

## RAPPEL DE MATHEMATIQUES

Ce rappel est nécessaire à une bonne compréhension des formules et à leurs applications dans les problèmes de plongée.

### EQUATIONS

Une équation peut être comparée à une balance.

Si la balance est équilibrée et que l'on ôte quelque chose d'un côté, il faut aussi l'ôter (le soustraire) de l'autre pour garder l'équilibre.

Un " + " devient " - " en passant de l'autre côté et inversement.

Un " x " devient " / " en passant de l'autre côté et inversement.

#### Additions et Soustractions

$$A + B = C \quad A = \quad B =$$

$$A - B = C \quad A = \quad B =$$

#### Multiplications et Divisions

$$A \times B = C \quad A = \quad B =$$

$$A / B = C \quad A = \quad B =$$

$$A \times B = C \times D \quad A = \quad B = \quad C = \quad D =$$

Tous les problèmes de plongée jusqu'au 2<sup>ème</sup> Echelon pourront être ramenés à des systèmes d'équations à une seule inconnue.

### RESOLUTION D'UN PROBLEME

Pour résoudre un problème :

- 1) Déterminer la loi dont il est l'application.
- 2) Ecrire la formule de cette loi.
- 3) Remplacer les lettres de la formule par les valeurs numériques déduites de l'énoncé, Attention aux unités.
- 4) Isoler la donnée correspondant à la réponse (inconnue) en la plaçant d'un seul côté de l'expression.
- 5) Effectuer les opérations.
- 6) Faire ressortir le résultat.

## LES PRESSIONS

Exemples de pressions associées à la plongée :

### NOTION DE PRESSION

Déplacer la main dans le sable ou dans l'eau - à plat / verticale

Marcher dans la neige - avec des raquettes / avec des chaussures

Enfoncer une punaise - par le plat / par la pointe

Ces exemples montrent qu'il existe donc une relation directe entre la force d'appui pénétration et la surface en appui, d'où la définition :

$$P = F/S$$

P = PRESSION (bars)    F = FORCE (kgf)    S = SURFACE (cm<sup>2</sup>)

$$1 \text{ bar} = 1 \text{ kgf} / 1 \text{ cm}^2$$

Application : force = 1 tonne force  
surface = 1 dm<sup>2</sup>

P =

### PRESSION ATMOSPHERIQUE

Son abréviation : P<sub>atm</sub>.

Son origine : Il s'agit du poids de l'épaisseur de la couche d'air qui entoure la terre, cette pression diminue donc avec l'altitude.

Au niveau de la mer elle vaut 1 bar

### PRESSION DE L'EAU

Egalement appelée pression hydrostatique ou pression relative, son abréviation P<sub>rel</sub>.

Son origine : poids de l'eau.

Ex. Une colonne d'eau de 10 mètres de haut et 1 cm<sup>2</sup> de section  
Quelle est la pression exercée par cette colonne ?

## PRESSION ABSOLUE

Son abréviation Pabs.

Il s'agit de la pression réelle subie une fois immergé :

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{rel}$$

Profondeur = 10 m → Pabs =

Profondeur = 40 m → Pabs =

Profondeur = 3 m → Pabs =

$P_{abs} = 3$  bars → Profondeur =

$P_{abs} = 5,8$  bars → Profondeur =

## APPLICATIONS A LA PLONGEE

Le plongeur va subir des variations de pression

s'il descend, P augmente

s'il remonte, P diminue

Ces variations auront des conséquences directes sur l'homme et sur le matériel.

## LE THEOREME D'ARCHIMEDE

### JUSTIFICATION

Certains objets flottent, d'autres coulent.

Il faut apprendre à s'équilibrer au palier en fin de plongée :

- On est trop lourd au début car la bouteille pleine est plus lourde
- On est trop lourd on fond car la combinaison s'écrase à cause de la pression.

Il y a donc relation entre équilibre dans l'eau et : \* poids  
\* volume

### RAPPELS

$$P_{Abs} = P_{atm} + P_{rel}$$

$$P_{rel} = P_{prof.}/10$$

$$P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

### MISE EN EVIDENCE

Si on prend un cube de volume 1 litre et de poids 500 grammes

Plongé dans l'eau, il flotte.

Si on prend un cube de volume 1 litre et de poids 1 kilo

Plongé dans l'eau, il reste à la profondeur où il a été mis

Si on prend un cube de volume 1 litre et de poids 1,5 kilo

Plongé dans l'eau, il coule.

### THEOREME ET FORMULE

Tout corps plongé dans un liquide reçoit de celui-ci une poussée verticale exercée de bas en haut et égale au poids du volume de liquide déplacé.

$\text{Poids apparent} = \text{Poids réel} - \text{Poussée d'Archimède}$
--

Si Poids apparent  $> 0 \Rightarrow$  flottabilité négative : il coule

Si Poids apparent  $= 0 \Rightarrow$  flottabilité nulle : équilibre

Si Poids apparent  $< 0 \Rightarrow$  flottabilité positive : il flotte en dépassant la surface.

## EXERCICES D'APPLICATION

Une amphore pèse 32 kg et a un volume de 15 dm<sup>3</sup>.  
Quel est son Poids apparent dans une eau de densité = 1 ?

Un boîtier de caméra a un volume de 5 dm<sup>3</sup> et un poids de 4 kg  
Quel poids ajouter à l'intérieur pour l'équilibrer (d eau = 1) ?

Un plongeur se trouve à 40 m : son poids réel est de 85 kg et son volume de 70 dm<sup>3</sup>.  
Il veut s'équilibrer avec sa bouée (d = 1).

- 1) quel est le volume a introduire dans la bouée ?
- 2) quelle est la pression minimale de la bouteille de bouée dont Ca = 0,4 litre ?

## APPLICATIONS A LA PLONGEE

- Poumon ballast
- Calculs de lestage et de levage
- Utilisation et contrôle de la bouée.

## LA LOI DE MARIOTTE

Les solides et les liquides sont incompressibles mais pas les gaz.

Expérience : avec une pompe à vélo bouchée  
- remplie d'air, on peut enfoncer le piston  
- remplie d'eau, on ne peut pas

Pour prévenir les accidents et savoir utiliser le matériel, il faut connaître la relation entre volume et pression d'un gaz.

### THEOREME ET FORMULE RELATION ENTRE PRESSION ET VOLUME

A température constante, le volume d'un gaz est inversement proportionnel à la pression exercée par ce gaz.

$$P \times V = \text{Constante}$$

Pour un même gaz on peut avoir :

Etat 1  $P_1 \times V_1 = \text{Constante}$

$$\text{D'ou } P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$$

Etat 2  $P_2 \times V_2 = \text{Constante}$

### APPLICATIONS

1°) Un ballon en surface à un volume de 12 litres.

Quel est son volume à 10 mètres ?

Quel est son volume à 30 mètres ?

2°) Un plongeur consomme 20 l/mn, Sa bouteille à un volume en eau de 12 litres, elle est gonflée à  $P = 200$  bars et est équipée d'une réserve tarée à 40 bars.

Durée de sa plongée à 20 mètres ?

## LA LOI DE MARIOTTE ET LA PLONGEE

Gonflage des bouteilles.

Calcul d'autonomie.

Accidents de type barotraumatisme et de décompression.

Calcul de la capacité d'une bouée.

Variation du poids de l'air avec la pression.

Evolution de la flottabilité en fonction de la pression.

## LOI DE DALTON

### JUSTIFICATION

Le plongeur sportif respire en général de l'air comprimé.

L'air n'est pas un gaz simple, mais un gaz composé de plusieurs gaz :

Oxygène, O<sub>2</sub> : 20,9%

Azote, N<sub>2</sub> : 79%

Gaz carbonique, CO<sub>2</sub> : 0,03%

gaz rares : 0,07%

Ces gaz peuvent devenir toxiques en fonction de la quantité qu'il représente dans le mélange respiré, le fait qu'il soit mélangé aux autres gaz n'empêche pas son effet. Un gaz exerce sa propre action comme s'il était seul

Il faut donc savoir calculer la pression de chacun de ces gaz.

Nota : l'air est généralement considéré comme un mélange 80/20

### RAPPELS

Mariotte :  $P_1 \times V_1 = P_2 \times V_2$

### LOI ET FORMULE

- Dans un mélange gazeux chaque gaz se comporte comme s'il était seul à occuper le volume total occupé par le mélange.
- La somme des pressions partielles de chaque gaz est égale à la pression totale du mélange.
- La pression partielle d'un gaz est égale à la pression totale du mélange multipliée par le pourcentage du gaz dans le mélange.

$$P_p. = P_{abs} \times \%$$

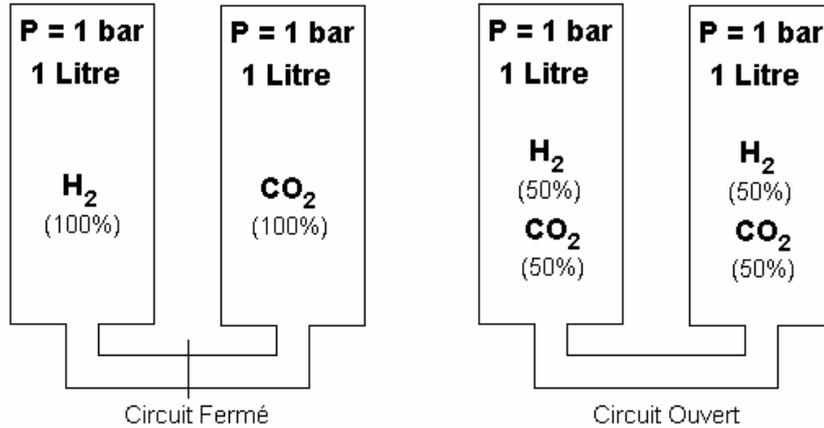
P<sub>p.</sub> pression partielle (dans un mélange gazeux)

P<sub>abs</sub> pression absolue (P<sub>rel</sub> + P<sub>atm</sub>)

% pourcentage du gaz dans le mélange

## EXPERIENCE DE BERTHOLET

Si l'on réunit par un tuyau deux récipients contenant chacun un gaz, soumis à la même pression, chacun des gaz va migrer pour occuper tout l'espace disponible.

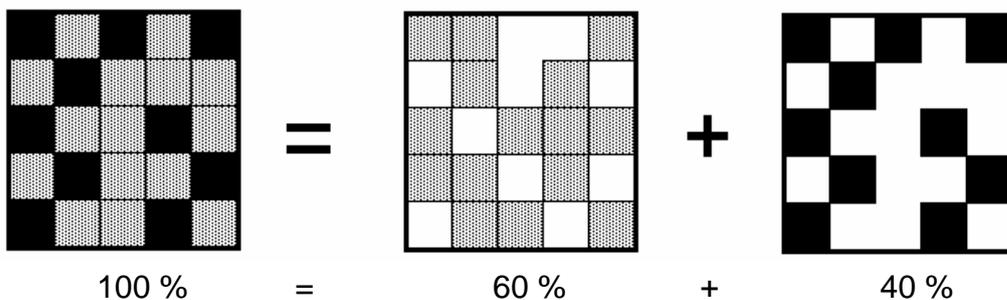


## MISE EN EVIDENCE

Analogie

Un plateau est rempli avec 25 cubes (15 gris et 10 noirs), le taux d'occupation est de 100%.

Si les cubes noirs sont retirés du premier plateau et placés dans un second plateau identique au premier le taux d'occupation des cubes gris devient 60% et celui des cubes noirs 40%.



## EXERCICES D'APPLICATION

Rappel : Air = 80%  $N_2$  + 20%  $O_2$

a)  $P_{pN_2}$  et  $P_{pO_2}$  à 40 m ?

b) Pour quelle profondeur  $P_p$ .  $O_2 = 1,7$  bars ?

c) Pour quelle proportion  $O_2 / N_2$  a-t-on  $P_p$ .  $O_2 = 1,7$  bars à 40 m ?

### APPLICATION A LA PLONGEE

- Calcul des profondeurs limites en fonction de la toxicité des gaz.
- Confection de mélanges respiratoires (Nitrox, Trimix).
- Oxygénothérapie hyperbare.
- Elaboration des tables de plongée.

## LOI DE HENRY

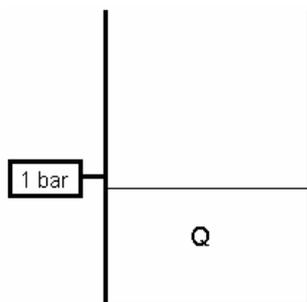
### NOTIONS DE DISSOLUTION

Certains corps peuvent en absorber d'autres qui sont alors dissous. Exemple, le café peut dissoudre le sucre. Dans ce cas le café est un SOLVANT, et le sucre est SOLUBLE dans le café.

Les corps sont plus ou moins solubles, ils ont chacun un COEFFICIENT DE SOLUBILITE. Pour la plongée, c'est la DISSOLUTION des GAZ dans les LIQUIDES qui nous concerne. Quand vous ouvrez une bouteille de boisson gazeuse, il y a un dégagement de bulles qui prouve la présence de gaz dans la boisson. Les gaz sont donc solubles dans les liquides en fonction de leur coefficient de solubilité dans le liquide.

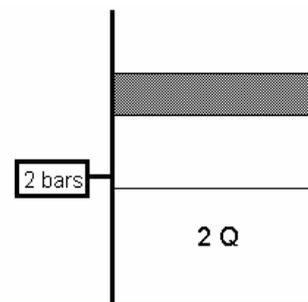
### EXPERIENCE

Soit une cuve contenant un liquide quelconque et fermée par un piston permettant d'exercer des pressions sur le gaz emprisonné entre le piston et le liquide. La cuve est équipée d'un manomètre ( $P_{abs}$ ) qui permet de mesurer la pression exercée sur le gaz.

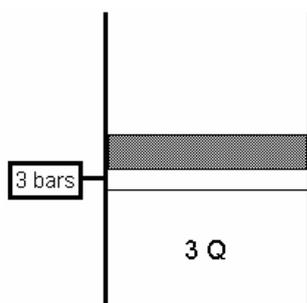


Pression :  
Quantité de gaz dissous :

1 bar  
Q

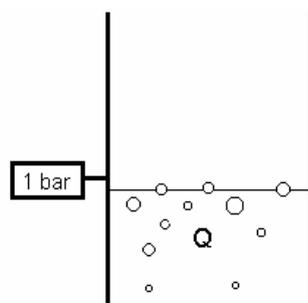


2 bars  
augmente progressivement jusqu'à 2Q



Pression :  
Quantité de gaz dissous :

3 bars  
augmente progressivement jusqu'à 3Q:



1 bar  
baisse rapidement jusqu'à Q  
il y a formation de bulles

## LOI DE HENRY

A température constante et à saturation, la quantité de gaz dissoute dans un liquide est proportionnelle à la pression exercée par ce gaz sur ce liquide.

## DEFINITIONS ET NOTIONS

Nous allons désormais pour éviter les confusions, appeler :

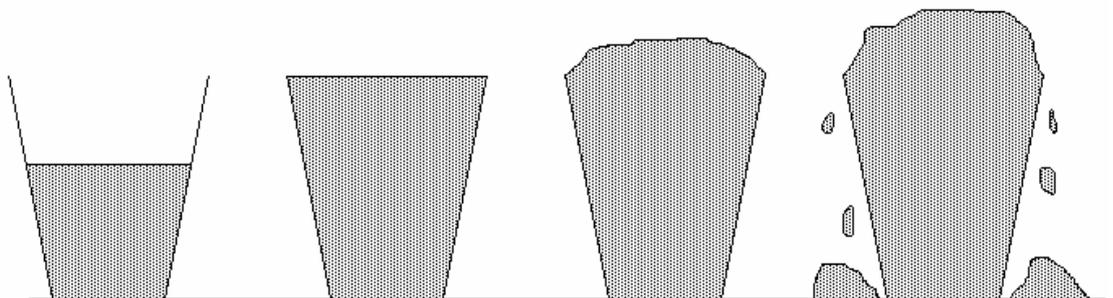
- **PRESSION** : la pression exercée sur le gaz.
- **TENSION** : la pression du gaz dissous dans le liquide.

## Caractéristiques physiques de la dissolution

- La dissolution n'est pas instantanée.
- Plus le coefficient de solubilité du gaz est élevé, plus la quantité de gaz dissoute est importante à pression égale.
- Quand la température augmente, la quantité de gaz dissous diminue (exemple : l'eau qui chauffe laisse échapper du gaz).

## Les 4 états

Pression	augmente	fixe	diminue	diminue trop
Gaz	se dissout	équilibre	Elimination par la surface	formation de bulles
Etat	sous-saturation	saturation	sursaturation	Sursaturation critique



La TENSION est INFÉRIEURE à la PRESSION = SOUS-SATURATION

La TENSION est ÉGALE à la PRESSION = SATURATION

La TENSION est SUPÉRIEURE à la PRESSION = SURSATURATION

La TENSION SUPÉRIEURE à 2 fois la PRESSION = SURSATURATION CRITIQUE

## Notion de tension

P. = pression      T = tension

A saturation  $T = P$ .

En sous-saturation : T augmente progressivement vers P.

En sursaturation : T diminue progressivement vers P.

## Notion de tissu

Le corps humain est formé de tissus différents tels que le sang, les muscles, les graisses, les os, les moelles etc... En fait ces tissus vont se comporter face à l'air comprimé que nous respirons en plongée comme des liquides plus ou moins concentrés.

Pour le plongeur, c'est l'air étant composé d'AZOTE, d'OXYGENE, de GAZ CARBONIQUE.

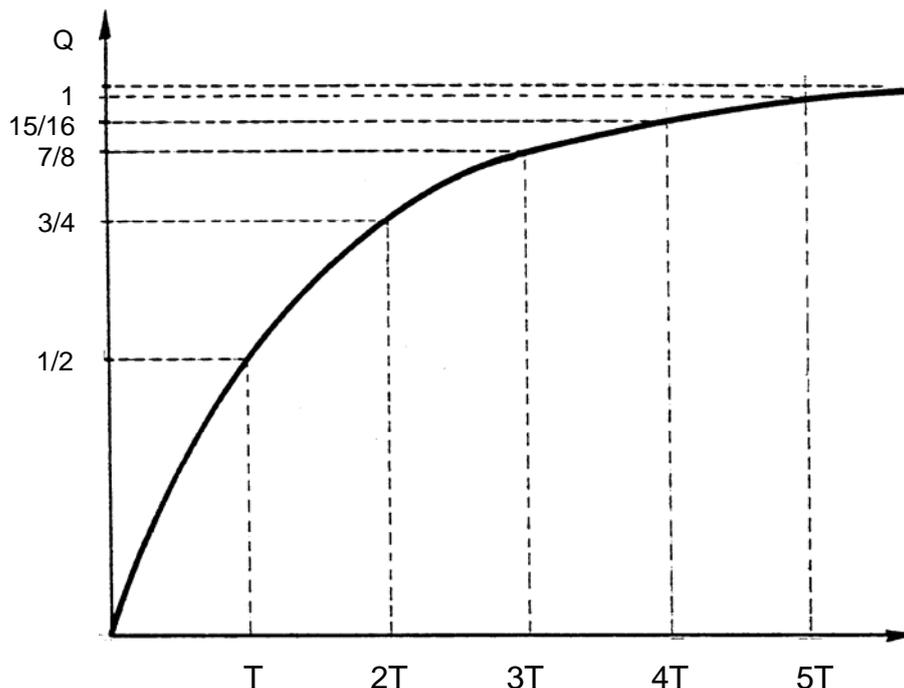
- L'oxygène ( $O_2$ ) est consommé au niveau des tissus.
- Le gaz carbonique ( $CO_2$ ) produit au niveau des organes est éliminé par la respiration en partie.
- L'azote ( $N_2$ ) qui sert de diluant pour l'oxygène et le  $CO_2$  est respiré en même temps mais n'entre pas dans le phénomène respiratoire des échanges gazeux. C'est donc l'azote qui se dissout dans l'organisme.

## Notion de tissu

Il faut différencier les différents tissus de l'organisme en utilisant la même base de référence. Ils sont distingués par leur PERIODE. Cette PERIODE sera un TEMPS exprimé en MINUTES.

Définition : La période d'un tissu est le temps nécessaire à ce tissu pour absorber ou restituer la MOITIE de la QUANTITE de gaz qu'il lui manque ou qu'il a en trop, pour être à SATURATION.

Exemple courbe de saturation : (Q : quantité de gaz à dissoudre).



## Les facteurs de dissolution

- |                      |                                      |
|----------------------|--------------------------------------|
| - Gaz                | Azote (tables spéciales pour hélium) |
| - Liquides           | Infinité de tissus dans le corps     |
| - Température        | Constante (37°C)                     |
| - Pression           | Profondeur                           |
| - Temps              | Durée de la plongée                  |
| - Surface de contact | Zone d'échange alvéolaire            |
| - Agitation          | Essoufflement                        |

## APPLICATIONS A LA PLONGEE

- Tables de plongée.
- Vitesse de remontée.
- Paliers de décompression.
- Prévention des accident de décompression.
- Plongée au mélanges.

## LA VISION DANS L'EAU

### JUSTIFICATION

Expérience des plongeurs ? - on voit plus gros

- on voit plus proche
- on a un champ de vision rétréci
- les couleurs disparaissent
- eau trouble : la lampe n'éclaire pas

But du cours : expliquer les raisons de ces phénomènes.

### LES 4 EFFETS

#### LA REFLEXION

$$r = i$$

Analogie : boule de billard frappant une bande

Exemple : le miroir

#### LA REFRACTION

$$R < i$$

Exemple : un bâton plongé dans l'eau semble cassé

Limites :  $i=0^\circ \rightarrow R=0^\circ$

$i=90^\circ \rightarrow R=48^\circ 35'$

#### L'ABSORPTION

0m: 100%

1m: 40%

10m: 14%

20m: 7%

40m: 1,5%

Disparition des couleurs :

2m: rouge modifié      lumière blanche=7 couleurs (arc-en-ciel)

5m: rouge disparaît      violet

10/15m : orangé disparaît      indigo

15/25m : jaune disparaît      bleu

25m/60m : violet/vert disparaît      vert

>60m : monochrome bleu      jaune

400m: noir total      orangé

rouge

Absorption sélective : d'abord les longueurs d'onde élevées (rouge/orangé) puis les plus

faibles (bleu/vert)

## LA DIFFUSION

Due à la réflexion et à la réfraction sur les particules en suspension (plancton par exemple)

L'effet est le même qu'un phare dans le brouillard

## APPLICATIONS A LA PLONGEE

### SANS MASQUE

L'image se forme en arrière de la rétine (hypermétrope)-->vision floue

### AVEC MASQUE

Grossissement

Ca rapproche :

Distance apparente = distance réelle x 3/4

Ca grossit :

taille imaginaire = taille réelle x 4/3

Rétrécissement du champ de vision

le masque à un effet d'ocillères

dans l'eau : rétrécissement supplémentaire dû à la réfraction

conclusion: tours d'horizon indispensables

- au fond, pour voir les équipiers
- à 3m pour voir les bateaux
- à la surface pour voir les voiliers et le bateau de plongée

Les couleurs

pour les voir, emporter une lampe

# L'ACOUSTIQUE

## JUSTIFICATION

On entend très bien les sons dans l'eau.

Exemples: - bruit du moteur du bateau

- chocs sur la bouteille
- voix dans l'embout
- bruits ou cris des animaux--- langoustes
- baleines
- pétards de rappels

## DIFFERENCES AIR-EAU

Dues au fait que l'eau est un milieu beaucoup plus dense que l'air.

## VITESSES

Dans l'air : 330 m/sec. Dans l'eau : 1500 M/sec.
---

## PERCEPTION

Dans l'air : par l'organe auditif

Dans l'eau : idem + boîte crânienne

## ABSORPTION

La sensation sonore s'affaiblit avec la distance entre source et oreille.

Dans l'air comme dans l'eau, l'absorption croit avec la fréquence (le son aigu s'affaiblit plus que le son grave).

## DIRECTION

Dans l'eau, un son est mieux perçu que dans l'air, mais la direction d'où il provient est plus difficile à déterminer (à cause de la vitesse plus importante)

## EXERCICES D'APPLICATION

Une explosion a lieu à la surface de l'eau à 4950 mètres d'un bateau de plongée.

Combien de temps les plongeurs au palier l'entendront-ils avant le marin resté à bord ?

Un sondeur émet une onde sonore verticalement vers le fond et en reçoit l'écho un dixième de seconde après l'émission. Quelle est la profondeur ?

## **APPLICATIONS A LA PLONGEE**

Communication entre plongeurs : \*chocs sur bouteille  
\*cris dans l'embout

Communication entre surface et plongeurs :  
\*chocs sur échelle métallique  
\*pétards de rappel

Orientation et sécurité : bruit des moteurs  
Sondeur