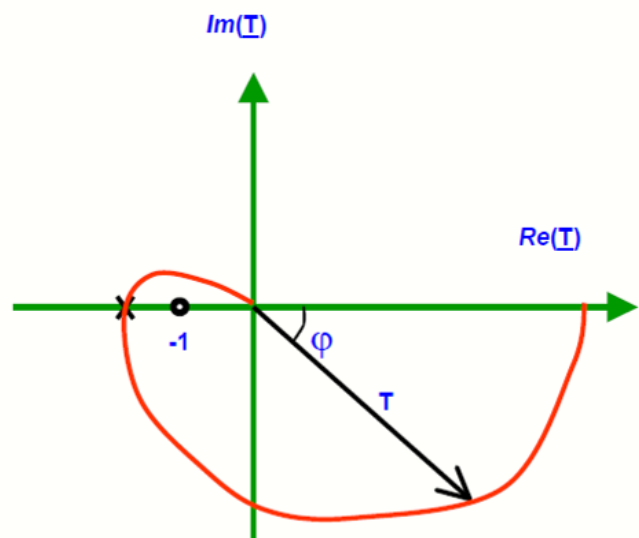
A la pulsation critique où $\arg(T) = -\pi$, le graphique de Nyquist peut présenter 3 configurations :

- Il passe par le point critique -1 ; le système oscillera si on le boucle, l'asservissement est instable et inutilisable.
- Le module T est inférieur à 1 ; le démarrage de l'oscillation n'est pas possible et le système est stable en boucle fermée.
- Le module T est supérieur à 1. L'oscillation démarre et croît ; le système est instable en boucle fermée.

Un système asservi linéaire est stable en boucle fermée si, lorsqu'on décrit le lieu de Nyquist de $T(j\omega)$ dans le sens des fréquences croissantes, on laisse le point -1 à gauche



Système stable en boucle fermée

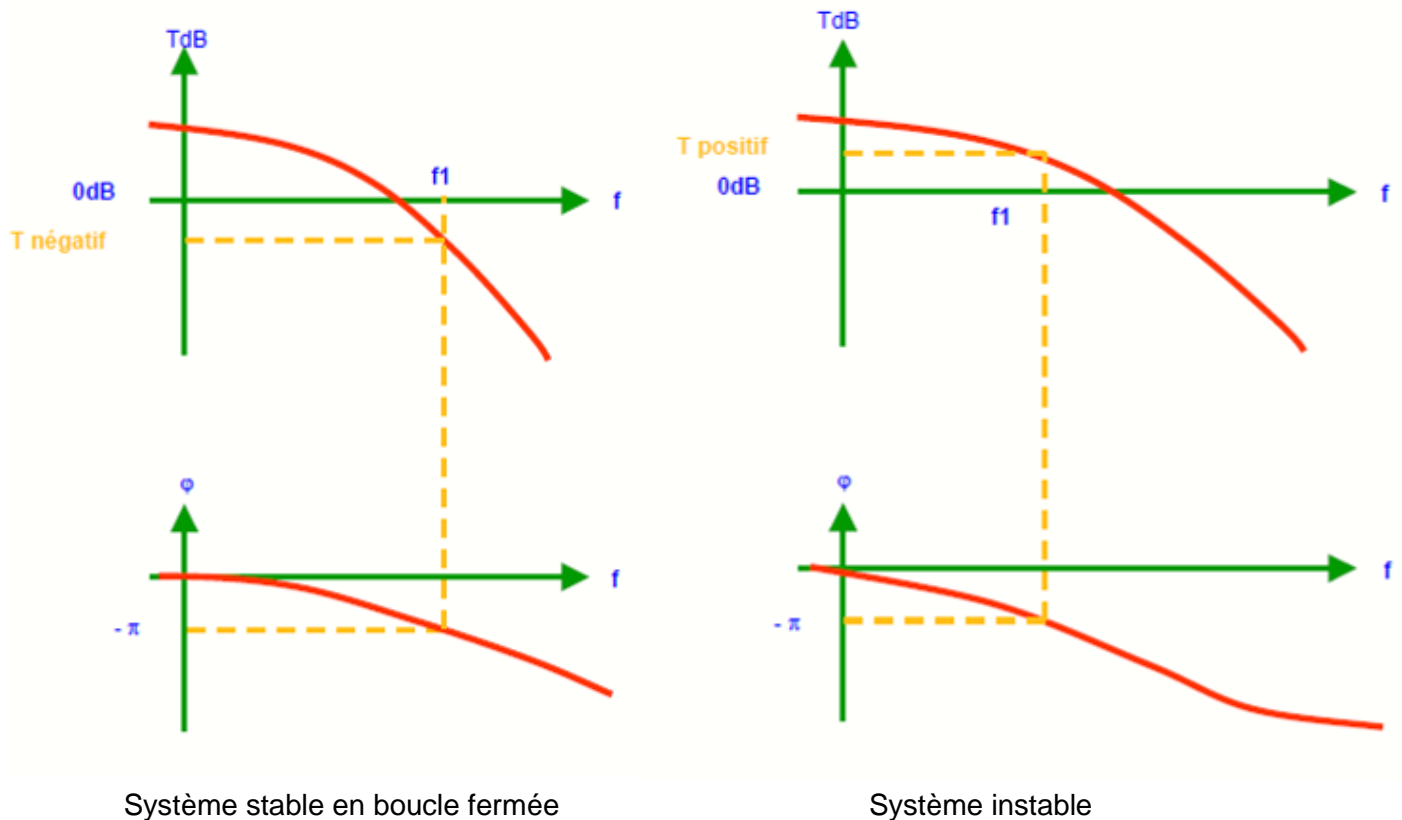


Système instable

Diagramme de Bode

La stabilité se voit également très bien sur le diagramme de Bode.

- Si le module TdB est positif à la fréquence f_1 où $\arg(T) = -\pi$, le système sera instable en boucle fermée.
- Si le module TdB est négatif à la fréquence f_1 où $\arg(T) = -\pi$, le système sera stable en boucle fermée.



Une augmentation du gain de la chaîne directe se traduit par un décalage vers le haut de la courbe de gain et conduit forcément à l'instabilité

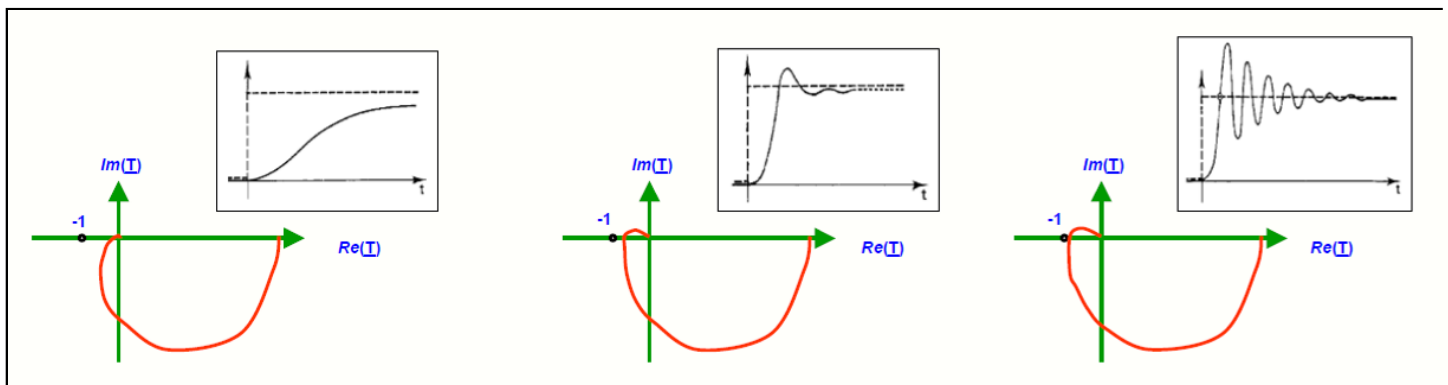
Marge de phase d'un système asservi

Plus le diagramme de Nyquist passe près du point -1 , moins le système sera amorti et plus il aura tendance à l'instabilité.

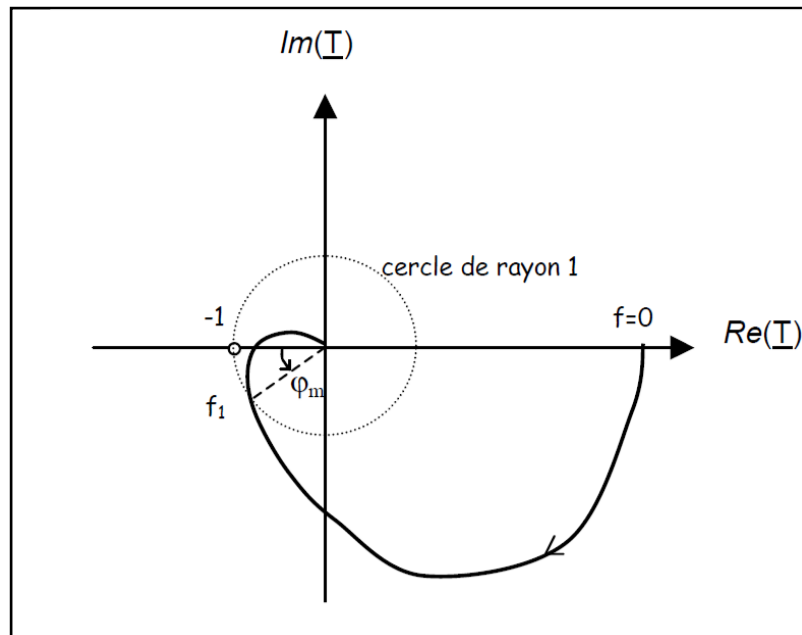
On caractérise souvent l'écart entre le lieu de Nyquist et le point -1 par la marge de phase φ_m définie ainsi :

- on cherche la fréquence f_1 pour laquelle le module de la transmittance est égal à 1
- à cette fréquence, l'argument de la transmittance vaut φ
- la marge de phase est : $\varphi_m = 180 + \varphi$
- un système stable a une marge de phase positive
- un système instable a une marge de phase négative

Cette marge de phase se lit très facilement sur le diagramme de Nyquist d'un système



Plus le diagramme de Nyquist passe près du point -1, moins le système sera amorti et plus il aura tendance à osciller.

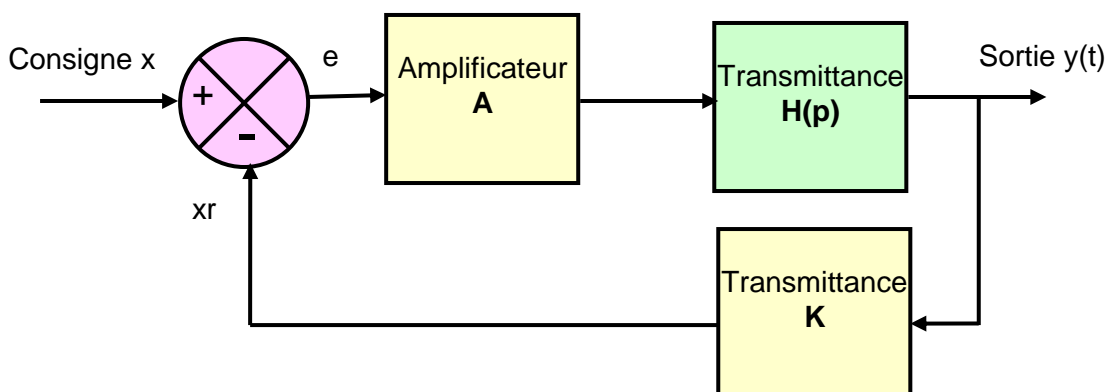


Le réglage de l'amplification dans la chaîne directe a une influence directe sur l'amortissement du système et donc sur la forme de la réponse.

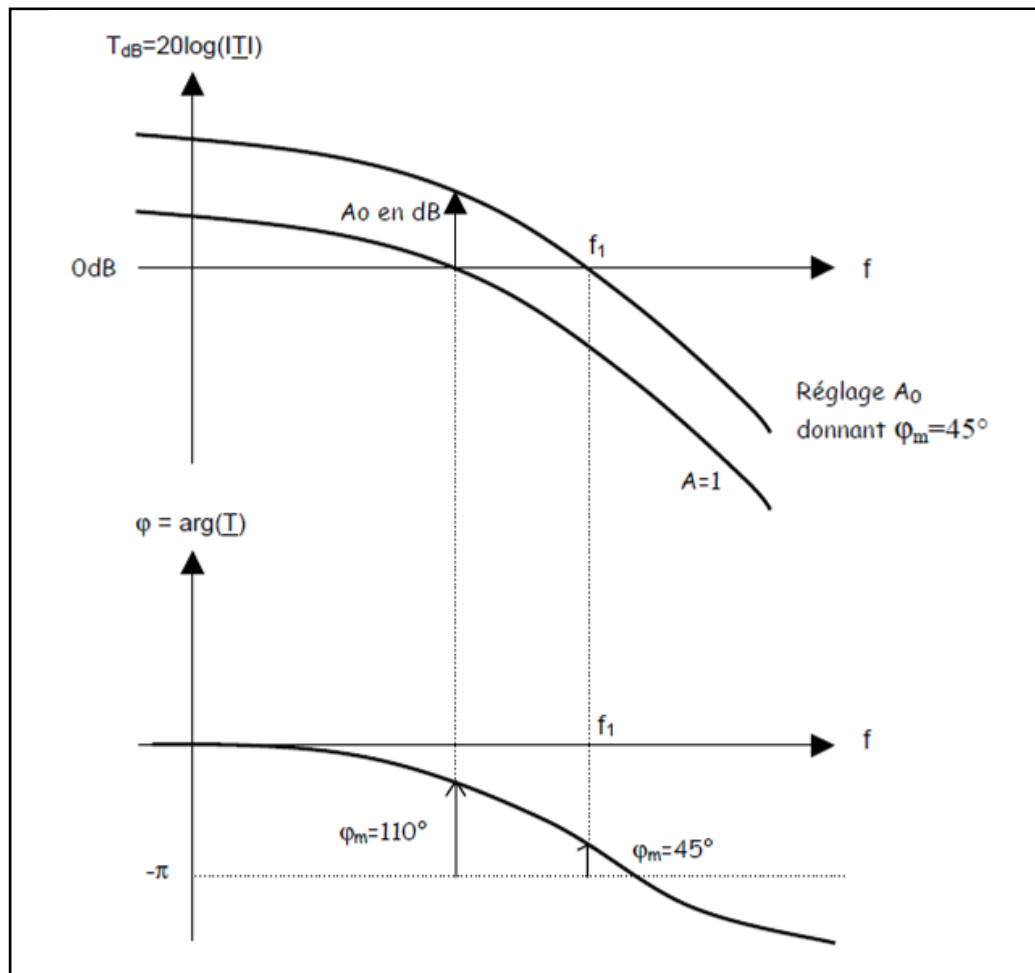
Dans la pratique, un **dépassement de 20%** correspondant à une stabilité « satisfaisante » est obtenu pour une marge de phase de l'ordre de $\varphi_m = 45^\circ$, quel que soit l'ordre du système.

La méthode graphique de réglage de l'amplification est très simple à appliquer sur le diagramme de Bode du système en boucle ouverte.

Tous les asservissements comportent dans la chaîne directe un amplificateur A réglable agissant sur le signal d'erreur $e(t)$:



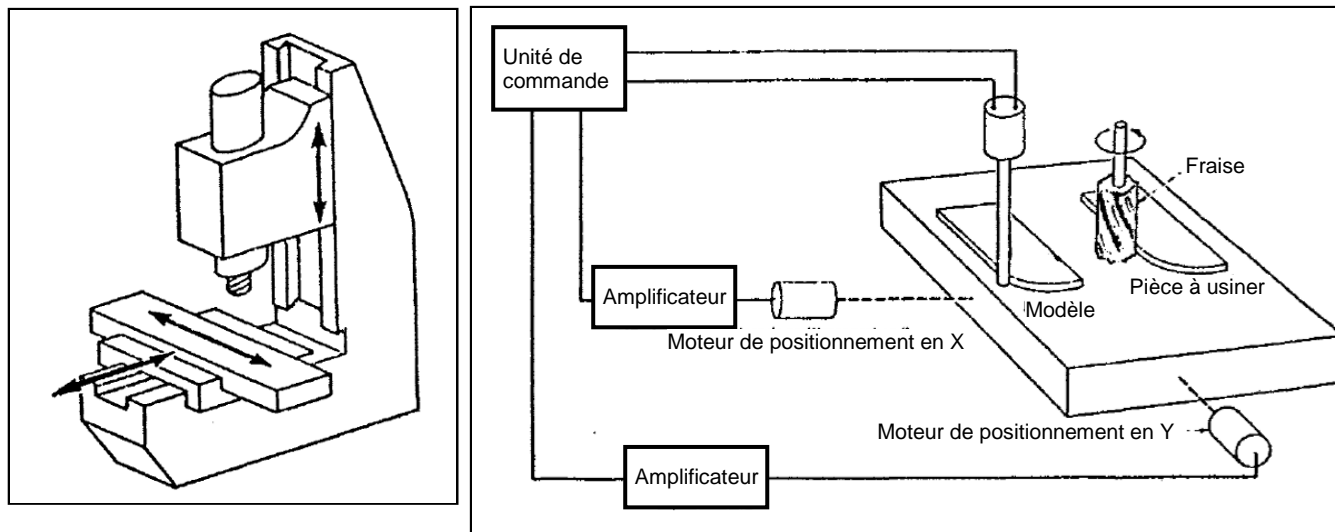
- La marge de phase φ_m se lit très bien sur le diagramme de Bode du gain en boucle ouverte d'un système.
- La marge de phase peut être réglée par l'amplificateur A dans la chaîne directe de l'asservissement.
- Une augmentation de l'amplification déplace la courbe de gain vers haut.
- Cette augmentation fait en général baisser la marge de phase.
- Une augmentation qui donne une marge de 45° est en général un bon compromis, sauf pour les systèmes qui ne tolèrent pas de dépassement ; dans ce dernier cas on règle φ_m à $80 - 90^\circ$.



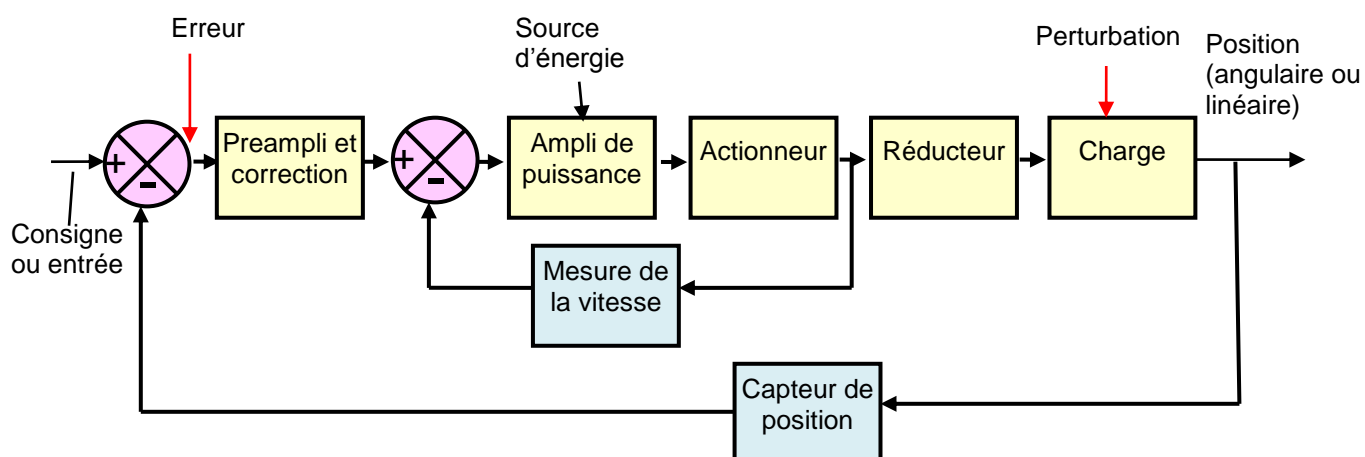
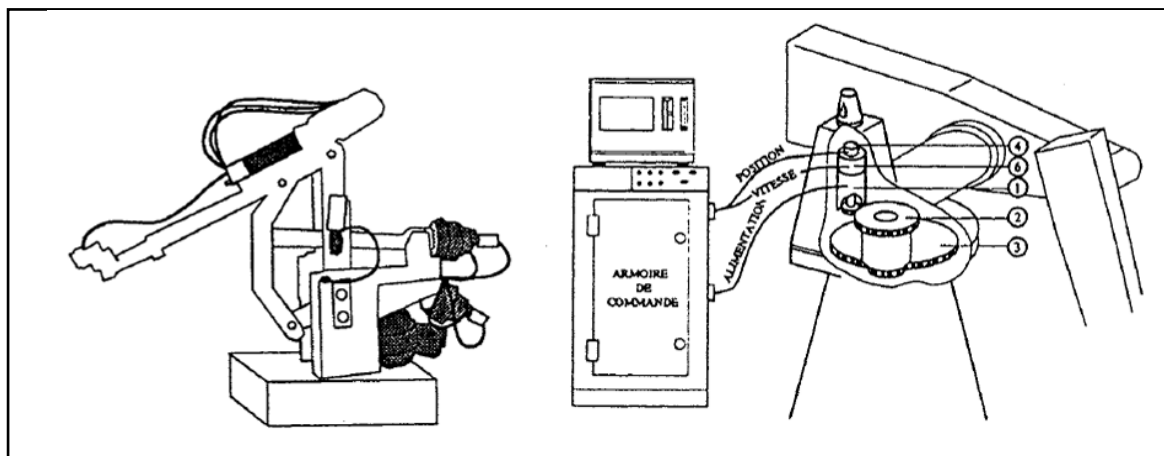
Annexe 2 : Exemples de systèmes asservis

Asservissement des axes d'une machine-outil

Contrôle des déplacements de la table (axes de translation X, Y), de la descente de l'outil (axe de translation Z) et de sa vitesse de rotation ; contrôle de trajectoires (contournage)..



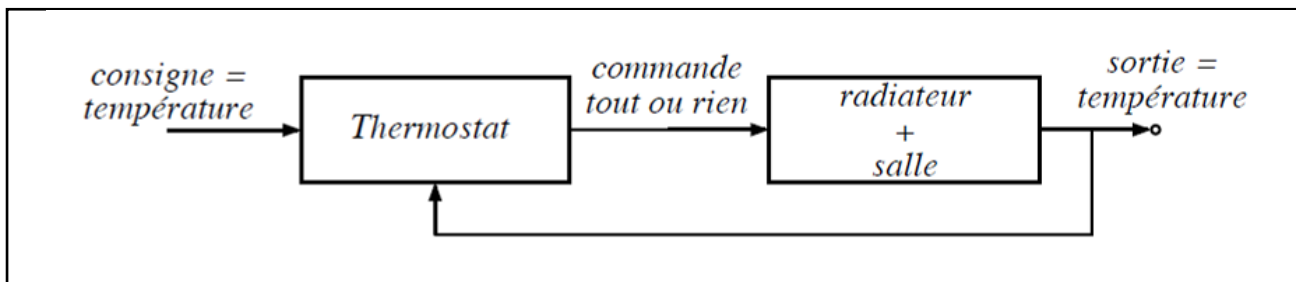
Commande des axes d'un robot manipulateur : contrôle en manipulation du bras.



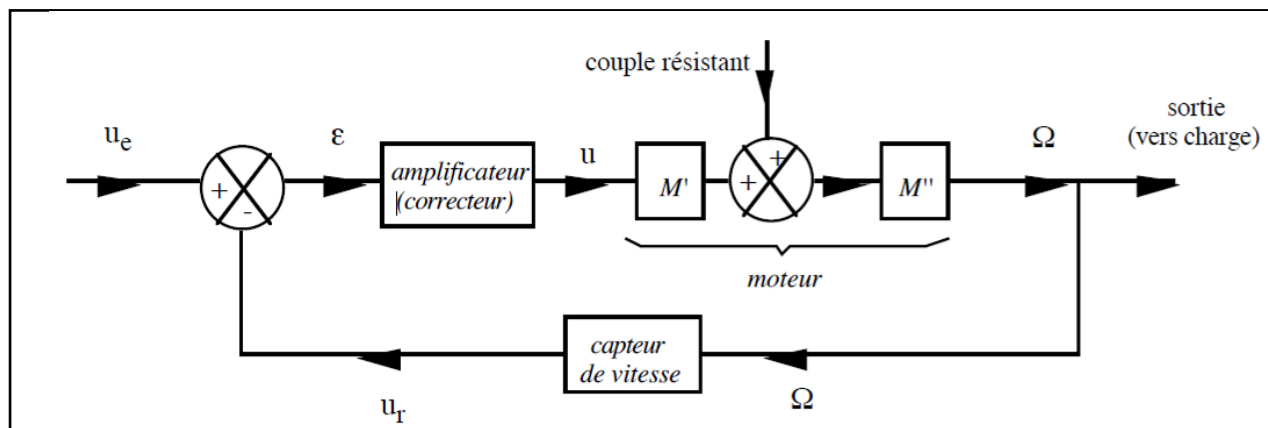
On peut remarquer que la structure de cet asservissement (position et vitesse) est très couramment utilisée dans les commandes automatiques de systèmes liés à l'actionnement de mécanismes.

Chauffage d'une salle

Considérons le chauffage électrique d'une salle. Le système est constitué par l'ensemble chauffage + salle. La sortie de ce système est la température de la pièce. La commande du système est la position 0 ou 1 de l'interrupteur. Les perturbations peuvent être l'ouverture d'une fenêtre, de la porte, ou les rayons du soleil. En boucle ouverte la commande est insensible à la sortie. Pour créer un feedback ou contre-réaction, on peut utiliser un thermostat. La commande est alors élaborée en fonction de la consigne (température souhaitée) et de la sortie (température de la pièce).



Commande de vitesse d'un moteur



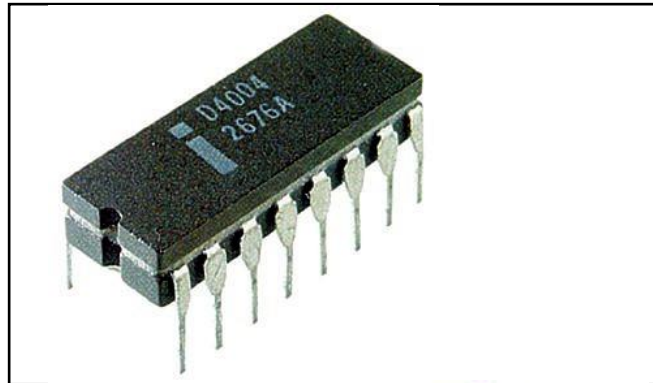
On fait ici intervenir a priori des frottements intervenant au niveau du moteur et modélisés par un couple résistant.

L'arbre moteur tourne à la vitesse angulaire Ω et pourra éventuellement être raccordé à une charge mécanique exerçant lui aussi un couple résistant sur l'arbre.

Le capteur de vitesse est une génératrice tachymétrique dont on peut retenir ici qu'elle délivre en sortie une tension u_r proportionnelle à la vitesse de rotation Ω .

Processeur

Définition



Le **processeur** (**CPU**, pour Cerveau de l'ordinateur. Il perçoit les informations codées sous forme de données et les traite.

Le premier **microprocesseur** de 4 bits, cadencé à 108 kHz, a été développé en 1971. Depuis, son développement a été exponentiel. Quels sont les facteurs de son développement ?



Le **processeur** (noté **CPU**, pour Cerveau de l'ordinateur), est une unité de calcul qui traite les données en fonction d'une horloge interne, envoyant des impulsions, appelées cycles, correspondant au nombre d'instructions à traiter. Ainsi, un ordinateur à 200 MHz possède une horloge d'horloge est généralement un multiple de la fréquence d'horloge.

A chaque top d'horloge le processeur traite une partie d'instruction. L'indicateur du nombre moyen de cycles d'horloge par instruction est le **CPI** (Cycles Per Instruction). La puissance d'un microprocesseur est mesurée en MIPS (Millions d'Instructions Par Seconde) c'est-à-dire le nombre d'instructions qu'il est capable de traiter par seconde.



Une **instruction** est l'opération que le processeur doit accomplir. Les instructions sont stockées dans la mémoire et sont envoyées au processeur. Une instruction est composée de deux champs :

- le **code opération**, représentant l'action que le processeur doit accomplir ;
- le **code opérande**, définissant les paramètres de l'action. Le code opérande dépend de l'opération. Il peut s'agir d'une donnée ou bien d'une adresse mémoire.

Traitement) est le traitement des données, c'est-à-dire des données stockées en mémoire.

Le processeur est composé d'une unité de calcul et d'une unité de commande. Comment augmente-t-on la puissance de nos ordinateurs ?

Le processeur est cadencé au courant électrique, c'est-à-dire qu'il fonctionne également **cycle**, c'est-à-dire qu'il fonctionne à une fréquence donnée. Ainsi, un ordinateur à 200 MHz possède une horloge d'horloge est généralement un multiple de la fréquence d'horloge. La fréquence d'horloge est généralement un multiple de la fréquence d'horloge (Front-Side Bus), c'est-à-dire qu'il fonctionne à une fréquence donnée.

Une instruction ou une donnée est représentée par un nombre binaire. Le nombre d'instructions qu'il est capable de traiter par seconde est le **MIPS** (Millions d'Instructions Par Seconde). Le **MIPS** se divise le **CPI**.

Les instructions sont envoyées au processeur. Une instruction est composée de deux champs :

Le nombre d'octets d'une instruction est variable selon le type de donnée (l'ordre de grandeur est de 1 à 4 octets).

Les instructions peuvent être classées en catégories dont les principales sont :

- **Accès à la mémoire** : des accès à la mémoire ou transferts de données entre registres.
- **Opérations arithmétiques** : opérations telles que les additions, soustractions, divisions ou multiplication.
- **Opérations logiques** : opérations ET, OU, NON, NON exclusif, etc.
- **Contrôle** : contrôles de séquence, branchements conditionnels, etc.

Registres

Lorsque le processeur exécute des instructions, les données sont temporairement stockées dans de petites mémoires rapides de 8, 16, 32 ou 64 bits que l'on appelle **registres**. Suivant le type de processeur le nombre global de registres peut varier d'une dizaine à plusieurs centaines.

Les registres principaux sont :

- **le registre accumulateur** (*ACC*), stockant les résultats des opérations arithmétiques et logiques ;
- **le registre d'état** (*PSW, Processor Status Word*), permettant de stocker des indicateurs sur l'état du système (retenue, dépassement, etc.) ;
- **le registre instruction** (*RI*), contenant l'instruction en cours de traitement ;
- **le compteur ordinal** (*CO* ou *PC* pour *Program Counter*), contenant l'adresse de la prochaine instruction à traiter ;
- **le registre tampon**, stockant temporairement une donnée provenant de la mémoire.

Mémoire cache

La **mémoire cache** (également appelée *antémémoire* ou *mémoire tampon*) est une mémoire rapide permettant de réduire les délais d'attente des informations stockées en mémoire vive. En effet, la mémoire centrale de l'ordinateur possède une vitesse bien moins importante que le processeur. Il existe néanmoins des mémoires beaucoup plus rapides, mais dont le coût est très élevé. La solution consiste donc à inclure ce type de mémoire rapide à proximité du processeur et d'y stocker temporairement les principales données devant être traitées par le processeur. Les ordinateurs récents possèdent plusieurs niveaux de mémoire cache :

- La **mémoire cache de premier niveau** (appelée **L1 Cache**, pour **Level 1 Cache**) est directement intégrée dans le processeur. Elle se subdivise en 2 parties :
 - La première est le cache d'instructions, qui contient les instructions issues de la mémoire vive décodées lors de passage dans les pipelines.
 - La seconde est le cache de données, qui contient des données issues de la mémoire vive et les données récemment utilisées lors des opérations du processeur.

Les caches du premier niveau sont très rapides d'accès. Leur délai d'accès tend à s'approcher de celui des registres internes aux processeurs.

- La **mémoire cache de second niveau** (appelée **L2 Cache**, pour **Level 2 Cache**) est située au niveau du boîtier contenant le processeur (dans la puce). Le cache de second niveau vient s'intercaler entre le processeur avec son cache interne et la mémoire vive. Il est plus rapide d'accès que cette dernière mais moins rapide que le cache de premier niveau.
- La **mémoire cache de troisième niveau** (appelée **L3 Cache**, pour **Level 3 Cache**) autrefois située au niveau de la carte mère (utilisation de la mémoire centrale), elle est aujourd'hui intégré directement dans le CPU.

Tous ces niveaux de cache permettent de réduire les temps de latence des différentes mémoires lors du traitement et du transfert des informations. Pendant que le processeur travaille, le contrôleur de cache de premier niveau peut s'interfacer avec celui de second niveau pour faire des transferts d'informations sans bloquer le processeur. De même, le cache de second niveau est interfacé avec celui de la mémoire vive (en l'absence de cache de troisième niveau intégré), pour permettre des transferts sans bloquer le fonctionnement normal du processeur.

Signaux de commande

Les **signaux de commande** sont des signaux électriques permettant d'orchestrer les différentes unités du processeur participant à l'exécution d'une instruction. Les signaux de commandes sont distribués grâce à un élément appelé *séquenceur*. Le signal *Read / Write*, en français *lecture / écriture*, permet par exemple de signaler à la mémoire que le processeur désire lire ou écrire une information.

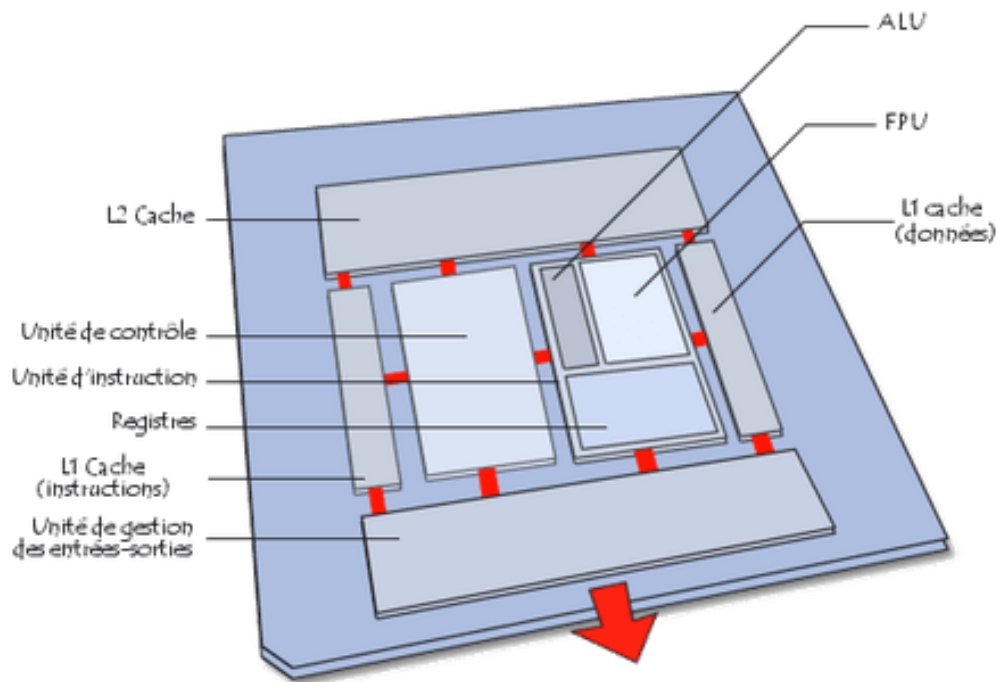
Unités fonctionnelles

Le processeur est constitué d'un ensemble d'unités fonctionnelles reliées entre elles. L'architecture d'un microprocesseur est très variable d'une architecture à une autre, cependant les principaux éléments d'un microprocesseur sont les suivants :

- Une **unité d'instruction** (ou *unité de commande*, en anglais *control unit*) qui lit les données arrivant, les décode puis les envoie à l'unité d'exécution ; L'unité d'instruction est notamment constituée des éléments suivants :
 - **séquenceur** (ou *bloc logique de commande*) chargé de synchroniser l'exécution des instructions au rythme d'une horloge. Il est ainsi chargé de l'envoi des signaux de commande ;
 - **compteur ordinal** contenant l'adresse de l'instruction en cours ;
 - **registre d'instruction** contenant l'instruction suivante.
- Une **unité d'exécution** (ou *unité de traitement*), qui accomplit les tâches que lui a données l'unité d'instruction. L'unité d'exécution est notamment composée des éléments suivants :
 - L'**unité arithmétique et logique** (notée **UAL** ou en anglais *ALU* pour *Arithmetical and Logical Unit*). L'UAL assure les fonctions basiques de calcul arithmétique et les opérations logiques (ET, OU, Ou exclusif, etc.) ;
 - L'**unité de virgule flottante** (notée **FPU**, pour *Floating Point Unit*), qui accomplit les calculs complexes non entiers que ne peut réaliser l'unité arithmétique et logique.

- Le **registre d'état** ;
- Le **registre accumulateur**.
- Une **unité de gestion des bus** (ou *unité d'entrées-sorties*), qui gère les flux d'informations entrant et sortant, en interface avec la mémoire vive du système ;

Le schéma ci-dessous donne une représentation simplifiée des éléments constituant le processeur (l'organisation physique des éléments ne correspond pas à la réalité) :



Transistor

Pour effectuer le traitement de l'information, le microprocesseur possède un ensemble d'instructions, appelé « **jeu d'instructions** », réalisées grâce à des circuits électroniques. Plus exactement, le jeu d'instructions est réalisé à l'aide de semiconducteurs, « petits interrupteurs » utilisant l'**effet transistor**, découvert en 1947 par *John Bardeen*, *Walter H. Brattain* et *William Shockley* qui reçurent le prix Nobel en 1956 pour cette découverte.

Un **transistor** (contraction de *transfer resistor*, en français *résistance de transfert*) est un composant électronique semi-conducteur, possédant trois électrodes, capable de modifier le courant qui le traverse à l'aide d'une de ses électrodes (appelée électrode de commande). On parle ainsi de « composant actif », par opposition aux « composants passifs », tels que la résistance ou le condensateur, ne possédant que deux électrodes (on parle de « bipolaire »).

Circuits intégrés

Assemblés, les transistors peuvent constituer des circuits logiques, qui, assemblés à leur tour, constituent des processeurs. Le premier circuit intégré date de 1958 et a été mis au point par la société *Texas Instruments*.

Les transistors MOS sont ainsi réalisés dans des tranches de silicium (appelées *wafer*, traduisez *gaufres*), obtenues après des traitements successifs. Ces tranches de silicium sont alors découpées en éléments rectangulaires, constituant ce que l'on appelle un « **circuit** ». Les circuits sont ensuite placés dans des boîtiers comportant des connecteurs d'entrée-sortie, le tout constituant un « **circuit intégré** ». La finesse de la gravure, exprimée en microns (micromètres, notés μm), définit le nombre de transistors par unité de surface. Il peut ainsi exister jusqu'à plusieurs millions de transistors sur un seul processeur.

La **loi de Moore**, édictée en 1965 par Gordon E. Moore, cofondateur de la société Intel, prévoyait que les performances des processeurs (par extension le nombre de transistors intégrés sur silicium) doubleraient tous les 12 mois. Cette loi a été révisée en 1975, portant le nombre de mois à 18. La loi de Moore se vérifie encore aujourd'hui.

Dans la mesure où le boîtier rectangulaire possède des broches d'entrée-sortie ressemblant à des pattes, le terme de « **puce électronique** » est couramment employé pour désigner les circuits intégrés.

Familles

Chaque type de processeur possède son propre jeu d'instruction. On distingue ainsi les familles de processeurs suivants, possédant chacun un jeu d'instruction qui leur est propre :

- 80x86 : le « x » représente la famille. On parle ainsi de 386, 486, 586, 686, etc.
- ARM
- IA-64
- MIPS
- Motorola 6800
- PowerPC
- SPARC

Cela explique qu'un programme réalisé pour un type de processeur ne puisse fonctionner directement sur un système possédant un autre type de processeur, à moins d'une traduction des instructions, appelée **émulation**. Le terme « **émulateur** » est utilisé pour désigner le programme réalisant cette traduction.

Jeu d'instruction

On appelle **jeu d'instructions** l'ensemble des opérations élémentaires qu'un processeur peut accomplir. Le jeu d'instruction d'un processeur détermine ainsi son architecture, sachant qu'une même architecture peut aboutir à des implémentations différentes selon les constructeurs.

Le processeur travaille effectivement grâce à un nombre limité de fonctions, directement câblées sur les circuits électroniques. La plupart des opérations peuvent être réalisées à l'aide de fonctions basiques. Certaines architectures incluent néanmoins des fonctions évoluées courantes dans le processeur.

Architecture CISC

L'architecture **CISC** (*Complex Instruction Set Computer*, soit « *ordinateur à jeu d'instruction complexe* ») consiste à câbler dans le processeur des instructions complexes, difficiles à créer à partir des instructions de base.

L'architecture **CISC** est utilisée en particulier par les processeurs de type 80x86. Ce type d'architecture possède un coût élevé dû aux fonctions évoluées imprimées sur le silicium.

D'autre part, les instructions sont de longueurs variables et peuvent parfois nécessiter plus d'un cycle d'horloge. Or, un processeur basé sur l'architecture CISC ne peut traiter qu'une instruction à la fois, d'où un temps d'exécution conséquent.

Architecture RISC

Un processeur utilisant la technologie **RISC** (*Reduced Instruction Set Computer*, soit « ordinateur à jeu d'instructions réduit ») n'a pas de fonctions évoluées câblées.

Les programmes doivent ainsi être traduits en instructions simples, ce qui entraîne un développement plus difficile et/ou un compilateur plus puissant. Une telle architecture possède un coût de fabrication réduit par rapport aux processeurs CISC. De plus, les instructions, simples par nature, sont exécutées en un seul cycle d'horloge, ce qui rend l'exécution des programmes plus rapide qu'avec des processeurs basés sur une architecture CISC. Enfin, de tels processeurs sont capables de traiter plusieurs instructions simultanément en les traitant en parallèle.

Améliorations technologiques

Au cours des années, les constructeurs de microprocesseurs (appelés *fondeurs*), ont mis au point un certain nombre d'améliorations permettant d'optimiser le fonctionnement du processeur.

Le parallélisme

Le **parallélisme** consiste à exécuter simultanément, sur des processeurs différents, des instructions relatives à un même programme. Cela se traduit par le découpage d'un programme en plusieurs processus traités en parallèle afin de gagner en temps d'exécution.

Ce type de technologie nécessite toutefois une synchronisation et une communication entre les différents processus, à la manière du découpage des tâches dans une entreprise : le travail est divisé en petits processus distincts, traités par des services différents. Le fonctionnement d'une telle entreprise peut être très perturbé lorsque la communication entre les services ne fonctionne pas correctement.

Le pipeline

Le **pipeline** (ou *pipelining*) est une technologie visant à permettre une plus grande vitesse d'exécution des instructions en parallélisant des étapes.

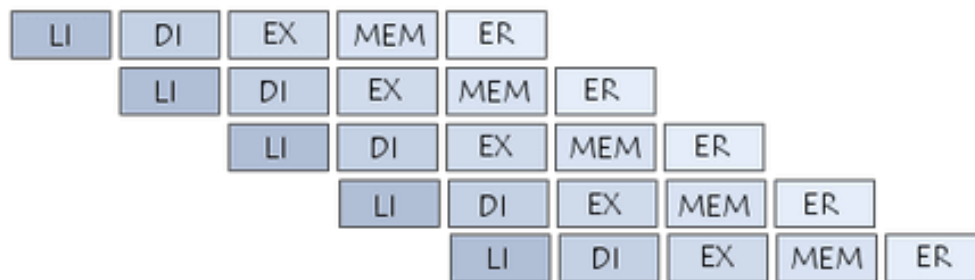
Pour comprendre le mécanisme du pipeline, il est nécessaire au préalable de comprendre les phases d'exécution d'une instruction. Les phases d'exécution d'une instruction pour un processeur contenant un pipeline « classique » à 5 étages sont les suivantes :

- **LI** : (*Lecture de l'Instruction* (en anglais *FETCH instruction*) depuis le cache ;
- **DI** : *Décodage de l'Instruction* (*DECODE instruction*) et recherche des opérandes (Registre ou valeurs immédiate);
- **EX** : *Exécution de l'Instruction* (*EXECute instruction*) (si ADD, on fait la somme, si SUB, on fait la soustraction, etc.);
- **MEM** : *Accès mémoire* (*MEMory access*), écriture dans la mémoire si nécessaire ou chargement depuis la mémoire ;
- **ER** : *Ecriture* (*Write instruction*) de la valeur calculée dans les registres.

Les instructions sont organisées en file d'attente dans la mémoire, et sont chargées les unes après les autres.

Grâce au pipeline, le traitement des instructions nécessite au maximum les cinq étapes précédentes. Dans la mesure où l'ordre de ces étapes est invariable (LI, DI, EX, MEM et ER), il est possible de créer dans le processeur un certain nombre de circuits spécialisés pour chacune de ces phases.

L'objectif du pipeline est d'être capable de réaliser chaque étape en parallèle avec les étapes amont et aval, c'est-à-dire de pouvoir lire une instruction (LI) lorsque la précédente est en cours de décodage (DI), que celle d'avant est en cours d'exécution (EX), que celle située encore précédemment accède à la mémoire (MEM) et enfin que la première de la série est déjà en cours d'écriture dans les registres (ER).



Il faut compter en général 1 à 2 cycles d'horloge (rarement plus) pour chaque phase du pipeline, soit 10 cycles d'horloge maximum par instruction. Pour deux instructions, 12 cycles d'horloge maximum seront nécessaires ($10+2=12$ au lieu de $10*2=20$), car la précédente instruction était déjà dans le pipeline. Les deux instructions sont donc en traitement dans le processeur, avec un décalage d'un ou deux cycles d'horloge). Pour 3 instructions, 14 cycles d'horloge seront ainsi nécessaires, etc.

Le principe du pipeline est ainsi comparable avec une chaîne de production de voitures. La voiture passe d'un poste de travail à un autre en suivant la chaîne de montage et sort complètement assemblée à la sortie du bâtiment. Pour bien comprendre le principe, il est nécessaire de regarder la chaîne dans son ensemble, et non pas véhicule par véhicule. Il faut ainsi 3 heures pour faire une voiture, mais pourtant une voiture est produite toute les minutes !

Il faut noter toutefois qu'il existe différents types de pipelines, de 2 à 40 étages, mais le principe reste le même.

Technologie superscalaire

La technologie **superscalaire** (en anglais *superscaling*) consiste à disposer plusieurs unités de traitement en parallèle afin de pouvoir traiter plusieurs instructions par cycle.

HyperThreading

La technologie **HyperThreading** (ou *Hyper-Threading*, noté *HT*, traduisez *HyperFlots* ou *HyperFlux*) consiste à définir deux processeurs logiques au sein d'un processeur physique. Ainsi, le système reconnaît deux processeurs physiques et se comporte en système multitâche en envoyant deux threads simultanés, on parle alors de **SMT** (*Simultaneous Multi Threading*). Cette « supercherie » permet d'utiliser au mieux les ressources du processeur en garantissant que des données lui sont envoyées en masse.

Multi-cœur

Un **processeur multi-cœur** est tout simplement un processeur composé non pas de 1 mais de 2 (ou 4 ou 8) unités de calcul. Ainsi, pour un processeur bi-cœur (ou DualCore) le processeur dispose à fréquence d'horloge égale d'une puissance de calcul deux fois plus importante. Pour autant, le gain n'est pas systématiquement visible. En effet, il faut que les logiciels et les systèmes d'exploitation sachent gérer correctement ces processeurs afin qu'un gain significatif soit perceptible.

Ainsi, sous Windows, seul Vista et Sept exploitent correctement ces processeurs. Dans ce cas, la version 64 bits est conseillée.

Micro-processeur

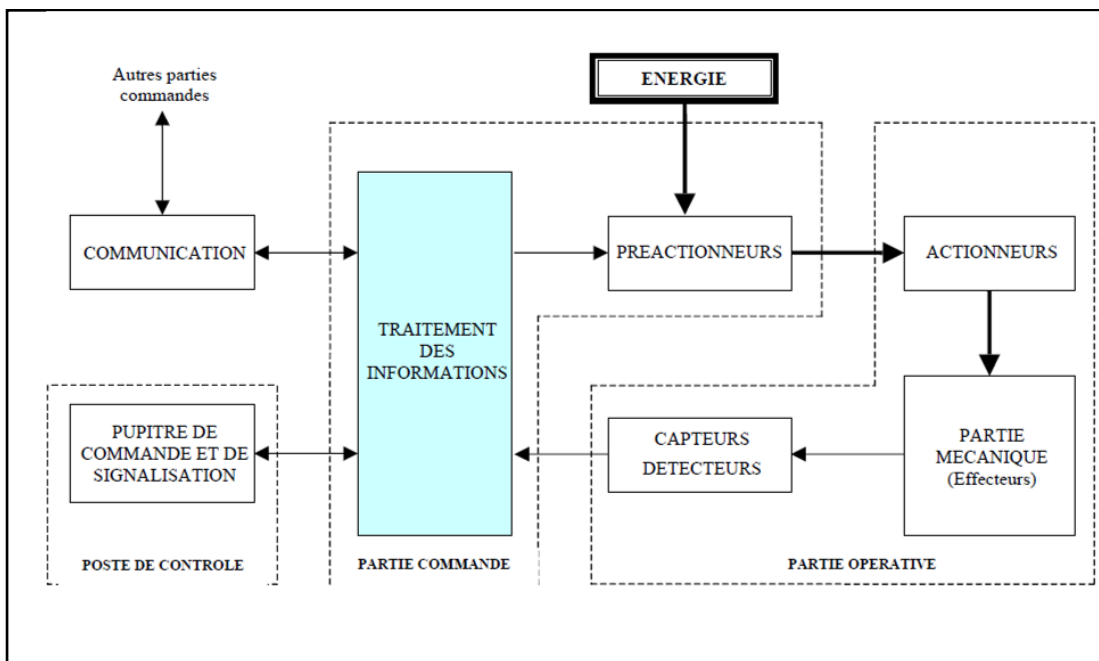
Un **microprocesseur** est un processeur dont tous les composants ont été suffisamment miniaturisés pour être regroupés dans un unique boîtier. Fonctionnellement, le processeur est la partie d'un ordinateur qui exécute les instructions et traite les données des programmes

Automate Programmable Industriel (API)

Il est utilisé pour les automates programmables (en anglais PLC : *program*)

L'Automate Programmable Industriel (API) est un appareil électronique programmable, adapté à l'environnement industriel, qui réalise des fonctions d'automatisme pour assurer la commande de préactionneurs et d'actionneurs à partir d'informations logique, analogique ou numérique. En anglais il est appelé PVC (programmable Logic Controller).

Structure d'un système automatisé



Partie opérative

Elle agit sur la matière d'oeuvre afin de lui donner sa valeur ajoutée.

Les **actionneurs** (moteurs, vérins) agissent sur la partie mécanique du système qui agit à son tour sur la matière d'oeuvre.

Les **capteurs / détecteurs** permettent d'acquérir les divers états du système.

Partie commande

Elle donne les ordres de fonctionnement à la partie opérative.

Les **préactionneurs** permettent de commander les actionneurs ; ils assurent le **transfert d'énergie** entre la source de puissance (réseau électrique, pneumatique ...) et les actionneurs.

Exemple : contacteur, distributeur ...

Ces préactionneurs sont commandés à leur tour par le bloc **traitement des informations**.

Celui-ci reçoit les consignes du **pupitre de commande** (opérateur) et les informations de la partie opérative transmises par les capteurs / détecteurs.

En fonction de ces consignes et de son programme de gestion des tâches (implanté dans un automate programmable ou réalisé par des relais (on parle de logique câblée)), elle va commander les préactionneurs et renvoyer des informations au **pupitre de signalisation** ou à d'autres

systèmes de commande et/ou de supervision en utilisant un **réseau** et un **protocole de communication**.

Poste de contrôle

Composé des **pupitres de commande et de signalisation**, il permet à l'opérateur de commander le système (marche, arrêt, départ cycle ...).

Il permet également de visualiser les différents états du système à l'aide de voyants, de terminal de dialogue ou d'interface homme-machine (IHM).

Domaines d'emploi des automates

On utilise les API dans tous les secteurs industriels pour la *commande des machines* (convoyage, emballage ...) ou des *chaînes de production* (automobile, agroalimentaire ...) ou il peut également assurer des fonctions de *régulation de processus* (métallurgie, chimie ...).

Il est de plus en plus utilisé dans le domaine du *bâtiment* (tertiaire et industriel) pour le contrôle du chauffage, de l'éclairage, de la sécurité ou des alarmes.

Nature des informations traitées par l'automate

Les informations peuvent être de type :

☐ Tout ou rien (T.O.R.) : l'information ne peut prendre que deux états (vrai/faux, 0 ou 1 ...).

C'est le type d'information délivrée par un détecteur, un bouton poussoir ...

☐ Analogique : l'information est continue et peut prendre une valeur comprise dans une plage bien déterminée. C'est le type d'information délivrée par un capteur (pression, température ...)

☐ Numérique : l'information est contenue dans des mots codés sous forme binaire ou bien hexadécimale. C'est le type d'information délivrée par un ordinateur ou un module intelligent.

Architecture des automates

Aspect extérieur

Les automates peuvent être de type **compact** ou **modulaire**.

De type *compact*, on distinguera les *modules de programmation* (LOGO de Siemens, ZELIO de Schneider, MILLENIUM de Crouzet ...) des *microautomates*.

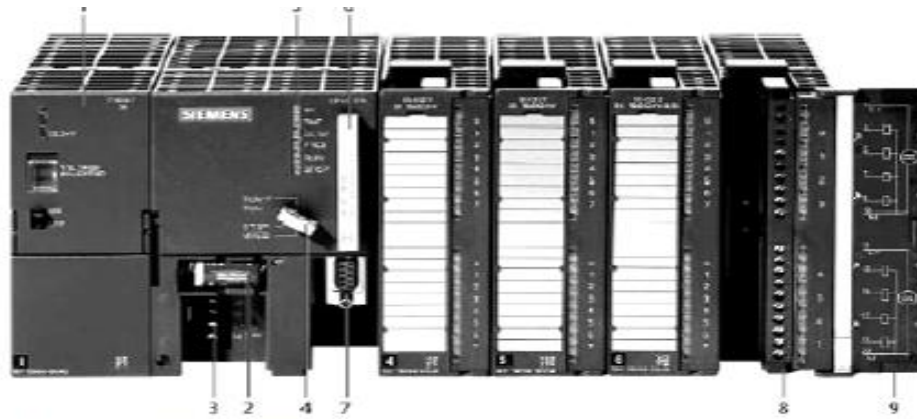
Il intègre le processeur, l'alimentation, les entrées et les sorties. Selon les modèles et les fabricants, il pourra réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide, E/S analogiques ...) et recevoir des extensions en nombre limité.

Ces automates, de fonctionnement simple, sont généralement destinés à la commande de petits automatismes.

De type *modulaire*, le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées / sorties résident dans des unités séparées (**modules**) et sont fixées sur un ou plusieurs **racks** contenant le "fond de panier" (bus plus connecteurs).

Ces automates sont intégrés dans les automatismes complexes où puissance, capacité de traitement et flexibilité sont nécessaires.

Automate



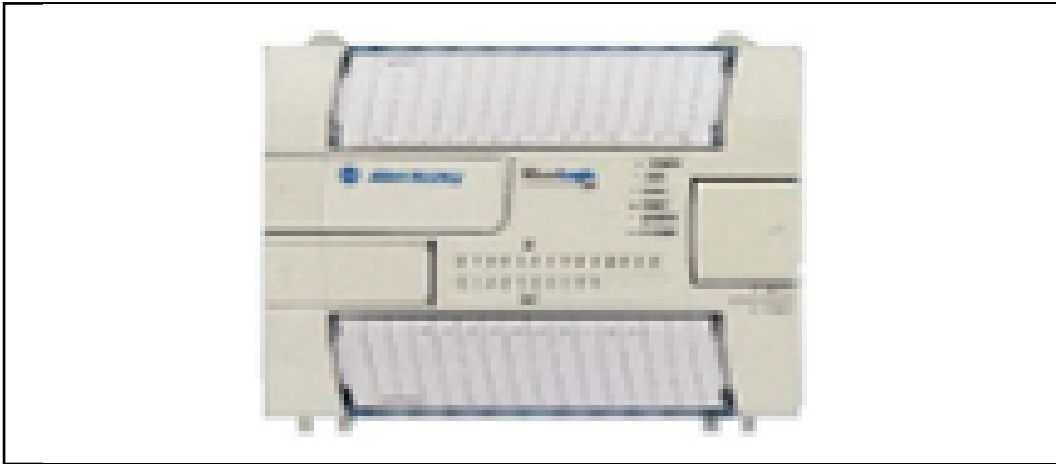
Automate modulaire (Siemens)

- | | | | |
|---|---|---|----------------------------|
| 1 | Module d'alimentation | 6 | Carte mémoire |
| 2 | Pile de sauvegarde | 7 | Interface multipoint (MPI) |
| 3 | Connexion au 24V cc | 8 | Connecteur frontal |
| 4 | Commutateur de mode (à clé) | 9 | Volet en face avant |
| 5 | LED de signalisation d'état et de défauts | | |

Automate modulaire SIEMENS



IE)

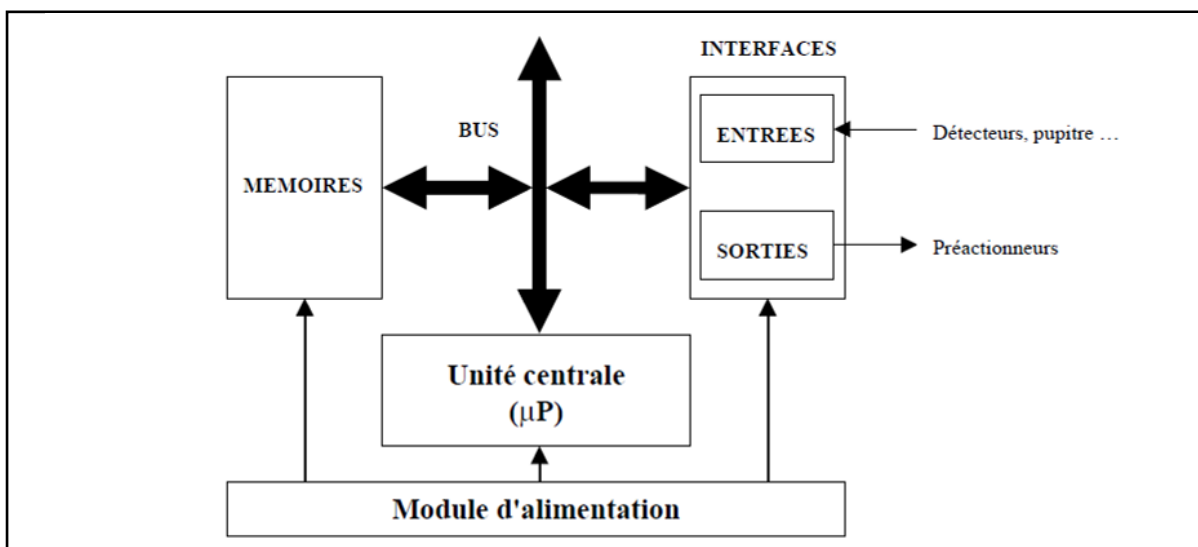


Automate compact de ALLEN-BRADLEY (ROCKWELL)



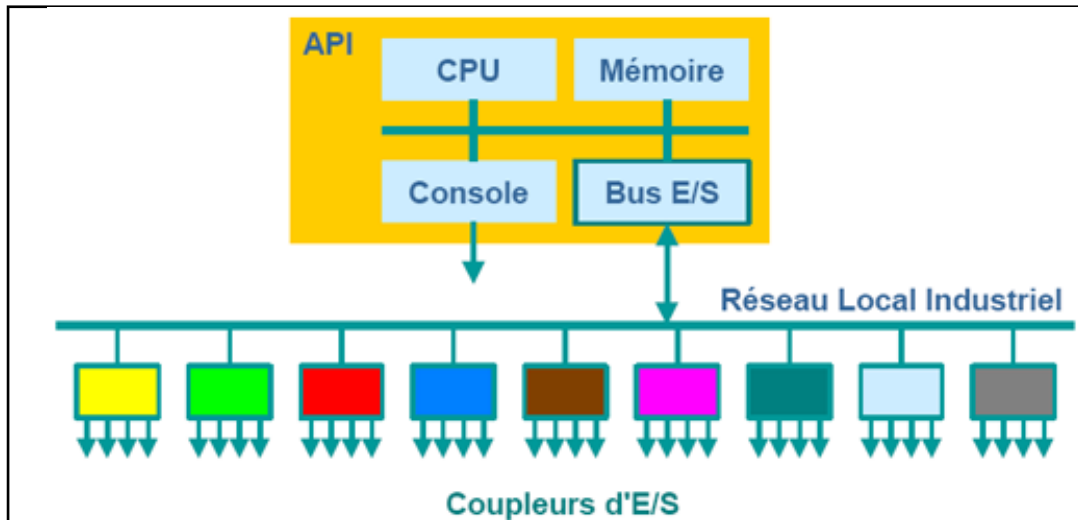
Automate modulaire MODICOM

Structure interne



➔ Module d'alimentation : il assure la distribution d'énergie aux différents modules.

- ➔ Unité centrale : à base de microprocesseur, elle réalise toutes les fonctions logiques, arithmétiques et de traitement numérique (transfert, comptage, temporisation ...).
- ➔ Le bus interne : il permet la communication de l'ensemble des blocs de l'automate et des éventuelles extensions.



➔ Mémoire :

Elle est destinée au stockage des instructions qui constituent le programme de fonctionnement de l'automatisme, ainsi que des données qui peuvent être :

- *Des informations susceptibles d'évoluer en cours de fonctionnement de l'application. C'est le cas par exemple de résultats de traitements effectués par le processeur et rangés dans l'attente d'une utilisation ultérieure. Ces données sont appelées variables internes ou mots internes.
- *Des informations qui n'évoluent pas au cours de fonctionnement, mais qui peuvent en cas de besoin être modifiées par l'utilisateur : textes à afficher, valeurs de présélection, etc.. Ce sont des mots constants.
- *Les mémoires d'état des entrées/sorties, mises à jour par le processeur à chaque tour de scrutation du programme.

Deux familles de mémoires sont utilisées dans les automates programmables :

- *Les mémoires vives, ou mémoires à accès aléatoire « Random Access Memory (RAM) ». Le contenu de ces mémoires peut être lu et modifié à volonté, mais il est perdu en cas de manque de tension (mémoire volatiles). Elles nécessitent par conséquent une sauvegarde par batterie. Les mémoires vives sont utilisées pour l'écriture et la mise au point du programme, et pour le stockage des données.
- *Elles sont à lecture seule, les informations ne sont pas perdues lors de la coupure de l'alimentation des circuits. On peut citer les types suivants :
 - ROM « Read Only Memory » : Elle est programmée par le constructeur et son programme ne peut être modifié.
 - PROM « Programmable ROM » : Elle est livrée non enregistrée par le fabricant. Lorsque celle-ci est programmée, on ne peut pas l'effacer
 - EPROM « Erasable PROM » : C'est une mémoire PROM effaçable par un rayonnement ultraviolet intense.

EEPROM « Electrically EPROM » : C'est une mémoire PROM programmable plusieurs fois et effaçable électriquement.

Mémoire Flash : C'est une mémoire EEPROM rapide en programmation. L'utilisateur peut effacer un bloc de cases ou toute la mémoire.

La mémoire morte est destinée à la mémorisation du programme après la phase de mise au point. La mémoire programme est contenue dans une ou plusieurs cartouches qui viennent s'insérer sur le module processeur ou sur un module d'extension mémoire.

→ Interfaces d'entrées / sorties :

- Interface d'entrée : elle permet de recevoir les informations du S.A.P. ou du pupitre et de mettre en forme (filtrage, ...) ce signal tout en l'isolant électriquement (optocouplage).
- Interface de sortie : elle permet de commander les divers préactionneurs et éléments de signalisation du S.A.P. tout en assurant l'isolement électrique.

Fonctions réalisées

Les automates compacts permettent de commander des sorties en T.O.R et gèrent parfois des fonctions de comptage et de traitement analogique.

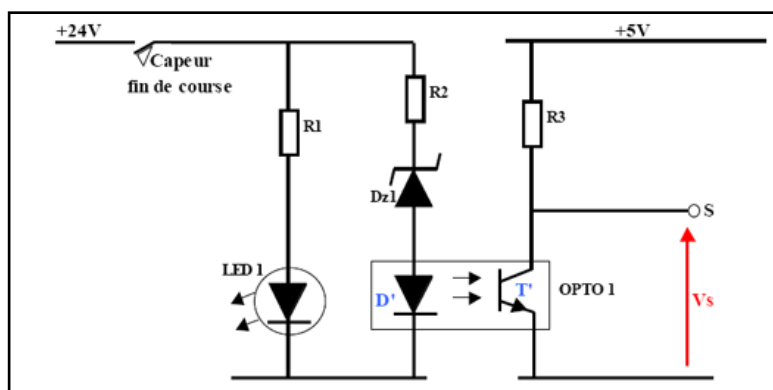
Les automates modulaires permettent de réaliser de nombreuses autres fonctions grâce à des modules intelligents que l'on dispose sur un ou plusieurs racks. Ces modules ont l'avantage de ne pas surcharger le travail de la CPU car ils disposent bien souvent de leur propre processeur.

Principales fonctions :

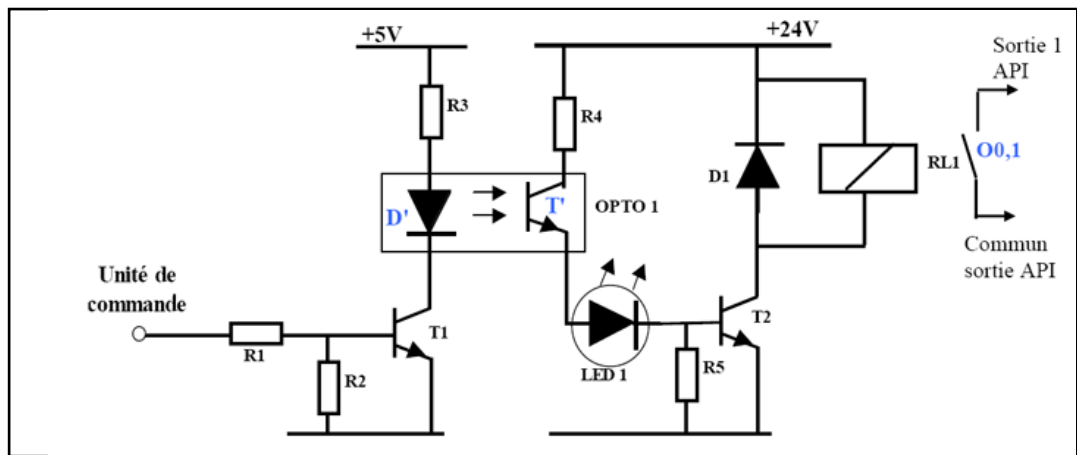
- Cartes d'entrées / sorties : Au nombre de 4, 8, 16 ou 32, elles peuvent aussi bien réaliser des fonctions d'entrées, de sorties ou les deux.

Ce sont les plus utilisées et les tensions disponibles sont normalisées (24, 48, 110 ou 230V continu ou alternatif ...).

Carte d'entrée



Carte de sortie



Les voies peuvent être indépendantes ou posséder des "communs".

Les cartes d'entrées permettent de recueillir l'information des capteurs, boutons ... qui lui sont raccordés et de la matérialiser par un **bit image** de l'état du capteur.

Les cartes de sorties offrent deux types de technologies : les sorties à relais électromagnétiques (bobine plus contact) et les sorties statiques (à base de transistors ou de triacs).

- Cartes de comptage rapide : elles permettent d'acquérir des informations de fréquences élevées incompatibles avec le temps de traitement de l'automate.
Exemple : signal issu d'un codeur de position.
 - Cartes de commande d'axe : Elles permettent d'assurer le positionnement avec précision d'élément mécanique selon un ou plusieurs axes. La carte permet par exemple de piloter un servomoteur et de recevoir les informations de positionnement par un codeur. L'asservissement de position pouvant être réalisé en boucle fermée.
 - Cartes d'entrées / sorties analogiques : Elles permettent de réaliser l'acquisition d'un signal analogique et sa conversion numérique (CAN) indispensable pour assurer un traitement par le microprocesseur.
La fonction inverse (sortie analogique) est également réalisée.
Les grandeurs analogiques sont normalisées : 0-10V ou 4-20mA.
- Autres cartes :
- Cartes de régulation PID
 - Cartes de pesage
 - Cartes de communication (Ethernet ...)
 - Cartes d'entrées / sorties déportées

Câblage des entrées / sorties d'un automate

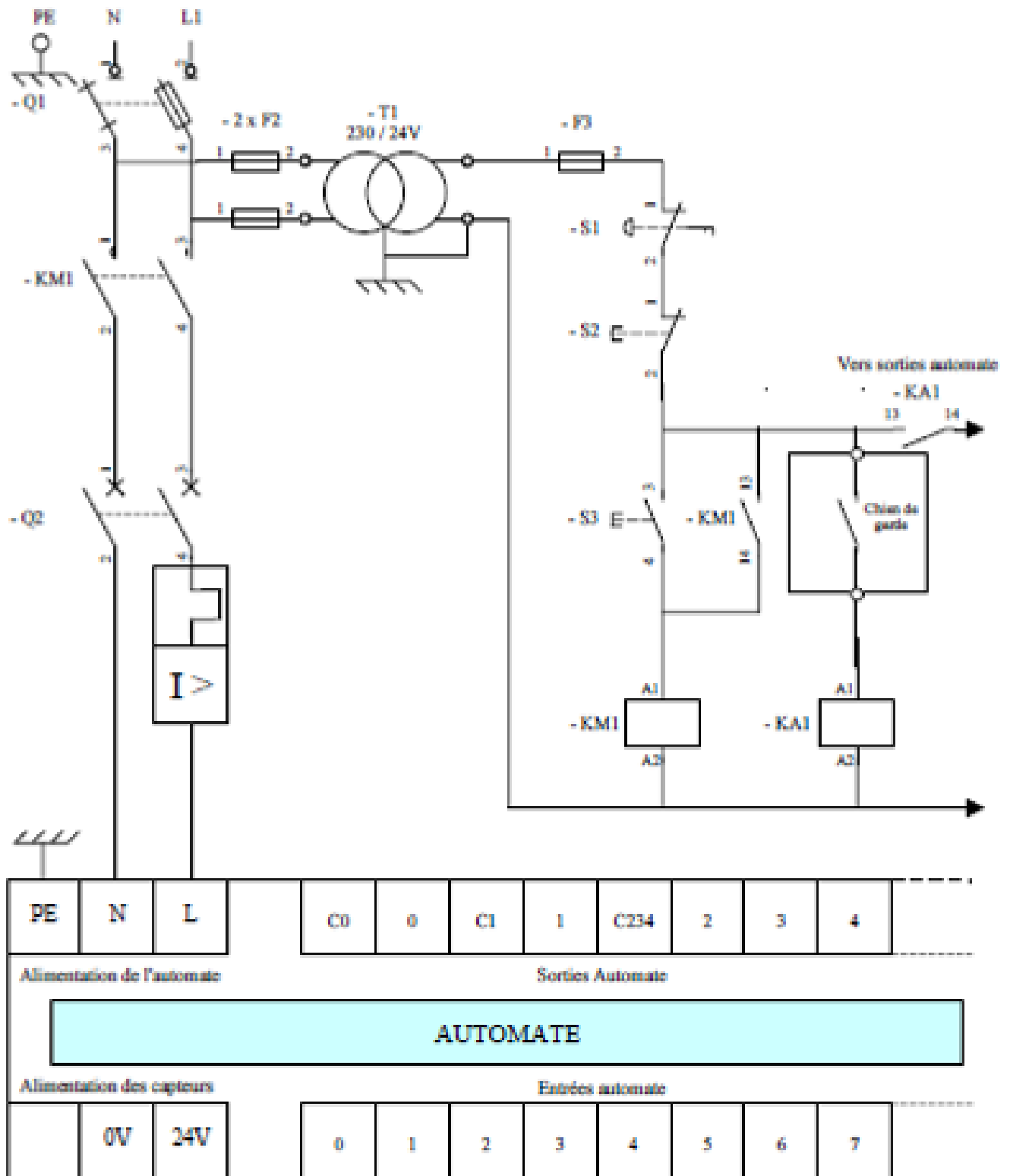
Alimentation de l'automate (voir schéma ci-après) :

L'automate est alimenté généralement par le réseau monophasé 230V ; 50 Hz mais d'autres alimentations sont possibles (110V etc ...).

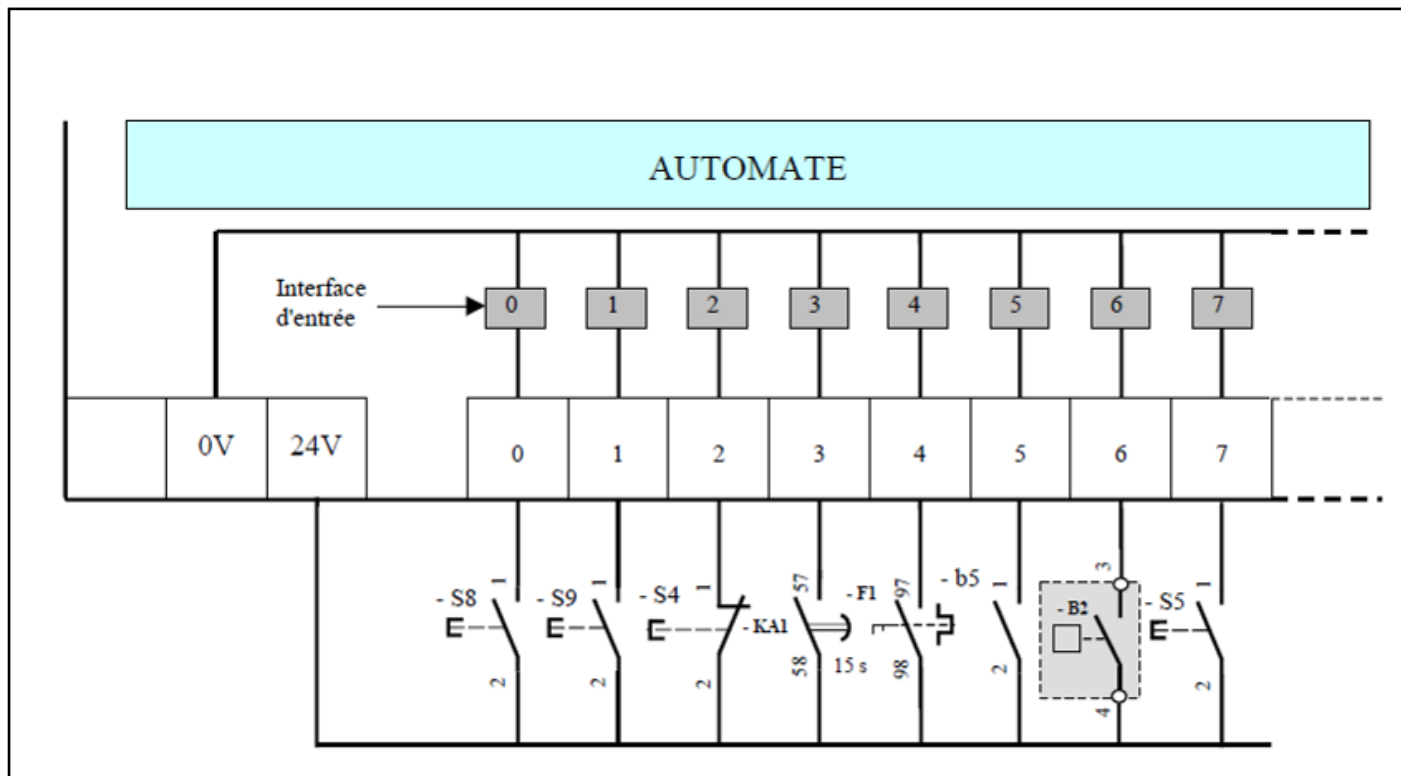
La protection sera de type magnéto-thermique (voir les caractéristiques de l'automate et les préconisations du constructeur).

Il est souhaitable d'asservir l'alimentation de l'automate par un circuit de commande spécifique (contacteur KM1).

De même, les sorties seront asservies au circuit de commande et alimentées après validation du *chien de garde*.



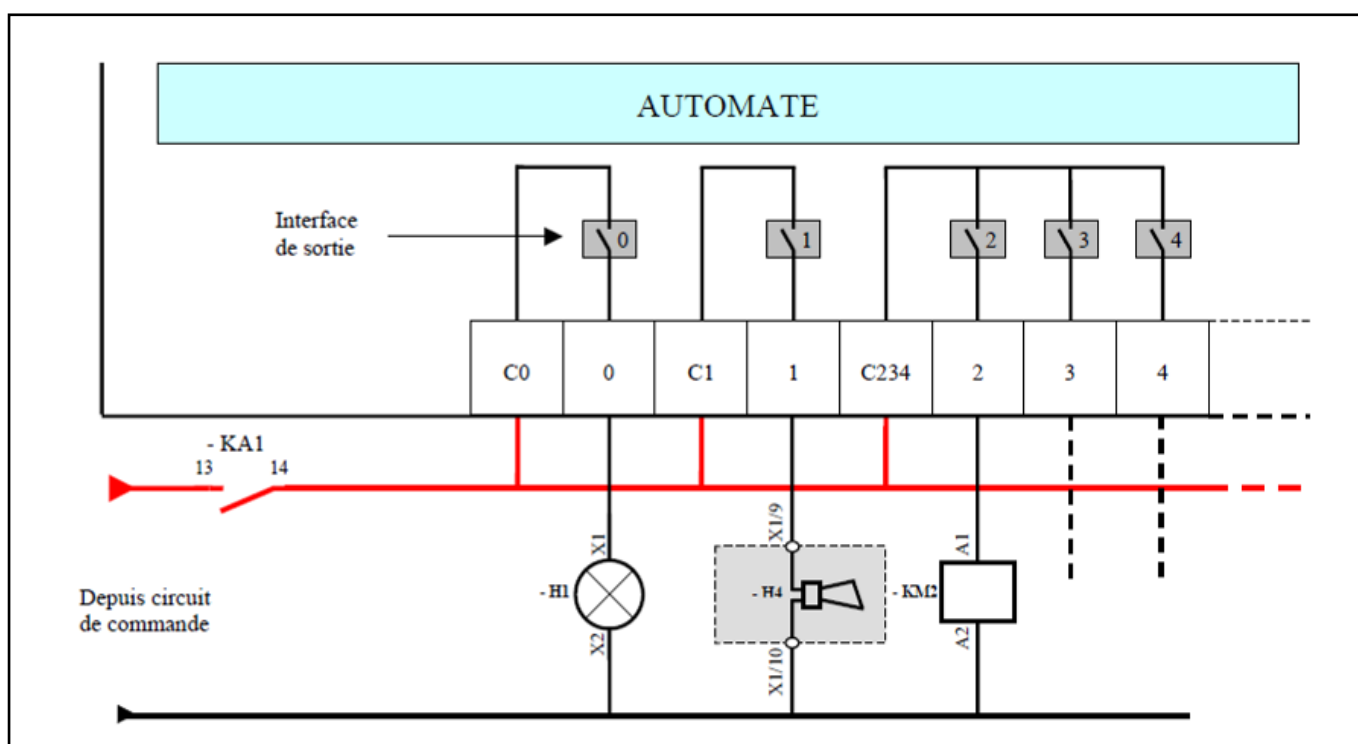
Alimentation des entrées de l'automate



Alimentation des sorties de l'automate :

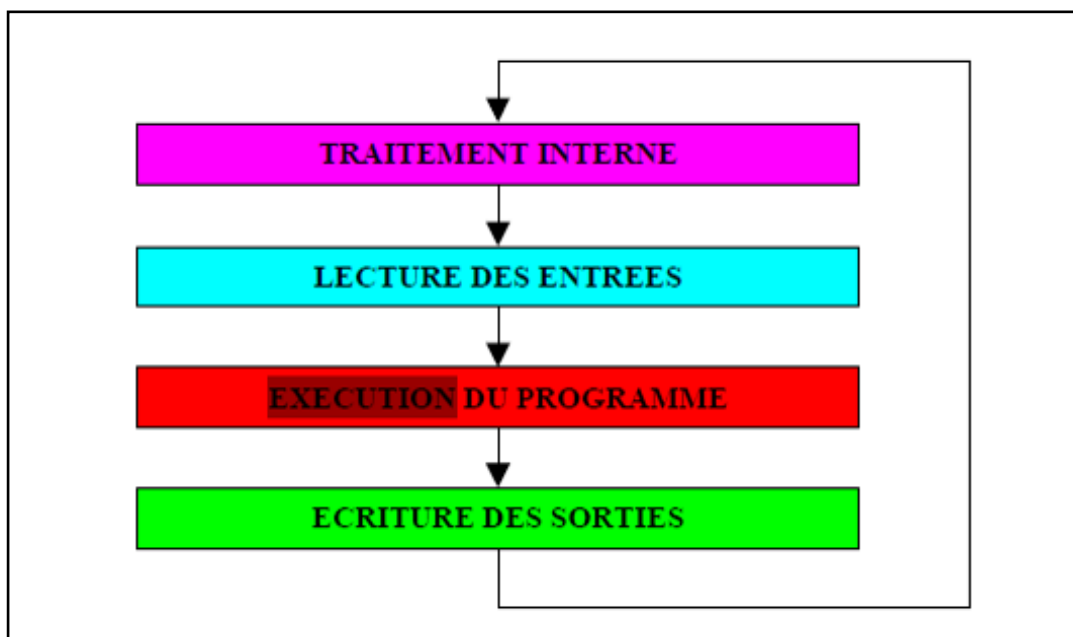
Les interfaces de sorties permettent d'alimenter les divers préactionneurs.

Il est souhaitable d'équiper chaque préactionneur à base de relais de circuits RC (non représentés).



Traitement du programme automate :

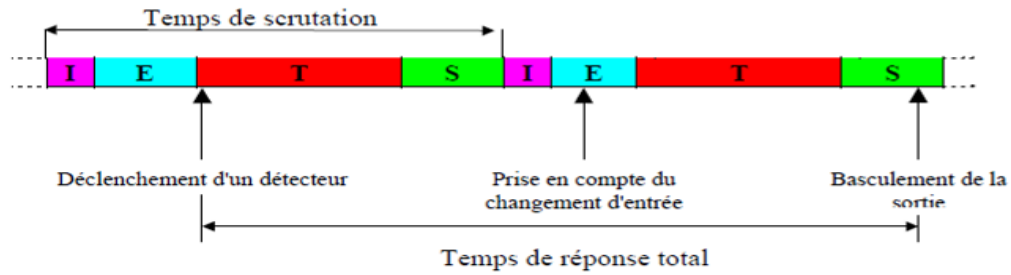
Tous les automates fonctionnent selon le même mode opératoire



- Traitement interne : L'automate effectue des opérations de contrôle et met à jour certains paramètres systèmes (détection des passages en RUN / STOP, mises à jour des valeurs de l'horodateur, ...).
- Lecture des entrées : L'automate lit les entrées (de façon synchrone) et les recopie dans la mémoire image des entrées.
- Exécution du programme : L'automate exécute le programme instruction par instruction et écrit les sorties dans la mémoire image des sorties.
- Ecriture des sorties : L'automate bascule les différentes sorties (de façon synchrone) aux positions définies dans la mémoire image des sorties.

Ces quatre opérations sont effectuées continuellement par l'automate (fonctionnement cyclique). On appelle **scrutation** l'ensemble des quatre opérations réalisées par l'automate et le **temps de scrutation** est le temps mis par l'automate pour traiter la même partie de programme. Ce temps est de l'ordre de la dizaine de millisecondes pour les applications standards.

Le temps de réponse total (TRT) est le temps qui s'écoule entre le changement d'état d'une entrée et le changement d'état de la sortie correspondante :



Le temps de réponse total est au plus égal à deux fois le temps de scrutation (sans traitement particulier).

Dans certains cas, on ne peut admettre un temps de réponse aussi long pour certaines entrées : ces entrées pourront alors être traitées par l'automate comme des événements (traitement événementiel) et prises en compte **en priorité** (exemples : problème de sécurité, coupure d'alimentation ...).

Certains automates sont également pourvus d'entrées rapides qui sont prises en compte avant le traitement séquentiel mais le traitement événementiel reste prioritaire.

Exemple :

Les automates TSX micro (Télémécanique) offrent deux types de structure logicielle :

☐ Une structure monotâche :

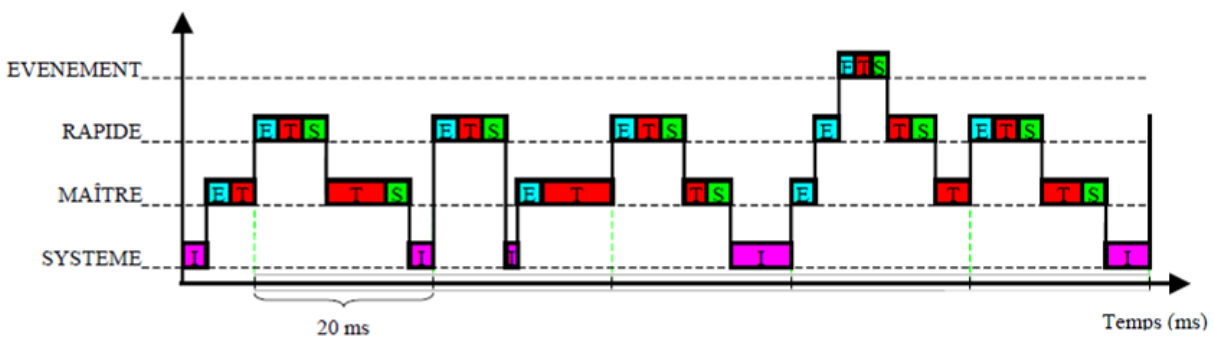
Le traitement se fait de la façon décrite au début de ce chapitre. Le programme n'est alors lié qu'à une seule tâche : la tâche maître.

☐ Une structure multitâche :

A la tâche précédente peut être rajouté deux autres tâches : la tâche rapide et la tâche événementielle.

La tâche rapide est alors périodique pour laisser le temps à la tâche maître de s'exécuter (

Exemple de structure multitâche :



*La périodicité de la tâche rapide est ici fixée à 20ms.
Il faudra veiller aux temps de cycle de la tâche maître.*

Fonction	Symbole	
	Européen	Américain
Contact ouvert au repos	---o o---	
Contact fermé au repos	---o/o---	
Début de branchement		
Fin de branchement		
Affectation	---()---	---()

Programmation des API

Langages de programmation :

Il existe 4 langages de programmation des automates qui sont normalisés au plan mondial par la norme CEI 61131-3.

Chaque automate se programme via une console de programmation propriétaire ou par un ordinateur équipé du logiciel constructeur spécifique.

- ➔ *Liste d'instructions (IL : Instruction list) :* Langage textuel de même nature que l'assembleur (programmation des microcontrôleurs). Très peu utilisé par les automaticiens.

```
! %L0: LD      %I1.0
      ANDN    %M12
      OR [    %TM4.Q
      AND     %M17
      )
      AND     %I1.7
      ST      %Q2.5

! %L5: LD      %I1.10
      ANDN    %Q2.3
      ANDN    %M27
      IN      %TM0
      LD      %TM0.Q
      AND     %M25
      AND     %M000.XS
      [ %MOV15 := %MOV18+500]
```

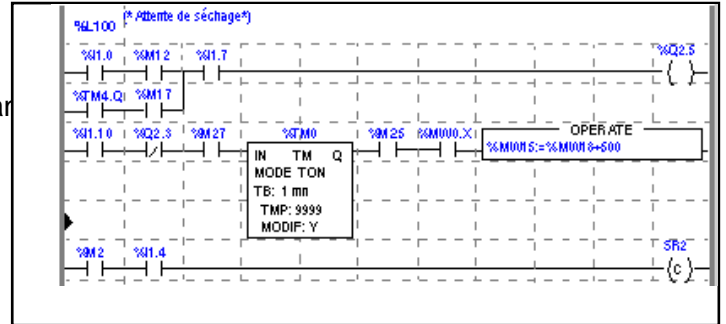
- ➔ *Langage littéral structuré (ST : Structured Text) :* Langage informatique de même nature que le Pascal, il utilise les fonctions comme *if ... then ... else ...* (si ... alors ... sinon ...) Peu utilisé par les automaticiens.

```
IF %M0 THEN
  FOR %MOV99 := 0 TO 31 DO
    IF %MOV100 [%MOV99] > 0 THEN
      %MOV10 := %MOV100 [%MOV99];
      %MOV11 := %MOV99;
      %M1 := TRUE;
      EXIT;          (*Sortie de la boucle FOR*)
    ELSE
      %M1 := FALSE;
    END_IF;
  END_FOR;
ELSE
  %M1 := FALSE;
END_IF;
```

➔ Langage à contacts (LD : **Ladder diagram**) :

Langage graphique développé pour les électriciens. Il utilise les symboles tels que : contacts, relais et blocs fonctionnels et s'organise en réseaux (labels).

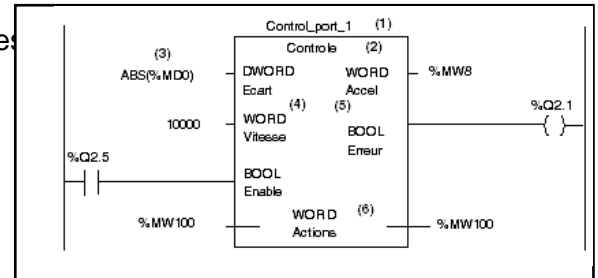
C'est le plus utilisé.



➔ *Blocs Fonctionnels (FBD : Function Bloc Diagram) :*

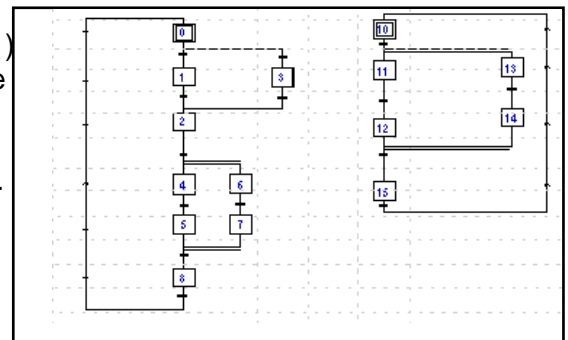
Langage graphique où des fonctions sont représentées par des rectangles avec les entrées à gauche et les sorties à droites. Les blocs sont programmés (bibliothèque) ou programmables.

Utilisé par les automaticiens



➔ **Programmation à l'aide du GRAFCET (SFC : Sequential Function Chart) :**

Le GRAFCET, langage de spécification, est utilisé par certains constructeurs d'automate (Schneider, Siemens) pour la programmation. Parfois associé à un langage de programmation, il permet une programmation aisée des systèmes séquentiels tout en facilitant la mise au point des programmes ainsi que le dépannage des systèmes. On peut également traduire un grafcet en langage en contacts et l'implanter sur tout type d'automate



Certains logiciels permettent une programmation totale en langage GRAFCET et permettent de s'adapter à la plupart des automates existants (logiciels CADEPA ou AUTOMGEN).

Sécurité

Les systèmes automatisés sont, par nature, source de nombreux dangers (tensions utilisées, déplacements mécaniques, jets de matière sous pression ...).

Placé au coeur du système automatisé, l'automate se doit d'être un élément fiable car :

- un dysfonctionnement de celui-ci pourrait avoir de graves répercussions sur la sécurité des personnes,
- les coûts de réparation de l'outil de production sont généralement très élevé,
- un arrêt de la production peut avoir de lourdes conséquences sur le plan financier.

Aussi, l'automate fait l'objet de nombreuses dispositions pour assurer la sécurité :

- Contraintes extérieures : l'automate est conçu pour supporter les différentes contraintes du monde industriel et à fait l'objet de nombreux tests normalisés (tenue aux vibrations, CEM ...)
- Coupures d'alimentation : l'automate est conçu pour supporter les coupures d'alimentation et permet, par programme, d'assurer un fonctionnement correct lors de la réalimentation (reprises à froid ou à chaud)
- Mode RUN/STOP : Seul un technicien peut mettre en marche ou arrêter un automate et la remise en marche se fait par une procédure d'initialisation (programmée)
- Contrôles cycliques :
 - Procédures d'autocontrôle des mémoires, de l'horloges, de la batterie, de la tension d'alimentation et des entrées / sorties
 - Vérification du temps de scrutation à chaque cycle appelée **Watchdog** (*chien de garde*), et enclenchement d'une procédure d'alarme en cas de dépassement de celui-ci (réglé par l'utilisateur)
- Visualisation : Les automates offrent un écran de visualisation où l'on peut voir l'évolution des entrées / sorties

La défaillance d'un automate programmable pouvant avoir de graves répercussions en matière de sécurité, les normes interdisent la gestion des arrêts d'urgence par l'automate ; celle-ci doit être réalisée en technologie câblée.

On peut également ajouter des modules de sécurité à l'automate (sécurité des machines). Il existe enfin des automates dits de sécurité (APIdS) qui intègrent des fonctions de surveillance et de redondance accrues et garantissent la sécurité des matériels.

Critères de choix d'un automate :

Le choix d'un automate programmable est en premier lieu le choix d'une société ou d'un groupe et les contacts commerciaux et expériences vécues sont déjà un point de départ.

Les grandes sociétés privilégieront deux fabricants pour faire jouer la concurrence et pouvoir "se retourner" en cas de "perte de vitesse" de l'une d'entre elles.

Le personnel de maintenance doit toutefois être formé sur ces matériels et une trop grande diversité des matériels peut avoir de graves répercussions. Un automate utilisant des langages de programmation de type GRAFCET est également préférable pour assurer les mises au point et dépannages dans les meilleures conditions.

La possession d'un logiciel de programmation est aussi source d'économies (achat du logiciel et formation du personnel). Des outils permettant une simulation des programmes sont également souhaitables.

Il faut ensuite quantifier les besoins :

- Nombre d'entrées / sorties : le nombre de cartes peut avoir une incidence sur le nombre de racks dès que le nombre d'entrées / sorties nécessaires devient élevé.
- Type de processeur : la taille mémoire, la vitesse de traitement et les fonctions spéciales offertes par le processeur permettront le choix dans la gamme souvent très étendue.
- Fonctions ou modules spéciaux : certaines cartes (commande d'axe, pesage ...) permettront de "soulager" le processeur et devront offrir les caractéristiques souhaitées (résolution, ...).

□ Fonctions de communication : l'automate doit pouvoir communiquer avec les autres systèmes de commande (API, supervision ...) et offrir des possibilités de communication avec des standards normalisés (Profibus ...).

Maintenance

➔ Avec les nouvelles techniques il y a de plus en plus de parasites, micro-coupures et harmoniques qui ne font que passer.

Il est conseillé de protéger tout API par un onduleur :

- Onduleur avec batterie en ligne qui protège des 3 éléments perturbateurs.
- Onduleur avec batterie en parallèle (moins cher) qui ne protège pas des micro-coupures.

➔ Il est conseillé d'avoir une double sauvegarde de programmation en magasin :

- Première programmation (version zéro).
- Dernière programmation.

Il arrive parfois que l'on s'aperçoit que les dernières modifications sont mauvaises et que l'on souhaite revenir en arrière.

➔ Un maintien de température proche de 20°C autour de l'API est conseillé. Sinon des perturbations sont à craindre.

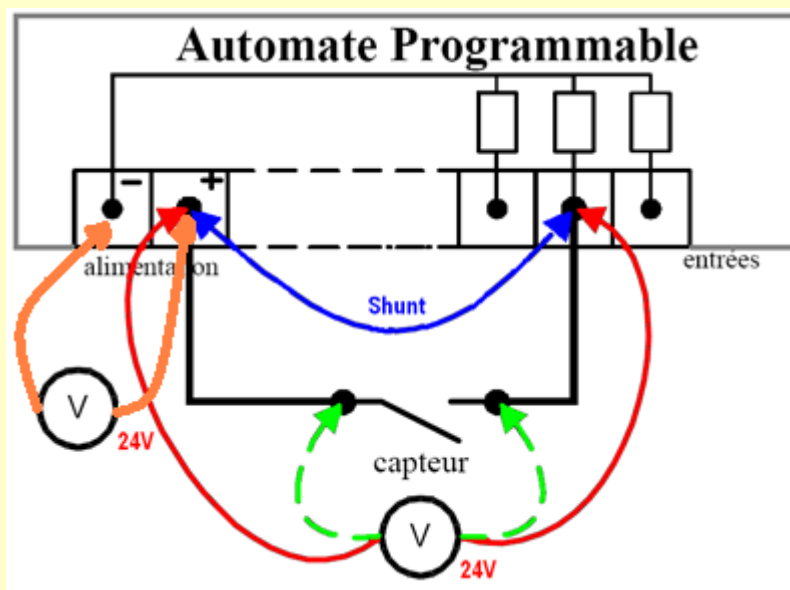
➔ Un remplacement de pile ou batterie tous les 5 ans est nécessaire.

Maintenance

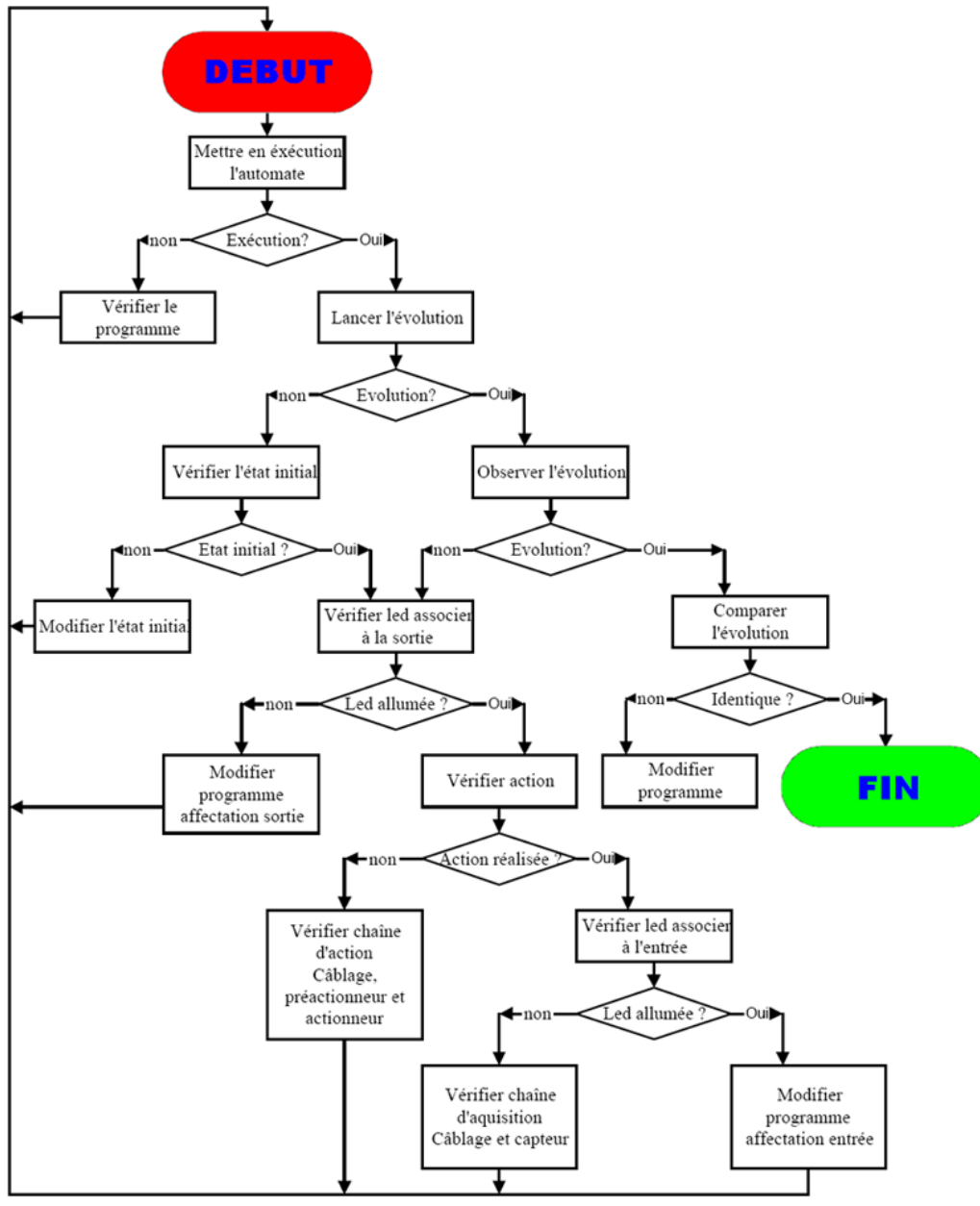
Vérification entrée-masse...

Cette vérification se réalise à l'aide d'un voltmètre-ohmmètre et d'un shunt (morceau de fil électrique).

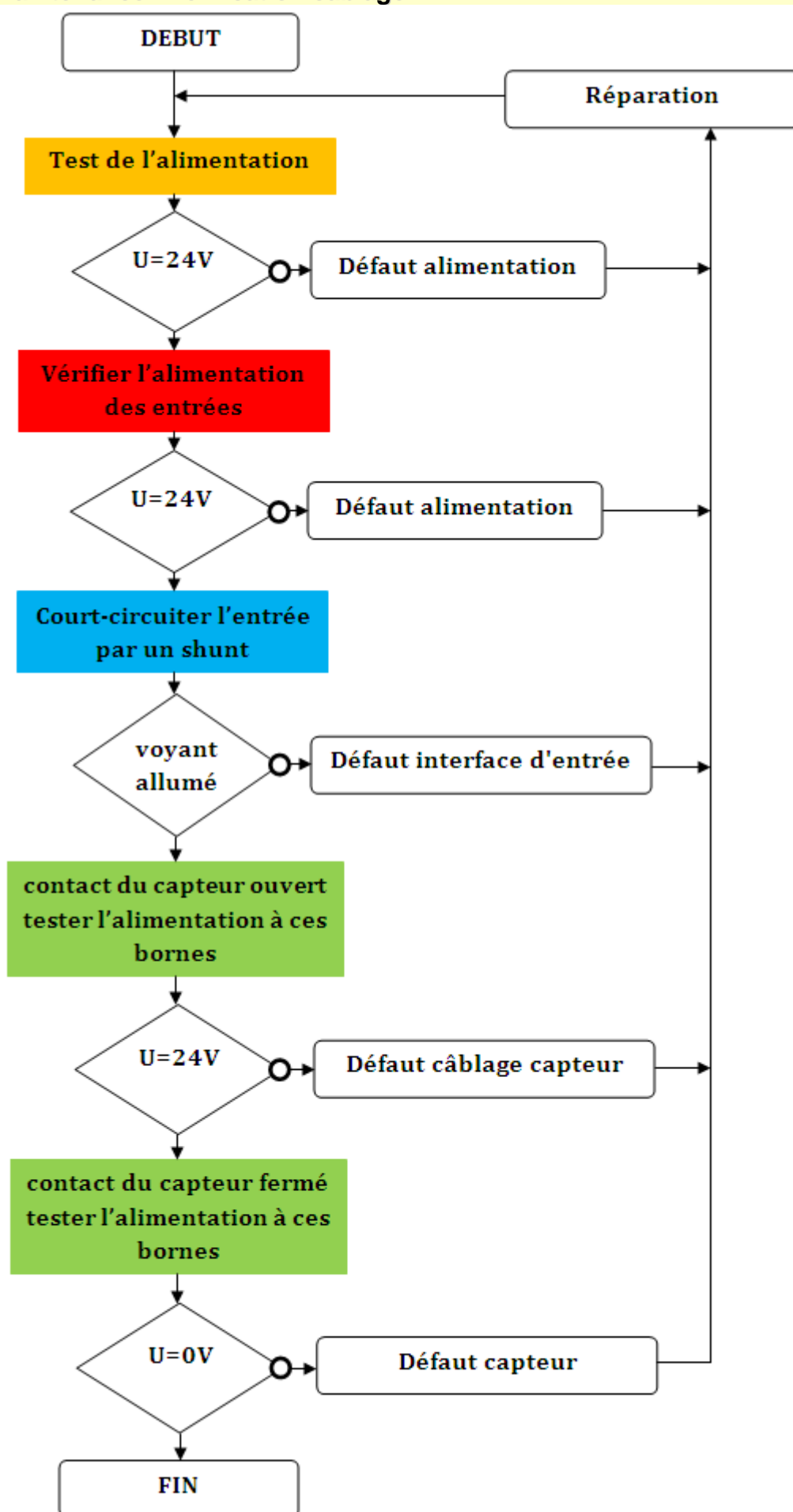
- Vérifier l'alimentation des entrées à l'aide d'un voltmètre.
- Pour vérifier le capteur et son câblage, tester aux différents points indiquées, contact du capteur ouvert, contact du capteur fermé.
- Pour vérifier l'interface d'entrée court-circuiter le capteur par un shunt, le voyant d'entrée doit s'allumer.



Maintenance Diagnostic API



Maintenance Vérification cablage



Commande numérique

Une **machine-outil à commande numérique (MOCN**, ou simplement **CN**) est une machine-outil dotée d'une commande numérique. Lorsque la commande numérique est assurée par un ordinateur, on parle parfois de **machine CNC** pour *computer numerical command*.

Définition

Dans le domaine de la fabrication mécanique, le terme « commande » désigne l'ensemble des matériels et logiciels ayant pour fonction de donner les instructions de mouvements à tous les éléments d'une machine-outil :

- l'outil (ou les outils) d'usinage équipant la machine,
- les tables ou palettes où sont fixées les pièces,
- les systèmes de magasinage et de changement d'outil,
- les dispositifs de changement de pièce,
- les mécanismes connexes, pour le contrôle ou la sécurité, l'évacuation des copeaux, ...

On peut aussi découper la famille des commandes numériques en cinq sous familles de machines :

- fraisage à commande numérique (FCN) ;
- tournage à commande numérique (TCN) ;
- usinage à commande numérique (CUCN) ;
- rectification à commande numérique ;
- électro-érosion à commande numérique.

Dans chaque famille, les méthodes de montage et de travail sont totalement différentes, mais elles se rejoignent sur le principe de programmation, la grande majorité des machines utilisant un langage ISO. À cela peuvent se rajouter des interface dites conversationnelles ou par apprentissage qui simplifient l'utilisation de la machine.

La notion de commande numérique s'étend aussi au domaine de la chaudronnerie : découpage plasma, presse plieuse.

Généralités

Par extension, on appelle « commande numérique » l'armoire de commande recevant le programme d'usinage sous forme d'un ruban perforé, d'une bande magnétique, ou de données issues d'un ordinateur. On désigne parfois ainsi la machine complète équipée d'un tel dispositif. On parle d'un tour à commande numérique, ou d'une fraiseuse à commande numérique, par opposition à un tour conventionnel ou une fraiseuse conventionnelle, dont les mouvements sont commandés manuellement ou par un dispositif automatisé d'une façon figée.

Les machines-outils spécialisées (aléseuses-perceuses, fraiseuses) à commande numérique ont évolué en centres d'usinage à commande numérique permettant d'usiner des formes complexes sans démontage de la pièce. Ces centres d'usinage sont généralement équipés de magasins d'outils (toureilles, tables, chaînes) sur lesquels sont disposés les différents outils. Les changements d'outils équipant la (ou les) tête(s) d'usinage sont programmés en fonction de la **définition numérique** de la pièce.

Le fichier de définition numérique (qu'on appelle aussi DFN, définition numérique, numérisation ou même tout simplement « num ») est un fichier informatique généré par CAO, qui remplace de plus en plus le plan sur la traditionnelle planche à dessin.

CATIA est actuellement l'un des logiciels les plus utilisés pour établir les DFN dans les domaines de l'automobile et de l'aéronautique.

Sur ces définitions doivent ensuite être calculés des parcours d'outil au moyen de logiciels de FAO. Ces parcours seront ensuite traduits dans un langage compréhensible par la « commande numérique ». Machine-outil à commande numérique 2

On constitue ainsi la chaîne numérique ; on parle en anglais de F2F, *file to factory*, littéralement « du fichier à l'usine »

La structure d'une machine à commande numérique

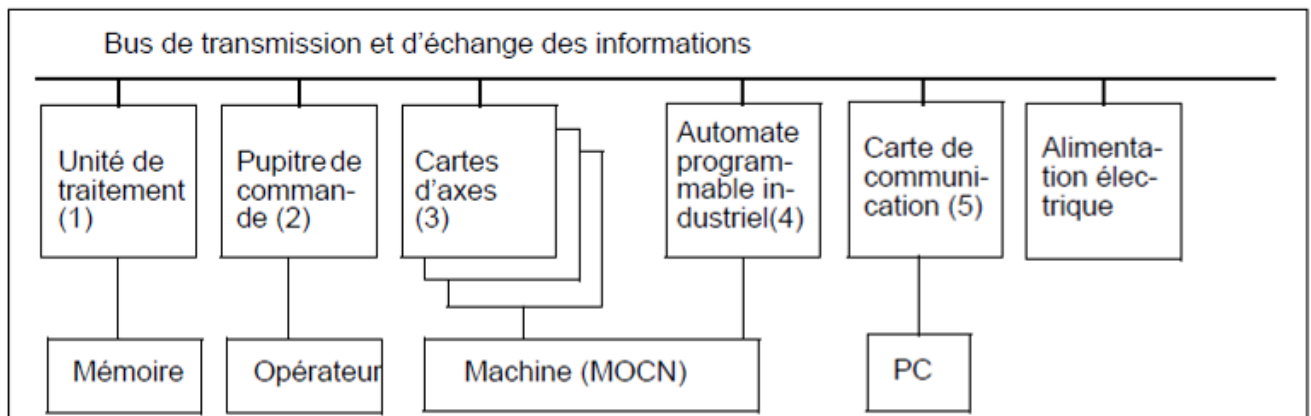
Les programmes d'usinage sont réalisés à partir d'une origine appelée « origine programme » (OP) positionnée par le programmeur. Le programme commande les déplacements relatifs entre le brut et les outils dans le but de réaliser l'usinage de la pièce finale. Ces déplacements sont réalisés dans un repère orthonormé normalisé basé sur la structure de la machine.

L'axe de ce repère est un axe confondu avec celui de la broche de la machine — axe de rotation de la fraise en fraisage, axe de rotation de la pièce en tournage. Le sens positif de cet axe est donné par le sens d'éloignement de l'outil par rapport à la pièce. La détermination de l'axe entre les 2 axes restants se fait en identifiant celui qui permet le plus grand déplacement. Le sens positif est déterminé par le sens logique d'éloignement de l'outil par rapport à la pièce.

L'axe est déterminé à partir de et grâce à la règle du trièdre direct.

Base d'un directeur de commande numérique

Le Directeur de Commande Numérique (DCN) est composé de la partie commande du système automatisé qu'est une machine-outil. Il contient les éléments suivants :



(1) Unité de traitement composée de mémoire et d'un microprocesseur pour le traitement des programmes CN, la génération des trajectoires (calcul des points de passage sur un cercle en interpolation circulaire) et le pilotage de l'ensemble du système.

(2) Pupitre de commande composé d'un clavier et d'un écran servant d'interface avec l'opérateur pour la sélection des programmes, l'édition des programmes, la saisie des paramètres de réglage, la visualisation graphique, la sélection des modes d'utilisation de la machine.

(3) Cartes d'axes pour l'asservissement numérique de la position des éléments mobiles de la machine : amplificateur, comparateur, correcteur.

(4) Automate programmable industriel (API) pour le traitement des fonctions annexes relevant de l'automatique séquentielle : lubrification, sens de rotation de la broche, évolution du magasin d'outils, arrêt d'urgence, ouverture carter, etc...

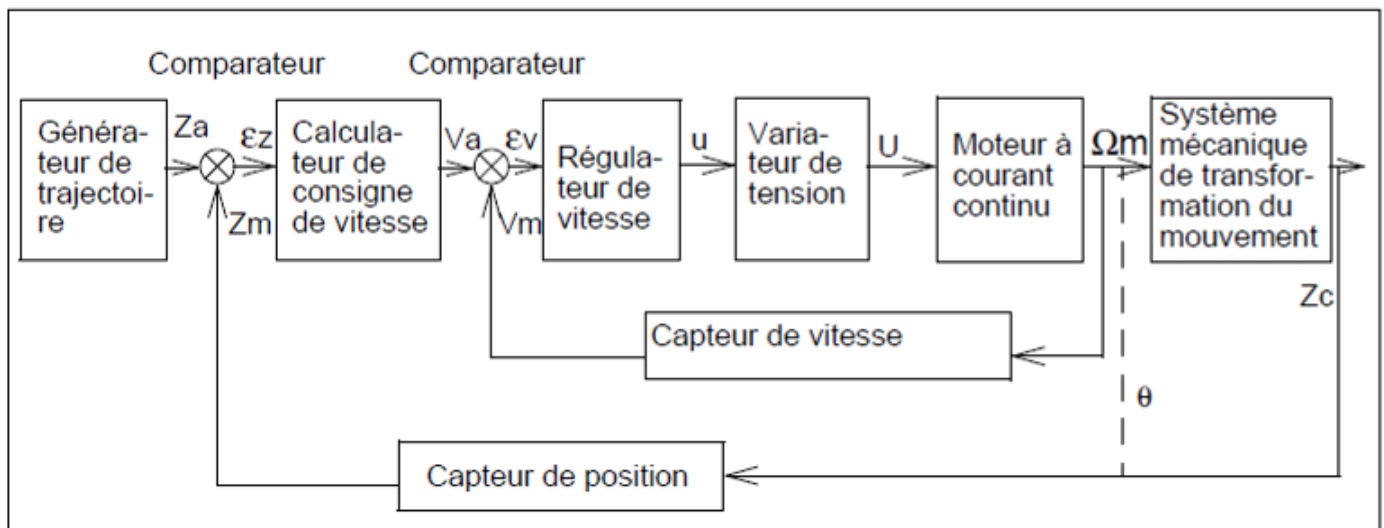
(5) Carte de communication avec un PC pour le téléchargement des programmes depuis un PC vers le DCN en utilisant la liaison série RS232. Les paramètres sont : la vitesse de transmission (généralement 9600 bauds), le contrôle de parité, le port de communication, ... Les programmes dont la taille est inférieure à la capacité mémoire du DCN, sont entièrement chargés en mémoire avant d'être exécutés. Les autres programmes, généralement issus du système de CFAO, dont la taille est supérieure à la capacité mémoire du DCN, sont chargés et exécutés en "mode passant". Au fur et à mesure que les blocs sont exécutés, les blocs suivants sont chargés automatiquement.

En plus de ces éléments de base, les DCN actuels sont maintenant équipés sur une base de PC d'un disque dur, d'un lecteur de disquette et d'une carte de communication de type Ethernet.

Les composants de la MOCN sont : moteurs d'axes, moteurs de broche, boîte de vitesse, capteur de vitesse, capteurs de position, et plus rarement capteurs d'effort et capteurs de température. Leurs caractéristiques ne sont pas détaillées ici.

Asservissement en position et en vitesse d'un axe numérique

La fonction principale des MOCN est le contrôle des axes de la machine-outil. La vitesse des déplacements et la position des éléments mobiles sont contrôlées par un asservissement en boucle fermée.



Avec les notations suivantes :

Z_a : consigne de position calculée et affichée,

Z_c : position réelle du chariot,

Z_m : position mesurée par le capteur de position,

ε_z : écart de position,

V_a : vitesse affichée,

V_m : vitesse mesurée,

ε_v : écart de vitesse,

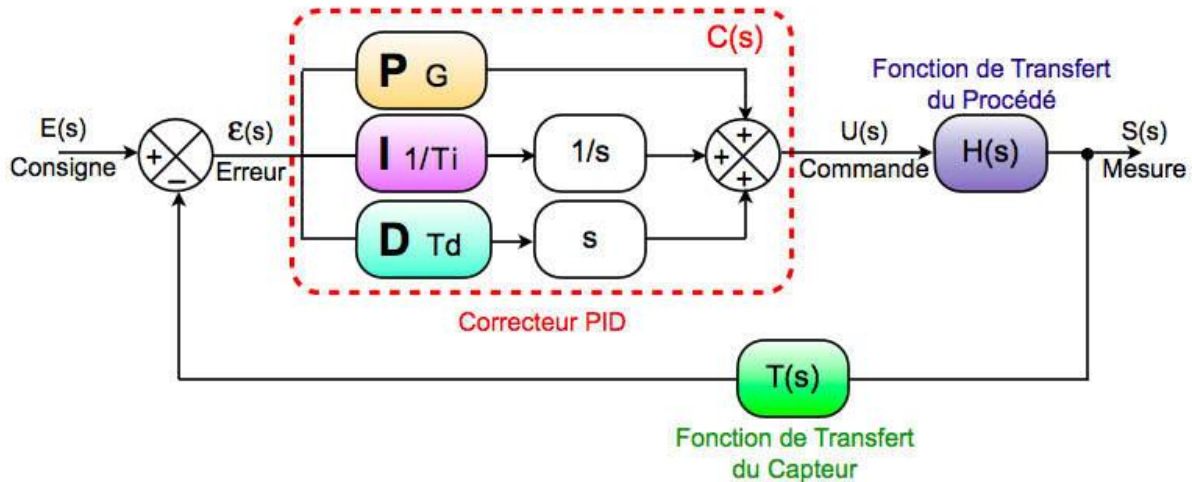
u : tension en sortie du régulateur de vitesse,

U : tension amplifiée pour alimenter le moteur à courant continu,

Ω_m : vitesse de rotation du moteur,

θ : position angulaire de l'axe du moteur.

Régulateur PID



Un **régulateur PID** ou **correcteur PID** (pour « proportionnel intégral dérivé ») est un organe de contrôle permettant d'effectuer une [régulation](#) en boucle fermée d'une grandeur physique d'un système industriel ou "procédé" (voir [Automatique](#)). C'est le régulateur le plus utilisé dans l'industrie, et il permet de régler un grand nombre de grandeurs physiques.

Principe général

Un correcteur est un algorithme de calcul qui délivre un signal de commande à partir de la différence entre la consigne et la mesure.

Le correcteur PID agit de 3 manières :

- action **Proportionnelle** : l'erreur est multipliée par un gain G
- action **Intégrale** : l'erreur est intégrée et divisée par un gain T_i
- action **Dérivée** : l'erreur est dérivée et multipliée par un gain T_d

Il existe plusieurs architectures possibles pour combiner les 3 effets (série, parallèle ou mixte), on présente ici une architecture parallèle :

Sur le schéma ci-dessus, la fonction de transfert exprimée dans le domaine de Laplace (où s désigne la variable de Laplace, de dimension $[T^{-1}]$, dans la suite de l'article cette notation anglo-saxonne est substituée par p) du régulateur PID parallèle est la somme des 3 actions :

$$C(p) = G + \frac{1}{T_i} \cdot \frac{1}{p} + T_d \cdot p$$

En régulation des procédés, on préfère implanter la fonction de transfert du PID sous la forme mixte :

$$C(p) = G \left(1 + \frac{1}{\tau_i \cdot p} + \tau_d \cdot p \right)$$

où τ_i et τ_d sont des constantes de temps (différentes de T_i et T_d dans la formulation précédente) et G est le gain de la partie proportionnelle.

Les différents paramètres à trouver sont G , τ_d et τ_i pour réguler la grandeur physique du procédé ayant pour fonction de transfert $H(s)$. Il existe de nombreuses méthodes pour trouver ces paramètres. Cette recherche de paramètre est communément appelée *synthèse*.

La fonction de transfert du contrôleur PID présenté est idéale. En fait, elle est irréalisable car le degré du numérateur est supérieur au degré du dénominateur. Dans la réalité, on filtre toujours l'action dérivée comme suit :

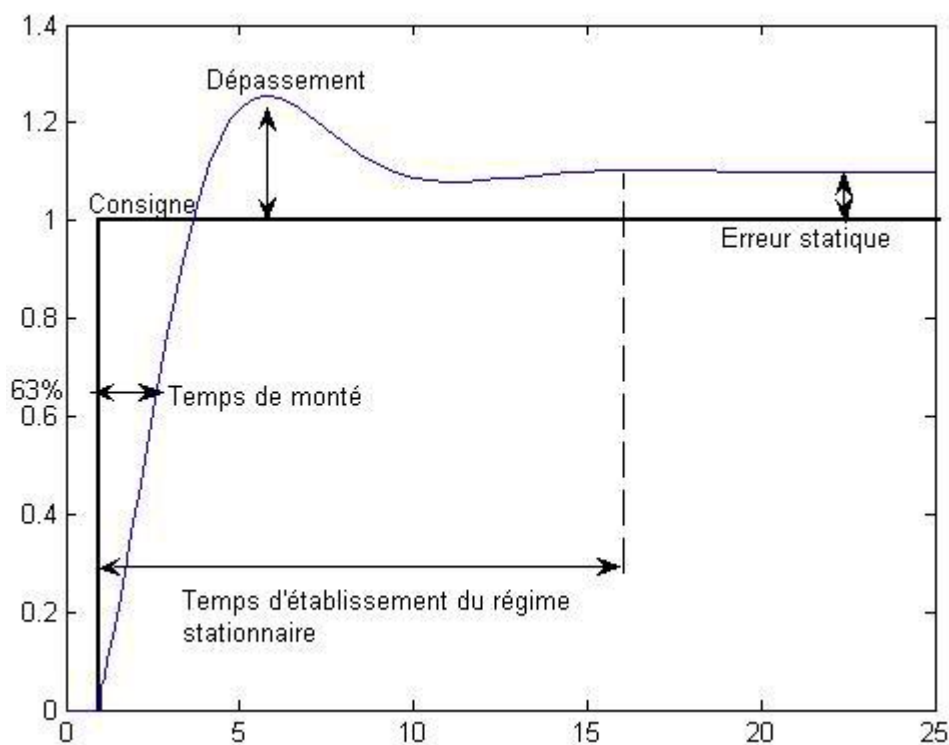
$\tau_d p \mapsto \frac{\tau_d p}{1 + \frac{\tau_d}{N} p}$ avec $N > 1$ On obtient alors une nouvelle fonction de transfert réalisable pour notre régulateur. Le choix de N résulte d'un compromis : pour N très grand, l'action dérivée n'est pratiquement plus filtrée, ce qui se traduit par une grande sensibilité du signal de commande par rapport au bruit de mesure. Si l'on prend N trop petit, l'effet de l'action dérivée devient quasiment inexistante. Une étude théorique permet de préciser que $3 < N < 10$.

Réglage d'un PID

Le réglage d'un PID consiste à déterminer les coefficients G , τ_d et τ_i afin d'obtenir une réponse adéquate du procédé et de la régulation. L'objectif est d'être **robuste**, **rapide** et **précis**. Il faut pour cela:

- Dans le cas d'un fonctionnement en mode de régulation (consigne fixe) choisir des réglages permettant à la grandeur réglée de retourner dans un temps raisonnable à sa valeur de consigne,
- Dans le cas de fonctionnement de la boucle en mode d'asservissement (consigne variable), choisir des réglages permettant de limiter le ou les éventuels **dépassements** (*overshoot*) de la grandeur réglée.
- La robustesse est sans doute le paramètre le plus important et délicat. On dit qu'un système est robuste si la régulation fonctionne toujours même si le modèle change un peu. Par exemple, les fonctions de transfert de certains procédés peuvent varier en fonction de la température ambiante ou de l'hygrométrie ambiante relativement à la loi de Pascal. Un régulateur doit être capable d'assurer sa tâche même avec ces changements afin de s'adapter à des usages non prévus/testés (dérive de production, vieillissement mécanique, environnements extrêmes...).
- La rapidité du régulateur dépend du temps de montée et du temps d'établissement du régime stationnaire.
- Le critère de précision est basé sur l'erreur statique (ou de statisme).

La réponse type d'un procédé stable est la suivante :



	Précision	Stabilité	Rapidité
P	↗	↘	↗
I	↗	↘	↘
D	↘	↗	↗



Tableau récapitulant l'influence d'un PID série sur le système qu'il corrige si l'on augmente séparément l'action proportionnelle (P), intégrale (I) ou dérivée (D).

Dans le cas des systèmes simples, les paramètres du PID influencent la réponse du système de la manière suivante :

- G : Lorsque G augmente, le temps de montée (*rise time*) est plus court mais il y a un dépassement plus important. Le temps d'établissement varie peu et l'erreur statique se trouve améliorée.
- τ_i : Lorsque τ_i augmente, le temps de montée est plus court mais il y a un dépassement plus important. Le temps d'établissement au régime stationnaire s'allonge mais dans ce cas on assure une erreur statique nulle. Donc plus ce paramètre est élevé, plus la réponse du système est ralentie.
- τ_d : Lorsque τ_d augmente, le temps de montée change peu mais le dépassement diminue. Le temps d'établissement au régime stationnaire est meilleur. Pas d'influences sur l'erreur statique. Si ce paramètre est trop élevé dans un premier temps il stabilise le système en le ralentissant trop mais dans un deuxième temps le régulateur anticipe trop et un système à temps mort élevé devient rapidement instable.

Pour ces trois paramètres, le réglage au-delà d'un seuil trop élevé a pour effet d'engendrer une oscillation du système de plus en plus importante menant à l'instabilité.

L'analyse du système avec un PID est très simple mais sa conception peut être délicate, voire difficile, car il n'existe pas de méthode unique pour résoudre ce problème. Il faut trouver des compromis, le régulateur idéal n'existe pas. En général, on se fixe un cahier des charges à respecter sur la robustesse, le dépassement et le temps d'établissement du régime stationnaire. Les méthodes de réglage les plus utilisées en théorie sont les méthodes de Ziegler-Nichols (en boucle ouverte et boucle fermée), la méthode de P. Naslin (polynômes normaux à amortissement réglable), la méthode du lieu de Nyquist inverse (utilise le diagramme de Nyquist). Le diagramme de Black permet d'en constater très visuellement les effets.

Dans la pratique, les professionnels utilisent soit l'identification par modèle de Broïda pour les systèmes stables ou le modèle intégrateur retardé pour les systèmes instables soit la méthode par approches successives, qui répond à une procédure rigoureuse : on règle d'abord l'action P seule pour avoir un dépassement de 10 à 15 % puis l'action dérivée de façon à "raboter" au mieux le dépassement précédent, enfin on ajuste si nécessaire l'action intégrale en se fixant un dépassement final compris entre 5 et 10 %. Il existe aussi des méthodes qui, en supposant connue la fonction de transfert $H(p)$ du système, permettent de déterminer un régulateur PID **robuste** dans le sens où la marge de phase et la pulsation au gain unité (donc la marge de retard) sont fixées à l'avance (lorsqu'une solution existe)¹.

Dans environ 15 % des cas les performances d'un PID peuvent devenir insuffisantes en raison de la présence d'un retard trop important ou d'un procédé à phase non minim

Maintenance

Un régulateur PID commande souvent une vanne.

Il peut alors y avoir plusieurs vannes avec une même alimentation (par exemple une centaine de vannes pour la vulcanisation de pneus).

Dans ce cas un défaut peut venir de l'insuffisance de l'alimentation à un moment donné par un effet de coïncidence des appels. Si les défauts se multiplient, c'est un point à vérifier plutôt que de remplacer des PID inutilement.

Composants électroniques

	Page
Diode.....	499
Transistor.....	502
Thyristor.....	506
Montage.....	508
Carte électronique.....	509
Carte de puissance.....	513 ..
Optocoupleur.....	517

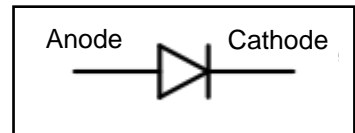
Diodes

Les diodes sont un des dipôles de base de l'électronique de puissance.

- ➔ Elles peuvent être utilisées en courant alternatif pour diminuer la puissance fournie par l'alimentation à un récepteur en supprimant l'une des alternances.
- ➔ Elles peuvent aussi faire des redressement à simple alternance, ou à double alternance (on utilise alors un pont de diodes (pont de Graëtz).

Les diodes sont fabriquées à partir de semi-conducteurs. Leur principe physique de fonctionnement est utilisé dans de nombreux composants actifs en électronique.

Une diode est créée en accolant un substrat riche en électrons libres (semi-conducteur de type N ou métal) à un substrat déficitaire en électrons c.-à-d. riche en trous (semi-conducteur type P).



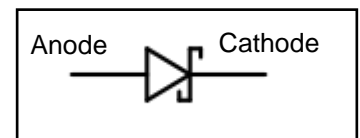
Une diode est la jonction de deux semi-conducteurs : l'un dopé « P » l'autre dopé « N ». La connexion du côté P s'appelle l'anode; celle du côté N porte le nom de cathode. Le côté de la cathode est repéré par un anneau de couleur sombre sur le boîtier cylindrique de la diode.(qui se trouve à gauche de la diode).

Seule la diode Gunn échappe totalement à ce principe : n'étant constituée que d'un barreau monolithique d'arséniure de gallium, son appellation diode doit être considérée comme un abus de langage.

La diode Schottky quant à elle est constituée d'une jonction métal - semi-conducteur.

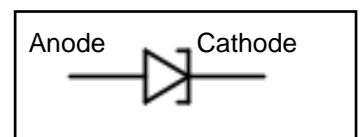
Diode Schottky

Elle est constituée d'une jonction métal - semi-conducteur ce qui lui procure une chute de tension directe réduite (0,3 V environ) et une dynamique nettement améliorée du fait de l'absence de porteurs minoritaires engagés dans le processus de conduction. Elle est en revanche incapable de supporter des tensions au delà d'une cinquantaine de volts.



Diode à effet tunnel

Cela désigne une diode dont les zones N et P sont hyper-dopées. La multiplication des porteurs entraîne l'apparition d'un courant dû au franchissement quantique de la barrière de potentiel par effet tunnel (une telle diode a une tension de Zener nulle). Sur une faible zone de tension directe, la diode présente une résistance négative (le courant diminue lorsque la tension augmente, car la conduction tunnel se tarit au profit de la conduction « normale »), une caractéristique exploitée pour réaliser des oscillateurs. Ce type de diode n'est quasiment plus employé actuellement



Diode Gunn

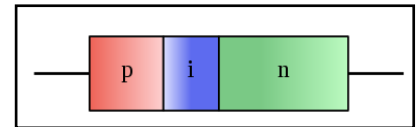
consiste en un simple barreau d'arséniure de gallium (GaAs), et exploite une propriété physique du substrat : les électrons s'y déplacent à des vitesses différentes (masse effective différente) suivant leur énergie (il existe plusieurs minima locaux d'énergie en bande de conduction, suivant le déplacement des électrons).

Le courant se propage alors sous forme de bouffées d'électrons, ce qui signifie qu'un courant continu donne naissance à un courant alternatif ; convenablement exploité, ce phénomène permet de réaliser des oscillateurs micro-ondes dont la fréquence se contrôle à la fois par la taille du barreau d'AsGa et par les caractéristiques physiques du résonateur dans lequel la diode est placée.



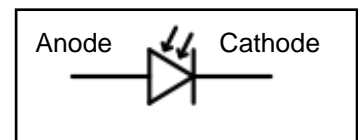
Diode PIN

on lui interpose, entre ses zones P et N, une zone non dopée, dite intrinsèque (d'où I). Ces diodes, polarisées en inverse, présentent des capacités extrêmement faibles, des tensions de claquage élevées. En revanche, en direct, la présence de la zone I augmente la résistance interne ; celle-ci, dépendante du nombre de porteurs, diminue quand le courant augmente : on a donc une résistance (alternative) variable, contrôlée par une intensité (continue). Ces diodes sont donc soit utilisées en redressement des fortes tensions, soit en commutation UHF (du fait de leur faible capacité inverse), soit en atténuateur variable (contrôlé par un courant de commande continu).



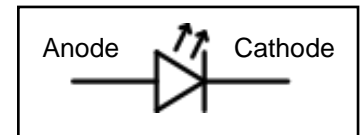
Photodiode

génère un courant à partir des paires électrons-trous produites par l'incidence d'un photon suffisamment énergétique dans le cristal. L'amplification de ce courant permet de réaliser des commandes en fonction de l'intensité lumineuse perçue par la diode (interrupteur crépusculaire par exemple).



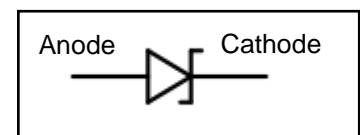
Diode électroluminescente ou led

d'abord cantonnée aux signalisations économes en courant, gagne depuis les années 2000 le monde de l'éclairage (lampes de poche, éclairages de secours, balisage) depuis qu'on a pu en fabriquer dans le début des années 1990 des bleues, puis des blanches. Certaines (DELs au nitrure de gallium ou GaN) sont déjà assez puissantes pour des phares de voitures et lampadaires (éventuellement solaires, comme dans le PNR du Luberon) et un projet européen vise à en faire des éclairages domestiques (20 % de la production électrique allemande alimente le seul éclairage) capables de rivaliser avec les lampes basse consommation des années 1990-2000.



Diode zener

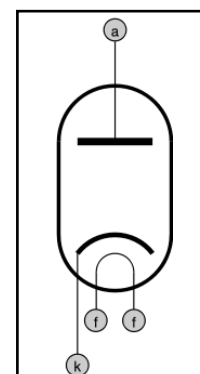
qui permet de faire de la régulation de tension.



Diode à vide

ancêtre des diodes à semi-conducteurs modernes, la diode est un tube électronique qui utilise l'effet thermionique pour réaliser sa tâche de rectification du courant. Bien qu'elle soit tombée en désuétude à cause de sa taille et de sa consommation de courant, elle est considérée supérieure pour certaines applications grâce à sa tension de seuil nulle et son comportement à l'approche de la saturation.

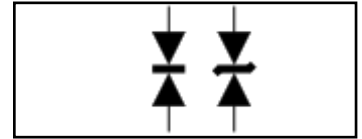
a : anode
b : cathode
f : filament



Diode transit

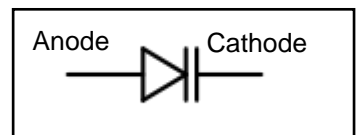
Le fonctionnement de la diode Transil est comparable à celui de la varistance mais sa caractéristique courant/tension est plus abrupte, ce qui permet d'obtenir de meilleurs niveaux de protection. Elle a une durée de vie quasi illimitée. Son temps de réponse est très faible (quelques centaines de picosecondes). Elle est capable de laisser passer des courants pouvant aller jusqu'à quelques centaines d'ampères crête, selon la taille de la puce et la forme d'onde appliquée. Si la surtension appliquée dépasse les caractéristiques maximales du composant, son mode de défaillance préférentiel est le court-circuit, ce qui assure une protection maximale des circuits au prix d'une défaillance fonctionnelle.

Note : une varistance est une résistance électrique utilisée aujourd'hui pour faire des parafoudres.



Diode varicap

Une diode varicap (de l'anglais *variable capacity*), aussi nommée varactor (acronyme de *variable reactor*) ou encore diode à *capacité variable* est un type de diode qui présente la particularité de se comporter comme un condensateur dont la valeur de la capacité varie avec la tension inverse appliquée à ses bornes. Cette diode peut être considérée comme un condensateur variable. Ce type de diode est souvent utilisée dans des montages radio-fréquence (RF) mais aussi pour des applications à très hautes fréquences.



Transistor

Le **transistor** est un composant électronique actif utilisé :

comme interrupteur dans les circuits logiques ;

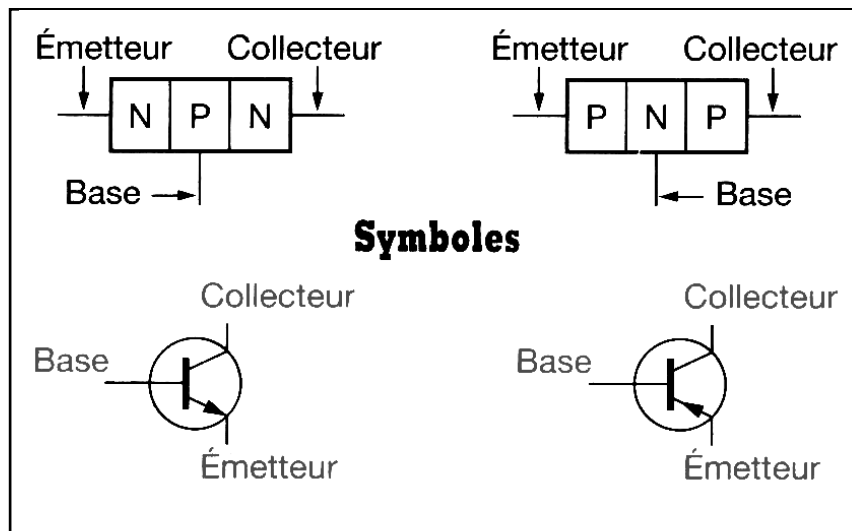
comme amplificateur de signal ;

pour stabiliser une tension, moduler un signal ainsi que de nombreuses autres utilisations.

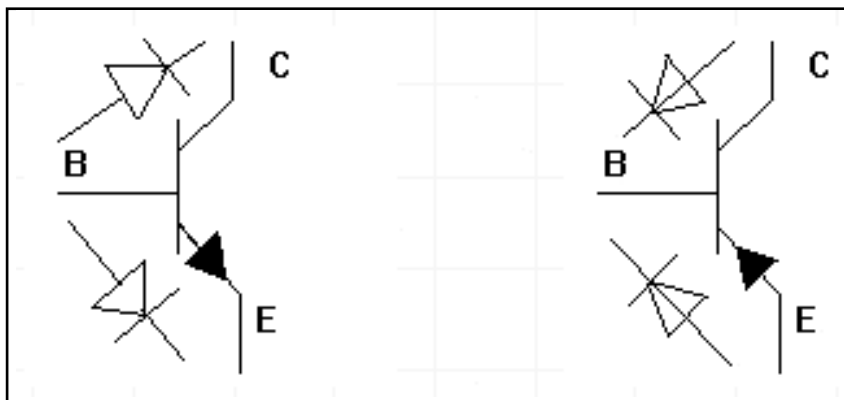
Un transistor est un dispositif semi-conducteur à trois électrodes actives, qui permet de contrôler un courant (ou une tension) sur une des électrodes de sorties (*le collecteur* pour le transistor bipolaire et *le drain* sur un transistor à effet de champ) grâce à une électrode d'entrée (*la base* sur un transistor bipolaire et *la grille* pour un transistor à effet de champ).

Un **transistor bipolaire** est un dispositif électronique à base de semi-conducteur de la famille des transistors. Son principe de fonctionnement est basé sur deux jonctions PN, l'une en direct et l'autre en inverse. La polarisation de la jonction PN inverse par un faible courant électrique (parfois appelé *effet transistor*) permet de « commander » un courant beaucoup plus important, suivant le principe de l'amplification de courant.

Un transistor est constitué de 2 jonctions PN (ou diodes) montées en sens inverse. Selon le sens de montage de ces diodes on obtient 2 types de transistors :



On peut considérer le transistor comme l'association de deux diodes dont la représentation ci-dessous peut aider.



L'émetteur est toujours repéré par une flèche qui indique le sens du courant dans la jonction entre base et émetteur. C'est l'effet transistor qui permet à la diode qui est en inverse de conduire quand une tension est appliquée sur la base.

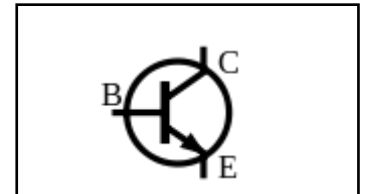
transistors bipolaires	symbole	transistors à effet de champ	symbole
le <u>collecteur</u>	C	le <u>drain</u>	D
la base	B	la <u>grille</u>	G
l' <u>émetteur</u>	E	la <u>source</u>	S

Transistors bipolaires

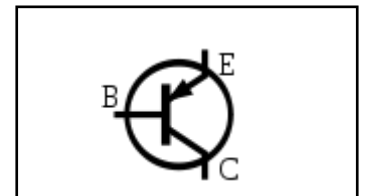
Transistors NPN / PNP

Le transistor bipolaire est un amplificateur de courant, on injecte un courant dans l'espace base/émetteur afin de créer un courant multiplié par le gain du transistor entre l'émetteur et le collecteur.

Les transistors bipolaires NPN (négatif-positif-négatif) qui laissent circuler un courant de la base (+) vers l'émetteur (-), sont plus rapides et ont une meilleure tenue en tension que les transistors PNP base (-) émetteur (+), mais peuvent être produits avec des caractéristiques complémentaires par les fabricants pour les applications le nécessitant.



Transistors NPN

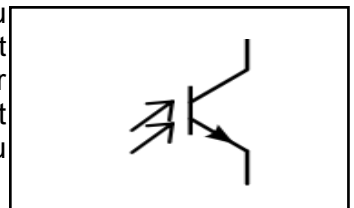


Transistor PNP

Photo transistor

Un phototransistor est un transistor bipolaire dont la base est sensible au rayonnement lumineux ; la base est alors dite flottante puisqu'elle est dépourvue de connexion. Lorsque la base n'est pas éclairée, le transistor est parcouru par le courant de fuite I_{CE0} . L'éclairement de la base conduit à un photocourant I_{ph} que l'on peut nommer courant de commande du transistor.

Pour simplifier, lorsque la base est éclairée le phototransistor est équivalent à un interrupteur fermé entre l'émetteur et le collecteur et lorsque la base n'est pas éclairée, c'est équivalent à un interrupteur ouvert.



Phototransistor

Le courant d'éclairement du phototransistor est le photocourant de la photodiode collecteur-base multiplié par l'amplification β du transistor. Sa réaction photosensible est donc nettement plus élevée que celle d'une photodiode (de 100 à 400 fois plus). Par contre le courant d'obscurité est plus important.

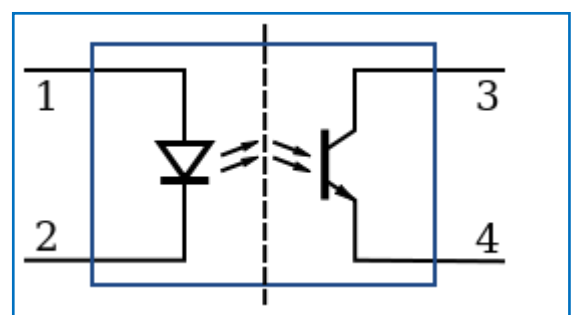
On observe une autre différence entre phototransistor et photodiode : la base du phototransistor est plus épaisse, ce qui entraîne une constante de temps plus importante et, donc une fréquence de coupure plus basse que celle des photodiodes. On peut éventuellement augmenter la fréquence de coupure en diminuant la photosensibilité en connectant la base à l'émetteur.

Optocoupleur

Un photocoupleur (ou optocoupleur) est un composant électronique capable de transmettre un signal d'un circuit électrique à un autre, sans qu'il y ait de contact galvanique entre eux¹.

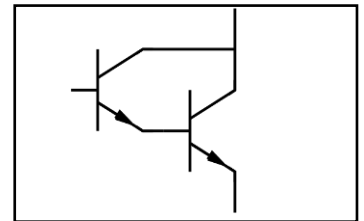
Le terme de photocoupleur est traduit de l'anglais *optocoupler* ou *optoisolator*².

Optocoupleur



Montage Darlington NPN

Le transistor Darlington est la combinaison de deux transistors bipolaires de types semblables (tous deux NPN ou tous deux PNP), ou différent un pnp et un npn résultant en un composant hybride qui a encore des caractéristiques de transistor. Ces deux transistors sont souvent intégrés dans un même boîtier. Le gain en courant du Darlington est égal au produit des gains de chaque transistor. Le montage est le suivant : les collecteurs sont communs et correspondent au collecteur du Darlington. L'émetteur du transistor de commande est relié à la base du transistor de sortie. La base du transistor de commande et l'émetteur du transistor de sortie correspondent respectivement à la base et à l'émetteur du Darlington.



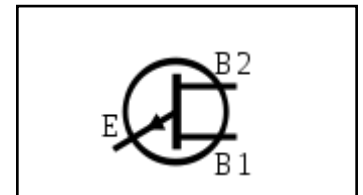
Montage DARLINGTON NPN

Transistor UJT

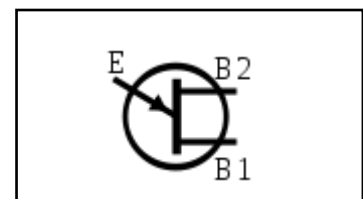
Un transistor unijonction (souvent appelé UJT, d'après le sigle anglais "UniJunction Transistor") est une sorte de transistor qui n'est composé que d'une seule jonction.

Appelé aussi "diode à double base", le transistor unijonction est un transistor bipolaire un peu particulier, qui possède trois connexions mais une seule jonction (d'où son nom). Ses trois électrodes sont nommées E (émetteur), B₁ (base 1) et B₂ (base 2).

L'UJT est principalement utilisé pour la réalisation d'oscillateurs (à relaxation, pour être précis), car possède la particularité d'offrir une résistance négative dans une partie de sa courbe de caractéristiques. Un transistor unijonction peut être assimilé à une diode associée à un diviseur de tension.



Transistor UJT canal P



Transistor UJT canal N

Transistor à effet de champ

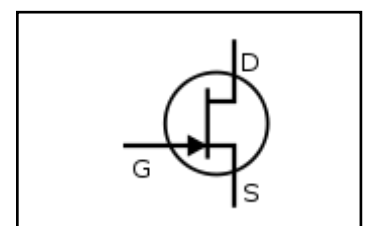
Un transistor à effet de champ (FET pour *Field Effect Transistor*) est un dispositif semiconducteur de la famille des transistors. Sa particularité est d'utiliser un champ électrique pour contrôler la forme et donc la conductivité d'un « canal » dans un matériau semiconducteur. Il concurrence le transistor bipolaire dans de nombreux domaines d'applications, tels que l'électronique numérique.

Un transistor à effet de champ est un composant à trois broches : la Grille, le Drain et la Source.

On considère que la commande du transistor se fait par l'application d'une tension V_{GS} négative dans le cas d'un type N, positive dans le cas d'un type P.

Transistor JFET

Un transistor de type JFET (Junction Field Effect Transistor ou transistor à effet de champ à jonction) présente une grille reliée au substrat. Dans le cas d'un canal dopé N, le substrat et la grille sont fortement dopés P+ et physiquement reliés au canal. Le drain et la source sont des îlots très fortement dopés N+ dans le canal, de part et d'autre de la grille. Dans le cas d'un canal dopé P, les dopages de chaque partie sont inversés, ainsi que les tensions de fonctionnement.



Transistors JFET canal N

Transistor MOSFET

Un transistor de type MOSFET (Metal Oxyde Semiconductor Field Effect Transistor) présente une grille métallique électriquement isolée du substrat par un diélectrique de type SiO_2 .

Ces transistors se divisent en deux catégories :

les MOSFET à enrichissement. Ils sont les plus utilisés du fait de leur non conduction en l'absence de polarisation, de leur forte capacité d'intégration ainsi que pour leur fabrication plus aisée.

les MOSFET à appauvrissement. Ceux-ci se caractérisent par un canal conducteur en l'absence de polarisation de grille ($V_{GS} = 0$).

Le transistor est caractérisé par la charge de ses porteurs majoritaires qui détermine s'il est de type P ou N. Les symboles du MOSFET permettent de différencier son type et sa catégorie. Les lettres sur les trois électrodes correspondent au drain, à la source et à la grille.

MOSFET à enrichissement type N	MOSFET à enrichissement type P	MOSFET à déplétion type P	MOSFET à déplétion type N

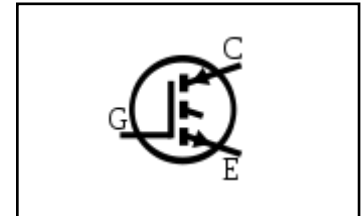
Montage DARLINGTON
NPN

Transistor IGBT

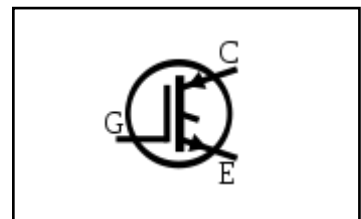
Le transistor bipolaire à grille isolée (IGBT, de l'anglais *Insulated Gate Bipolar Transistor*) est un dispositif semi-conducteur de la famille des transistors qui est utilisé comme interrupteur électronique, principalement dans les montages de l'électronique de puissance.

Ce composant, qui combine les avantages des technologies précédentes — c'est-à-dire la grande simplicité de commande du transistor à effet de champ par rapport au transistor bipolaire, tout en conservant les faibles pertes par conduction de ce dernier — a permis de nombreux progrès dans les applications de l'électronique de puissance, aussi bien en ce qui concerne la fiabilité que sur l'aspect économique¹.

Les transistors IGBT ont permis d'envisager des développements jusqu'alors non viables en particulier dans la vitesse variable ainsi que dans les applications des machines électriques et des convertisseurs de puissance qui nous accompagnent chaque jour et partout, sans que nous en soyons particulièrement conscients : automobiles, trains, métros, bus, avions, bateaux, ascenseurs, électroménager, télévision, domotique, etc.



Transistors IGBT N
à enrichissement



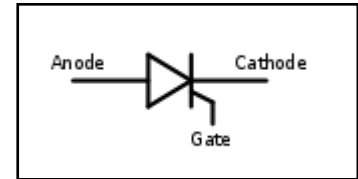
Transistors IGBT N
à déplétion

Thyristor

Le thyristor est un interrupteur électronique semi-conducteur qui peut être commandé à l'allumage, par la gâchette (G), mais pas à l'extinction qui est provoquée par le passage du courant principal I_{ak} à une valeur inférieure au courant de maintien I_H .

Le thyristor (du grec thura : porte) est un composant électronique semi-conducteur composé de quatre couches de silicium dopées alternativement positivement et négativement. La structure en couches P-N-P-N du thyristor peut être modélisé par deux transistors PNP et NPN connectés selon le schéma ci-contre.

Parfois dénommés SCR (*Silicon Controlled Rectifier*, soit « redresseur silicium commandé »), ces composants sont adaptés pour le pilotage des étages de convertisseurs statiques d'énergie tels que redresseurs pilotés ou onduleurs.



Thyristor LCR

Thyristor GTO

Le thyristor à extinction par la gâchette (thyristor GTO ou plus simplement GTO, de l'anglais Gate Turn-Off Thyristor), c'est-à-dire thyristor blocable par la gâchette. Ce thyristor présente donc un gros avantage sur le thyristor "classique" qui nécessite une interruption du courant principal pour repasser en état "bloqué", puisqu'il peut être commandé à l'ouverture (passage à l'état bloqué). Il partage avec le thyristor classique la capacité d'être commandé à la fermeture (passage à l'état conducteur)

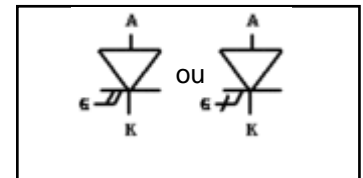
Le GTO est structurellement identique à un thyristor, donc muni de 3 électrodes :

l'anode A

la cathode K

l'électrode de commande appelée gâchette G.

Il est composé de quatre couches dopées alternativement P, N, P, N.



Thyristor GTO

La différence principale avec un thyristor est que la gâchette est fortement interdigitée, c'est-à-dire divisée en un réseau de mini-gâchettes distribuées sur toute la puce, afin de permettre une extraction uniforme du courant lors du blocage

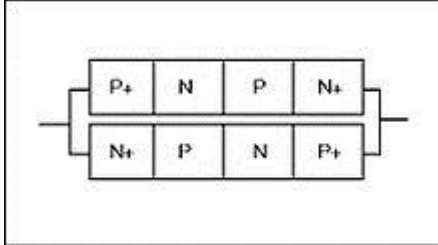
Le blocage du thyristor GTO peut se faire de deux façons:

- par interruption naturelle du courant principal I_{ak} , qui se produit par exemple à chaque alternance si le thyristor est utilisé sous tension alternative
- par extraction du courant au niveau du circuit de gâchette (obtenue par application d'une tension négative sur la gâchette, par un circuit appelé "extracteur de charges")

Cette phase d'extinction forcée doit impérativement être terminée avant de commander à nouveau le passage vers l'état passant, sinon il y a risque de destruction du composant. Il y a donc un temps minimal de blocage (typiquement 100µs), ce qui est à l'origine de la limitation en fréquence de commutation du GTO.

Thyristor DIAC

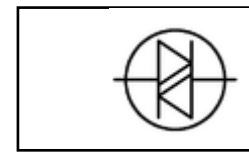
Un diac (à l'origine un sigle pour le terme anglais Diode for Alternative Current) est un composant électronique à amorçage (bidirectionnel) par la tension à ses bornes. Bien qu'il ressemble physiquement à une diode zener, sa constitution et son fonctionnement sont très différents. Sa principale application est la commande d'allumage de triacs.



Constitution d'un Diac

Le diac est composé comme un thyristor d'une triple jonction PNPN (la gâchette est absente). Les extrémités sont plus fortement dopées. L'amorçage se produit lorsque les zones de diffusion des jonctions extrêmes tendent à se rencontrer sous l'effet de l'application d'une différence de potentiel.

La mise en parallèle (tête-bêche) des deux circuits permet le fonctionnement bidirectionnel.

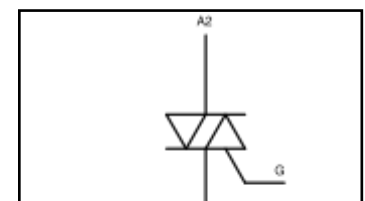


DIAC

Thyristor Triac

Le triac est un composant électronique équivalent à la mise en parallèle de deux thyristors montés tête-bêche (l'anode de l'un serait reliée à la cathode de l'autre, les gâchettes respectives étant, par exemple, commandées simultanément).

Une fois enclenché par une impulsion sur la gâchette, le triac laisse passer le courant jusqu'au moment où ce courant redevient inférieur à un seuil critique (courant de maintien). De par cette structure, le triac est utilisé pour contrôler le passage des deux alternances d'un courant alternatif (alors que le *thyristor* ne conduit que pendant une alternance).



Triac

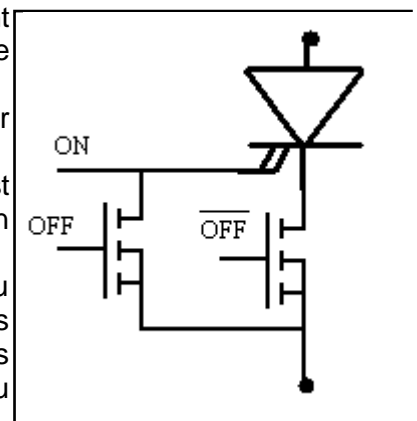
Thyristor ETO

Le thyristor ETO (*Emitter Turn-Off thyristor*) est un composant électronique utilisé en électronique de puissance ; il joue un rôle d'interrupteur.

C'est un composant hybride, constitué d'un thyristor GTO (thyristor qui peut être bloqué par la gâchette) mis en série avec un MOSFET. Quand ON et OFF sont tous deux au niveau bas, le thyristor est bloqué et le Mosfet conducteur (puisque sa grille est portée à un potentiel positif par OFF/).

Pour rendre le composant conducteur, il faut porter ON à un niveau haut (potentiel positif), ce qui a pour effet d'injecter un courant dans la gâchette et donc de démarrer la conduction du thyristor. Une fois le thyristor amorcé, c.à.d. conducteur, on peut ramener ON au niveau bas.

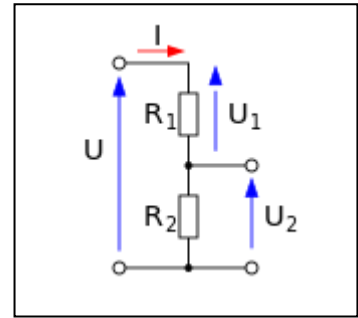
Pour bloquer le composant, on porte OFF au niveau haut, ce qui a pour effet de court-circuiter la grille du thyristor à la masse ; comme OFF/ est maintenant au niveau bas, la conduction du Mosfet cesse, ce qui annule le courant dans le thyristor ; celui-ci se bloque donc.



Montage

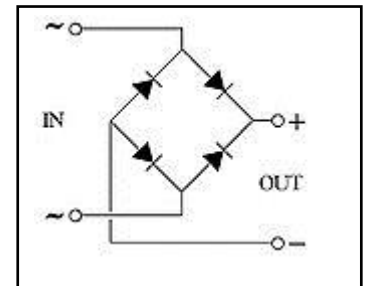
Diviseur de tension

Le diviseur de tension est un montage électronique simple qui permet de diviser une tension d'entrée. Un circuit constitué de deux résistances en série est par exemple un montage élémentaire qui peut réaliser cette opération. Il est couramment utilisé pour créer une tension de référence ou comme un atténuateur de signal à basse fréquence.



Montage en pont

Un montage en pont est un circuit électrique comportant 4 dipôles câblés entre 4 nœuds A, B, C et D. Entre A et C on applique la tension d'entrée, la tension de sortie est alors la tension entre B et D. Le montage en pont est très fréquemment utilisé en mesure (pont de jauges, pont de mesure). Deux des dipôles placés entre A et B et entre C et D sont des dipôles dont les caractéristiques dépendent de la grandeur physique à mesurer : jauges de contrainte ou résistance de platine. Les deux autres sont des résistances constantes. Ce montage permet d'obtenir une tension en sortie proportionnelle à la tension d'entrée et à la grandeur physique que l'on souhaite mesurer. La sortie de ce montage est généralement connectée à un montage amplificateur suiveur afin que l'appareil de mesure ne perturbe pas le montage.

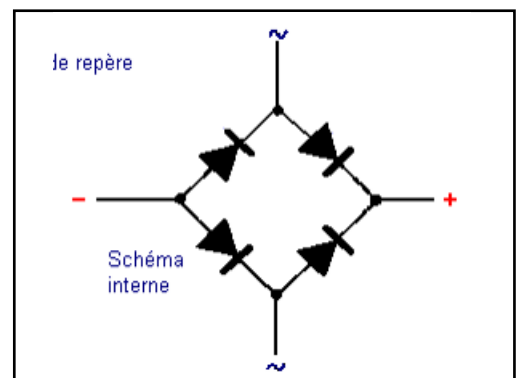


Pont de diodes

Un pont de diodes ou pont de Graetz est un assemblage de quatre diodes montées en pont (montage similaire à celui d'un pont de Wheatstone) qui, en régime monophasé, redresse le courant alternatif en courant continu, c'est-à-dire ne circulant que dans un seul sens¹.

Le pont de diode est le montage le plus utilisé pour réaliser un redressement double alternance.

Par extension, on désigne sous le nom de pont redresseur triphasé ou pont de diodes triphasé un ensemble de six diodes réalisant un redressement double alternance en triphasé.



Ponts de diodes

Carte électronique

Elle est aussi appelée « **Circuit imprimé** » En abrégé, le circuit imprimé s'appelle PCB pour « Print Circuit Board ».

La carte électronique est un support, en général une plaque, permettant de maintenir et de relier électriquement un ensemble de composants électroniques entre eux, dans le but de réaliser un circuit électronique complexe.

La carte est constituée de plusieurs couches de cuivre séparées par un isolant. Elle est gravée par un procédé chimique pour obtenir une ou plusieurs pistes.



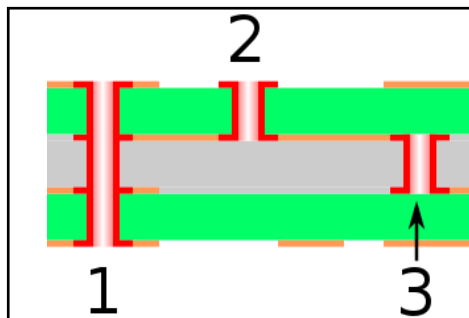
Le circuit imprimé le plus simple est un circuit appelé *simple face*, avec une seule couche conductrice en cuivre, sur laquelle peuvent être soudés les composants électroniques. Celle-ci est associée à une couche de matière isolante qui lui sert de support. En général ce type de circuit comporte des trous qui permettent l'insertion des composants électroniques.

Le circuit imprimé *double face* comporte deux couches conductrices isolées par une couche isolante. Il peut avoir deux types de trous :

- les *trous d'insertion* permettant de maintenir les composants dans le circuit,
- les *vias* permettant d'établir une connexion électrique entre les deux couches conductrices.

Le circuit imprimé *multicouches* comporte au moins trois couches conductrices, séparées chacune par des couches isolantes. On distingue les deux couches conductrices appelées couches *externes* et les couches conductrices *internes*. Ce type de circuit peut avoir plusieurs types de trous.

Circuit imprimé multicouches à 4 couches avec ses différents types de vias, vu en coupe.



Soudure à l'étain (Réparation ou ajout »

La soudure (brasure) à l'étain repose sur quelques principes de base simples. Son but premier est d'assurer une excellente conductibilité électrique entre différents conducteurs (électrodes métalliques d'un composant, circuit imprimé, fil, etc.).

Pour effectuer une soudure parfaite, il faut toujours garder en tête que **les deux conducteurs doivent avoir une température supérieure au point de fusion du fil à souder**. Pour atteindre les températures voulues, il faut favoriser le transfert de chaleur du fer chaud vers les conducteurs. Dans le cas de soudure sur un circuit imprimé, il faut contrôler son état de conductibilité électrique (validation) **avant** d'implanter les composants.

Instruments utilisés pour la soudure et la validation



- | | |
|-------------------------------------|----------------------------|
| 1. Multimètre | 7. Pompe à dessouder |
| 2. Lunettes de sécurité | 8. Tresse à dessouder |
| 3. Fer à souder | 9. Fils à pinces alligator |
| 4. Support à fer avec éponge | 10. Pincex à long bec |
| 5. Étau porte-carte (étau à souder) | 11. Pincex coupantes |
| 6. Fil à souder (étain) | 12. Pincex à dénuder |

Fil à souder (soudure) (#6): On retrouve des fils composés de différents alliages d'étain. La température de fusion sera différente d'un alliage à un autre et s'il contient ou pas de plomb (ex : avec plomb $\pm 180^{\circ}\text{C}$ et sans plomb $\pm 220^{\circ}\text{C}$).

Généralement, le fil à souder contient du flux de soudure. Ce produit acide permet un nettoyage des pièces et favorise l'adhérence de la soudure sur ces dernières.

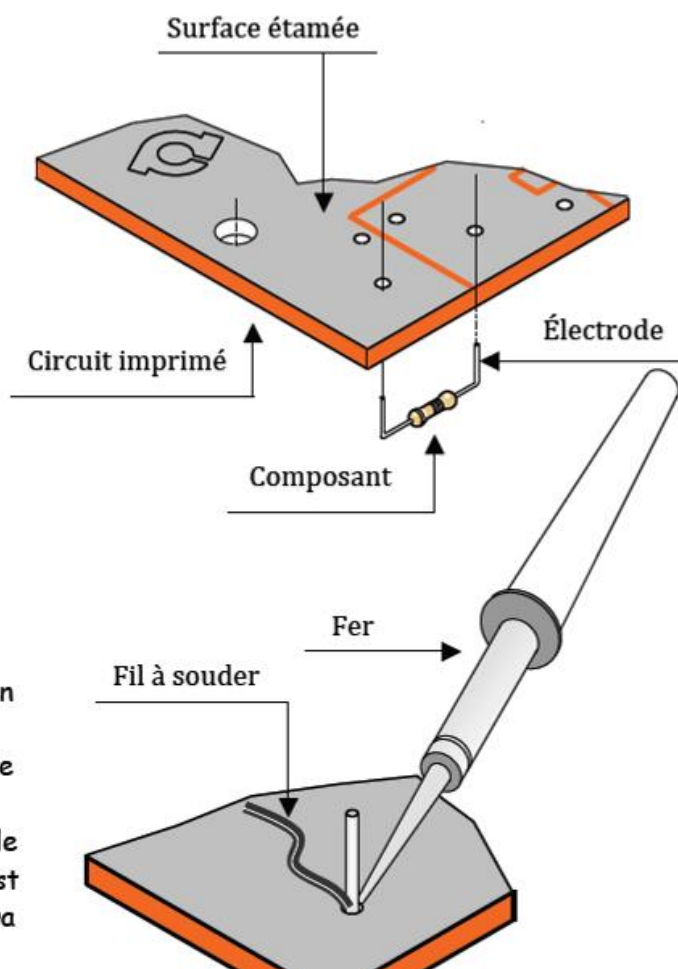
Pompe à dessouder (#7): La pompe est composée d'un piston, d'un ressort de rappel et d'un embout. Ce dernier est en téflon, ce qui lui permet de résister à la chaleur. L'embout peut-être changé lorsqu'il commence à être défraîchi.

Tresse à dessouder (#8): Comme son nom l'indique, la tresse est constituée de plusieurs fils de cuivre, tressés entre eux. On la retrouve en différentes largeurs.

Lors de son utilisation, on la pose sur la soudure que l'on veut retirer puis on dépose la panne du fer par dessus celle-ci afin de faire fondre la soudure. L'étain fondu sera « aspiré » par capillarité dans la tresse. La section ayant absorbée l'étain devra être coupée puisqu'elle ne peut-être utilisée qu'une seule fois.

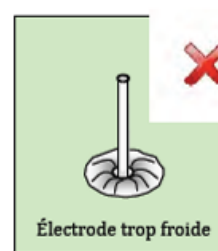
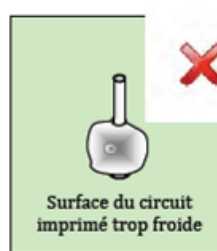
Comment effectuer une bonne soudure

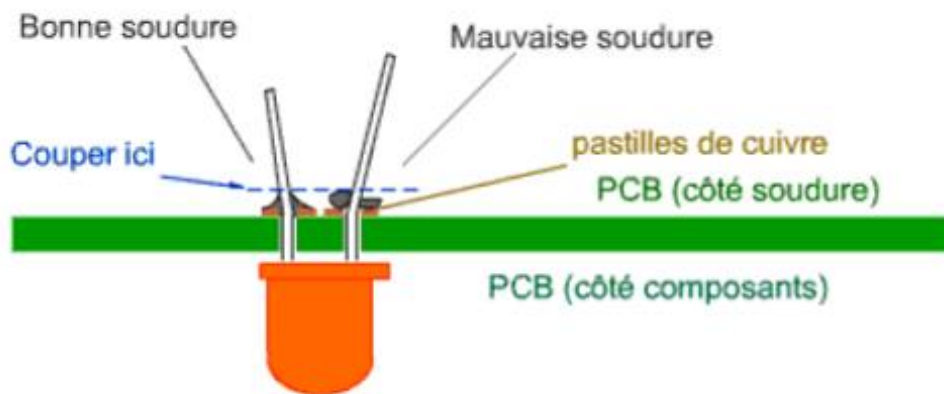
1. Brancher le fer et attendre (5 à 10 minutes) qu'il atteigne sa température d'opération.
2. Préparer le composant à souder en insérant ses électrodes dans les trous du circuit.
3. Nettoyer le fer à chaud sur une éponge mouillée.
4. Étamper le fer, c'est-à-dire y faire fondre un peu d'étain. Cet étain liquide augmentera la surface de contact entre le fer et les conducteurs à souder.
5. Appuyer le fer à la jonction de l'électrode et de la surface étamée du circuit imprimé (voir le dessin de droite). L'étamage du fer permettra une bonne conductibilité thermique.
6. Appliquer l'étain sur la même jonction sans pour autant toucher le fer directement. Il faut que l'étain fonde sur l'électrode et sur la surface étamée. Si vous ne réussissez pas à le faire, la température nécessaire n'est pas atteinte et votre soudure ne sera pas adéquate.



7. Après une soudure adéquate (forme de volcan, image en bas à gauche), couper les électrodes juste au dessus de la soudure. (Couper dans la soudure pourrait l'endommager. Ne pas tordre l'électrode après la soudure, des fissures pourraient apparaître.)

Si l'étain devient terne, c'est signe qu'il s'est oxydé (réaction avec l'oxygène de l'air) à cause d'un chauffage trop long. Dans ce cas, la soudure ne sera pas de bonne qualité. Il faut alors chauffer à nouveau, enlever la vieille soudure et recommencer. Voir ci-dessous pour une bonne soudure.





Maintenance

- ➔ On remplace parfois inutilement des cartes électroniques alors qu'elles sont en bon état, un défaut passager ayant créé le défaut.
Si les remplacements sont nombreux, il est bon d'examiner le problème.

Or il existe des appareils de vérification des cartes électroniques ; on peut les acheter ou les louer ; on peut aussi demander le résultat des vérifications au réparateur.

- ➔ Quand les portes des armoires électriques restent ouvertes, il arrive que la vapeur d'huile de coupe ou d'huile hydraulique vienne se plaquer sur les cartes électroniques. Sous l'effet de la chaleur et du magnétisme, cette vapeur sèche et s'irise sur les cartes. Au premier arrêt technique, après 3 ou 4 jours ces pointes irisées retombent sur les cartes et créent une panne au redémarrage. La solution est de nettoyer ces cartes avec de l'eau savonneuse et de sécher avec un sèche cheveux. Ce problème apparaît surtout quand les armoires sont en mezzanine.

Bien sûr la meilleure solution est de veiller à toujours fermer les portes des armoires électriques.

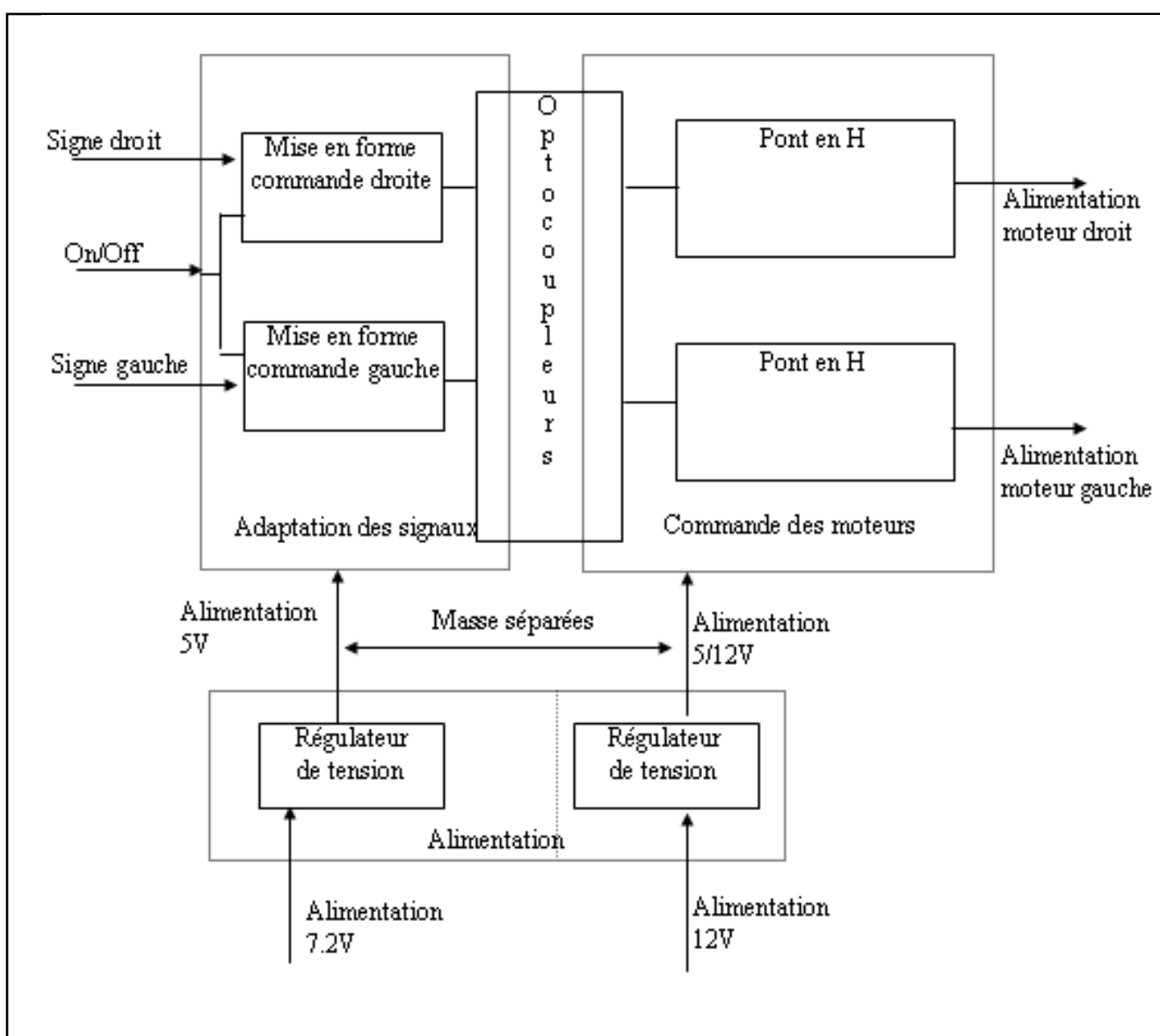
Les cartes réparées doivent toujours être placées dans un sachet plastique au magasin.

Carte de puissance

But :

Cette carte a deux fonctions principales. Tout d'abord, elle doit fournir aux autres cartes électronique, leur tension d'alimentation (0/5V stabilisé). Ensuite elle doit alimenter les moteurs qui permettent au robot de se déplacer. Elle reçoit donc des signaux de commande via la carte de protection du port parallèle, deux alimentations externe (batteries) et produit une tension d'alimentation stabilisée et deux tensions pour les moteurs (comprises entre -12 et +12V)

Schéma bloc :



Fonctionnement :

La partie Alimentation :

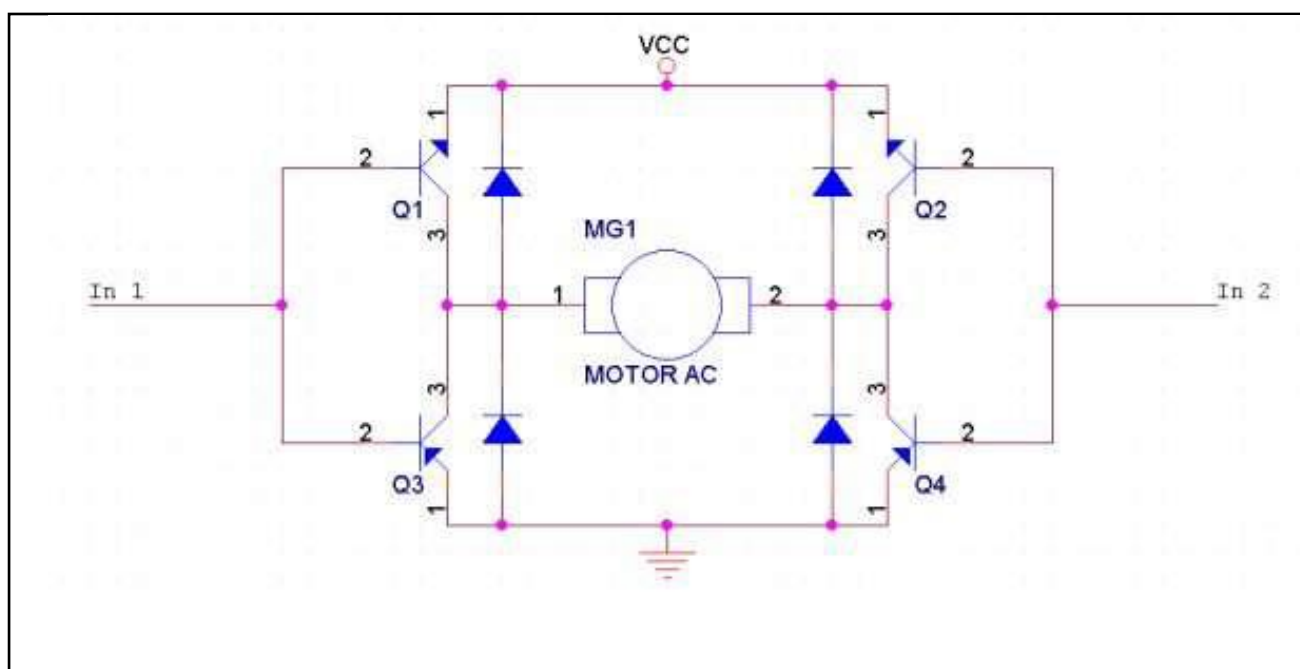
Cette partie est très simple. Nous avons besoin de produire une tension stabilisée. Il existe pour cela des composants dédiés, les 78xx. Ces composants sont des composants à trois pattes. Leur

fonctionnement est très simple. Ils ont entre les deux premières pattes une tension d'alimentation quelconque (supérieure à la tension de sortie désirée). Ils fournissent alors en sortie une tension stabilisée égale à xx (05, 09, 12,...). On utilise donc ces composants en parallèle avec des condensateurs de découplage comme conseillé dans le datasheet.

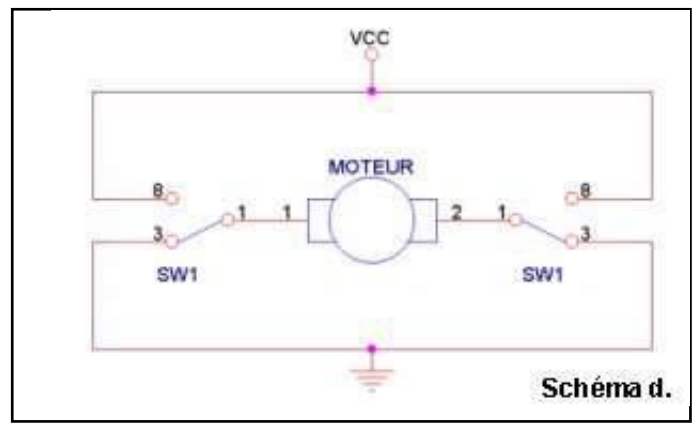
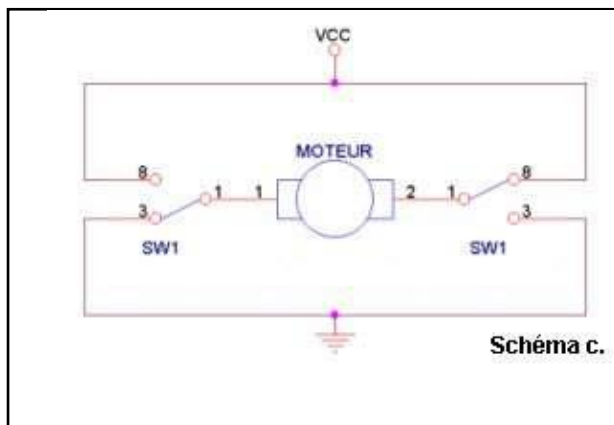
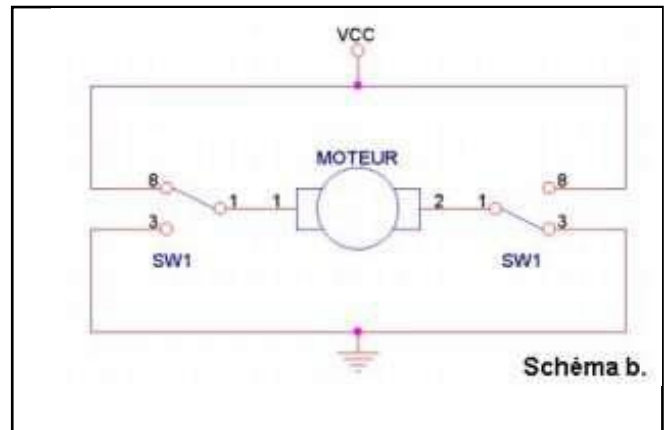
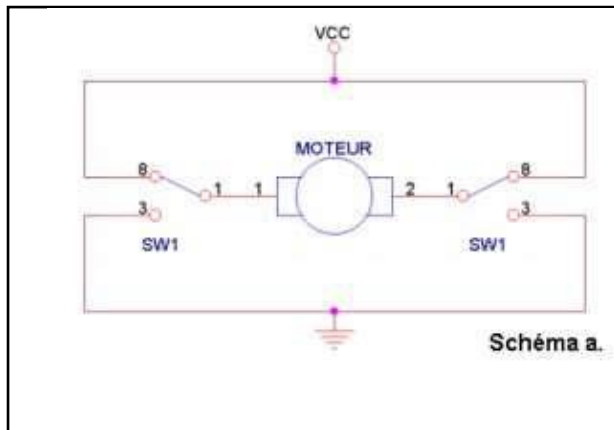
Des diodes témoins ont également été mises en entrée et en sortie de ceux ci afin de déboguer plus facilement (problème de batteries ou régulateur HS ?).

La partie Commande des moteurs (puissance) :

Cette partie est plus complexe. En effet, nous utilisons des moteurs à courant continu dont la vitesse de rotation (donc la vitesse du robot) est proportionnelle à la tension d'alimentation. Il va donc falloir être capable de produire une tension variable et commandable. Pour cela il existe un montage appelé montage en pont en H. Un montage est constitué de 4 transistors monté en H (d'où son nom) comme suit :



In1	In2	Q1	Q2	Q3	Q4	État moteur	Schéma
0	0	Saturé	Saturé	Bloqué	Bloqué	Arrêt	a
0	1	Saturé	Bloqué	Bloqué	Saturé	Sens 1	b
1	0	Bloqué	Saturé	Saturé	Bloqué	Sens 2	c
1	1	Bloqué	Bloqué	Saturé	Saturé	Arrêt	d



Nous avons donc maintenant un système qui à partir de deux signaux logique In1&In2 est capable de commander un moteur dans les deux sens et de l'arrêter. On a en réalité plus que ça car, le fait de court-circuiter le moteur (cas a et d) le freine. On a donc un système capable de faire tourner un moteur quand on veut, dans le sens que l'on veut et de le stopper dès que l'on veut.

Il va maintenant falloir faire varier la vitesse de celui ci. Pour cela, nous allons utiliser la technique du hachage. Qu'est ce que c'est ? Il s'agit d'une technique qui consiste à ne pas envoyer un signal qui soit un « 1 » pur ou un « 0 » pur mais un mélange des deux. En effet, si l'on envoie un signal qui bascule d'un état à un autre, à une fréquence suffisamment basse pour que les transistors puissent suivre les changements d'états, alors, si cette fréquence est suffisamment haute, les moteurs n'ont pas le temps de réagir à ce changement et ne voient qu'une tension moyenne. Ainsi pour un signal de rapport cyclique = TH/T , les moteurs agiront comme si la tension a leurs Δ bornes était de ΔV_{cc} .

On a donc maintenant la théorie : Il nous faut deux signaux In1 et In2 par moteur dont le rapport cyclique Δ donne la vitesse de rotation du moteur ($\Delta V_{vitesseMAX}$), ainsi que 4 transistors et 4 diodes par moteur. Ceci est un peu « lourd ». Heureusement pour nous, il existe des circuits spécialisés, tel que le Lm298N. Ce circuit intègre deux ponts en H. Il nous faut donc envoyer sur les broches adéquates, la tension d'alimentation commande (0/5V), la puissance moteur (12V), les signaux de commande pour chaque moteur In1&In2 (deux pour le moteur gauche, et deux pour le droit), des signaux de validation des ponts (au cas ou on utilisera qu'un seul, par exemple) et d'éventuels signaux de retour des moteurs.

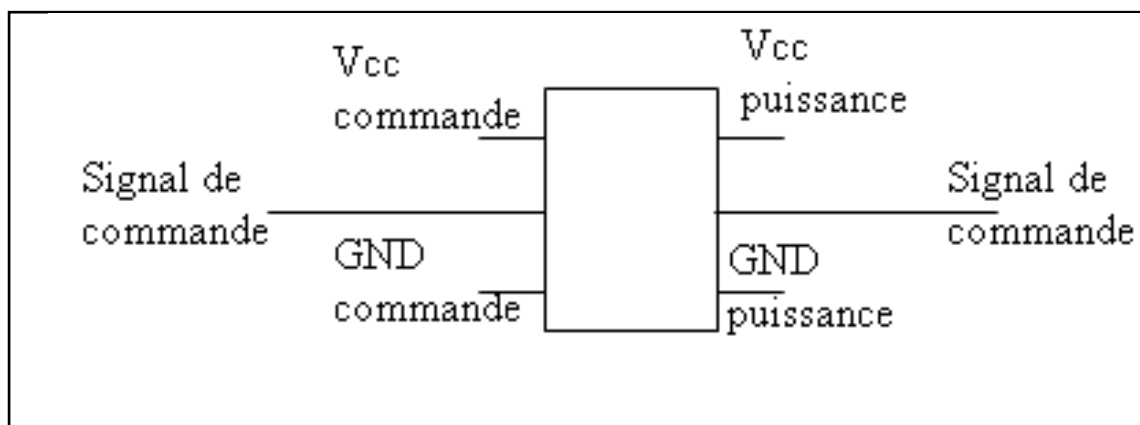
Dans notre cas, on utilise les deux ponts en permanence, donc les entrées de validation seront activées en permanence (reliées à 5V). Comme nous n'utilisons pas les fonctionnalités avancées du Lm298N, les entrées « sense » seront reliées à la masse.

La partie commande devra donc fournir pour chaque moteur :

Un signal à « 0 » et un PWM (Pulse Width Modulator). Selon la voie sur laquelle se trouve le PWM, le sens de rotation du moteur sera inversé ou non (cf. Datasheet du Lm298N).

Les optocoupleurs :

Lorsque les moteurs démarrent ou s'arrêtent, d'importants pics de courant peuvent se produire. Ceci pourraient être destructeurs pour l'électronique de commande. Nous utiliserons donc des optocoupleurs afin d'avoir une isolation électrique parfaite entre les deux parties (commande et puissance). Les optocoupleurs utilisés ici sont des 74016000. Contrairement aux optocoupleurs « classiques » (type 4N25), ceux-ci nécessitent une alimentation des deux côtés :



De cette façon pour un signal $V_{cc\text{commande}}$ en entrée, on a un signal $V_{cc\text{puissance}}$ $\Delta \Delta$ en sortie.

Maintenance

Les remarques faites pour la carte d'électronique sont d'application.

De plus il faut veiller au bon fonctionnement du système de refroidissement, et contrôler périodiquement si le fond de panier d'armoire est bien plan.

Optocoupleur

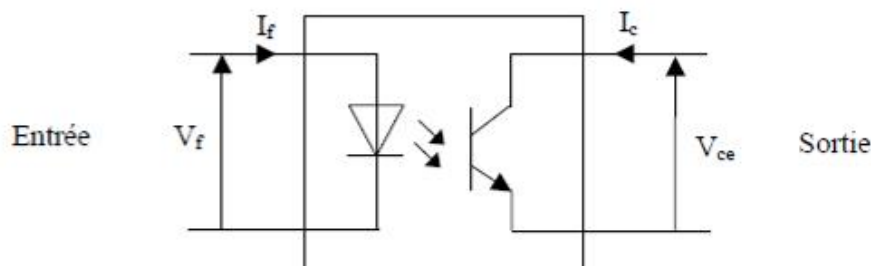
Définition :

Il réalise une conversion "énergie électrique" en "énergie électrique".

C'est un dispositif d'isolement qui permet la transmission de niveaux électriques de manière non-galvanique.

La tension d'isolement entre les deux parties du circuit peut être de l'ordre de quelques milliers de volts (ex : 1500 V pour un TIL111, 2500 V pour un TIL114, 3550 V pour le 4N35).

Il est constitué d'une diode électroluminescente (LED) et d'un phototransistor intégrés dans le même boîtier.

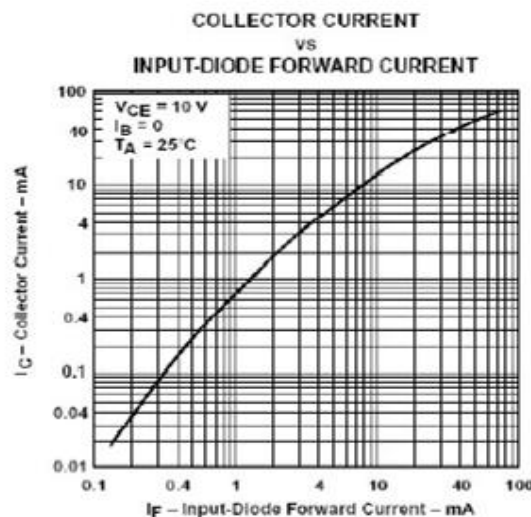


Facteur de couplage :

On définit un Rapport de Transfert en Courant (RTC) ou Current Transfer Ratio (CTR) :
$$CTR = \frac{I_c}{I_f}$$

Exemple d'utilisation de la courbe de transfert $I_c = f(I_f)$

Exemple d'utilisation de la courbe de transfert $I_c = f(I_f)$



Pour l'opto-coupleur 4N25, prenons par exemple $I_f = 10$ mA. On lit sur la courbe de transfert (attention aux échelles logarithmiques) pour $I_f = 10$ mA correspond $I_c = 12$ mA.

On en déduit donc le CTR du 4N35 : $CTR = \frac{I_c}{I_f} = \frac{12}{10} = 1,2$ soit 120%

Applications

Du fait de leurs caractéristiques électriques, les optocoupleurs trouvent leur principale utilisation dans des applications d'isolation. Outre leur excellente capacité de protection contre les surtensions, ils apportent une protection renforcée qui garantit que les opérateurs sont aussi à l'abri des risques posés par les surtensions.

Ces avantages leur donnent des applications évidentes dans le secteur de l'électronique numérique. Les systèmes électroniques numériques sont très sensibles aux surtensions. Grâce à une isolation appropriée, ils sont à l'abri des risques posés par la foudre, la variabilité de l'alimentation par le secteur, et d'autres risques susceptibles de causer des dégâts ou même d'exposer les opérateurs à des risques graves.

N'ayant pas besoin d'une alimentation CA, comme les transformateurs, les optocoupleurs sont la solution évidente pour isoler les circuits CC.

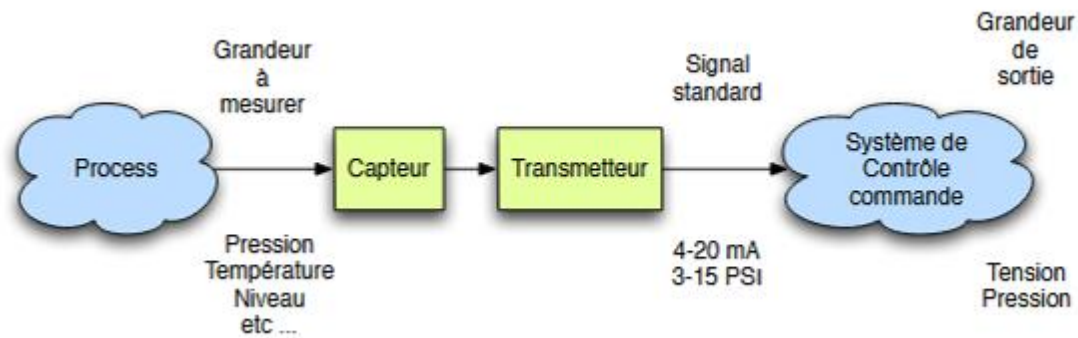
Mais toutes les applications d'isolation ne sont pas conçues pour offrir une protection contre des conditions électriques imprévues. Sur certains circuits, une section utilise une très haute tension et une autre section utilise uniquement des basses tensions. Dans des conditions aussi prévisibles, les propriétés d'isolation des optocoupleurs sont remarquablement utiles. Elles constituent des solutions très fiables pour garantir que les différentes tensions présentes sur un même circuit restent totalement séparées et que les composants ne pourront pas être endommagés, évitant aussi tous les risques d'accident aux opérateurs et aux équipements.

Jusqu'à récemment, la lenteur de ces composants ne permettait pas de les utiliser dans des applications numériques. Mais les récentes améliorations apportées à leur conception en font des outils parfaitement adaptés à de telles applications. Les optocoupleurs peuvent maintenant gérer des taux de transfert de données très élevés, offrant une excellente évolutivité matérielle, qui augmente encore leur utilisation et leur flexibilité opérationnelle.

Capteurs

	Page
Capteurs et transmetteurs.....	520
Détecteurs de proximité et de position.....	524
Capteurs de température.....	538
Mesures de pression.....	542
Mesures de niveau.....	546
Capteurs de débit.....	547
Autres capteurs.....	551

Capteurs et transmetteurs



Capteur

Un capteur est un organe de prélèvement d'information qui élabore à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (très souvent électrique). Cette grandeur représentative de la grandeur prélevée est utilisable à des fins de mesure ou de commande.

Capteur passif

Il s'agit généralement d'impédance dont l'un des paramètres déterminants est sensible à la grandeur mesurée. La variation d'impédance résulte :

- ✚ Soit d'une variation de dimension du capteur, c'est le principe de fonctionnement d'un grand nombre de capteurs de position, potentiomètre, inductance à noyaux mobile, condensateur à armature mobile
- ✚ Soit d'une déformation résultant de force ou de grandeur s'y ramenant, pression accélération (armature de condensateur soumise à une différence de pression, jauge d'extensiométrie liée à une structure déformable).
L'impédance d'un capteur passif et ses variations ne sont mesurables qu'en intégrant le capteur dans un circuit électrique, par ailleurs alimenté et qui est son conditionneur

Capteur actif

Fonctionnant en générateur, un capteur actif est généralement fondé dans son principe sur un effet physique qui assure la conversion en énergie électrique de la forme d'énergie propre à la grandeur physique à prélever, énergie thermique, mécanique ou de rayonnement. Les plus classiques sont

- Effet Hall : Un champ B crée dans le matériau un champ électrique E dans une direction perpendiculaire.
- Effet photo-électrique : La libération de charges électriques dans la matière sous l'influence d'un rayonnement lumineux ou plus généralement d'une onde électromagnétique dont la longueur d'onde est inférieure à un seuil caractéristique du matériau.
- Effet thermoélectrique : Un circuit formé de deux conducteurs de nature chimique différente, dont les jonctions sont à des températures T1 et T2, est le siège d'une force électromotrice e (T1,T2).
- Effet piézo-électrique : L'application d'une contrainte mécanique à certains matériaux dits piézo-électrique (le quartz par exemple) entraîne l'apparition d'une déformation et d'une même charge électrique de signe différent sur les faces opposées.

- Effet d'induction électromagnétique : La variation du flux d'induction magnétique dans un circuit électrique induit une tension électrique.
- Effet photovoltaïque : Des électrons et des trous sont libérés au voisinage d'une jonction PN illuminée, leur déplacement modifie la tension à ses bornes.

Nous présentons ci-après les principaux types de capteurs.

Transmetteur

Rôle du transmetteur

C'est un dispositif qui convertit le signal de sortie du capteur en un signal de mesure standard. Il fait le lien entre le capteur et le système de contrôle commande . Le couple capteur + transmetteur réalise la relation linéaire entre la grandeur mesurée et son signal de sortie.

Paramétrage d'un transmetteur

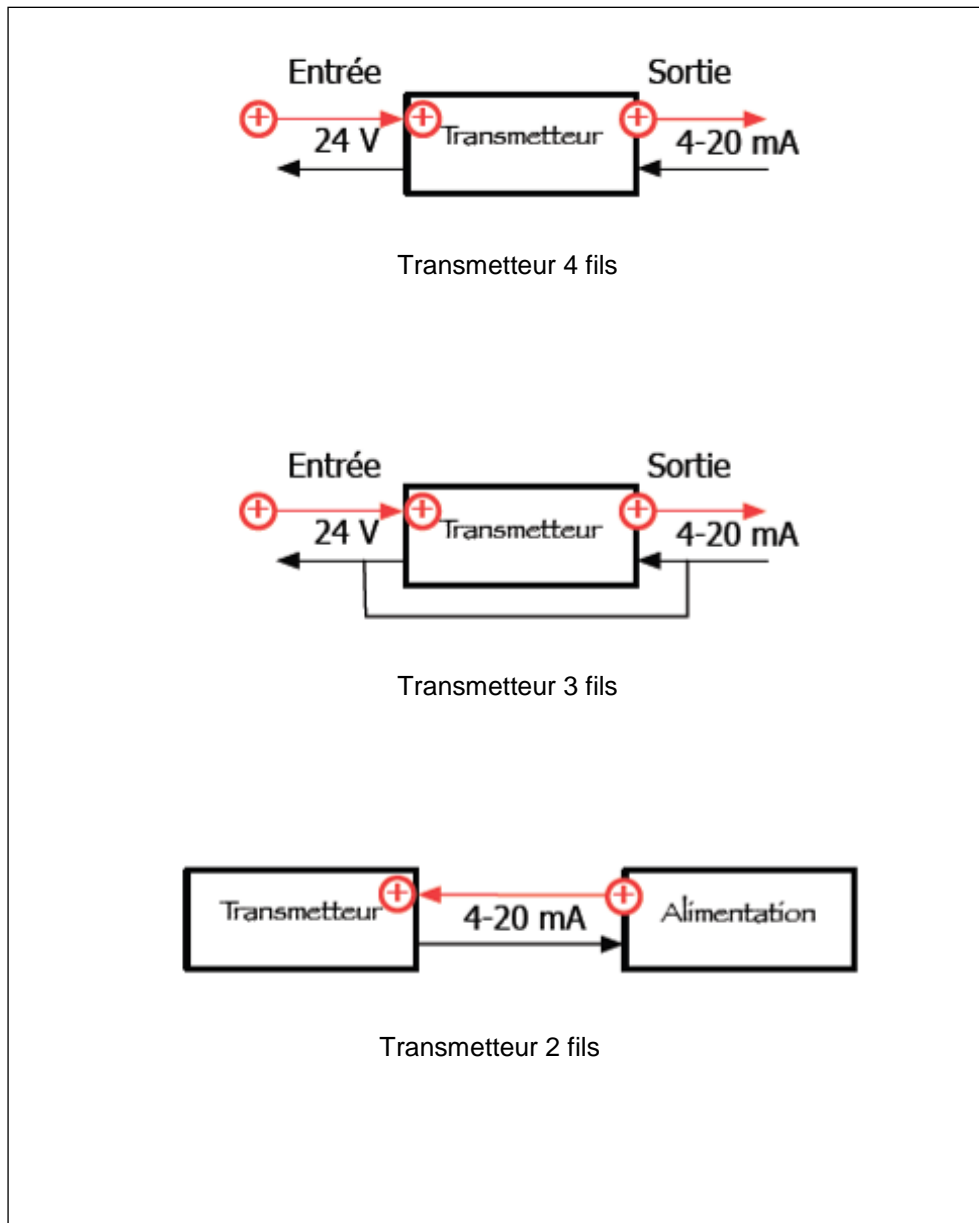
Le transmetteur possède en général au moins deux paramètres de réglage ; le décalage de zéro et l'étendue de mesure. Si le transmetteur possède un réglage analogique, pour paramétrer le transmetteur il suffit (respecter l'ordre) :

- De régler le zéro quand la grandeur mesurée est au minimum de l'étendue de mesure (réglage du 0 %) ;
- De régler le gain quand la grandeur mesurée est au maximum de l'étendue de mesure (réglage du 100 %).

Raccordement électrique

On peut séparer trois types de transmetteur :

- Les transmetteurs 4 fils (dits actifs) qui disposent d'une alimentation et qui fournissent le courant. Leur schéma de câblage est identique à celui des régulateurs.
- Les transmetteurs 3 fils sont des transmetteurs 4 fils, avec les entrées moins reliées.
- Les transmetteurs 2 fils (dits passifs) qui ne disposent pas d'une alimentation et qui contrôlent le courant fourni par une alimentation externe.



Définition

Les capteurs sont des composants de la chaîne d'acquisition dans une chaîne fonctionnelle. Les capteurs prélèvent une information sur le comportement de la partie opérative et la transforment en une information exploitable par la partie commande. Une information est une grandeur abstraite qui précise un événement particulier parmi un ensemble d'événements possibles. Pour pouvoir être traitée, cette information sera portée par un support physique (énergie) on parlera alors de signal. Les signaux sont généralement de nature électrique ou pneumatique.

Dans les systèmes automatisés séquentiels la partie commande traite des variables logiques ou numériques. L'information délivrée par un capteur pourra être logique (2 états), numérique (valeur discrète), analogique (dans ce cas il faudra adjoindre à la partie commande un module de conversion analogique numérique).

On peut caractériser les capteurs selon deux critères:

- en fonction de la grandeur mesurée; on parle alors de capteur de position, de température, de vitesse, de force, de pression, etc.;

- en fonction du caractère de l'information délivrée; on parle alors de capteurs logiques appelés aussi capteurs tout ou rien (TOR), de capteurs analogiques ou numériques.

- **Principales caractéristiques des capteurs :**

L'étendue de la mesure : c'est la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible sans risque de destruction pour le capteur.

La sensibilité : c'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.

La rapidité : c'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information prise en compte par la partie commande.

La précision : c'est la capacité de répétabilité d'une information position, d'une vitesse,...

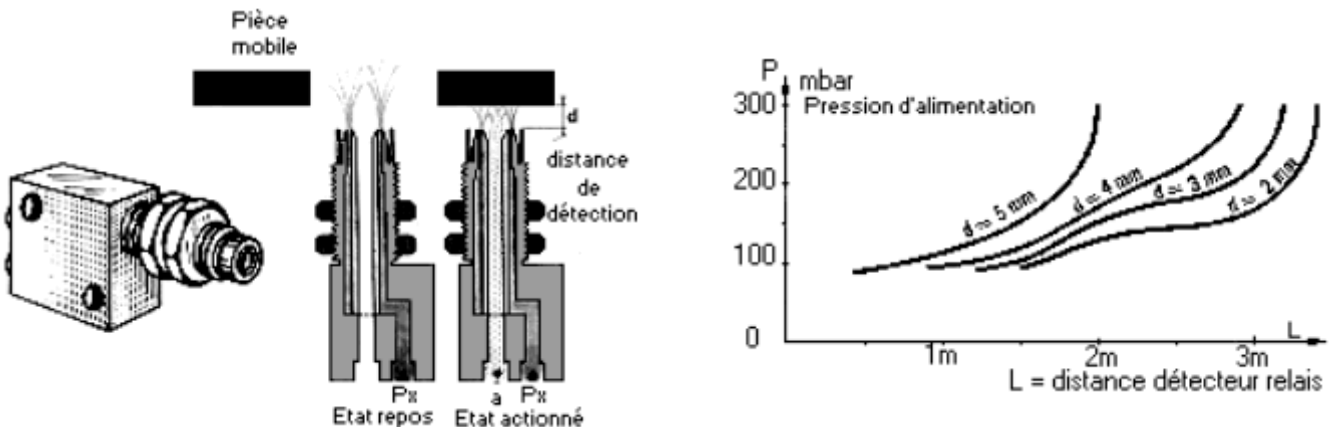
Détecteurs de proximité et de position

	Page
Détecteurs fluidiques de proximité.....	525
Capteurs à fuite.....	525
Capteurs capacitifs.....	526
Capteur inductif.....	527
Capteur optique.....	528
Capteurs de contact.....	531
Interrupteurs à lame souple.....	531
Détecteurs sur vérin pneumatique.....	532
Codeurs rotatifs.....	533
Jauge de contrainte.....	535
Capteurs de pression.....	535
Capteurs de vitesse angulaire.....	536

Détecteurs fluidiques de proximité

Ces capteurs sont des capteurs de proximité. Ils n'ont pas de contact direct avec l'objet à détecter. Pour pouvoir fonctionner correctement, ces capteurs doivent être couplés avec un relais amplificateur et un détendeur basse pression. Le détecteur est alimenté avec une pression de 100 à 300 mbar, en fonction de la distance de détection. Lorsqu'il n'y a pas de détection l'air s'échappe par l'orifice du capteur prévu à cet effet. Lorsque l'objet à détecter passe devant le capteur, un signal de faible pression (0.5 à 2 mbar) passe par le conduit central du capteur et va jusqu'au relais amplificateur qui amplifie le signal à la pression industrielle (3 à 8 bars).

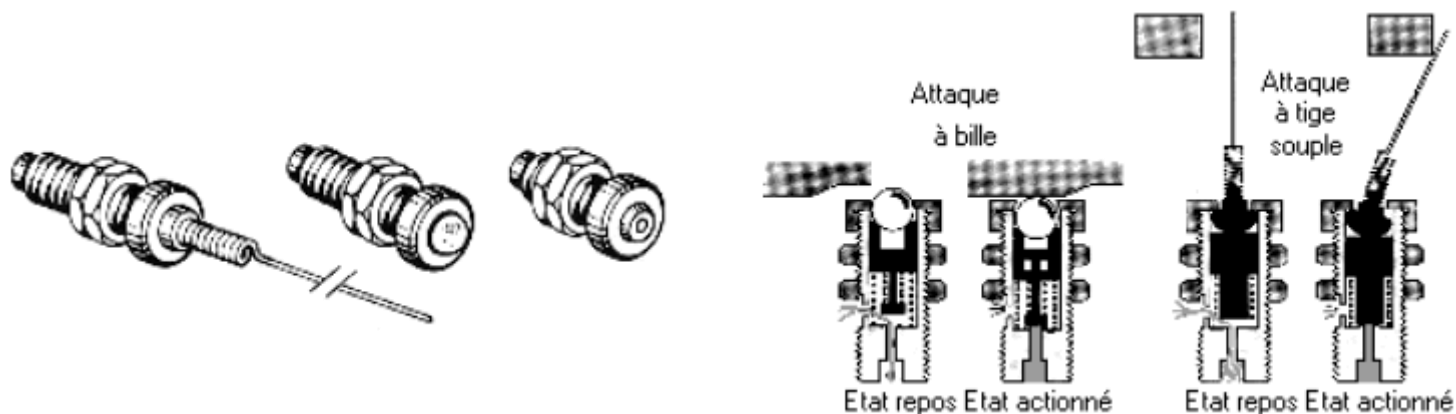
Exemple :



Capteurs à fuite

Les capteurs à fuite sont des capteurs de contact. Le contact avec l'objet à détecter peut se faire soit par une tige souple soit par une bille. Pour pouvoir fonctionner correctement, ces capteurs doivent être couplés avec un relais pour capteur à fuite. Le capteur est alimenté en pression par le relais. L'air peut alors s'échapper de ce capteur par un orifice prévu à cet effet. Lorsque la bille ou la lame souple est déplacée dans son logement, elle obture l'orifice d'évacuation d'air et le relais pour capteur à fuite se déclenche et émet un signal à la pression industrielle.

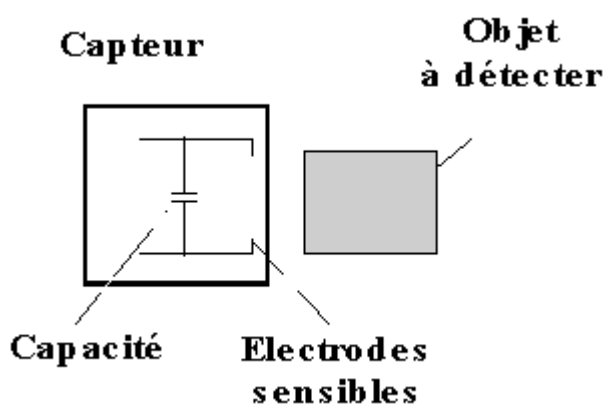
Exemple :



Capteur capacitif:

Les capteurs capacitifs sont des capteurs de proximité qui permettent de détecter des objets métalliques ou isolants. Lorsqu'un objet entre dans le champ de détection des électrodes sensibles du capteur, il provoque des oscillations en modifiant la capacité de couplage du condensateur.

Exemple :



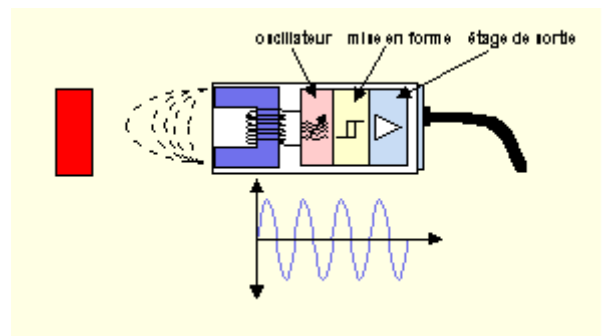
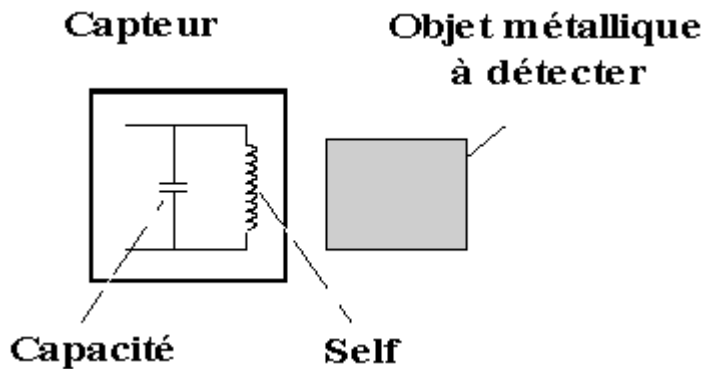
(doc Festo)

Capteur inductif

Les capteurs inductifs produisent à l'extrémité leur tête de détection un champ magnétique oscillant. Ce champ est généré par une self et une capacité montée en parallèle. Lorsqu'un objet métallique pénètre dans ce champ, il y a perturbation de ce champ puis atténuation du champ oscillant. Cette variation est exploitée par un amplificateur qui délivre un signal de sortie., le capteur commute.



(doc lamaintenance.fr)



Oscillateur ([Sitelec](#))

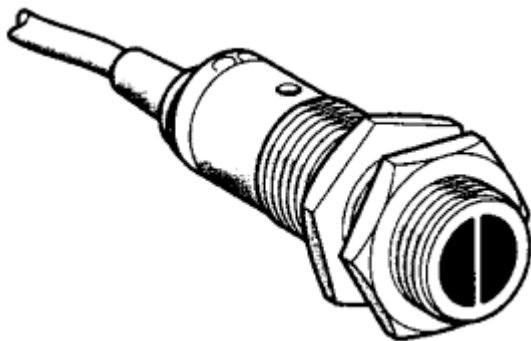
Maintenance

Les capteurs de proximité ont souvent une portée de 1,5 cm. Cela signifie qu'il faut veiller au bon placement pour exploiter au maximum cette portée ; il faut aussi veiller aux bons serrages (rondelles freins ou contre-écrous) pour éviter des déplacements. Si l'usure de pièces fait qu'à un moment il n'y ait plus de détection, on peut alors chercher des détecteurs avec une portée plus grande (2,5 cm).

Capteur optique

Un capteur photoélectrique est un capteur de proximité. Il se compose d'un émetteur de lumière associé à un récepteur. La détection d'un objet se fait par coupure ou variation d'un faisceau lumineux. Le signal est amplifié pour être exploité par la partie commande.

Exemple :



Détecteur photoélectrique cylindrique
(doc Télémécanique)



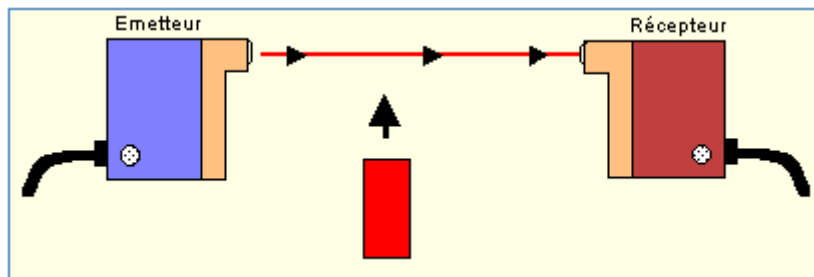
Détecteur photoélectrique

Les différents types de détection :

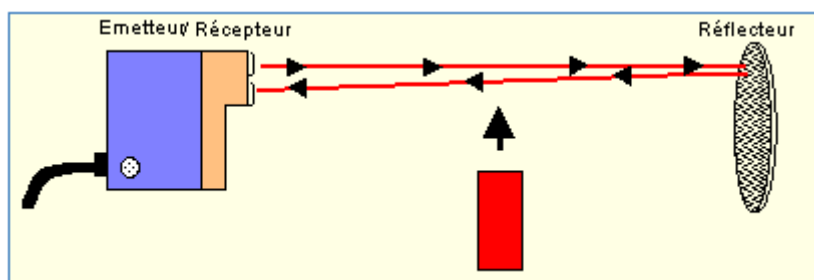
Il existe trois grands types de détection, la détection par barrage où l'objet à détecter coupe un faisceau lumineux situé entre l'émetteur et le récepteur, la détection par système réflex où un faisceau réfléchi est coupé par l'objet à détecter et le système de proximité où le faisceau émis par le récepteur est renvoyé par la pièce à détecter sur le récepteur situé sur le même capteur.



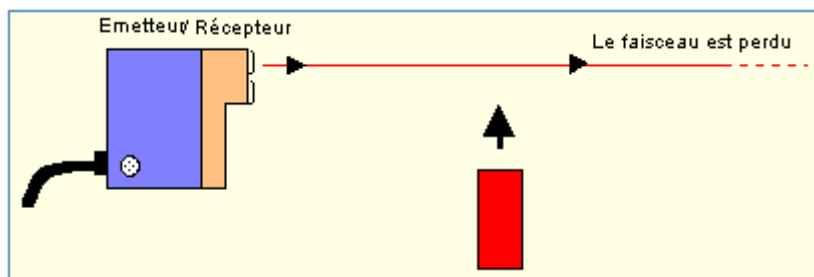
Système barrage ([Sitelec](#))



Système reflex ([Sitelec](#))



Système de proximité (réflexion directe) ([Sitelec](#))



Il est fréquent de constater des pannes dues aux cellules ; c'est pourquoi des précautions simples et basiques sont à prendre pour les éviter

→ Positionnement d'une cellule avec réflecteur

- Montez un cache-réflecteur avec une découpe circulaire en son centre d'un diamètre égal à environ :
 - 1/3 du diamètre pour les réflecteurs circulaires ;
 - 1/3 de la largeur pour les réflecteurs rectangulaires.



- Vérifiez si la cellule est activée ou désactivée (suivant le type de cellule)
- Si non, réglez la position de la cellule et/ou la position du réflecteur.

→ Positionnement d'une cellule avec récepteur

- Réglez la position de la cellule émettrice et/ou de la cellule réceptrice pour que le récepteur soit activé.

→ Nettoyage

- Ce type de capteur doit être régulièrement nettoyé : absence de dépôts ou de projections de saletés solides ou liquides sur la cellule et sur son réflecteur ou récepteur.

→ Finition

- Il est **IMPERATIF** de fixer la cellule et son réflecteur avec des boulons bloqués : écrou bloquant ou rondelle frein ou goutte de loctite.

→ Etat du câble et des connexions

- Le câble ne doit pas être trop tendu, ni pendre.
- Si le câble sort d'un tube métallique, ce dernier doit être muni d'un embout de protection en matière plastique.
- Vérifiez qu'il n'y a pas de risque d'arrachement des câbles.

→ Boite de raccordement

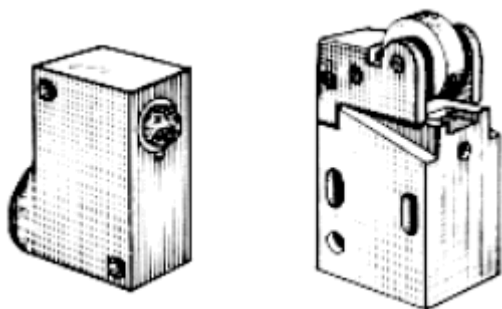
- Les entrées et sorties de câble de la boîte de raccordement doivent passer par les côtés latéraux et inférieur.

→ Etat mécanique du réflecteur

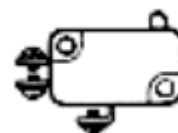
- Si fendu, incomplet, changez le réflecteur.

Capteurs de contact

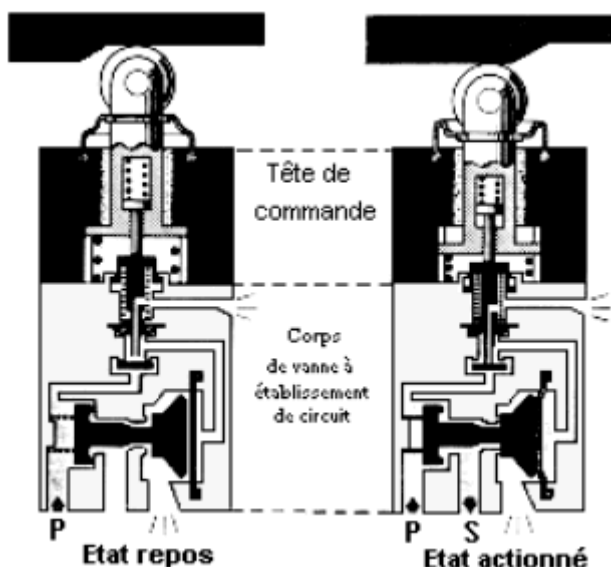
Les capteurs de position sont des capteurs de contact. Ils peuvent être équipé d'un galet, d'une tige souple, d'une bille. L'information donnée par ce type de capteur est de type tout ou rien et peut être électrique ou pneumatique.



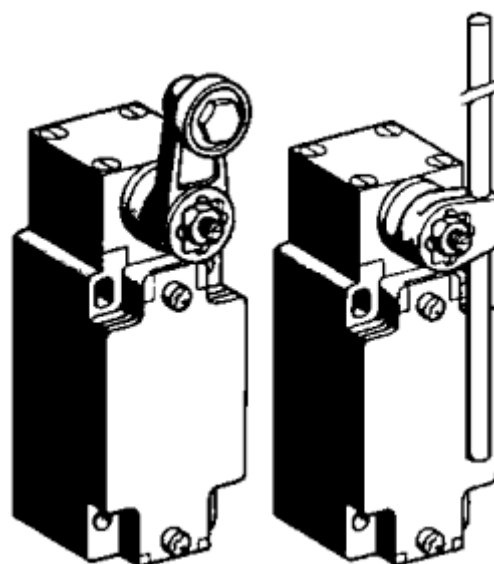
Capteur fin de course et à galet
(doc Télémécanique)



Micro-rupteur électrique
(doc Télémécanique)

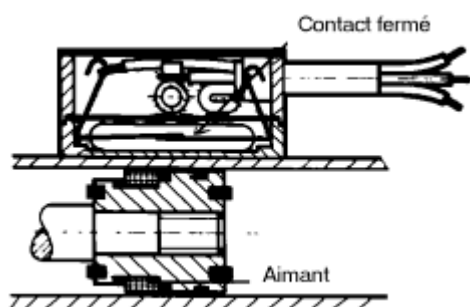


Capteur à galet
(doc Télémécanique)



Capteurs à levier et à tige souple
(doc Télémécanique)

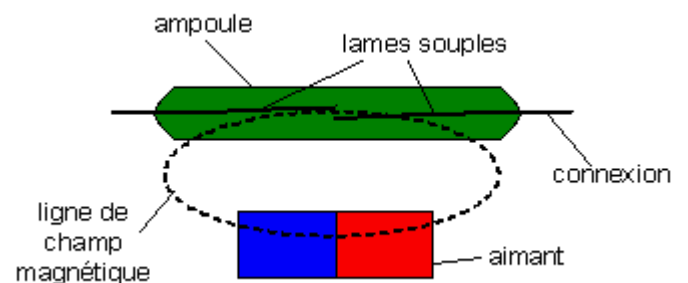
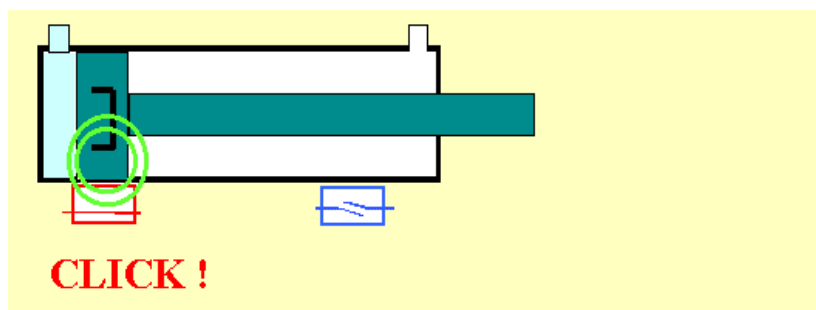
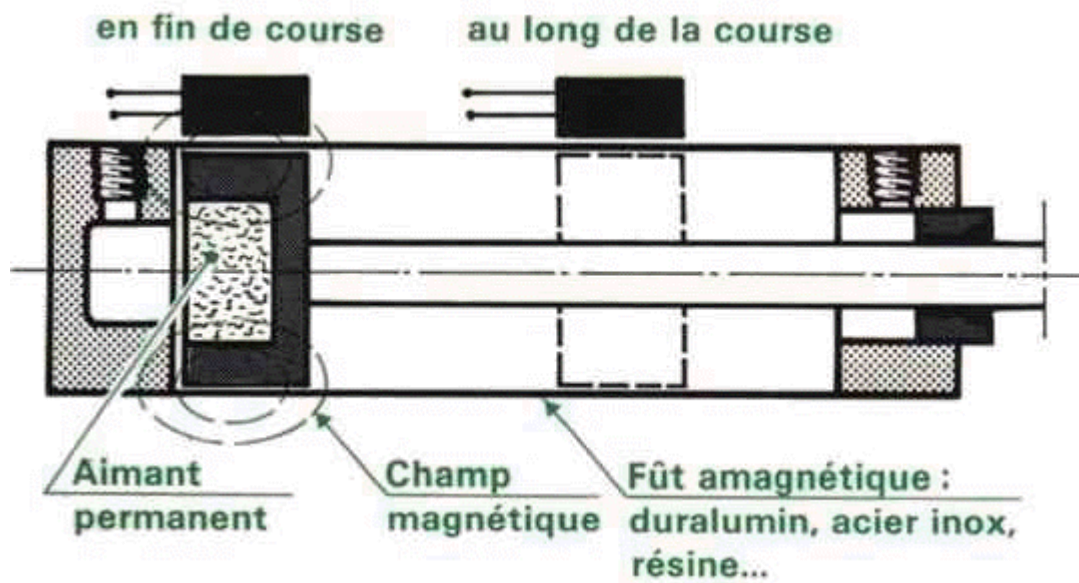
Interrupteurs à lame souple



Un capteur ILS est un capteur de proximité composé d'une lame souple sensible à la présence d'un champ magnétique mobile. Lorsque le champ se trouve sous la lame, il ferme le contact du circuit provoquant la commutation du capteur. Ce capteur se monte directement sur un vérin et permet de détecter des positions autres que les positions extrêmes. Pour utiliser

ce type de capteur, il est nécessaire d'utiliser un vérin comportant un aimant monté sur le piston.

Détecteurs sur vérin pneumatique



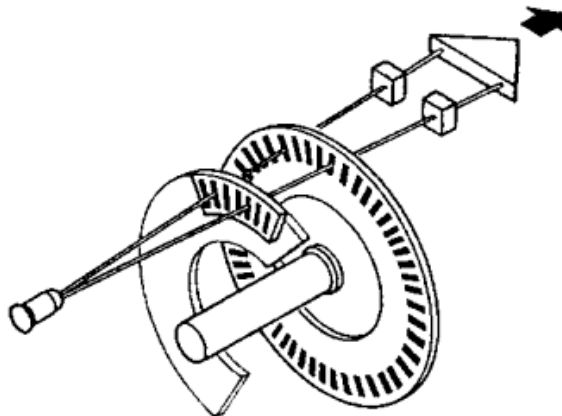
doc www.teaser.fr

Codeurs rotatifs

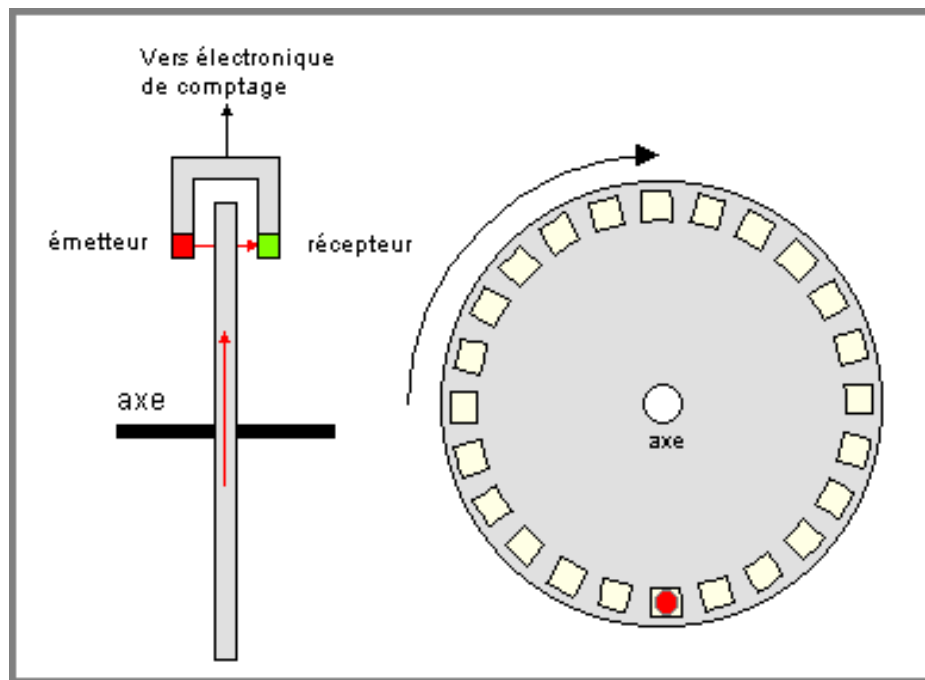


Les codeurs rotatifs sont des capteurs de position angulaire. Le disque du codeur est solidaire de l'arbre tournant du système à contrôler. Il existe deux types de codeurs rotatifs, les codeurs incrémentaux et les codeurs absolus.

Codeur rotatif incrémental

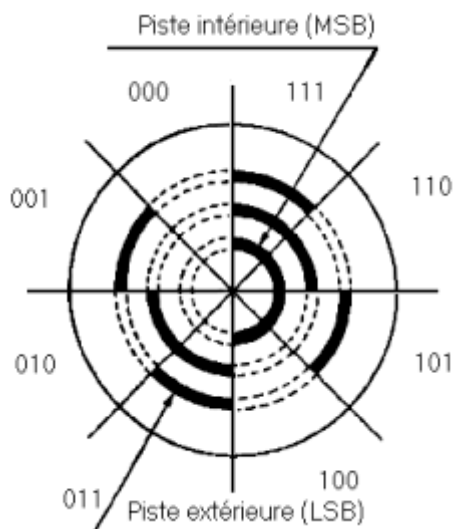


La périphérie du disque du codeur est divisée en "x" fentes régulièrement réparties. Un faisceau lumineux se trouve derrière ces fentes dirigé vers une diode photosensible. Chaque fois que le faisceau est coupé, le capteur envoie un signal qui permet de connaître la variation de position de l'arbre. Pour connaître le sens de rotation du codeur, on utilise un deuxième faisceau lumineux qui sera décalé par rapport au premier. Le premier faisceau qui enverra son signal indiquera aussi le sens de rotation du codeur.



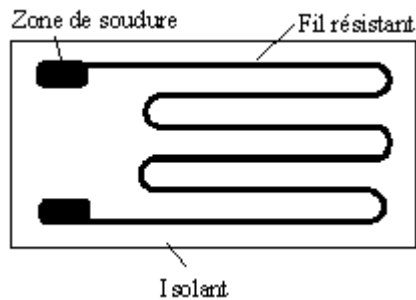
(Sitelec)

Codeur rotatif absolu



Cette fois ci, le disque possède un grand nombre de pistes et chaque piste est munie d'une diode émettrice d'un faisceau lumineux et d'une diode photosensible. La piste centrale est la piste principale, elle détermine dans quel demi-tour la lecture est effectuée. La piste suivante détermine dans quel quart de tour on se situe, la suivante le huitième de tour etc. Plus il y aura de pistes plus la lecture angulaire sera précise. Il existe des codeurs absolus simple tour qui permettent de connaître une position sur un tour et les codeurs absolus multitours qui permettent de connaître en plus le nombre de tours effectués. exemple [ici](#)

Jauge de contrainte



Principe :

La résistance ohmique d'un fil conducteur est donnée par la relation suivante : $R = \rho \cdot l / s$

ρ : résistivité du métal en Ω / m ,

l : longueur du fil en m,

s : section du fil en m^2 .

Si on tire sur ce fil, il va s'allonger (l augmente) et sa section va se réduire, sa résistance va donc augmenter (l/s augmente). L'épaisseur du fil est d'environ $5\mu m$, la plaque isolante de l'ordre du double.

Capteurs de pression :

Principe :

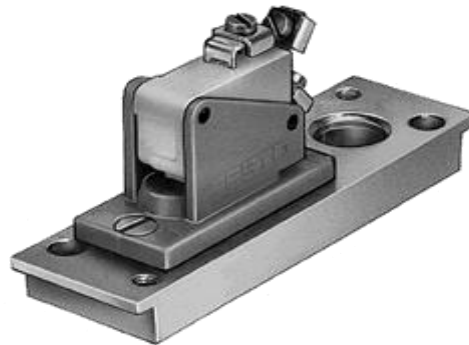
Dans un capteur de pression, on mesure la force qui s'exerce sur la surface constante et connue S d'un corps d'épreuve.

Pression (Pascal) $P = F \text{ force (Newton)} / S \text{ Surface (m}^2\text{)}$

Il faut éviter d'exprimer la pression en bars (sauf pour les pressions hydrauliques).

$1 \text{ bar} = 1 \text{ daN/cm}^2 = 0.1 \text{ Mpa}$

$1 \text{ Mpa} = 1 \text{ Méga Pascal} = 10^6 \text{ Pa}$
 $= 10^6 \text{ N/m}^2$



Pressostat / Vacuostat

Les capteurs de vitesse angulaire :

Certaines machines automatiques, telles que les machines à commande numérique, exigent une mesure précise de la vitesse. La mesure de la vitesse linéaire peut se ramener à celle de la mesure de la vitesse angulaire.

Les générateurs analogiques :

- à courant continu avec collecteur à noyau de fer, ou à bobine mobile.
- à courant continu sans collecteur.
- à courant alternatif.

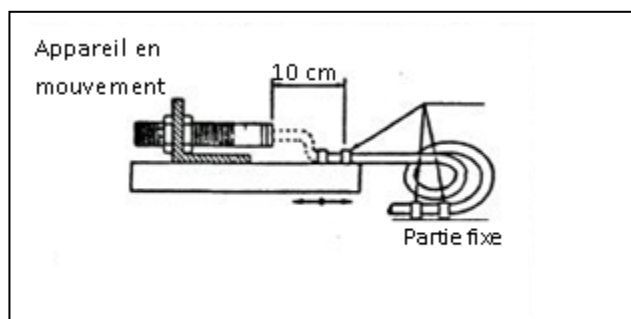
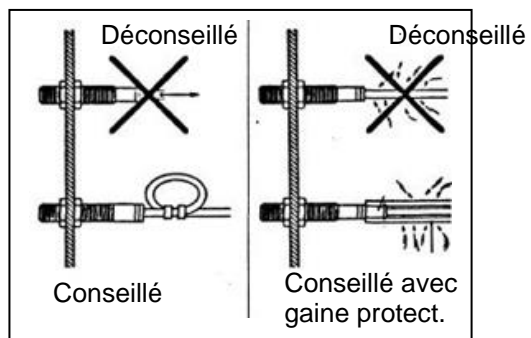
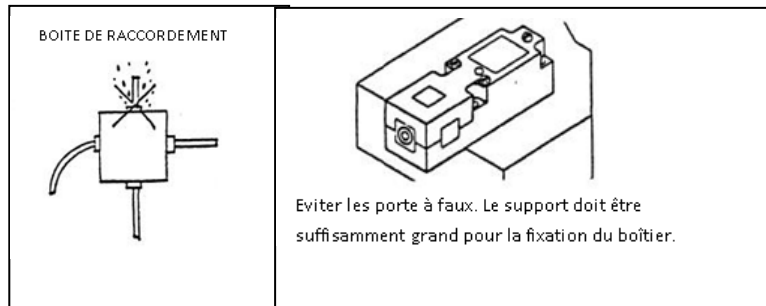
Principe :

Les générateurs analogiques se comportent comme une génératrice à courant continu, ils délivrent une tension de sortie proportionnelle à la vitesse d'entraînement du rotor. La mesure précise de cette tension permet de mesurer indirectement la vitesse angulaire. Ce capteur doit être monté directement en bout d'arbre dont on veut contrôler la vitesse.

Maintenance

Contrôle éventuel du fonctionnement

- Effectuez le (ou les) mouvement.
- Vérifiez le changement d'état du détecteur en fonction des actions demandées.
- Vérifiez son état dans l'automate.



Capteurs de température

Température :

- Agit sur les propriétés physiques de la matière
 - Pression
 - Résistivité électrique
 - Changement de phase
 - ...
- Mesure importante en recherche et industrie
- Liée à l'énergie cinétique moyenne des particules (agitation thermique)

Méthodes de mesure :

- Méthodes optiques (rayonnement spectral)
- Méthodes mécaniques (dilatation d'un solide, d'un liquide ou d'un gaz)
- Méthodes électriques (résistivité, fém à la jonction de matériaux de natures différentes, fréquence de résonance d'un quartz)

Echelles de température (grandeur intensive)

Kelvin : défini à partir du point triple de l'eau, qui vaut 273,16 K «Le kelvin est la fraction 1/273,16 de la température thermodynamique du point triple de l'eau» 0 K est le zéro absolu (aucune agitation thermique)

Celsius : $T^{\circ}\text{C} = T\text{K} - 273,15$, le zéro absolu vaut donc $-273,15^{\circ}\text{C}$

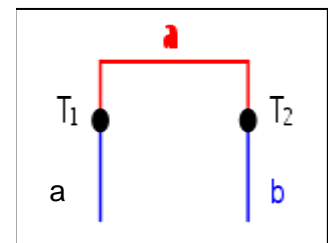
Fahrenheit : L'échelle fahrenheit attribue une plage de 180°F entre la température de solidification de l'eau et sa température d'ébullition (solidification de l'eau à 32°F et point d'ébullition à 212°F). Ainsi : $T^{\circ}\text{F} = 9/5 T^{\circ}\text{C} + 32$ ou $T^{\circ}\text{C} = 5/9(T^{\circ}\text{F} - 32)$

Thermocouples

Ce sont des couples de matériaux dont l'effet Seebeck est utilisé pour la mesure de température. Leur principal défaut est leur imprécision : il est difficile d'obtenir une précision inférieure à $0,1^{\circ}\text{C}$ - $0,2^{\circ}\text{C}$.

Explication :

Les deux métaux a et b, de natures différentes, sont reliés par deux jonctions (formant ainsi un thermocouple) aux températures T_1 et T_2 . Par effet Seebeck, le thermocouple génère une différence de potentiel qui dépend de la différence de température entre les jonctions, $T_1 - T_2$. Les thermocouples ne mesurent pas une température, mais une différence de température.



Pour mesurer une température inconnue, l'une des deux jonctions doit être maintenue à une température connue, par exemple celle de la glace fondante (0°C).

La jonction des deux métaux est appelée « soudure chaude » ; c'est celle qui sera exposée à la T° à mesurer.

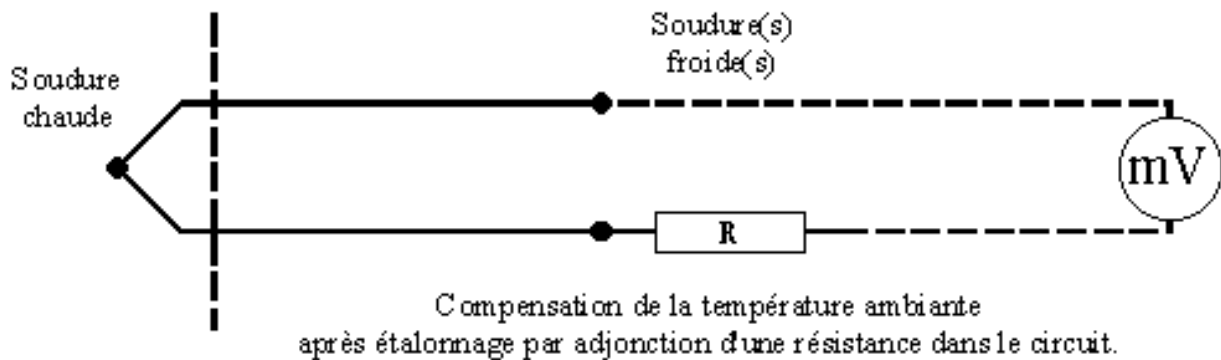
L'autre, appelée « soudure froide », n'est autre que la connexion de la sonde thermocouple avec le module de traitement ou un bornier d'armoire intermédiaire ; on placera cette soudure froide dans un milieu calorifugé et surtout équipé d'une régulation de température. La T° étant connue, on corrigera le signal de sortie du module de traitement des signaux

Exemple :

- T1 la soudure chaude mesure 90 °C
- T2 la soudure froide est exposée à 20 °C :
 - Le signal non corrigé (non prise en compte de la soudure froide) sera de 70 °C
 - Le signal corrigé est de 90 °C (on ajoute la température de la soudure froide au 70 °C calculé précédemment).

Pour la soudure froide, l'une des 2 techniques suivantes est souvent utilisée :

- ✓ Emploi du point de fusion de la glace, 0 °C à pression atmosphérique normale. Ceci est de l'eau pure avec de la glace d'eau pure également, dans une bouteille isotherme, dont l'ouverture est isolée.
- ✓ La deuxième solution est de mettre les jonctions cuivre/thermocouple dans un boîtier isotherme, auquel on aura mis une sonde de platine qui pourra nous dire la température exacte de l'ensemble (prise par mesure 4 fils par voltmètre et table de conversion).



Type	Métaux utilisés (+) / (-) Couleurs fils	Plages de temp (°C)	Adaptés à : Inadaptés à
E	Chromel (Ni-Cr) / constantan (Ni-Cu) Violet / blanc	-270 à 1 100	Milieux oxydants et inert Vide, milieux réducteurs
J	Fer / Constantan Noir / Blanc	0 à 750	Milieux réducteurs, inert vide Basse température
K	Chromel / Alumel (Ni-Al) Vert / Blanc	-250 à 1 250	Milieux oxydants et inert Vide, milieux réducteurs
N	Nicrosil (Ni-Cr-Si) / Nisil (Ni-Si) Mauve / blanc	-270 à 1 300	Milieux oxydants à haute température et dans le vi
T	Cu / Cu-Ni Marron / blanc	- 250 à 400	Bonne précision à basse température Limité en hautes températures

Avantages :

- Larges gammes de température : de 0 à 1 600 K
- Robustes : résistent aux chocs et aux vibrations
- Réponse rapide (ms à qq s)
- Fiables et précis
- Reproductibles

Inconvénients :

- Température de référence nécessaire
- Réponse non linéaire
- Faible sensibilité pour certains types de thermocouples

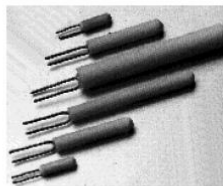
Capteurs à résistance métallique

$R=R_0(1+aT)$ avec $a=3.85 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ pour le platine (petites variations de $T > 0^\circ\text{C}$ car en réalité $R(T) = R_0(1 + AT + BT^2 + C(T-100)T^3)$)

Le type le plus courant, appelé «**Pt100**», a une résistance de 100Ω à 0°C et 138,5Ω à 100°C (variation quasi linéaire entre -200 et 800°C)

Bonne stabilité chimique

Temps de réponse > thermocouple

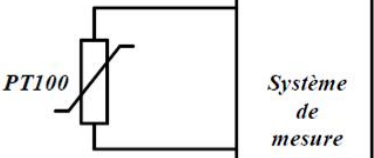
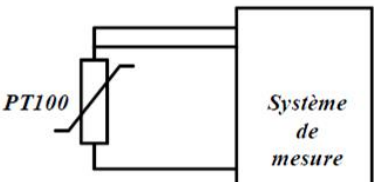
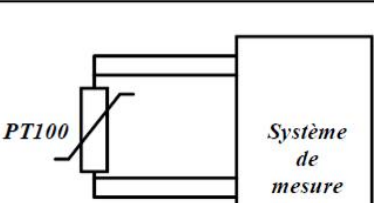


La précision de la mesure dépend de la sonde mais aussi de l'électronique de détection et du couplage mécanique et thermique entre la sonde et le milieu étudié qui peut entraîner une erreur de plusieurs degrés

Caractéristiques techniques

Norme	EN 60 751		
Coefficient de température	$\alpha = 3,850 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ (entre 0 et 100°C)		
Plage de température	-70 à $+400^\circ\text{C}$		
Tolérance	Plage de température valable pour la classe 1/3 DIN B : -50 à $+200^\circ\text{C}$ Plage de température valable pour la classe A : -70 à $+300^\circ\text{C}$ Plage de température valable pour la classe B : -70 à $+400^\circ\text{C}$		
Courant de mesure/Courant maximal	Pt 100	recommandé 1,0 mA	maximal 7 mA
	Pt 500	recommandé 0,7 mA	maximal 3 mA
	Pt 1000	recommandé 0,1 mA	maximal 1 mA
	Pt 2000	recommandé 0,1 mA	maximal 1 mA
	Pt 5000	recommandé 0,1 mA	maximal 1 mA

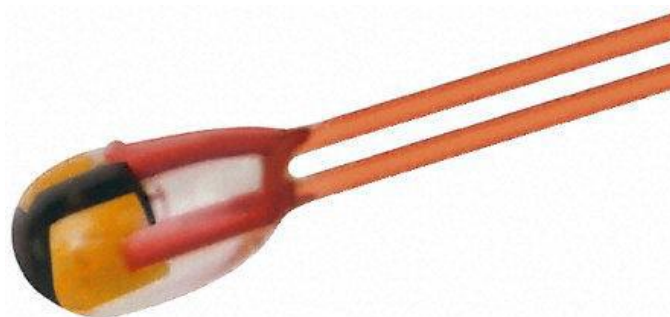
Pour une grande longueur, les résistances des fils de connections de la sonde au système de mesure ne sont plus négligeables. Il faut donc tenir compte de cette erreur en employant des dispositifs de câblages particuliers. 2fils,

2fils,		Il n'a pas de compensation de la résistance des fils. Utilisation pour de faible longueur
3 fils,		Le système de mesure possède une compensation interne. Utilisation pour de moyenne longueur
4 fils.		Le système de mesure possède une compensation interne encore plus précise. Utilisation pour de grande longueur

Thermistances

Mélanges d'oxydes métalliques. Leur résistance décroît avec la t° selon une loi du type : $R(T) = R_0 \exp (B (1/T - 1/T_0))$ avec T en K. (et B entre 3000 et 5000K).

Les thermistances sont généralement utilisables jusqu'à environ 300°C. Mais du fait de la forme de leur réponse, elle ne sont utilisées que sur une faible plage de température (100°C) où elles sont très sensibles (sensibilité environ 10 fois supérieure aux sondes métalliques).



Mesures de pression

	Page
Pressostats	543
Manomètre	543
Baromètre	544
Capteurs à membrane	545

Pressostat

- Dispositif détectant le dépassement d'une valeur déterminée de la pression d'un fluide.
- Systèmes de contrôle ou régulation (démarrage d'un compresseur d'air ou d'une pompe)
- Enclenchement d'une alarme lorsque la pression dépasse un seuil.

Manomètre

Un manomètre est un instrument de mesure de la pression d'un fluide. Il est à noter que celle-ci ne peut être mesurée que par rapport à une pression de référence, en général la pression atmosphérique.

Il existe de nombreuses variantes de manomètres.



Les manomètres hydrostatiques

Dans les stations de gonflage, on trouve généralement des manomètres hydrostatiques. La pression de l'air dans le pneu comprime un ressort de façon plus ou moins importante.

Les manomètres à colonne de liquide se rangent également dans cette catégorie. Un tube en U est à moitié rempli d'un liquide. L'une de ses extrémités est raccordée à la pression de référence, la pression atmosphérique ou le vide, et l'autre, à la pression à mesurer. La formule de nivellement barométrique donne le résultat :

$$P = P_0 + \rho \times g \times h$$

où P représente la pression à mesurer, P_0 la pression de référence, ρ la densité du liquide manométrique, g l'accélération de la pesanteur et h la différence de hauteur du liquide

Les manomètres anéroïdes

Les manomètres dits anéroïdes comptent sur l'élasticité d'une pièce mécanique pour mesurer la pression.

Les manomètres à tube de Bourdon, par exemple, reposent sur la déformation d'un tube cintré. Lorsqu'un tel tube est pincé, une pression interne lui permet de retrouver sa section normale. Le déplacement de la partie finale du tube est communiqué à l'aiguille qui indique la pression sur un cadran.

Baromètre

Le **baromètre** est un instrument de mesure, utilisé en physique et en météorologie, qui sert à mesurer la pression atmosphérique. Il peut, de façon secondaire, servir d'altimètre pour déterminer, de manière approximative, l'altitude.

On distingue principalement :

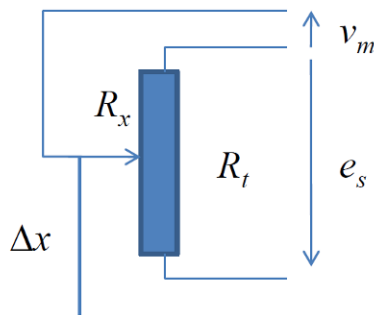
- le baromètre à mercure : la pression atmosphérique est équilibrée par une colonne de mercure surmontée d'un espace clos et vide. Il a été inventé par Evangelista Torricelli en 1643 ;
- les baromètres à gaz : ils utilisent la variation de volume d'un certain volume de gaz sous l'effet des variations de la pression atmosphérique ;
- le baromètre anéroïde : la pression atmosphérique s'exerce sur une enceinte métallique, hermétiquement close et vide d'air. Celle-ci se déforme de façon élastique et un système mécanique permet d'amplifier les mouvements qui résultent des variations de pression pour les rendre visibles sur un cadran ou les enregistrer sur une bande de papier millimétré ;
- les baromètres électroniques : ils traduisent en valeurs numériques les déformations d'une capsule à vide, évitant l'utilisation des pièces mobiles d'un baromètre anéroïde classique.

Capteur à membrane

Le corps d'épreuve d'un capteur de pression est l'élément assurant la transformation de la pression en déplacement, déformation ou force (membrane). Les différents capteurs à membrane sont :

- Les capteurs potentiométriques

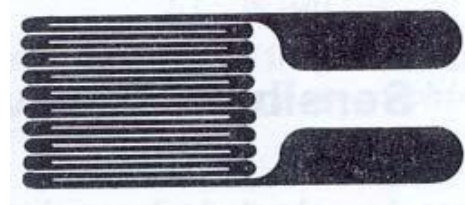
Le curseur d'un potentiomètre est lié à une membrane. La déformation de la membrane entraîne un déplacement du curseur.



$$v_m = e_s \frac{R_x}{R_t}$$

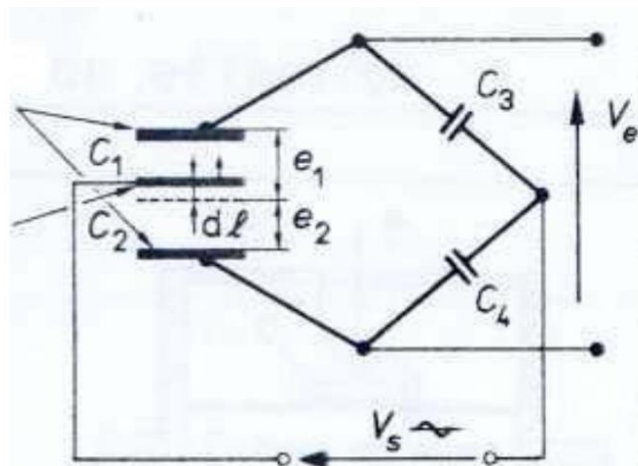
- Les capteurs à jauges extensométriques,

Les jauges sont des éléments résistifs collés sur le corps d'épreuve assurant la conversion directe d'une déformation ε de la structure, en variation de résistance électrique ΔR



- Les capteurs capacitifs,

Armatures fixes
Armature mobile



Capteur capacitif associé à un pont de Wheastone.
Quand $dl = 0$, le pont est équilibré et $V_s = 0$

- Les capteurs à fibres optiques,
- Les capteurs à variation d'inductance

Mesure de niveau

Mesure de remplissage de réservoirs ou de silos. Technologies similaires aux capteurs de pression ou de position.

Capteur de niveau à palettes

- Niveau de solides pulvérulents ou de liquides de forte densité
- Couple d'une palette rotative.



Capteur de niveau à lames vibrantes

- Tout type de solide ou liquide
- Variation de la fréquence d'oscillation d'un diapason.

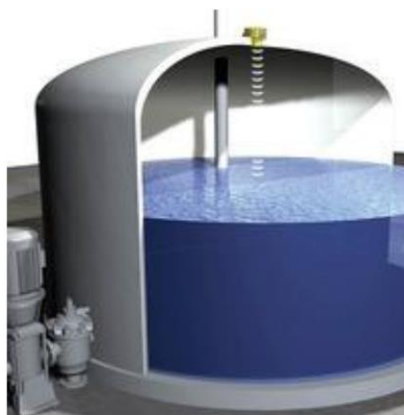


Capteurs de niveau capacitifs

- Principalement pour les produits non conducteurs (pétrole, huile ...)
- Variation de la capacité électrique (par l'intermédiaire de la constante diélectrique)

Capteurs de niveau à ultrason

- Pour tous produits solides, liquides ou pâteux à toutes températures et jusqu'à des pressions de 40 bars
- Emission et réception d'une onde ultrasonore qui se réfléchit sur la surface du produit



Capteurs de débit

	Page
Débimètre à flotteur.....	548
Débimètre à turbine.....	548
Débimètre à ultrasons.....	549
Débimètre à effet Doppler.....	549
Débimètre à pression différentielle.....	550

Débitmètre à flotteur

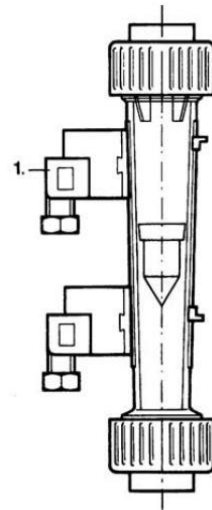
Autres noms : rotamètre ou débitmètre à billes

Ils permettent une mesure simple visuelle d'un débit gazeux, liquide ou vapeur.

Constitués d'un tube conique et d'un flotteur, les débitmètres sont montés verticalement sur la tuyauterie et ne requièrent pas d'électricité.

Gamme de débits : 10-4 à 200 m³/h

Pour un débitmètre donné, les limites de l'étendue de mesure sont dans un rapport 10.



Equilibre du flotteur sous l'action

- De la force de poussée d'Archimède
- De la traînée
- De son poids

$$\rho g V + C_x \frac{\rho S U^2}{2} = \rho_0 g V \quad (1)$$

V : volume du flotteur de masse volumique ρ_0

U : vitesse du fluide de masse volumique ρ

C_x : coefficient de traînée et S la surface projetée sur un plan perpendiculaire à la vitesse (πr^2)

On déduit la vitesse du fluide à la position d'équilibre à partir de l'équation (1)

Le diamètre du conduit varie linéairement avec la hauteur z : $D = D_0 + az$

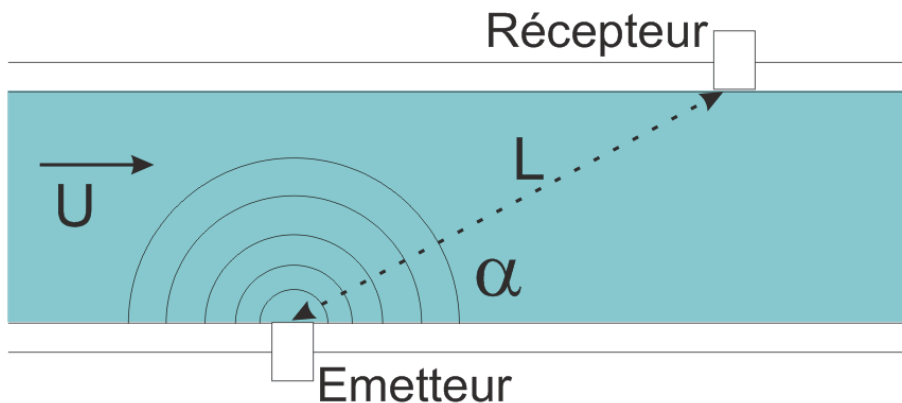
$$Q = \sqrt{\pi} a z \sqrt{\frac{2gV}{C_x} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)} = Kz \quad (2)$$

Débitmètre à turbine



Principe : rotation d'une micro-turbine Pelton. Adapté aux liquides peu visqueux exempts de bulles ou de matière en suspension : eau, alcool, carburants, acides, gaz liquéfiés ... → Mesure de la vitesse de rotation d'une turbine

Débitmètre à ultrasons



Principe : mesure du temps de propagation d'une onde ultrasonore dans le fluide entre émetteur et récepteur (éléments piézoélectriques).

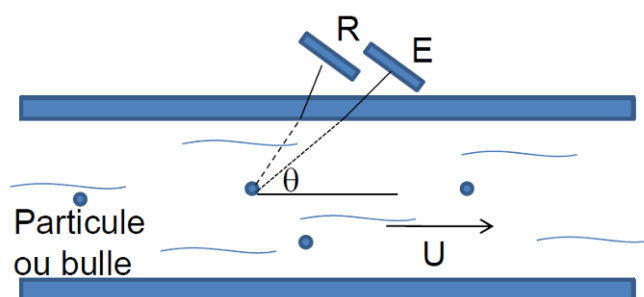
Pour fluide sans particule (pour éviter la dispersion des ondes).

Généralement utilisé pour les diamètres importants (jusque 6m) Gamme de débits : 0,1 à 105 m³/h avec une précision de 1% environ Intérêt : caractère non intrusif de la méthode de mesure (pas de PdC, insensible à l'agressivité du fluide, remplacement facile) c

$$t = \frac{L}{c + U \cos \alpha}$$

C : vitesse du son dans le fluide

Débitmètre à effet Doppler

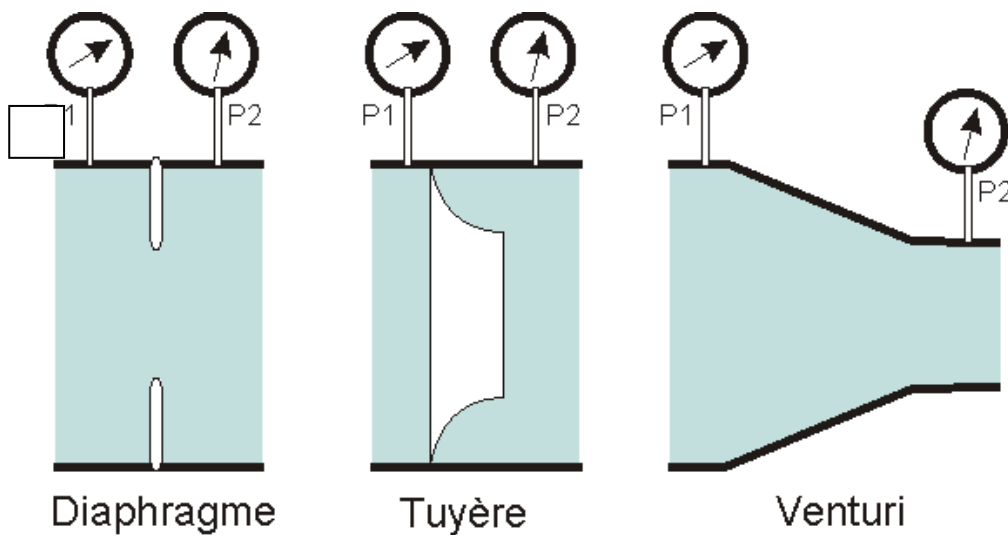


Principe : modification de la fréquence d'une onde en fonction de sa vitesse de déplacement. Le glissement de fréquence entre l'émetteur et le récepteur permet de remonter au débit.

Nécessite la présence de gaz (bulles) ou de solides en suspension pour véhiculer l'onde de l'émetteur au récepteur.

Utilisé pour les diamètres importants (plusieurs mètres).

Débimètre à pression différentielle



Principe : Un resserrement de la conduite ou un changement de direction créent entre amont et aval une différence de pression Δp liée au débit par une relation de la forme :

$$Q_v = k \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$

Avec ρ la masse volumique du fluide, et k un coefficient fonction de l'organe déprimogène.

Autres capteurs

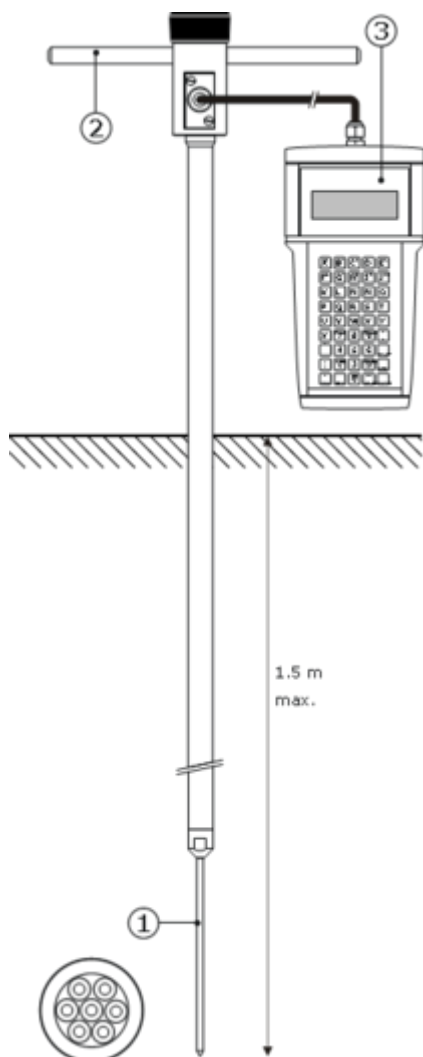
	Page
Conductivimètres.....	552
Jauges à rayons X.....	553
Laser.....	554

Conductivimètre

Un **conductimètre**, ou **conductivimètre**, est un appareil qui permet de mesurer une propriété de conductivité.

Conductivimètre électrique

Il s'agit de la mesure de la conductivité électrique d'une solution. Cet appareil est composé d'un générateur basse fréquence (courant alternatif), d'un ampèremètre et d'un voltmètre.



- Système de mesure de conductivité thermique dans les sols

La mesure de conductivité électrique peut aussi permettre de mesurer de l'humidité d'un matériau (plâtre, bois, cuir, etc.) ou de végétaux (meule de foin, grains, houblon, etc.). L'appareil spécifique est alors appelé [hygromètre](#).

Jauge à rayons X

Mesure totale de l'épaisseur de film ou de feuille métallique.

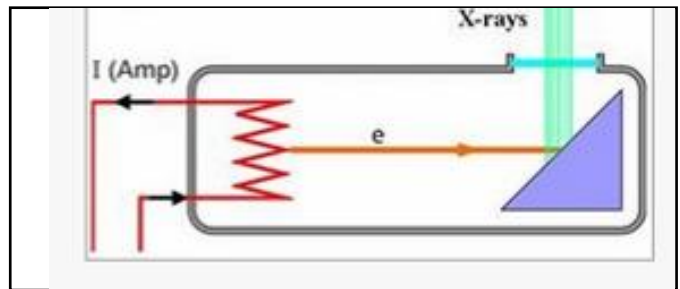
Mesure de l'épaisseur uniquement de films enduits.

Sur le modèle de mesure "en ligne", le système mesure l'épaisseur en temps réel de sorte qu'une épaisseur inégale soit en largeur ou en longueur peut être corrigée immédiatement.

Sur le modèle "off-line", le système mesure l'épaisseur de la même manière que "en ligne". En outre, il est possible de mesurer uniquement la zone souhaitée. Le système est adapté pour l'inspection d'échantillons et en applications d'inspection en R & D.

Un tube à rayons X est un composant électrique qui permet de générer des rayons X.

Un filament (en rouge sur la figure) est chauffé par un courant. Il émet des électrons en surface. La pièce en bleu, que l'on appelle cible, est portée à un potentiel positif (tension accélératrice). Les électrons sont alors accélérés vers la cible qu'ils viennent frapper.



Les chocs causent l'émission de rayons X. Ils sont bien entendu émis sur 4p, mais sont arrêtés par l'enceinte du tube, à l'exception de ceux émis au travers de la fenêtre en vert clair sur le schéma (fenêtre constituée d'un matériau qui absorbe très peu les rayons X)

On forme ainsi un faisceau de rayons X presque cylindrique

Laser

Dispositif qui amplifie la lumière et la rassemble en un étroit faisceau, dit cohérent, où ondes et photons associés se propagent en phase, au lieu d'être arbitrairement distribués. Cette propriété rend la lumière laser extrêmement directionnelle et d'une grande pureté spectrale.

Appareil fournissant un rayonnement lumineux directif et quasiment monochromatique grâce à une émission stimulée de radiation.

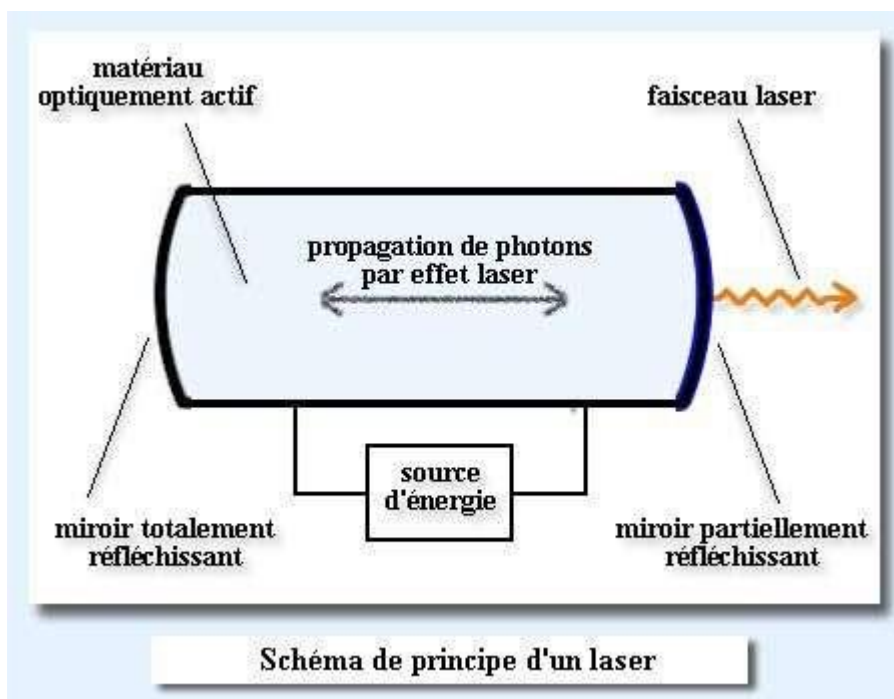
Le mot « laser » est l'acronyme de l'anglais Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (« amplification de la lumière par émission stimulée de radiations »). Les lasers couvrent aujourd'hui toute la gamme des rayonnements électromagnétiques, des rayons X et ultraviolets aux ondes infrarouges et micrométriques (voir maser).

Principe de fonctionnement

Opt. Le laser consiste en un milieu amplificateur placé dans une cavité résonante qui fournit un rayonnement d'ondes cohérentes et monochromatiques par émission stimulée.

L'excitation du milieu permet d'obtenir l'inversion de population, occupation anormale de niveaux d'énergie élevés, qui favorise l'émission stimulée par rapport à l'émission aléatoire spontanée (dans des proportions décrites par les coefficients d'Einstein).

La cavité permet, en effet, de réfléchir au sein du milieu les photons émis, de manière à ce qu'ils provoquent à leur tour une émission stimulée (production de photons de même fréquence, de même phase et de même direction de propagation que ceux du rayonnement stimulateur). La longueur d'onde d'émission doit correspondre à un mode propre de la cavité (résonateur) pour que puisse s'y installer un système d'ondes stationnaires. Le gain de l'ensemble milieu amplificateur-cavité doit être supérieur à ses pertes (dus entre autres aux réflexions).



schémas d'un dispositif laser (crédit : laboratoire Kastler Brosel)

L'excitation ou pompage s'obtient notamment grâce à des photons d'énergie adéquate (pompage optique dû à Kastler), par des courants ou décharges électriques (cas entre autres des diodes laser), ou par des réactions chimiques.

Le rendement d'un laser, rapport de la puissance optique délivrable sur la puissance fournie à l'amplificateur est de l'ordre de 0,01 à 30% (50 % dans le meilleur des cas).

Les lasers à impulsion font intervenir plusieurs modes qui interfèrent (battements).

Familles de laser

Les lasers sont classés en cinq grandes familles, selon la nature du milieu excité : lasers à solide, lasers à gaz, lasers à semi-conducteurs, lasers à liquide et lasers à électrons libres.

Supports (armoires..)

	Page
Armoires électriques.....	557
Bus de terrain.....	560
Réseaux de terrain.....	565

Armoire électrique Ou Tableau électrique

TGBT, Tableau Général Basse Tension

Ce tableau fait le lien entre l'arrivée du réseau de distribution (ERDF en France) et le réseau du client (entreprise, particulier...).

Il comprend un système d'armoires de distribution et de coffrets entièrement composables. En fonction des besoins le TGBT peut aussi être suivi par des tableaux électriques qui permettent d'adapter la tension.

Le TGBT sert aussi bien à protéger les lignes qu'à assurer la protection des personnes. Il doit respecter la norme IEC EN 60 439-1.

Selon l'importance de l'installation électrique, on distingue 3 sortes de TGBT classés selon trois tarifs (bleu, jaune et vert).

Peu importe leurs catégories, les TGBT ont tous en commun les 6 parties suivantes (mais modulées différemment) :

1. La tête d'installation
2. La protection contre la foudre
3. La protection tête de groupe
4. La protection des départs
5. Les commande et divers
6. Les coffrets et armoires

Mais, selon les besoins il peut y avoir :

1. Des appareils de mesure, qui affichent la grandeur électrique ou contrôlent et optimisent à distance une installation électrique via un réseau dédié.
2. Des outils de supervision, qui permettent de visualiser en temps réel l'état des éléments de l'installation électrique (mesure et commande à distance).
3. Des outils de répartition.

Concernant les armoires de distribution

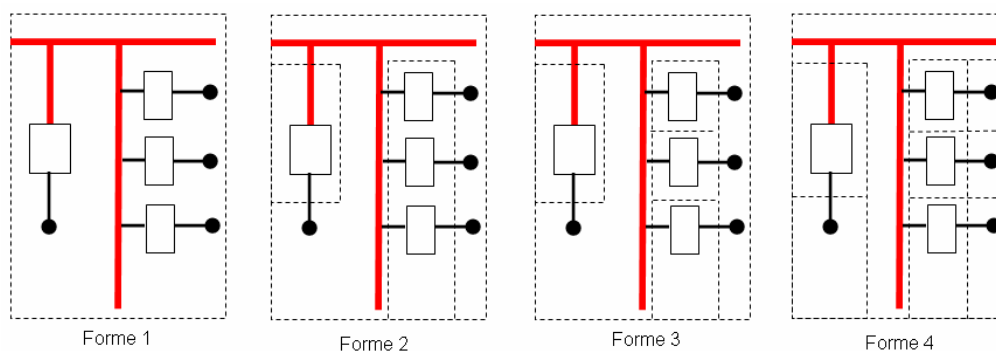
Des écrans et des cloisons contribuent à éviter les contacts avec des parties actives (jeu de barres sous tension par exemple), augmentant ainsi la protection des personnes. Ils assurent la protection contre le passage de corps étrangers entre les différents compartiments, et permettent de réduire les risques d'amorçages. Des systèmes de ventilation forcée ou naturelle peuvent être installés dans le tableau en vue de répondre au problème d'évacuation de chaleur pouvant être engendré par ces cloisons. La norme IEC-60439.1 définit précisément les degrés de cloisonnement interne à travers la notion de forme.

Forme1 : Absence totale de cloisonnement

Forme 2 : Séparation entre jeu de barres et unités fonctionnelles

Forme 3 : En plus de la forme 2, séparation de toutes les unités fonctionnelles entre elles.

Forme 4 : En plus des caractéristiques de la forme 3, séparation des bornes pour conducteurs extérieurs associés à une unité fonctionnelle de celles de toutes les autres unités fonctionnelles et des jeux de barres



Maintenance

- ➔ Les accidents dans un tableau ont deux types de causes d'origine possible :
- **amorçage** dû à la dégradation du niveau d'isolement ou introduction de corps étranger (ou animal)
 - **échauffement** dû à une consommation excessive de courant ou à la dégradation de la conductivité d'une connexion.

Il est indéniable que les dégradations par échauffement excessif représentent la grande majorité des défaillances constatées dans les tableaux à basse tension. Il est certain qu'il n'est pas possible de faire des mesures d'intensités en tout point d'un ensemble, et il n'est pas plus possible de contrôler la qualité de toutes les connexions.

La seule solution moderne et efficace réside dans le contrôle des températures des conducteurs et de leurs connexions.

L'arme absolue est la caméra infrarouge. Il existe maintenant de petites caméras d'un prix abordable, et il ne faut pas de spécialistes pour leur utilisation.



L'accès aux prises de vues thermographiques est parfois restreint par le souhait de disposer des plastrons, barrières ou autres capots ayant pour but d'empêcher l'accès aux parties sous tension.

Toutefois certains constructeurs ont disposé les jeux de barres à l'arrière du tableau. Il suffit alors de déposer le panneau arrière pour effectuer la prise de vue. Cette opération doit être faite par des personnes formées.

- ➔ 2 ou 3 jours avant un arrêt technique il nous paraît souhaitable de « visiter » toutes les armoires électriques pour :
- écouter les bruits anormaux, venant notamment de contacteurs en fin de vie ;
 - observer la présence de flashes grisâtre ;
 - trouver les échauffements avec une caméra thermique ;
 - etc..

Cela permet de préparer les travaux à faire lors de l'arrêt : remplacements et resserrages notamment.

- ➔ Défauts appareillages et ventilations

Cette famille regroupe les défaillances du système de ventilation ou des appareils installés dans le tableau électrique. Une mauvaise ventilation ou un défaut au niveau de l'appareillage peut se traduire par des déclenchements intempestifs des appareils, dus à une

élévation de la température ambiante du tableau électrique.

Il faut donc contrôler régulièrement le fonctionnement de la ventilation, ainsi que le remplacement du filtre d'air (surtout s'il fait l'objet d'une procédure TPM)

- ➔ Nous savons qu'un conducteur parcouru par un courant génère un flux magnétique qui sera intercepté par une ligne constituée de deux conducteurs formant une boucle réceptrice.

Hélas beaucoup d'appareils comme les automates programmables, relais ou contacts auxiliaires de contacteurs ou de disjoncteurs, sont conçus de telle façon que les deux bornes de connexions de transmission d'un même signal sont disposées de part et d'autre du rail de montage. Cela oblige à un câblage offrant une très grande surface réceptrice.

Il y a donc intérêt à câbler chaque entrée de signal avec ses deux conducteurs « aller et retour » selon le même parcours. Il convient même dans certains cas de torsader ces paires de conducteurs afin d'annuler la surface réceptrice.

Maintenance

Les conducteurs victimes sont influencés par des conducteurs coupables dans la mesure où ils suivent sur une certaine longueur un chemin parallèle.

Pour ce éviter ce risque **il convient de câbler les conducteurs de courants faibles perpendiculairement aux conducteurs de puissance.**

Proscrire les goulottes et les torons communs aux conducteurs de puissance et de courants faibles.

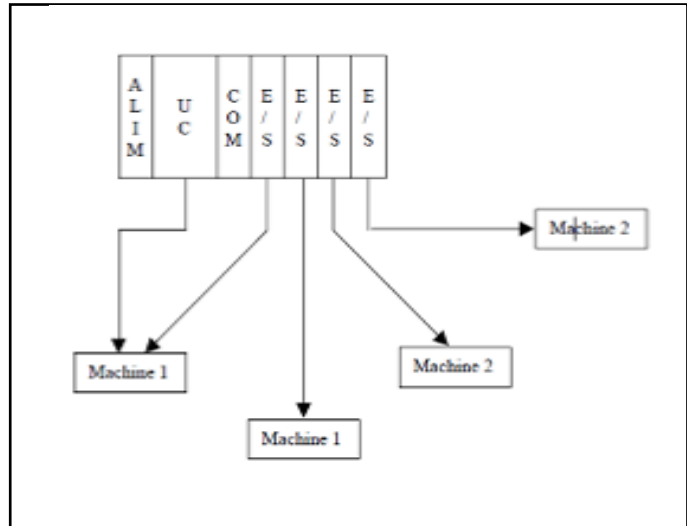
- ➔ Les portes des armoires électriques doivent toujours rester fermées, même et surtout quand ces armoires sont placées en mezzanine.
Dans le cas contraire les vapeurs d'huile de coupe ou d'huile hydraulique peuvent se plaquer sur les cartes électroniques et causer des défaillances au redémarrage après un arrêt technique.
- ➔ S'il y a des arrivées de câbles au-dessus de l'armoire il faut régulièrement contrôler le serrage des presse-étoupes. Des entrées d'eau seraient une petite catastrophe.
- ➔ Notre expérience nous a montré que lorsqu'après quelques années on fait un contrôle des appareils de protection dans les armoires électriques, 50 % d'entre eux, ou leurs valeurs de réglage, ne sont pas les bons.
Cela provient du fait que, notamment, lors d'un dépannage on ne trouve pas la bonne référence pour le remplacement (surtout en dehors des heures ouvrables), ou on ne connaît pas la valeur de réglage car dans l'armoire il n'y a pas la liste des références et des valeurs de réglage.
Cette déviation s'amplifie d'année en année.
Nous conseillons :
 - De mettre une documentation de référence dans l'armoire ;
 - De demander à chaque électricien de signaler les manques de références, à chaque fois que cela se produit ;
 - De faire des contrôles systématiques une fois par an, ou tous les deux ans.

Bus de terrain

Pour diminuer les coûts de câblage des entrées / sorties des automates (systèmes étendus), sont apparus les bus de terrains. L'utilisation de blocs d'entrées / sorties déportés a permis tout d'abord de répondre à cette exigence.

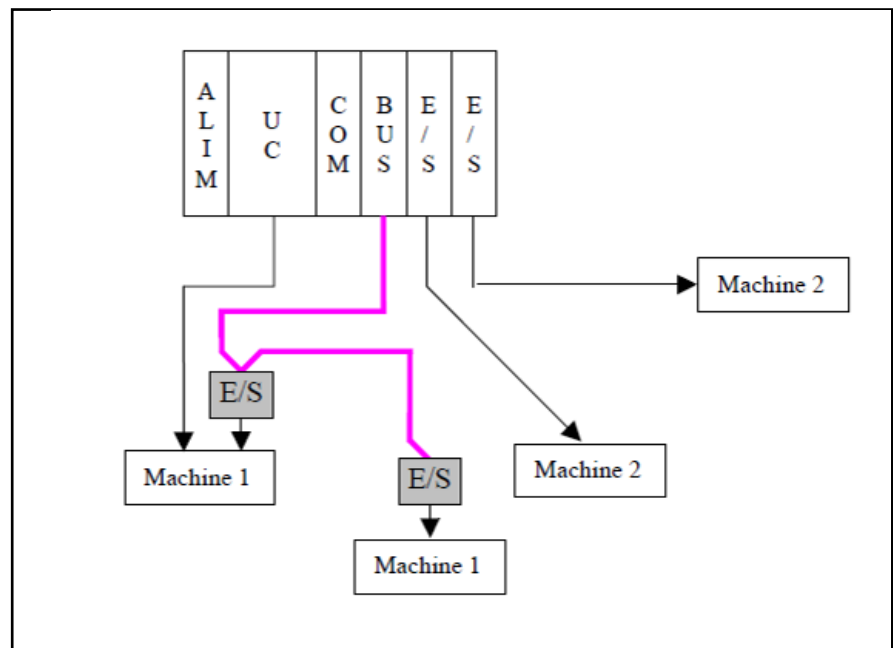
Avant :

Les capteurs / préactionneurs distants impliquaient de grandes longueurs de câbles.



1ère évolution :

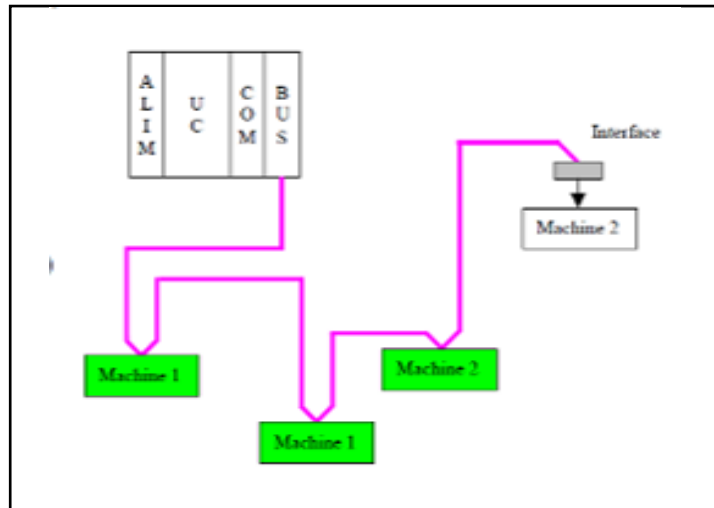
Les interfaces d'entrées/sorties sont déportées au plus près des capteurs



Avec l'avènement des ASICs, les capteurs, détecteurs ... sont devenus "intelligents" et ont permis de se connecter directement au bus (médium).

Aujourd'hui :

Les capteurs et les préactionneurs "intelligents" (IHM, variateurs, distributeurs ...) permettent la connexion directe au bus



Pour assurer le "multiplexage" de toutes les informations en provenance des capteurs / préactionneurs ont été développés plusieurs protocoles de communication et des standards sont apparus (normalisés ou standards de fait).

Le terme **bus de terrain** est utilisé par opposition au **bus** informatique. En effet, le **bus de terrain** est en général beaucoup plus simple, du fait des faibles ressources numériques embarquées dans les capteurs et actionneurs industriels. Il est également plus robuste face aux perturbations externes.

Au bas de la chaîne de contrôle se trouve le bus de terrain qui relie les automates aux composants qui effectuent réellement le travail, tels que les capteurs, les actionneurs, les moteurs électriques, les voyants de console, les interrupteurs, les vannes et les contacts.

Un bus de terrain est un système de communication numérique dédié qui respecte le modèle d'interconnexion des systèmes ouverts (OSI) de l'Organisation de Standardisation Internationale (ISO 7498 – 1983).

Un bus de terrain est basé sur la restriction du modèle OSI à 3 couches :

- Couche Application
- Couche Liaison
- Couche Physique

C'est un réseau **bidirectionnel, sériel, multibranche** (multidrop), reliant différents types d'équipements : E/S déportées, Capteur / Actionneur, Automate programmable (API), CNC, Calculateur, PC industriel, etc.

Définitions

- Terrain : espace géographique limité.
- Bus : ensemble de conducteurs commun à plusieurs circuits permettant d'échanger des données. Les échanges sont régis par un protocole.
- Réseau : bus ou ensemble de bus répartis sur un terrain.
- Un bus de terrain est donc un système de communication entre plusieurs ensembles communicants dans une zone géographique limitée (capteurs, calculateurs, automates, actionneurs, ...).

Modèle à couches

Modèle OSI

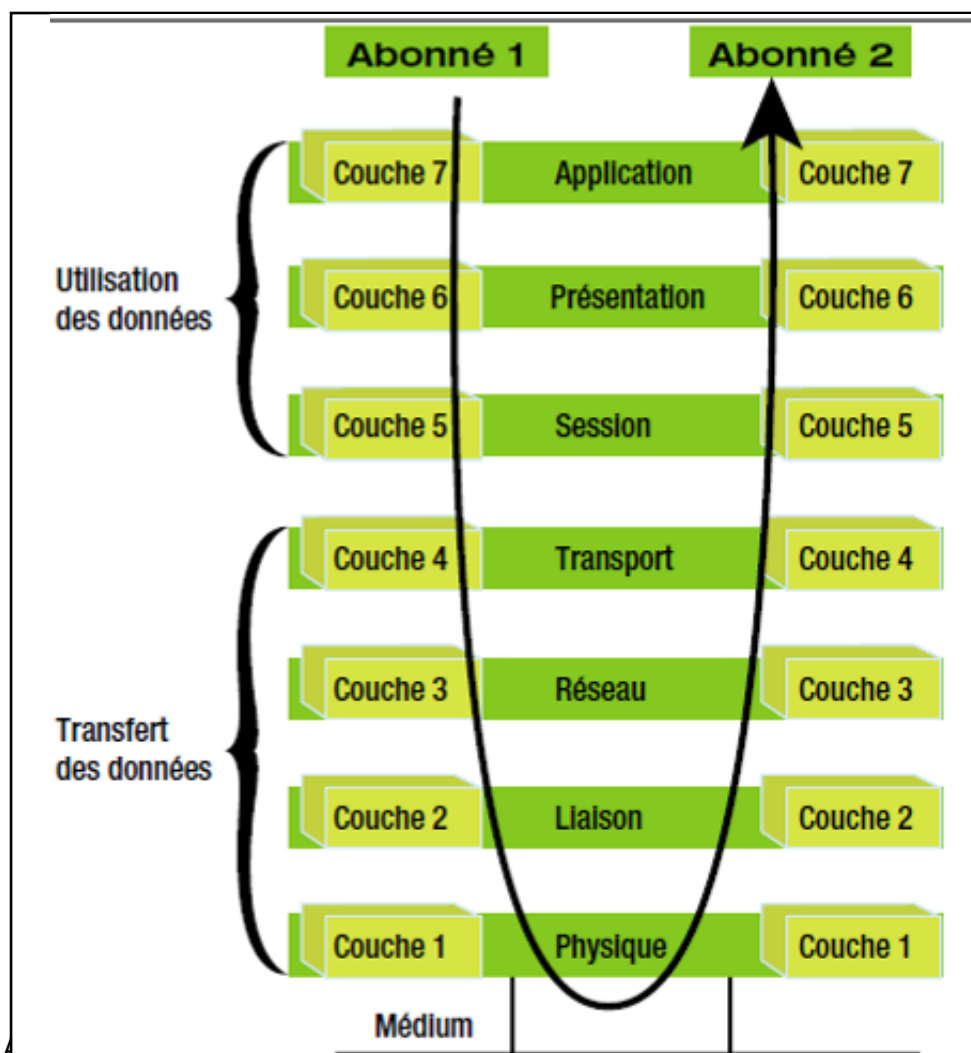
Le modèle OSI est une base de référence pour identifier et séparer les fonctions d'un système de communication basé sur une structure en couches. Le **modèle OSI** (de l'anglais **Open Systems Interconnection**) est un standard de communication, en réseau, de tous les systèmes informatiques. C'est un modèle de communications entre ordinateurs proposé par l'ISO (Organisation Internationale de Normalisation) qui décrit les fonctionnalités nécessaires à la communication et l'organisation de ces fonctions.

Chaque couche (matérielle, logicielle) assure un ensemble de fonctions spécifiques.

Chaque couche utilise les services de la couche immédiatement inférieure pour rendre à son tour un service à la couche immédiatement supérieure.

Un protocole est le langage commun (règles de dialogue) que doivent connaître et utiliser deux couches homologues (couche de même niveau) pour dialoguer.

Le modèle OSI possède 7 couches ou niveaux qui définissent les fonctions des protocoles de communication qui vont de l'interface physique à l'interface des applicatifs utilisant le réseau. En raison de son apparence, la structure est très souvent appelée pile



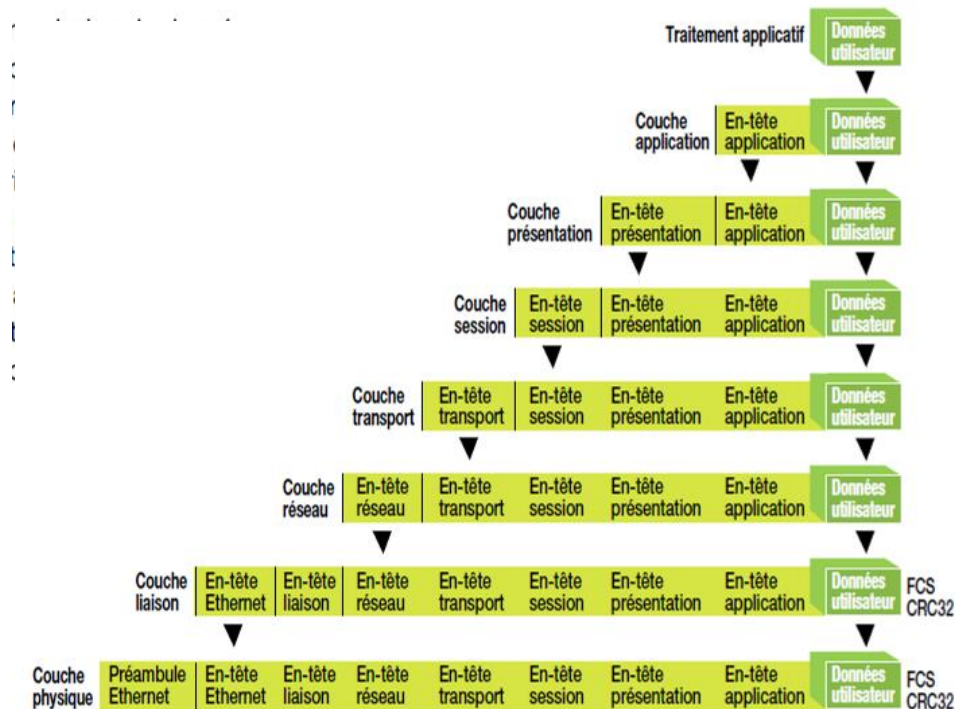
Encapsulation

C'est un mécanisme de transmission de données.

Lorsqu'une application envoie des données vers le réseau, chaque couche traversée exécute un processus d'encapsulation de l'unité de données fournie par la couche supérieure en ajoutant une entête, voire une remorque, qui lui est propre.

Réciproquement à la réception, chaque couche exécutera une désencapsulation pour en final ne restituer que les données utilisateurs à l'application.

La figure 7 matérialise le processus d'encapsulation.



Avantages

câblage simplifié

- réduction des frais d'installation
- conception, installation et mise en service plus rapides

● **maintenance simplifiée et plus efficace**

- accès aux informations d'état des périphériques
- détection facilitée des défauts
- réparations plus rapides

● **performances plus élevées**

- facilite la décentralisation de la commande
- données des périphériques accessibles partout

● **modularité**

- machines plus modulaires, plus vite assemblées
- flexibilité d'extension et de modifications des machines
- connexions « à chaud » (hot-plug)

Inconvénients

technologie plus complexe

- l'accès au bus requiert des périphériques plus sophistiqués (logique programmée ou µP)
- gestion des limites de performance

● **coûts logistiques supplémentaires**

- outils spécialisés plus coûteux et plus complexes

- **manque de compatibilité et de normalisation**

- CEI : 8 bus incompatibles (bientôt 19) dans une norme
- chaque fournisseur de composants ne couvre qu'un choix

Avantage économique

La quantité de câblage requise est beaucoup plus faible dans le bus de terrain que dans les installations 4-20 mA. En effet, de nombreux périphériques partagent le même jeu de câbles de manière multipoint plutôt que de nécessiter un jeu de câbles dédié par périphérique, comme dans le cas des périphériques 4-20 mA. De plus, plusieurs paramètres peuvent être communiqués par appareil dans un réseau Fieldbus alors qu'un seul paramètre peut être transmis sur une connexion 4-20 mA. Le bus de terrain fournit également une bonne base pour la création d'une stratégie de maintenance prédictive et proactive. Les diagnostics disponibles à partir des périphériques de bus de terrain peuvent être utilisés pour résoudre les problèmes rencontrés avec les périphériques avant qu'ils ne deviennent critiques.

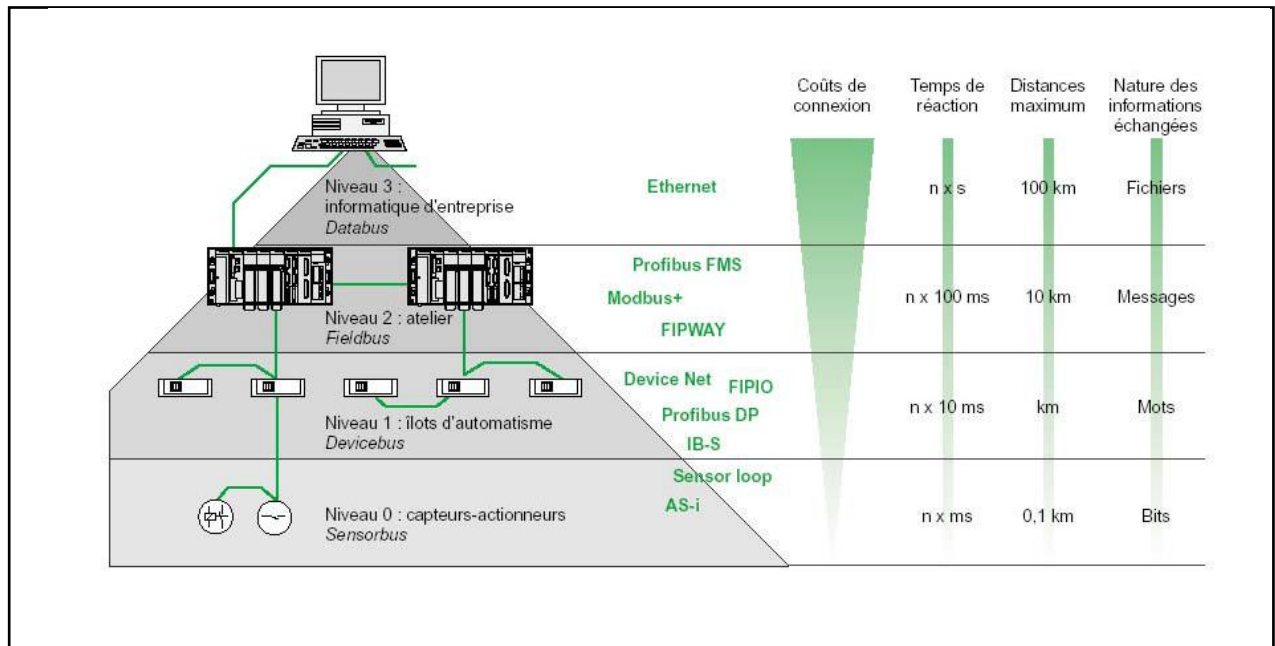
Bus de terrain les plus courants

- | | | | |
|------------------|----------------|-------------|------------------|
| • Bus CAN et VAN | • Profibus DP | • ARCnet | • X2X |
| • bus LIN | • Profibus PA | • bus ASi | • Protocole Dali |
| • BACnet | • FlexRay | • LonWorks | • 1-wire |
| • MODBUS | • FIP Worldfip | • Sercos | • DeviceNet |
| • Jbus | • EIBus et KNX | • EtherCAT | |
| • InterBus | • Batibus | • Powerlink | |

Réseaux de terrain

L'émergence de ces nouvelles technologies a conduit à la définition de plusieurs catégories de réseaux locaux industriels (pyramide CIM) :

- les réseaux de terrain,
- les réseaux de cellule,
- les réseaux de supervision et de commande



La nécessité de communication entre cellules (communication entre automates) a permis de voir apparaître de nombreuses normes de communication (Profibus, Fip ...).

Le déterminisme nécessaire pour certaines applications conduit à l'utilisation de réseaux Maître / Esclave.

Au niveau de l'entreprise, le temps n'est plus critique et la norme Ethernet a pu se développer rapidement, permettant ainsi la visualisation et la commande des process via le réseau Internet. La tendance actuelle est à l'introduction des réseaux Ethernet au plus près des automatismes (exemple : norme Profinet).

Maintenance

Les bus de terrain sont souvent bgénérateurs d'harmoniques. Il faut le vérifier et si nécessaire mettre en place des filtres de protection.

Lorsque l'on parle de défauts intermittents, il faut aussi penser aux bus de terrain qui permettent la communication entre les différents organes d'une ligne.

Quels sont les défauts que l'on peut rencontrer sur les bus de terrain ?

Il peut s'agir de défauts de communication ou d'alimentation, souvent dus à des problèmes de connexion des composants ou à des problèmes électromagnétiques.

C'est le cas par exemple lorsque les câbles d'alimentation trop longs d'une machine sont consciencieusement stockés en boucle, à proximité de systèmes sensibles tels que les bus de terrain.

Comment les diagnostiquer ?

Différents diagnostics peuvent être réalisés : contrôle des connexions et autres tés utilisés, mesures de tension, de courant de fuite... Dans de nombreux cas, le mode diagnostic du bus permet d'identifier les causes.

Comment y remédier ?

Dans le cas des boucles d'induction cité précédemment, on raccourcira des câbles d'alimentation. Pour ce qui est des faux contacts, on vérifiera tous les connecteurs. Quant aux entrées et sorties elles-mêmes, on pourra utiliser la fonction diagnostic du bus, qui envoie les informations d'état à l'automate.

Avertissement

Nous dégageons toute responsabilité consécutive à l'utilisation incorrecte des informations et schémas reproduits dans le présent guide et ne saurions être tenus responsables ni d'éventuelles erreurs ou omissions, ni de conséquences liées à la mise en oeuvre des informations et schémas contenus dans ce mémento ;

Aux termes de l'article 40 de la loi du 11 mars 1957 « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droits ou ayants cause est illicite ». L'article 41 de la même loi n'autorise que « les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et « les analyses et courtes citations, sous réserve que soient indiqués clairement le nom de l'auteur et la source ». Toute représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, ne respectant pas la législation en vigueur constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 à 429 du Code pénal.