

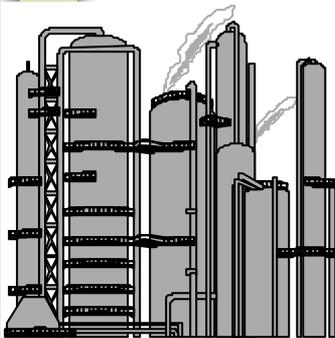
# Mesure de niveau

Cours #5 de GPA-668  
Hiver 2003



## Capteurs et détecteurs de niveau

- Le choix dépend de:
  - Type d'installation:
    - Cuve, Réservoir, Extérieur.
  - Nature du produit:
    - Fluide, Solide.
  - Mode de liaison avec le liquide:
    - Avec ou sans contacts.





## Capteurs et détecteurs de niveau (2)

- Visuelle / optique
  - Tube de verre
  
- Hydrostatique:
  - Flotteur
  - Plongeur
  - Palpeur électromécanique
  - Capteur de pression
  - Capteur par bullage



## Capteurs et détecteurs de niveau (3)

- Électrique:
  - Sonde conductrice
  - Sonde capacitive
  
- Calorique:
  - Thermistance



## Capteurs et détecteurs de niveau (4)

- Rayonnement:
  - Capteur par rayons gamma
  - Capteur ultrasonique
  - Détecteur optique
  - Capteur par hyperfréquences



## Unité de mesure des liquides

- 1 gallon canadien ? 1 gallon US.
  - 1.2009 gal. US
- 1 gallon = 4 pintes = 8 chopines
- 1 litre = 0.264 gallon US  
= 0.220 gallon canadien



## Unité de mesure des liquides (2)

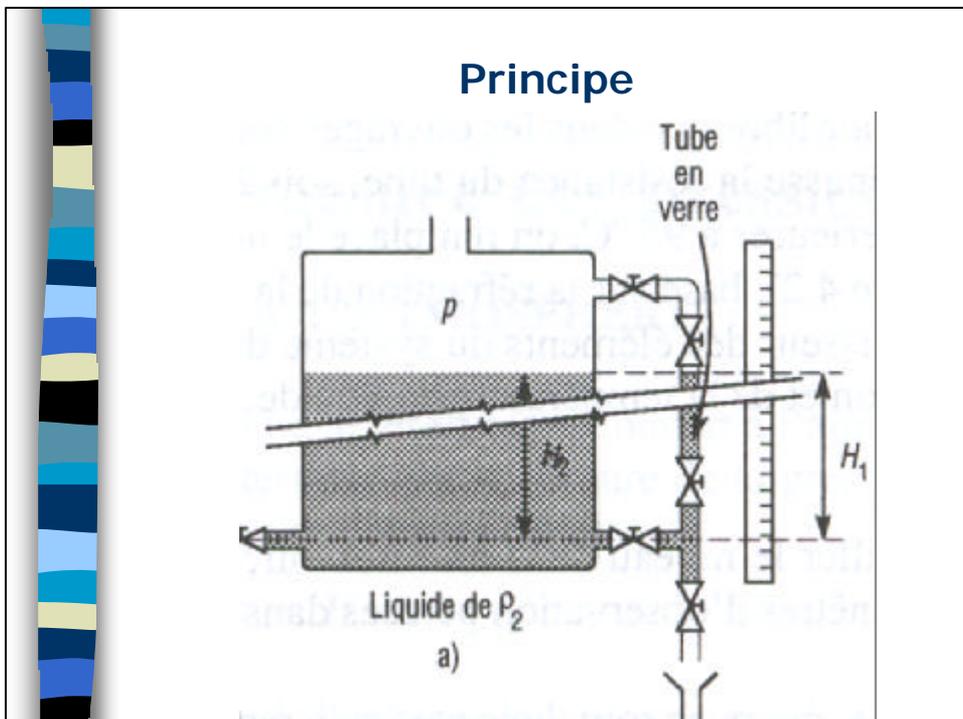
- $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litres}$
- $1 \text{ pi}^3 = 7.48 \text{ gal. US} = 6.23 \text{ gal.can.}$
- $1 \text{ po}^3 = 16.387 \text{ mm}^3 = 16.387 \text{ ml}$



## Densité de certains liquides

- À 60 °F:
  - Eau: 8.334 livres/gallon US
  - Acide acétique : 8.751 livres/gallon US
  - Acide citrique: 12.834 livres/gallon US
  - Chlore: 11.834 livres/gallons US
  - Mercure: 113.34 livres/gallon US
  - Bière: 8.417 livres/gallon US

## Mesure de niveau avec tube de verre

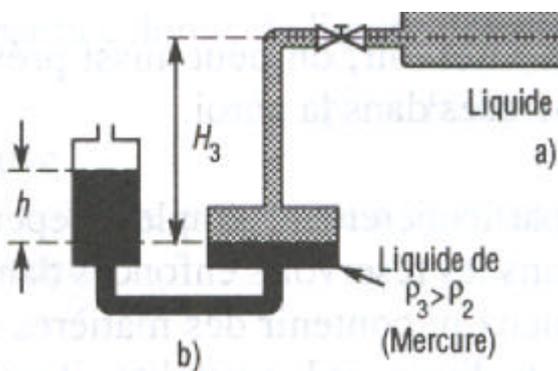


## Principe

- Pressions:
  - Fond du réservoir
    - $p + H_2\rho_2g$
  - Fond de la colonne de verre
    - $p + H_1\rho_1g$
- Or,
  - si même liquide:  $\rho_2 = \rho_1$
- Donc  $H_1 = H_2$

## Principe

- Si le réservoir est très haut, on peut mesurer le déplacement d'un liquide plus dense.





## Bilan

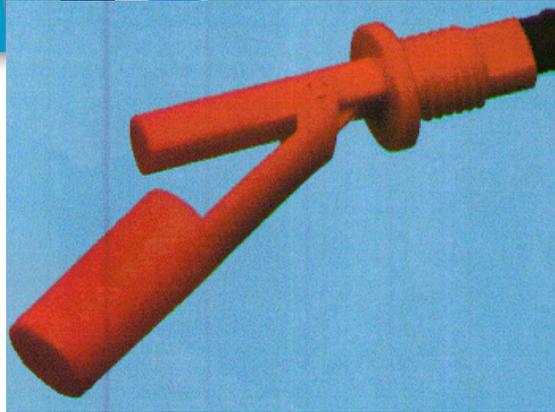
- Pression maximale = 200 kPa et température sous les 95°C.
  - Sinon: utiliser un système à glace
- Simple.
- Problèmes avec les dépôts et la calcification



## Bilan (2)

- Température du liquide égale dans le tube et le réservoir.
- Pas de transmission de signaux.

## Flotteurs

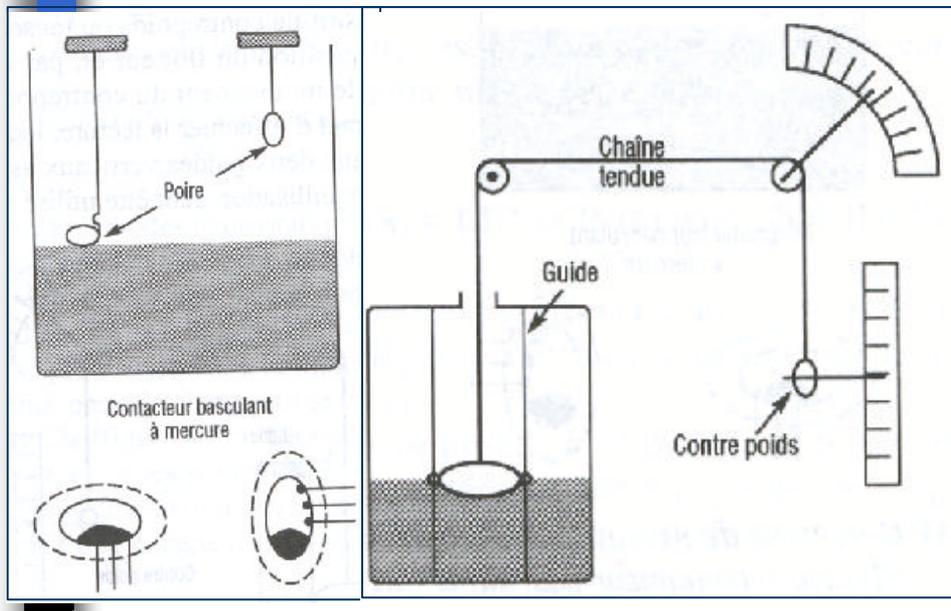


## Principe d'Archimède

- *Tout corps partiellement ou complètement plongé dans un liquide reçoit, de la part de ce fluide, une poussée verticale, orientée de bas en haut et dont l'intensité est égale au poids du fluide déplacé:*

$$F = V_{\text{immergé}} \cdot \rho \cdot g$$

## Principe (2)

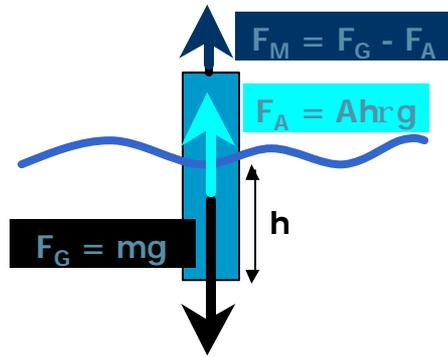


## Bilan

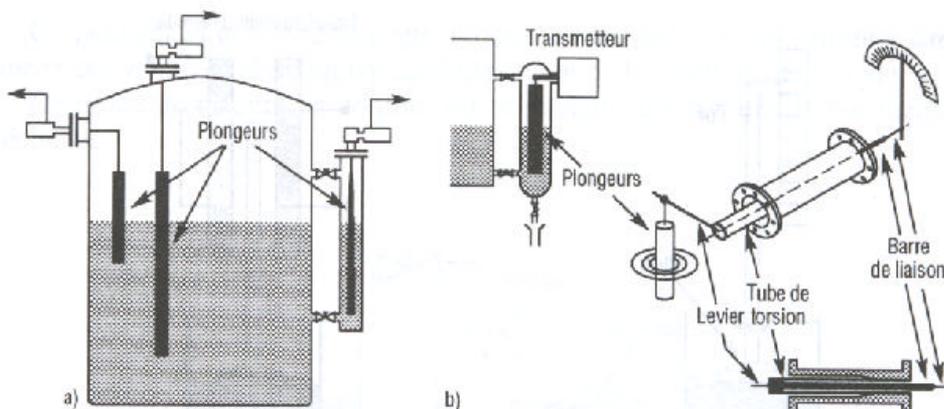
- Disponible en capteur ou détecteur;
- Grande plage de mesure (de 10 mm à 30 m);
- Précision de ( $\pm 0.5$  à 5 %);
- Mesure par contact;
- Problème avec les liquides visqueux.
  - Les dépôts font couler le flotteur...
  - Nettoyer le flotteur régulièrement.

## Plongeurs

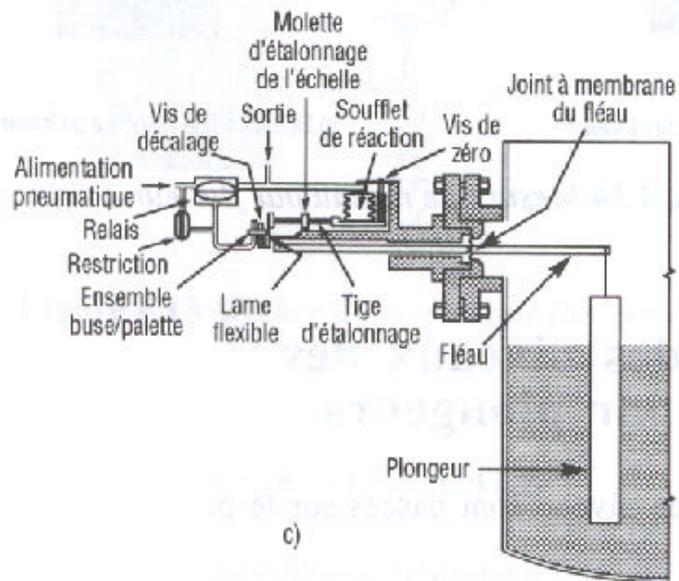
- Principe:



## Mesure du poids apparent



## Équilibre de force



## Bilan

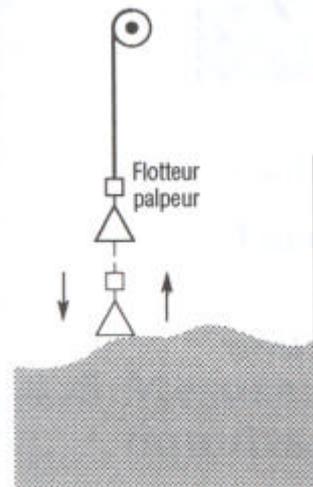
- Bonne précision (mieux que  $\pm 0.5\%$ );
- Mesure par contact;
- Plage de mesure réduite: 30 cm à 6 m;
- Convient aux liquides visqueux.
  
- Permet la mesure du niveau de l'interface de deux liquides de densité différente.

## Palpeurs électromécaniques



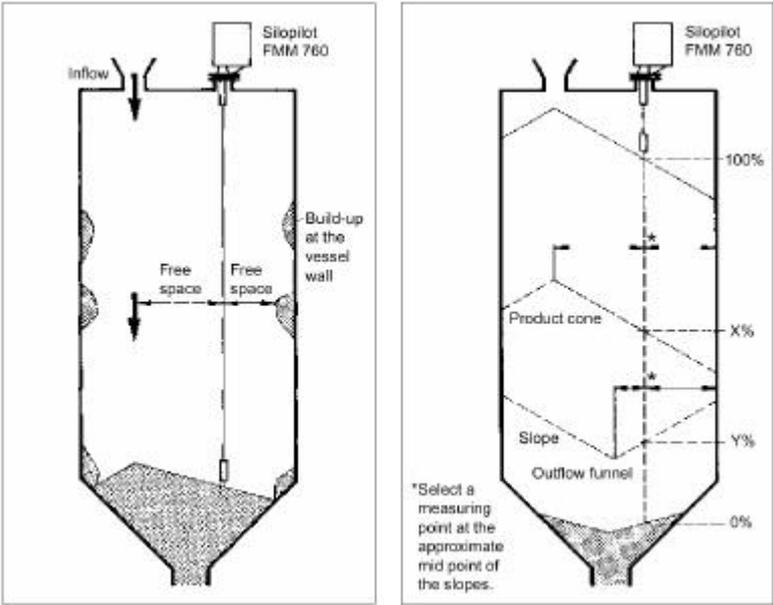
### Principe

- Le palpeur est descendu jusqu'à ce que l'on touche le produit, puis on mesure la longueur de câble déroulé.



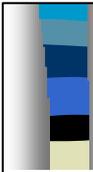
a) Flotteur palpeur – Principe

# Installation



# Types de palpeurs

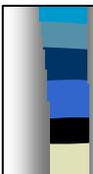
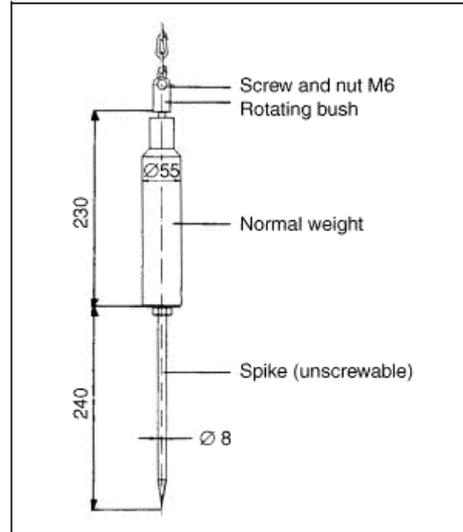




## Palpeurs

### Normal Weight

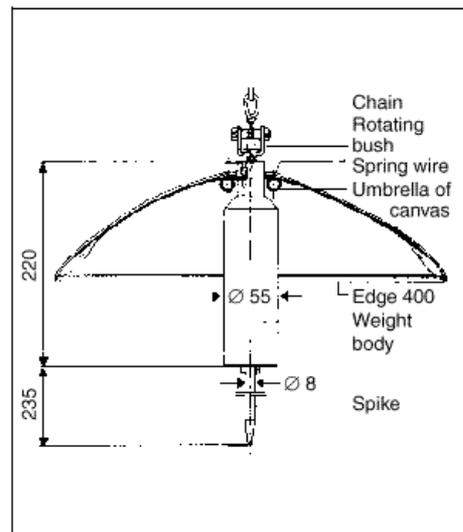
- Application:  
For coarse-grained solids, e. g. coal, ore or stones, and for granules.
- The spike can be unscrewed.
- If a crusher or mill is connected to the bunker, then we recommend the electrical signal function "tape break" or the use of a cage weight. This will prevent damage of the plant in case of a tape break.
- Materials:  
steel or stainless steel.
- Weight: 3.5 kg.



## Palpeurs (2)

### Umbrella Weight

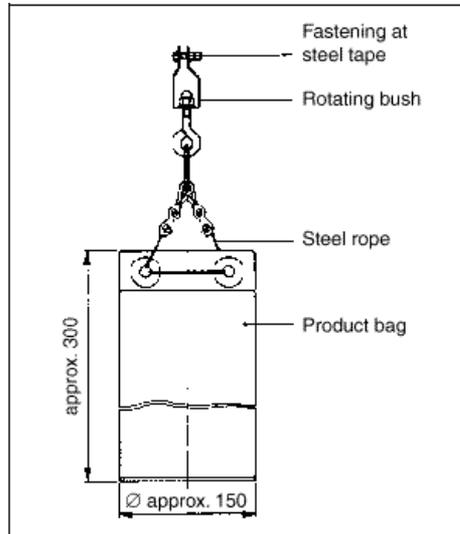
- Application:  
For very light and loose solids, e. g. flour or coaldust.
- The umbrella weight has a large square surface. This will prevent deep sinking into the product.
- In folded state, the weight can be introduced into the bunker through the DN 100 mounting flange.
- Max. permissible temperature: 100 °C.
- Materials:  
steel or stainless steel, canvas.
- Weight: 3.5 kg.



## Palpeurs (3)

### Bag Weight

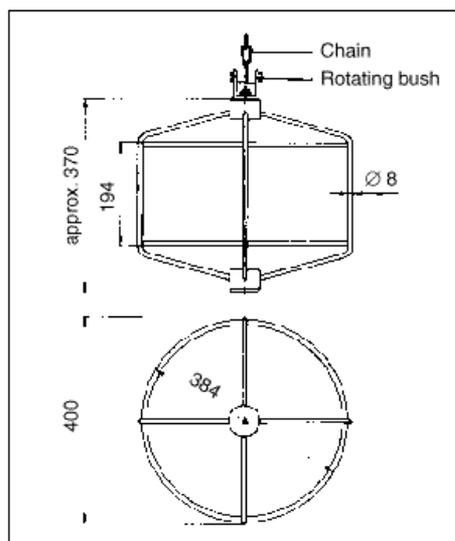
- Application:  
In bunkers to which e. g. mills are connected.
- The bag contains the product stored in the bunker.
- Max. permissible temperature: 100 °C.
- Materials:  
bag of linen, loops reinforced by leather, all metal parts of stainless steel.
- Weight: empty 0.25 kg, filled 3.5 kg.
- Tie up the bag at the top. This will prevent the contents from falling out, if the bag is upset when hitting the slope of a product cone.

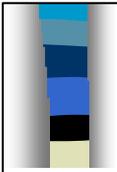


## Palpeurs (4)

### Cage Weight

- Application:  
For fine solids in silos with relatively small product outlet that must never be blocked by a broken sensing weight.
- Also suitable for high temperatures that do not allow the use of a bag.
- The weight can get stuck over the outlet, but lets the product pass. Since the cage cannot get into a conveyor system (e. g. cellular wheel feeder or screw conveyor), it will prevent consequent damage.
- Standard dimensions: see Fig. Other dimensions on request.
- Material: steel.
- Weight: 3.5 kg.

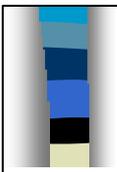
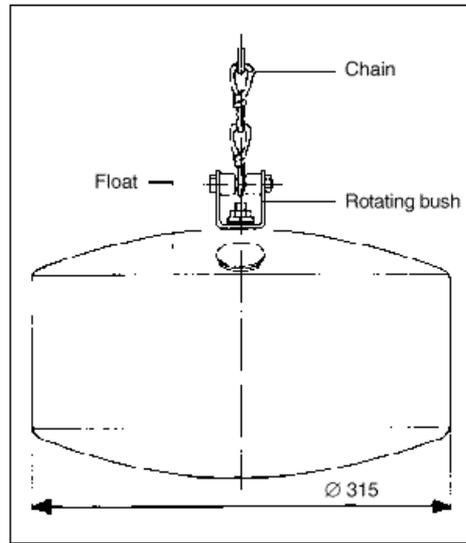




## Palpeurs (5)

### Oval Float (for FMM 760 only)

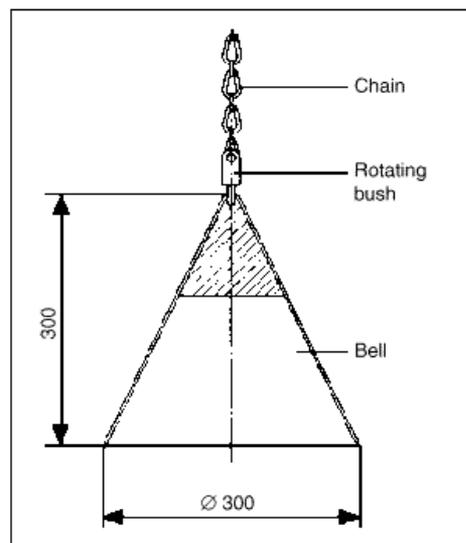
- Application:  
For liquids, e. g. fuel oil,  
also for granules.
- Material: hard PVC.
- Max. permissible temperature: 60 °C.
- The float must be filled with product  
up to the total weight of 3.5 kg.



## Palpeurs (6)

### Bell Weight

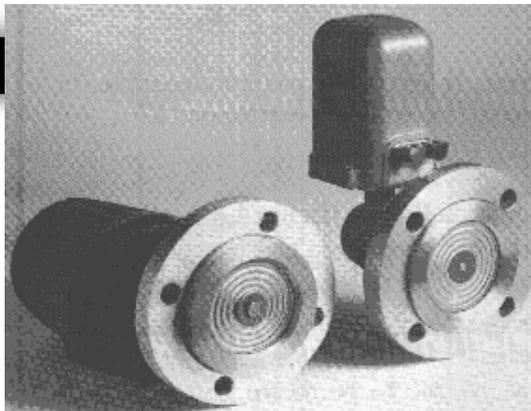
- Application:  
For light and loose solids; especially in  
cases where high temperatures and  
particular product properties do not  
allow the use of an umbrella weight.
- Materials:  
steel or stainless steel.
- Weight: 4.3 kg.



## Bilan

- Grande plage de mesure (jusqu'à 70 m)
- Mesure de niveau liquide et solide;
- Très bonne précision ( $\pm 1$  cm);
- Mesure par contact;
  - Éviter de mesurer pendant le remplissage.
- Coûteux.

## Capteurs de pression



## Capteurs de pression

- Principe:
  - On mesure ici la pression statique du liquide, car:

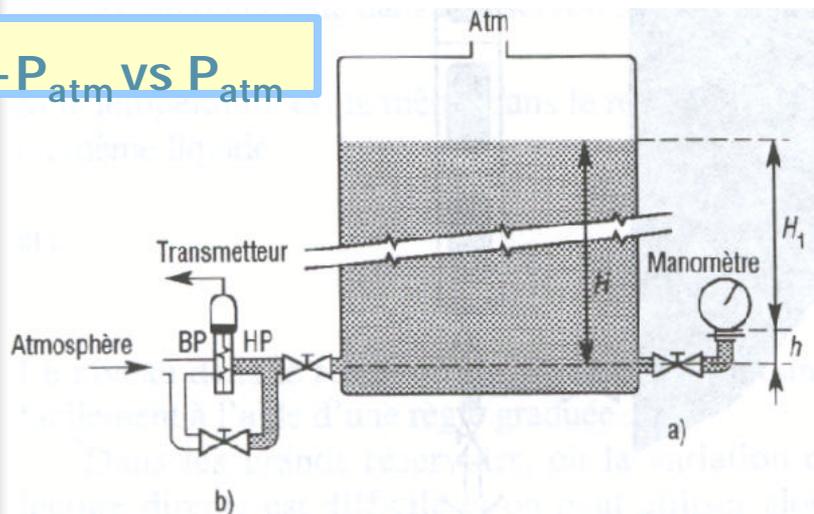
$$P_s = rgh$$

- $\rho$ : densité
- $h$ : hauteur
- $g$ :  $9.81 \text{ m/s}^2$

## Capteurs de pression (2)

- Mesure avec réservoir ouvert:

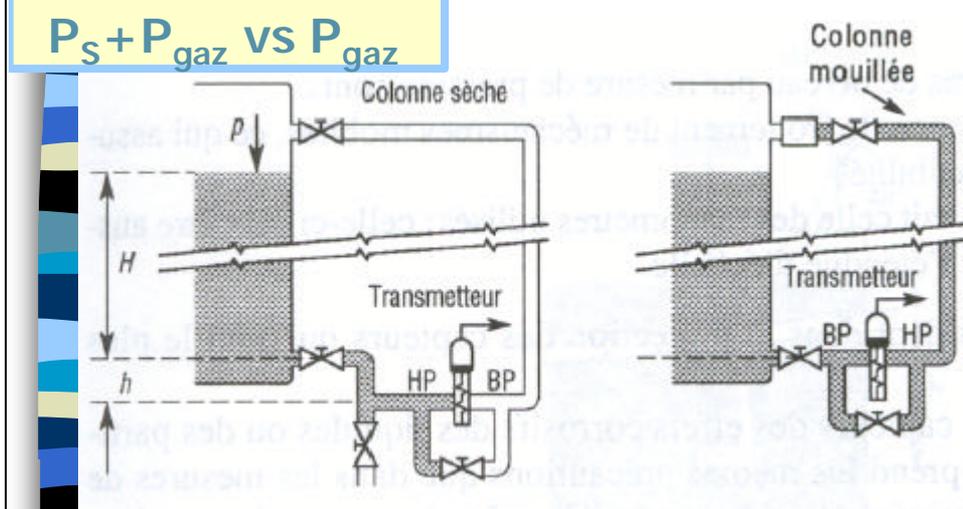
$$P_s + P_{atm} \text{ vs } P_{atm}$$



### Capteurs de pression (3)

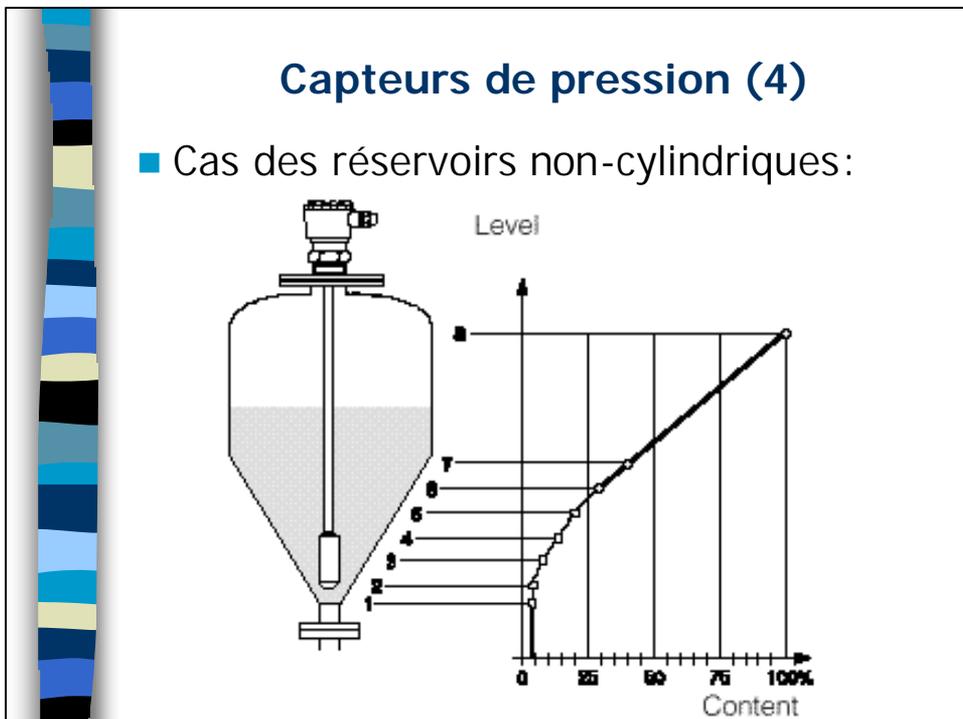
- Mesure avec réservoir fermé:

$$P_S + P_{\text{gaz}} \text{ vs } P_{\text{gaz}}$$



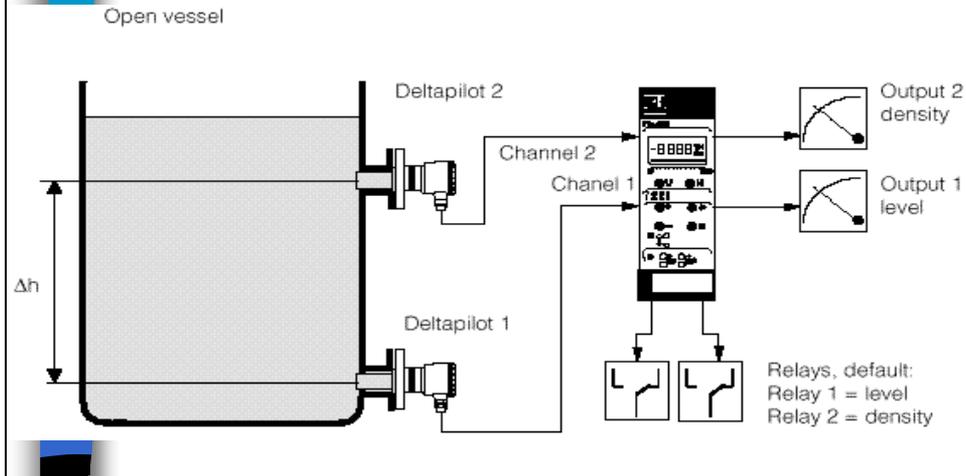
### Capteurs de pression (4)

- Cas des réservoirs non-cylindriques:



## Capteurs de pression (5)

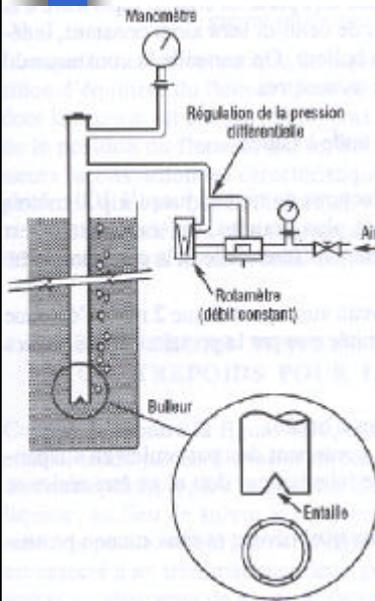
- Correction automatique de densité:



## Capteurs de pression (6)

- En résumé:
  - Cette méthode de mesure est très répandue;
  - Sensible aux variations de densité et de température;
  - Bonne précision ( $\pm 0.2\%$ );
  - Si capteurs à membrane, prendre des précautions avec:
    - Liquides corrosifs et particules en suspension (usure).

## Capteurs par bullage (Bubblers)



- Principe:
  - On injecte un gaz inerte dans un tube. La pression nécessaire pour faire sortir le gaz du tube est proportionnel à la hauteur de liquide.
  - $P = \rho g h$ .

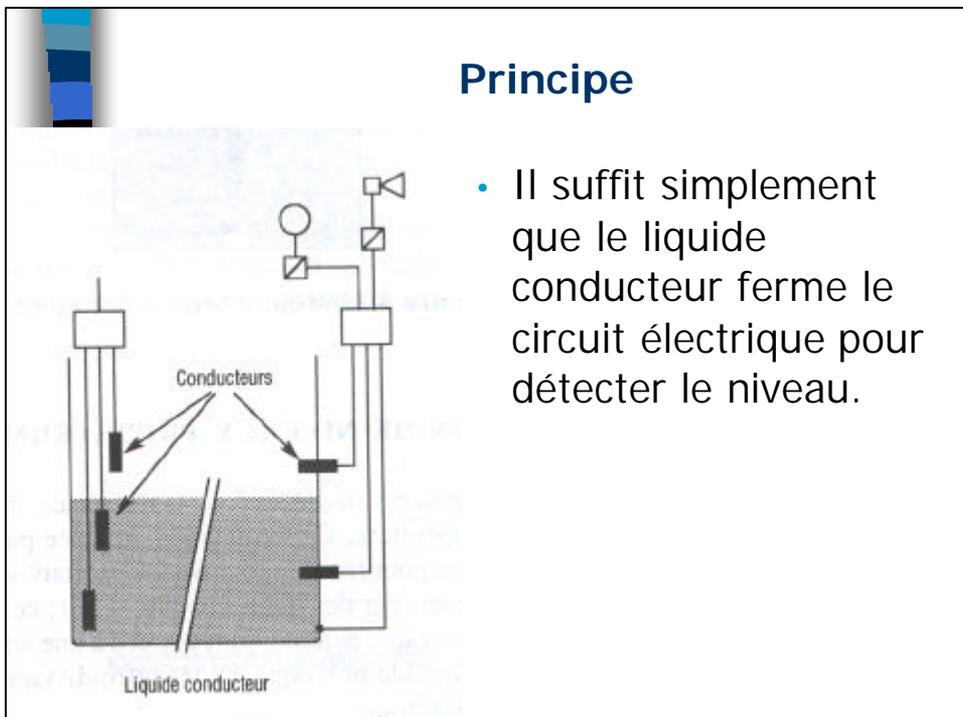
## Capteurs par bullage (Bubblers) (2)

- En résumé:
  - Sensible aux variations de densité et de température;
  - Le capteur de pression ne touche pas au liquide;
  - Très bonne précision ( $\pm 2$  mm);
  - Très simple et économique;
  - Consommation d'air d'environ  $0.015 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
  - Plage de 60 m.

## Sonde conductrice

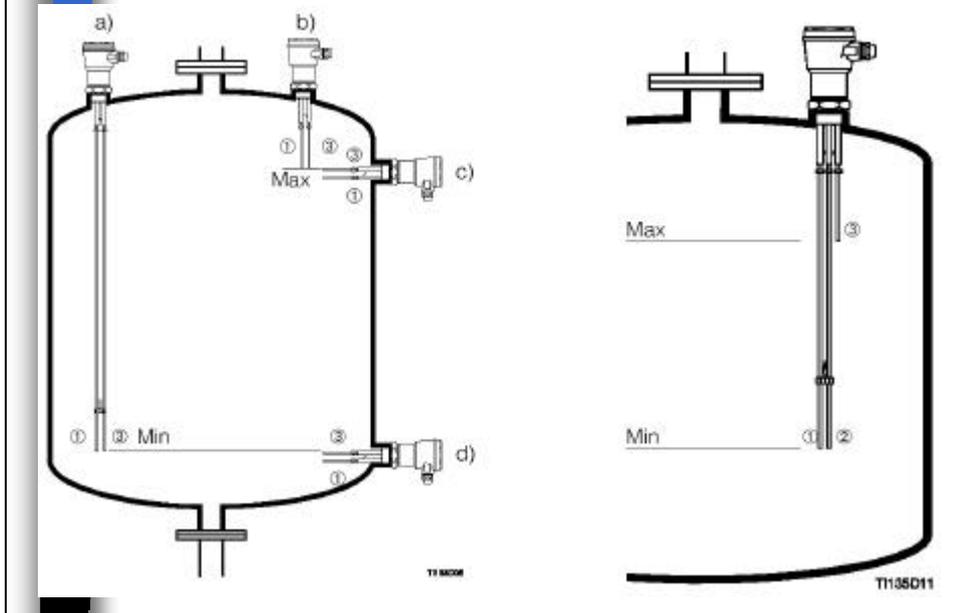


## Principe



- Il suffit simplement que le liquide conducteur ferme le circuit électrique pour détecter le niveau.

## Montages typiques



## Bilan

- Détection tout-ou-rien;
- Usage limité aux liquides conducteurs;
- Sensible aux liquides corrosifs;
- Sensible aux liquides visqueux laissant des dépôts isolant;

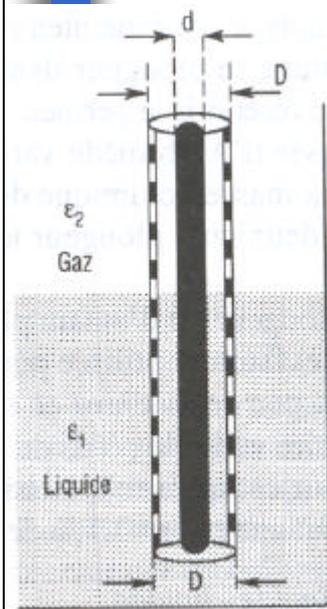
## Bilan (2)

- Peut détecter le niveau de charbon en poudre;
- Températures de -200 à +400 °C ;
- Point de commutation à prix minimum.

## Sonde capacitive



## Principe

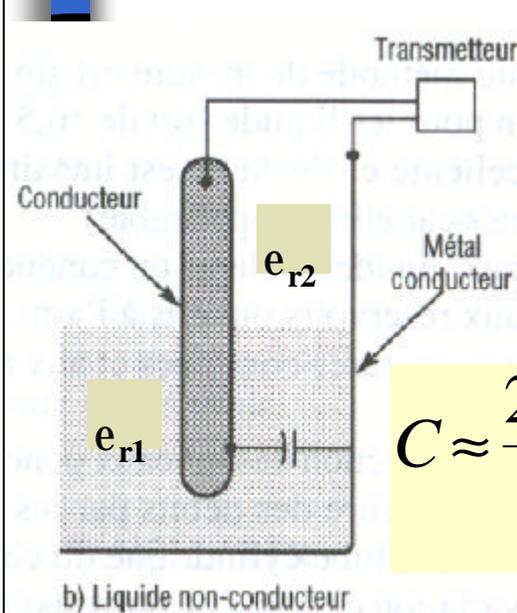


- Il de mesurer la capacitance du circuit pour connaître le niveau.

$$C \approx \frac{2pe_0(e_{r1}h_1 + e_{r2}h_2)}{\ln(D/d)}$$

- $\epsilon$  en F/m
  - ( $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$  F/m)

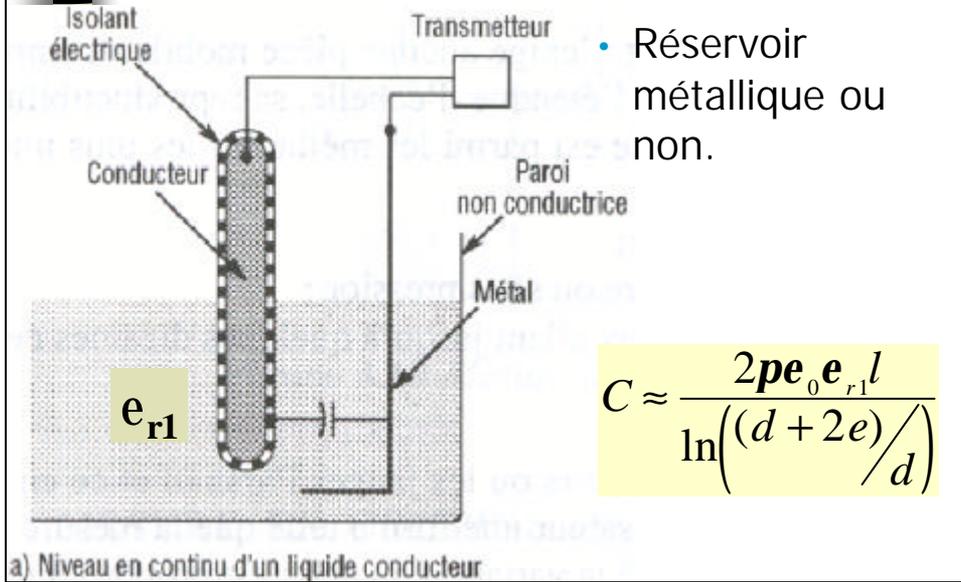
## Application (liquide isolant)



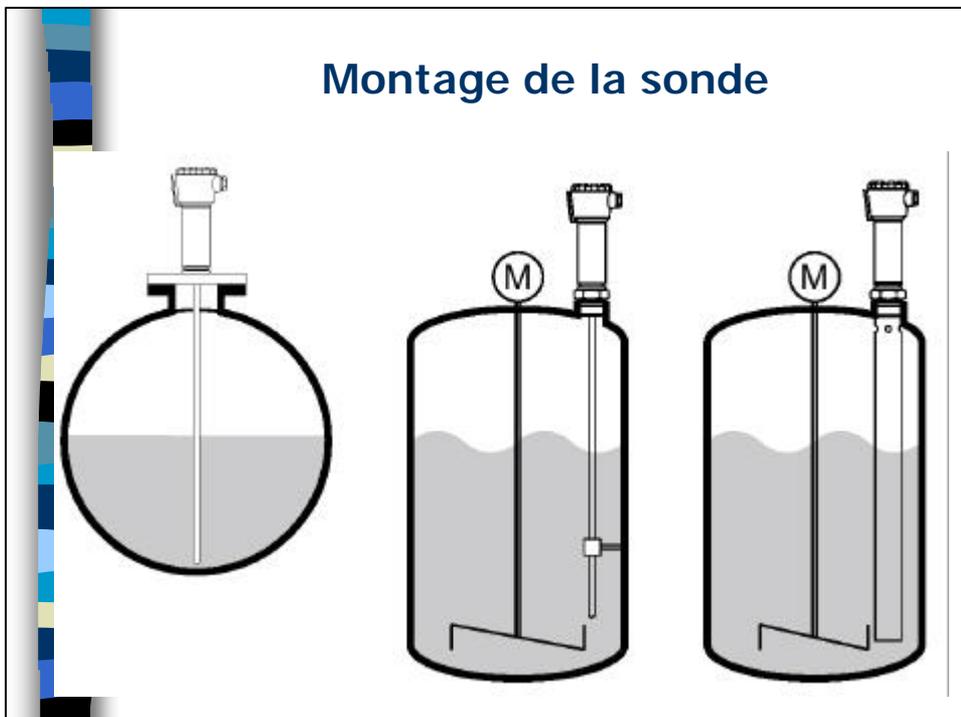
- Réservoir métallique ou non.

$$C \approx \frac{2pe_0(e_{r1}h_1 + e_{r2}h_2)}{\ln(D/d)}$$

## Application (liquide conducteur)

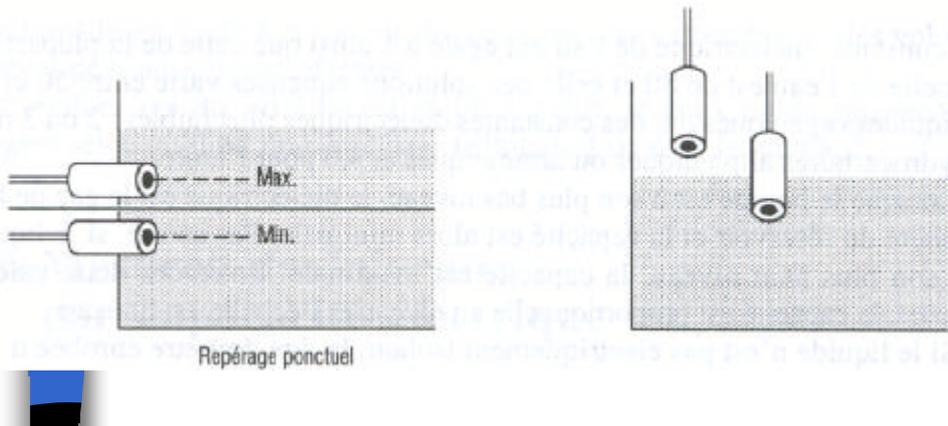


## Montage de la sonde



## Détection de niveau

- Détecteurs tout ou rien
- Détecteurs de proximité capacitive



## Bilan

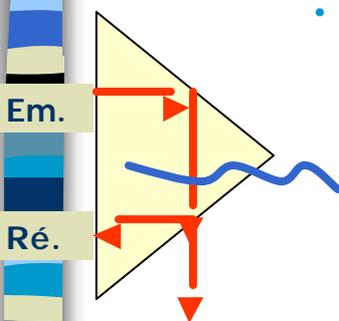
- Emploi assez répandu;
- Applicable à presque tous les types de produits;
- Insensible aux dépôts;
- Sensible aux mousses dans le cas de la détection de liquides conducteurs;
- Sensible à la densité et à la température;
- Sensible aux produits abrasifs.

## Capteurs Optiques



### Principe

- L'émetteur envoie un signal vers un prisme qui le réfléchit vers un récepteur.
- En présence d'un liquide, la quantité de lumière réfléchi change, et le récepteur la détecte.
  - Réflexion totale si  $\theta > \theta_c$ :



$$\sin(\theta_c) = \frac{n_2}{n_1}$$

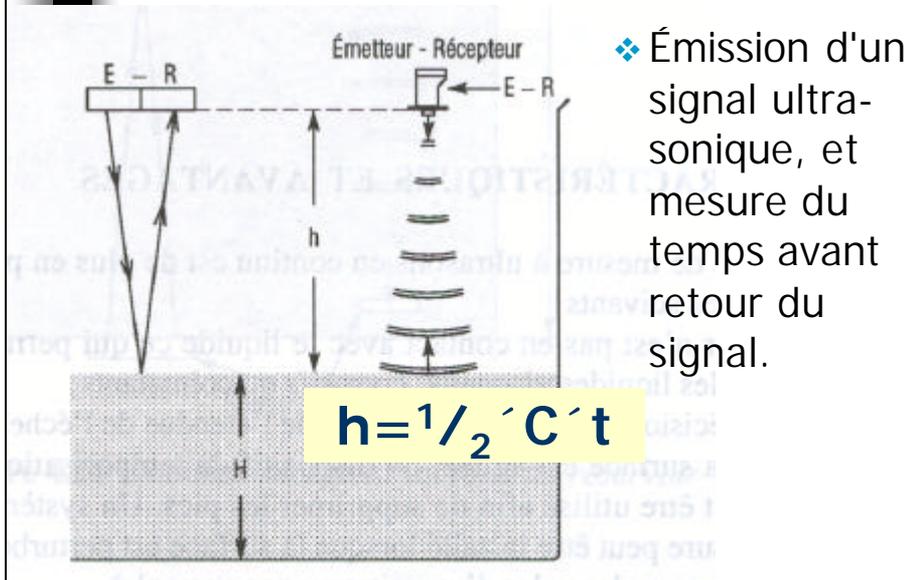
## Bilan

- Détection tout-ou-rien;
- Simple et peu coûteux;
- Pour liquides non-mousseux;
- Sensible à la poussière;
- Précision moyenne.

## Capteurs ultrasoniques



## Principe



## Capteurs ultrasoniques

- Paramètres importants:
  - Étendue de mesure
  - Répétabilité
  - Compensation de température
  - Temps de réponse
  - Pression maximale



## La vitesse du son

- Elle dépend de plusieurs paramètres:

$$C = \sqrt{\frac{X \cdot R_m \cdot (273^\circ\text{C} + T)}{M}} \approx 343 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (20^\circ\text{C})$$

- Normalement (à 20 °C)
  - $R_m = 8314,3 \text{ J/kmol/}^\circ\text{K}$  (cte des gaz parfaits);
  - $M = 28,9 \text{ kg/kmol}$ ; (poids molaire);
  - $X = 1,40$  (Coefficient adiabatique).



## La vitesse du son (2)

- Grandeurs d'influence:
  - La température: 0.17 %/°C
    - De -20°C à 80°C implique 17% d'erreur.
  - Le type de gaz:
    - Le CO<sub>2</sub> change la vitesse du son de 15 %.
    - Les gaz ne sont pas reproductibles.
  - L'hygrométrie de l'air:
    - À 20 °C, un taux d'humidité variant de 0 à 100 % modifie la vitesse de 0.3 % (on néglige).

## La vitesse du son (3)

### ■ Grandeurs d'influence (suite):

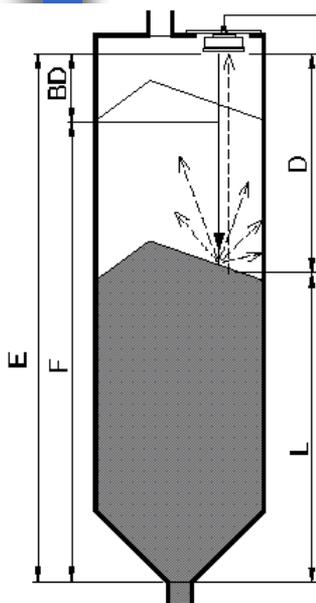
#### □ La pression:

- Une variation de pression de 30 bar (435.12 psi ou 3 MPa) modifie la vitesse de 0.3 % (on néglige).

#### □ Absorption du son:

- Le son est absorbé par le milieu porteur.
- L'absorption dépend de la fréquence.

## Principe de de fonctionnement



FMU



- BD = Distance de blocage
- D = Distance sonde – surface
- L = Niveau dans le silo
- F = Etalonnage plein
  - (100%, Full)
- E = Etalonnage vide
  - (0%, Empty)



## Réduction de la portée du capteur

### ■ Températures:

- Différence de la température de l'air entre sonde et surface du produit
  - jusqu'à 20 °C 0 dB
  - jusqu'à 40 °C 5...10 dB
  - jusqu'à 80 °C 10...20 dB

### ■ Veine de produit

- en dehors de la zone de détection 0 dB
- faibles quantités dans zone de détection 5...10 dB
- Grandes quantités dans zone de détection 10...20 dB



## Réduction de la portée du capteur (2)

### ■ Poussière

- pas de production de poussière 0 dB
- faible production de poussière 5 dB
- forte production de poussière 5...10 dB

### ■ Surface du produit en vrac

- dure, rugueuse 20 dB
- molle (par ex. tourbe, klinker recouvert de poussière) 20...40 dB



### Réduction de la portée du capteur (3)

#### ■ Surface du liquide

- calme 0 dB
- agitée 5...10 dB
- très agitée (par ex. agitateur) 10...20 dB

#### ■ Mousse

- Consulter le fabricant



### Réduction de la portée du capteur (4)

#### ■ Montage de la sonde

- bord inférieur dans le silo 0 dB
- dans le piquage, bord biseauté, selon de rapport D/L 10...20 dB
- dans le piquage, bord droit, selon le rapport D/L 20...40 dB

## Exemple

Amortissement de l'écho FDU 80 et FDU 81

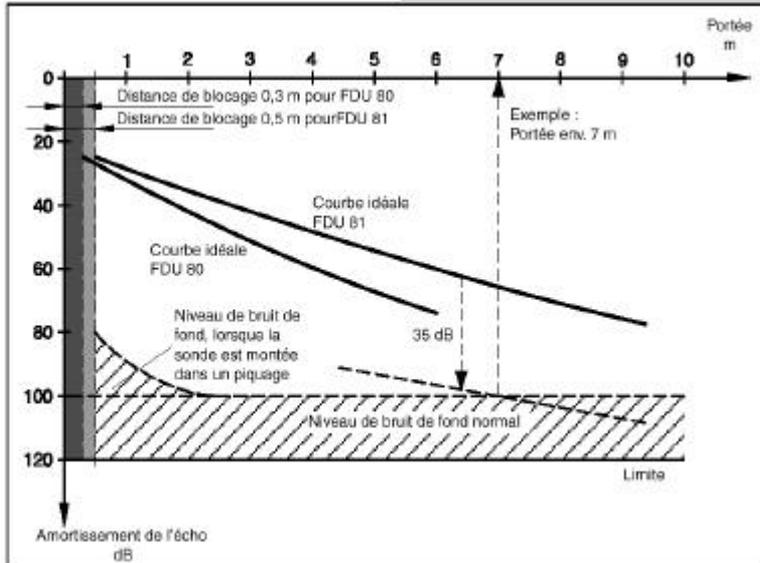
Exemple d'estimation de la portée

Influence :

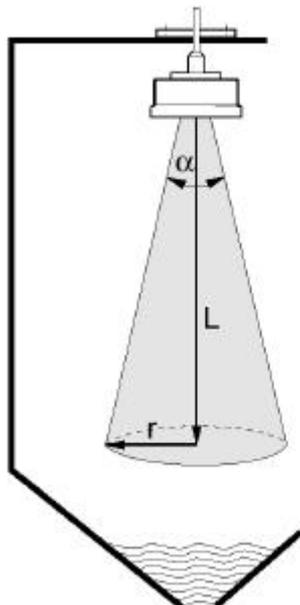
- Différence de temp. dans le Silo max. 40°C **10 dB**
- Veine de produit min. dans la zone de détection **5 dB**
- Surface du produit très agitée **20 dB**

Somme des valeurs de réduction **35 dB**

Portée sous ces conditions, donc env. 7 m avec la sonde FDU 81



## Cône d'émission (à 3 dB)



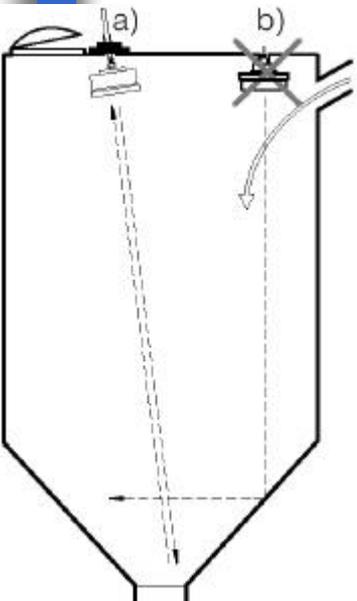
$$r = \tan \frac{\alpha}{2} \cdot L$$

Liquides

	$\alpha$	L	r
FDU 80, 80 F	8°	5 m	0,35 m
FDU 81, 81 F	8°	10 m	0,69 m
FDU 82	8°	20 m	1,4 m
FDU 83	4°	25 m	0,87 m

Solides

	$\alpha$	L	r
FDU 80	8°	2 m	0,14 m
FDU 81	8°	5 m	0,35 m
FDU 82	8°	10 m	0,7 m
FDU 83	4°	15 m	0,52 m
FDU 84	5°	25 m	1,1 m
FDU 85	5°	45 m	1,9 m
FDU 86	6°	70 m	3,6 m



### Montage

- Éviter la veine de produit
- Réflexion vers le capteur nécessaire, même si réservoir vide.
- Signal perpendiculaire au produit. (si possible)



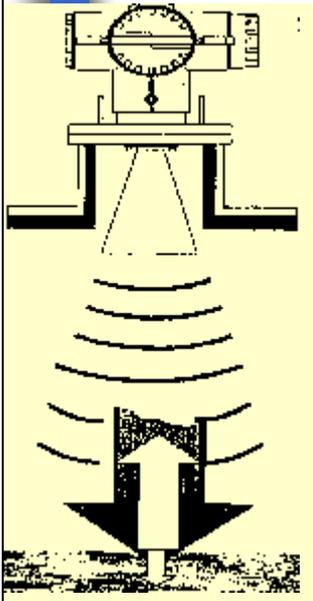
### Bilan

- Bonne étendue de mesure (de 0.1 à 60 m);
- Précis, robuste et fiable;
- Pour tous produits liquides ou solides;
- Sensible à la température (vitesse du son);
- Sensible à l'agitation de surface (réflexion);
- Prix élevé (plus de 1000 \$).

## Capteurs Hyperfréquences

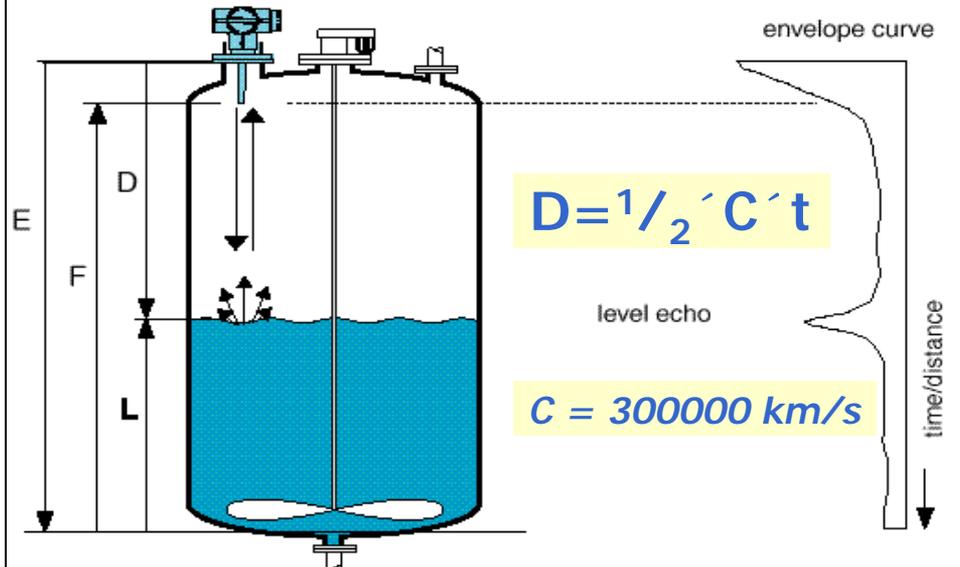


### Principe

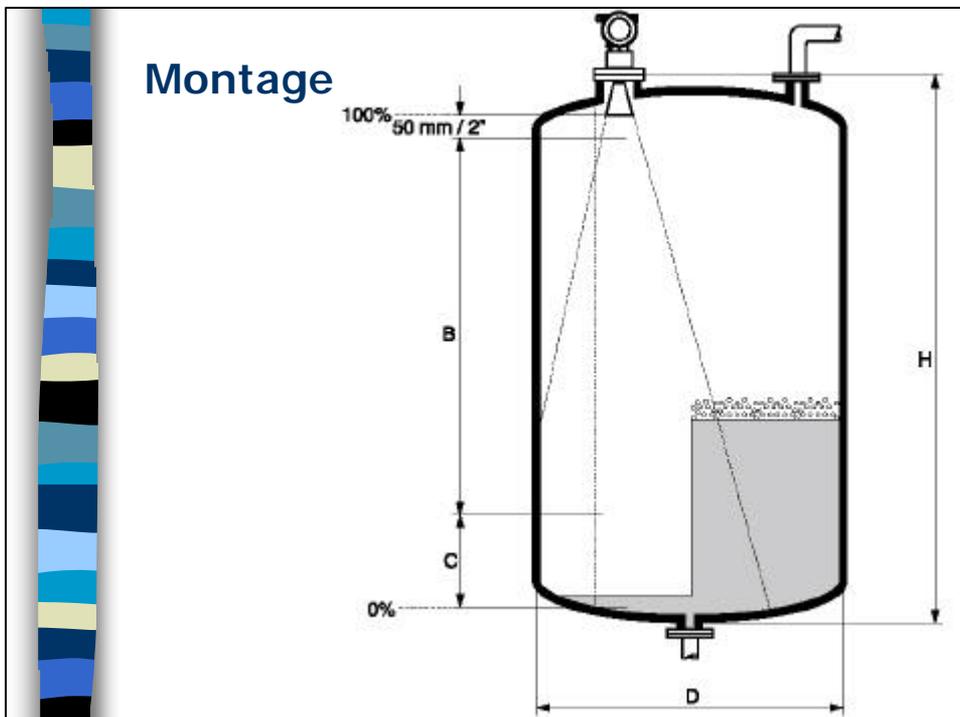


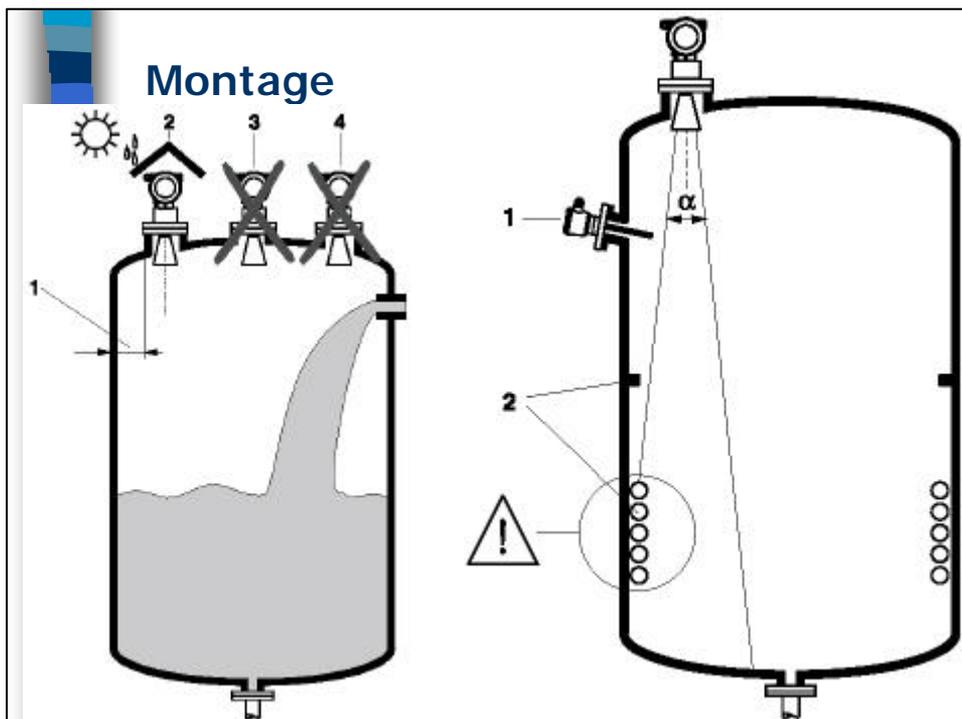
- Emission d'un signal micro-ondes, et mesure du temps avant retour du signal.

## Principe de mesure



## Montage





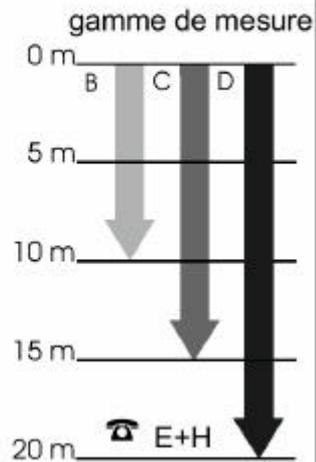
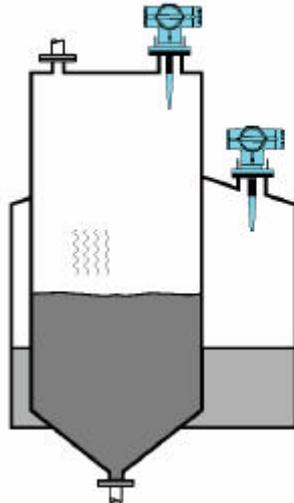
### Portée maximale du capteur

- Dépend du liquide:

Groupe produits	Exemples
B ↓	liquides non conducteurs, produits pétrochimiques, essence, huile, toluène, etc. Coefficient diélectrique $\epsilon_r$ env. 1,9...4
C ↓	par ex. acides concentrés, solvants organiques, aniline, esters, alcools, acétone, mélanges huile/eau, $\epsilon_r$ env. 4...10
D ↓	liquides conducteurs, par ex. solutions aqueuses, acides et bases dilués, $\epsilon_r > 10$ ou $\sigma > 10$ mS/cm

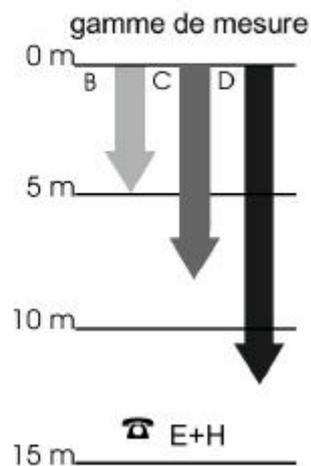
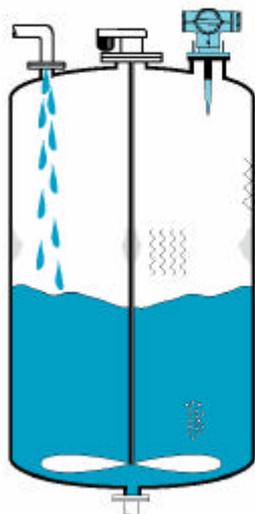
## Portée maximale du capteur

- ① Cuve de stockage, surface calme



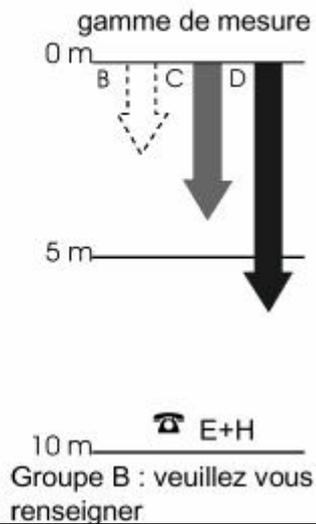
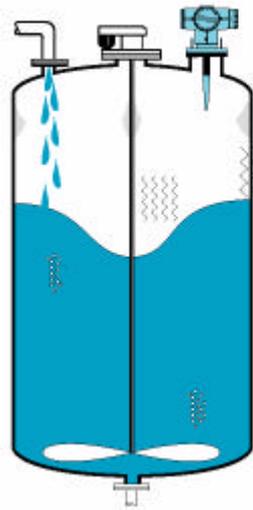
## Portée maximale du capteur (2)

- ② Cuve tampon, cuve de process avec liquides faiblement agités



## Portée maximale du capteur (3)

③ Cuve de process, turbulences, vortex



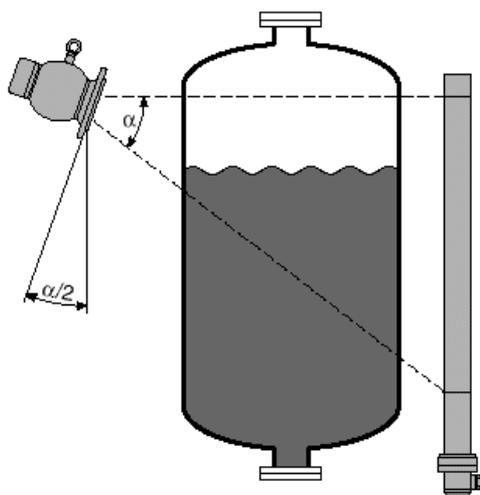
## Bilan

- Bonne étendue de mesure (jusqu'à 35 m);
- Précis, robuste et fiable;
- Pour tous produits liquides ou solides;
- Insensible à la poussière et aux mousses;
- Prix élevé (5 X plus cher que ultrasoniques).
- Pas dangereux:
  - ex: Four 1 W/cm<sup>2</sup>, capteur 0.21 μW/cm<sup>2</sup>

## Capteurs de niveau par Gammamétrie

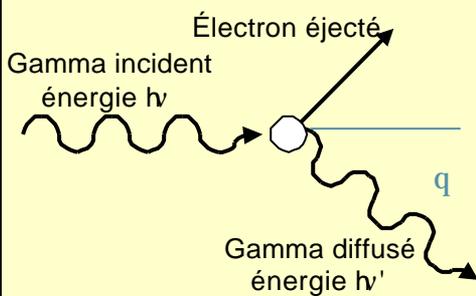


### Principe



- Basé sur l'effet Compton que subit le rayonnement gamma lorsqu'il traverse un liquide.
- Utilise du Cobalt 60 ou du Césium 137.
- Danger de radiations.

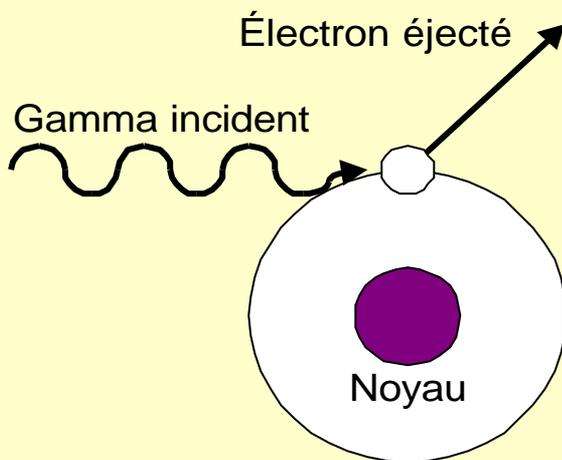
## Effet Compton



- Un gamma frappant un électron est dévié et perd de l'énergie.

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + \frac{h\nu}{m_0c^2} (1 - \cos q)}$$

## Effet photoélectrique

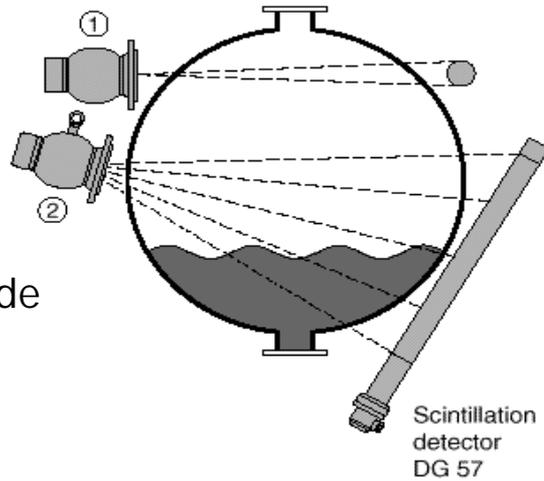


- Le gamma transfère son énergie complètement à un électron.

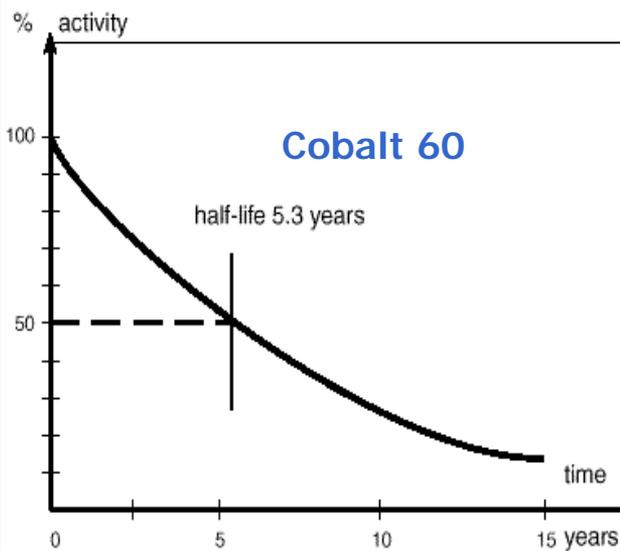
## Méthodes de mesure

■ 1) Détection de niveau

■ 2) Mesure de niveau



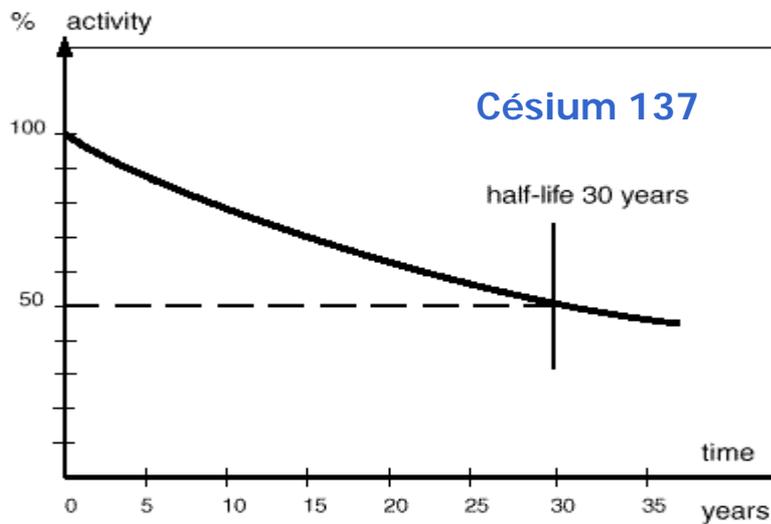
## La demi-vie des éléments radio-actifs



■ Durée pendant laquelle la radio-activité diminue de moitié.

□ Il faut compenser

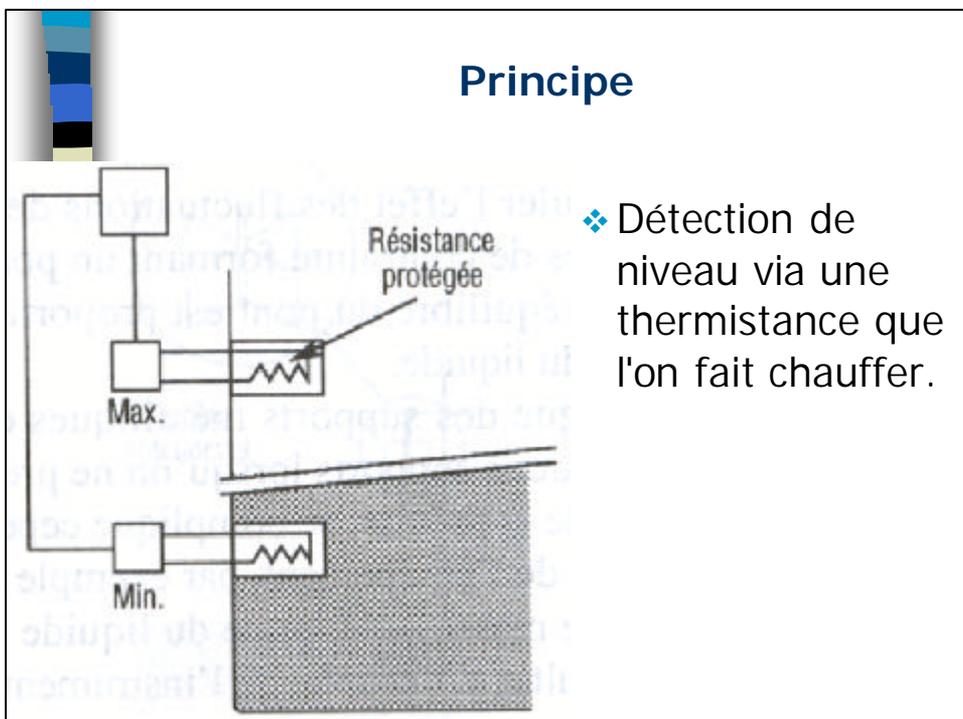
## La demi-vie des éléments radio-actifs



## Bilan

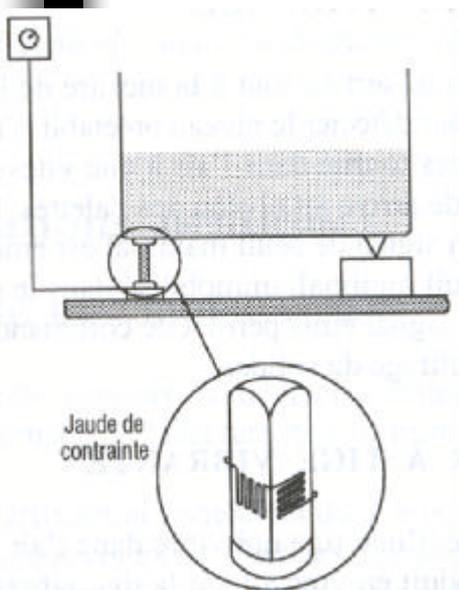
- Solution pour les applications les plus extrêmes.
- Montage à l'extérieur du réservoir.
- Mesure précise et linéaire.
- Mesure de niveau, volume, densité,...
- Mesure indépendante de la température.
- Mesure insensible aux dépôts.

## Détection de niveau par thermistance



## Détection de niveau par pesée

**Principe**



■ Mesure de la masse par des cellules de charges ou des jauges de contrainte.

■ Implique de bien connaître la densité.

## Bilan

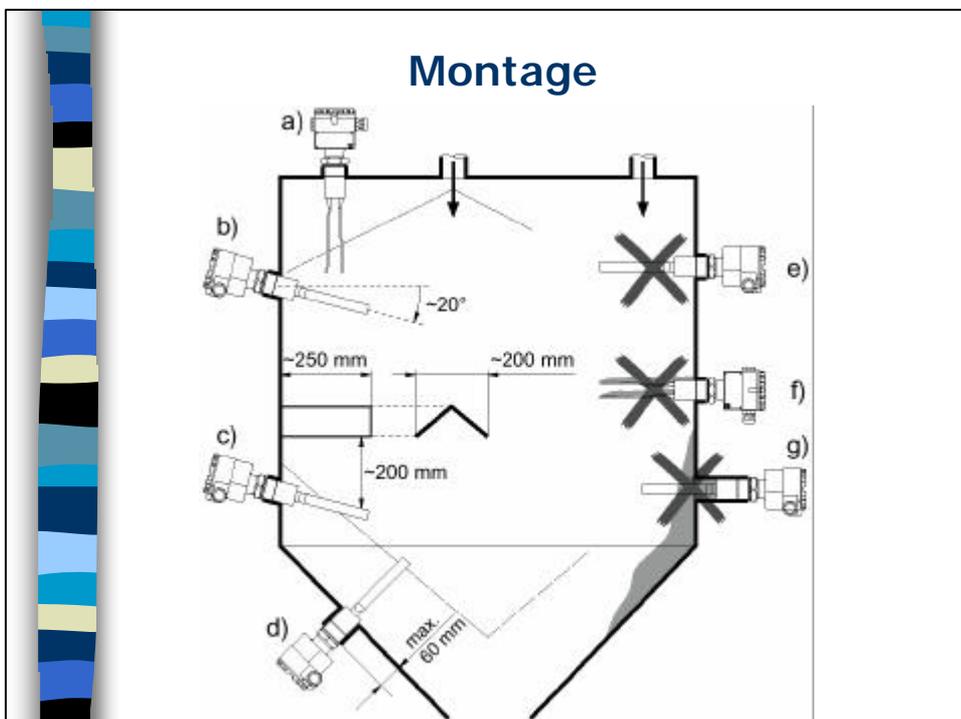
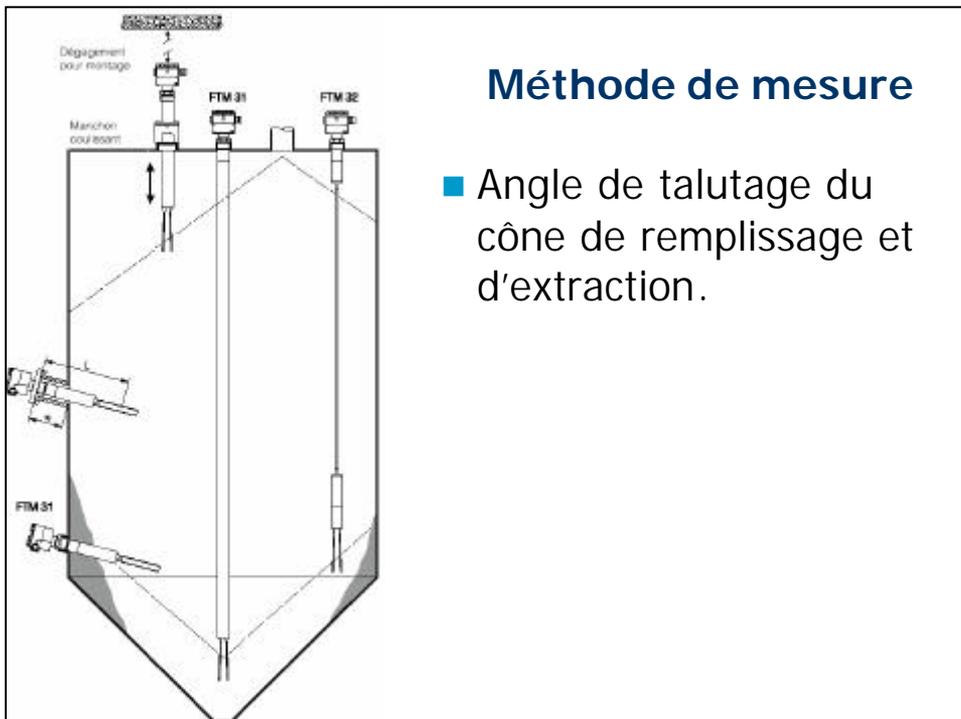
- Correction nécessaire pour obtenir volume si la densité change;
- Précision = celle des jauges (+/- 0.1%);
- Applicable aux solides:
  - Donne volume si granulométrie et composition constante.

## Détection de niveau de solide

Lames vibrantes

Palpeur rationnel







## Bilan

- Universelle pour tous les produits pulvérents et granulés (max. 10 mm)
- Installation mécanique et électrique très simple.
- Insensible à la densité, température, ...
- Détection de niveau liquide