

## La salinité

L'eau de nos aquariums est salée !

Pour le bien être des animaux que nous hébergeons il est indispensable de savoir à quel point.

Par définition **la salinité est la quantité de sel dissout par kilo d'eau de mer.**

Elle s'exprime en grammes par kilo [g/kg] ou, ce qui revient au même, en ppt (Part Per Thousand ou ‰) ou en PSU (Practical Salinity Unit).

Il existe malheureusement plusieurs méthodes pour savoir combien notre eau contient de sel, dont certaines peuvent provoquer des erreurs de mesure.

Le but de cet article est d'essayer d'expliquer pourquoi et comment les éviter.

### 1) Composition de l'eau de mer

L'eau de mer naturelle contient en moyenne 35 grammes de sel par kilo d'eau (35 ppt).

Une première remarque est que cette proportion ne dépend pas de la température : un kilo d'eau pèsera toujours un kilo que cette eau soit à 10 ou à 50°C n'y changera rien ; idem pour le sel qu'elle contient.

Une seconde remarque est qu'il s'agit d'une moyenne de tous les océans du globe, la teneur pouvant varier de 32 g/kg dans la mer Baltique à 39 g/kg dans la mer rouge, et je ne parlerai pas de la mer morte.

Pour nos aquariums on conseille de ne pas trop s'écarter de 35 g/kg sachant qu'il vaut mieux une eau un peu trop salée que pas assez ; cfr [Reef Aquarium Water Parameters](#) et [Temperature and Salinity in Maintaining Coral Reef Aquarium Animals](#).

Le sel contenu dans l'eau de mer est composé de divers ingrédients dont les principaux sont, en grammes pour un kilo d'eau

Chlorure ( $Cl^-$ )	19,0	Chlorure de sodium ("sel de cuisine")	29,5
Sodium ( $Na^+$ )	10,6		
Sulfate ( $SO_4^{2-}$ )	2,65		
Magnésium ( $Mg^{2+}$ )	1,27		
Calcium ( $Ca^{2+}$ )	0,40		
Potassium ( $K^+$ )	0,38		
Hydrogénocarbonate ( $HCO_3^-$ )	0,14		
Bromure ( $Br^-$ )	0,065		
Strontium ( $Sr^{2+}$ )	0,014		
Fluorure ( $F^-$ )	0,001		
Autres	0,54		
<b>Total</b>	<b>35,0</b>		

Il est à remarquer que le Chlorure de Sodium NaCl qui n'est autre que du sel de cuisine représente à lui seul 29,5 grammes sur 35 soit 84,4% de la totalité des sels dissouts.

Autre fait remarquable : si la quantité totale de sel varie d'un océan à l'autre, le rapport entre les différents éléments est constant ; par exemple, à l'exception de quelques endroits particuliers comme les estuaires, le potassium représente toujours 1,086% du sel total.

## 2) Mesure directe de la salinité

La première méthode qui vient à l'esprit pour mesurer cette salinité, est de laisser évaporer un kg d'eau salée et de peser le résidu qui subsiste mais elle ne fonctionne pas car certains composés s'évaporent aussi au lieu de cristalliser.

Sachant que la proportion entre les éléments est constante, il suffit d'en mesurer un, par exemple le potassium, pour connaître la teneur de tous les autres composants.

Cette méthode convient à l'eau de mer naturelle mais pas pour nos bacs dont la composition n'est pas uniforme ; par exemple certains ont trop de calcium, d'autres pas assez.

## 3) Mesures indirectes de la salinité

Ne sachant pas mesurer directement la salinité nous sommes obligés d'utiliser un autre moyen : mesurer un paramètre qui dépend de la salinité, par exemple l'indice de réfraction, la conductivité, le volume, le poids, ...

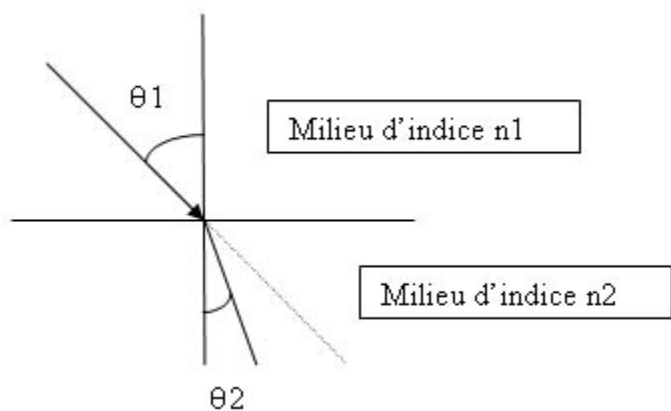
Nous allons en passer quelques uns en revue.

### • L'indice de réfraction

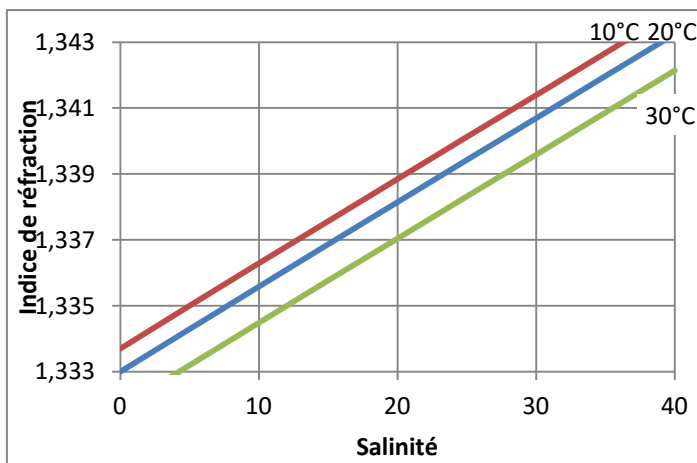
Quand un rayon lumineux passe d'un milieu transparent à un autre, par exemple de l'air à l'eau, le faisceau est dévié.

Cette déviation dépend de l'indice de réfraction des deux milieux traversés.

L'indice de réfraction de l'eau de mer dépend de la salinité.



### [Index of Refraction of Water](#)



Ainsi en mesurant l'indice de réfraction de l'eau de mer on peut en déduire sa salinité et c'est ce que fait un réfractomètre.

Comme on le voit sur le graphique, l'indice de réfraction dépend aussi de la température ; la plupart des réfractomètres affichent la salinité en tenant compte de la température de l'échantillon (celle de sa vitre) pour afficher la salinité qui, elle, ne dépend pas de la température.

### • La conductivité

Si on plonge 2 électrodes dans l'eau et qu'on y applique une tension électrique, un courant va circuler entre ces électrodes ; ce courant dépend de

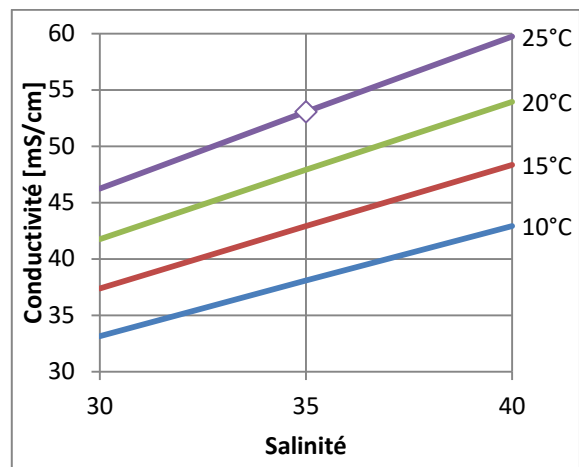
- la tension appliquée ;
- la distance entre les électrodes ;
- la température ;
- la salinité de l'eau.

Le rapport entre le courant et la tension pour une distance donnée s'appelle la conductivité ; par exemple si on applique une tension de 1 volt à 2 électrodes écartées de 1 mètre et qu'il circule un courant de 1 ampère on dira que la conductivité est de un ampère par volt par mètre ou encore un Siemens par mètre [S/m].

Ainsi en mesurant la conductivité de l'eau de mer on peut en déduire sa salinité et c'est ce que fait un conductimètre.

Comme on le voit sur le graphique la conductivité dépend aussi de la température : un conductimètre permettant de donner la salinité doit aussi être muni d'une sonde de température.

Avec une salinité de 35 g/kg et à 25°C la conductivité = 5,3 S/m ou 53 mS/cm.



- La masse volumique

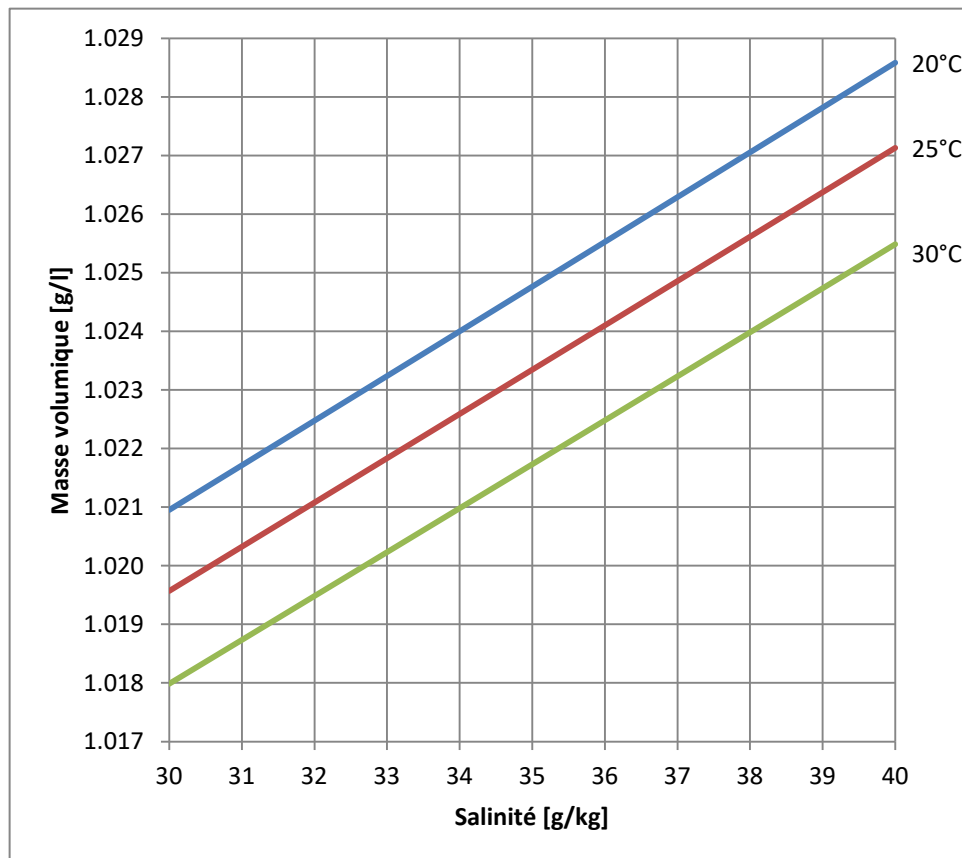
Une autre méthode consiste à peser un litre d'eau salée.

**Le poids d'un litre d'eau s'appelle « masse volumique »**

Elle s'exprime en kg par litre ou en grammes par litre [g/l].

Une difficulté pour faire cette mesure est que le poids d'un litre d'eau dépend de sa température : à la température de 3,98°C un litre d'eau pèse un kg mais à 25°C il ne pèse plus que 997 grammes et ces 3 grammes font toute la différence !

Le graphique ci-dessous montre la masse volumique de l'eau de mer en fonction de sa salinité pour différentes températures.



A une salinité normale de 35 ppt la masse volumique est

- 1.024,5 g/l à 20°C ;
- 1.023,1 g/l à 25°C ;
- 1.021,5 g/l à 30°C.

La difficulté d'effectuer cette mesure précisément est d'obtenir exactement un litre d'eau et de le peser au 10<sup>ème</sup> de gramme près (précision : 0,01%).

Par exemple si on utilise 0,999 litre au lieu de 1,000 litre le poids sera de 1.022,1 grammes au lieu de 1.023,1 et la salinité 33,6 g/kg au lieu de 35.

On se rend compte qu'il n'est pratiquement pas possible d'obtenir cette précision de mesure de volume et de poids avec les moyens dont nous disposons.

Avez-vous remarqué que la masse volumique est de l'ordre de **mille** grammes par litre ?

- La densité

Une méthode plus précise consiste, au lieu de peser un litre d'eau, à comparer le poids d'un certain volume d'eau au poids du même volume d'autre chose ; pour l'eau on va prendre comme référence de l'eau pure.

**La densité est le rapport entre**  $\frac{\text{le poids d'un certain volume l'eau salée}}{\text{et le poids du même volume d'eau pure}}$

Remarquez que puisqu'il s'agit du même volume, le rapport entre les poids sera proche de l'unité, alors que la masse volumique est proche de mille.

D'autre part puisque la densité exprime le rapport entre 2 poids presque identiques, par exemple 1.023 grammes / 997 grammes, elle n'a pas d'unité [].

Ainsi déjà on ne doit plus mesurer le volume ; il suffit de prendre le même volume quel qu'il soit ; mais comment prendre 2 volumes identiques ?

La technique utilisée sera basée sur le principe d'Archimède :

« Tout corps plongé dans un liquide subit une force verticale égale au poids du volume de liquide déplacé »

Ainsi, si on plonge un objet flottant dans l'eau, il est donc en partie émergé et en partie immergé ; la partie immergée a pris la place d'une partie de l'eau ; Archimède dit que le poids de ce volume d'eau est exactement égal au poids de l'objet ; nous n'avons pas besoin de mesurer le volume déplacé puisqu'on sait qu'il est exactement égal au volume immergé de l'objet ; pour le savoir il suffit de voir de combien l'objet s'enfonce !

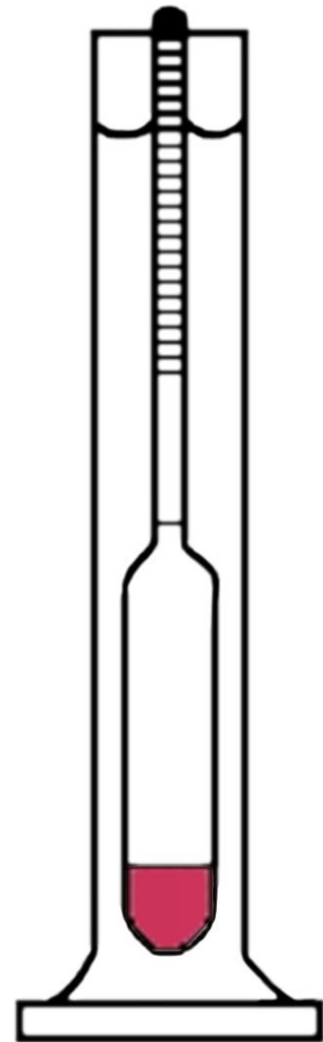
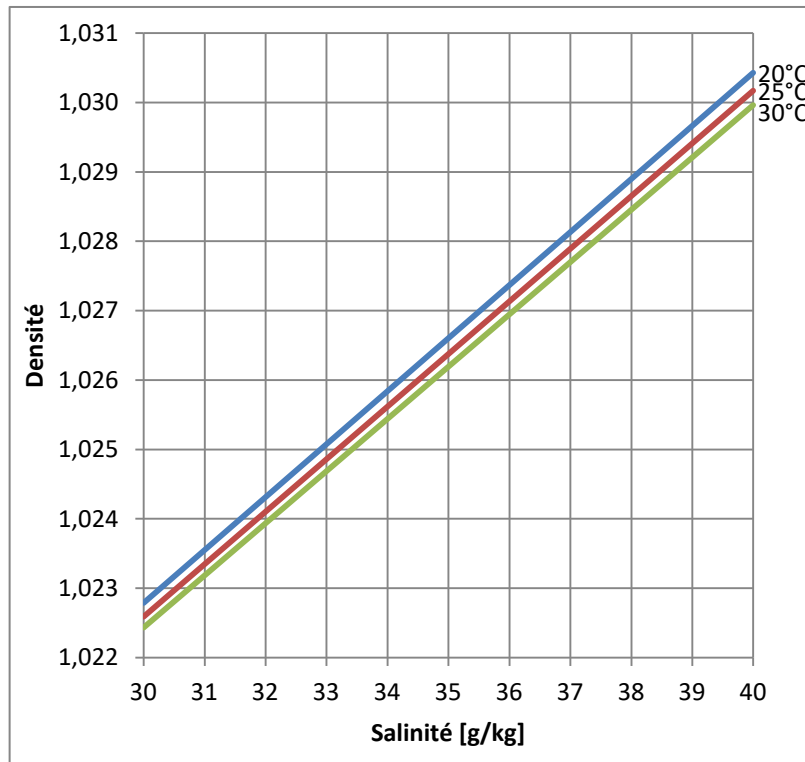
Nous n'avons pas non plus besoin de mesurer le poids de l'eau déplacée puisqu'il est exactement égal au poids de l'objet flottant.

C'est ainsi que fonctionne le densimètre à flotteur : plus la densité de l'eau dans laquelle on le plonge est élevée, moins il s'enfonce ; une échelle permet de lire directement la densité.

La densité varie cependant avec la température comme le montre le graphique ci-dessous.

A une salinité normale de 35 ppt la densité est

- 1,0264 à 20°C ;
- 1,0261 à 25°C ;
- 1,0259 à 30°C.



#### 4) Sources de confusion

- a) Nous avons vu que la masse volumique est à peu près égale à 1.000 (mille) et que la densité est à peu près égale à un.

Mais nous voyons aussi que, la position de la virgule mise à part, les chiffres qui mesurent la masse volumique et la densité se ressemblent étrangement ; par exemple à une salinité de 35 ppt et une température de 25°C

- Masse volumique = 1.023 g/l
- Densité = 1,026

- b) En anglais

« densité » se dit « specific gravity »

« masse volumique » se dit « density » !

Nombreux sont les articles écrits en anglais traduits en français où « density » est traduit par erreur par « densité » créant une confusion supplémentaire entre les deux notions.

Sans oublier que les anglais utilisent le point au lieu de la virgule comme séparateur décimal et la virgule au lieu du point comme séparateur des milliers !

Que se passe-t-il si on confond les deux ?

Par exemple si on dit « la densité est 1023 » alors qu'on parle en réalité d'une masse volumique la salinité ne sera pas 35 ppt mais 31 ppt : nettement trop faible.

**Le meilleur moyen d'éviter cette double source de confusion est de ne pas parler de masse volumique ni de densité mais bien de salinité** qui, outre le fait que le chiffre qui l'exprime, de l'ordre de 35, n'est pas ambigu, ne dépend pas de la température.

Voici un tableau récapitulatif pour différentes salinités à 25°C

Français	Salinité	Masse volumique	Densité	Conductivité
Anglais	Salinity	Density	Specific gravity	Conductivity
Unité	[ppt]	[g/l]	[ ]	[mS/cm]
Eau pure	0	997	1,0000	0
Eau salée	30	1.019,6	1,0226	46,2
	31	1.020,3	1,0233	47,6
	32	1.021,1	1,0241	48,9
	33	1.021,8	1,0249	50,3
	34	1.022,6	1,0256	51,6
	35	1.023,3	1,0264	53,0
	36	1.024,1	1,0271	54,4
	37	1.024,9	1,0279	55,7
	38	1.025,6	1,0286	57,1
	39	1.026,4	1,0294	58,4
40	1.027,1	1,0302	59,8	

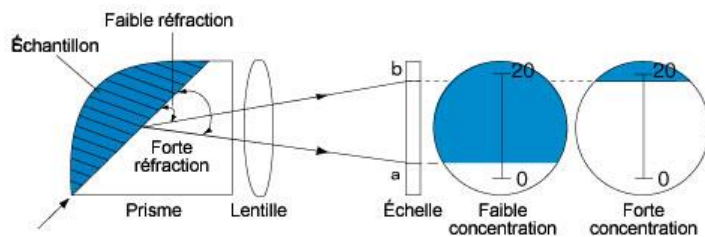
Cerise sur le gâteau : en océanographie, on appelle par abus de langage "densité" l'anomalie de masse volumique par rapport à l'eau douce dans les conditions standard. Par exemple si l'eau a une masse volumique de 1.023 kg/m<sup>3</sup> l'océanographe dira que « la densité = 23 kg/m<sup>3</sup> » alors qu'en réalité la densité vaut 1,026 [sans unité] (à 25°C).

## 5) Mesure de la salinité

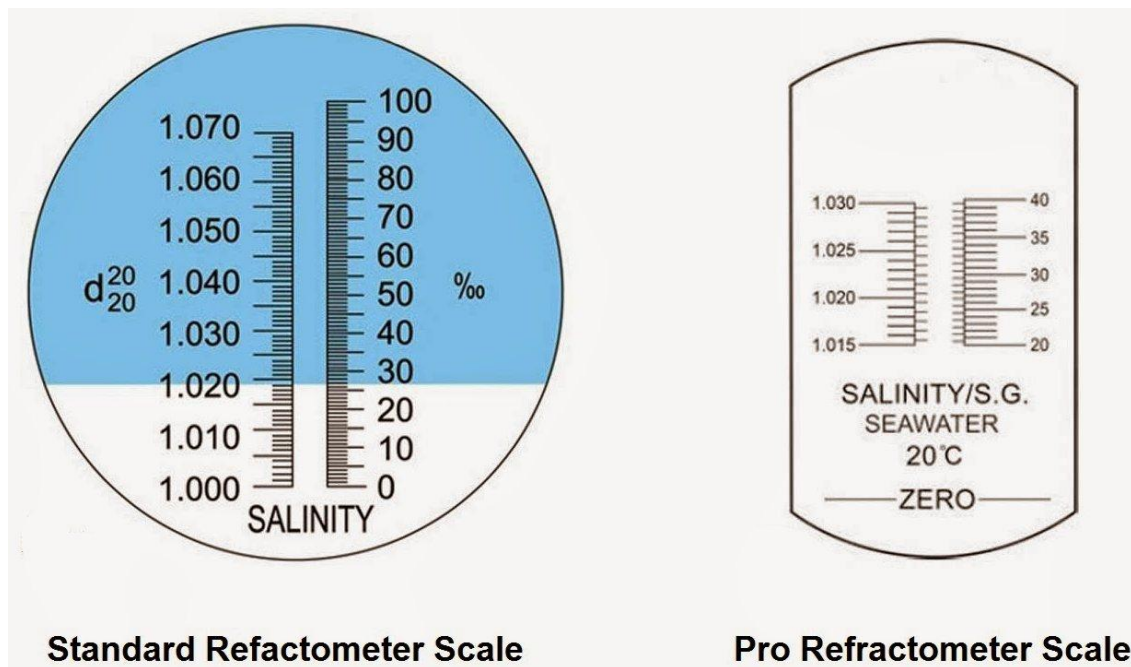
Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la salinité ; nous allons en passer quelques unes en revue

- Le réfractomètre

Il s'agit d'un appareil qui mesure l'indice de réfraction d'une gouttelette d'eau posée sur sa vitre



Puisque l'indice de réfraction dépend de la température, la plupart des appareils dédiés à l'aquariophilie effectuent une correction dite ATC (Automatic Temperature Compensation) qui, dans une plage de l'ordre de 20 à 30°C permet d'afficher directement la salinité en ppt ou en ‰ ce qui est exactement la même chose.



La plupart d'entre eux affiche aussi la densité qu'aurait l'échantillon à une certaine température, souvent à 20°C comme l'indique l'indication  $d_{20}^{20}$  dans l'exemple ci-dessus à gauche, ou précise S.G. (Specific Gravity = densité) à 20°C comme à droite.

Puisque la densité dépend de la température la densité effective à la température de l'aquarium sera un peu différente ; par exemple sur l'image de gauche la densité = 1,0190 à 20°C ; à 25°C elle atteindrait 1,0188 ; on voit que cette différence est négligeable.

Exemple : supposons que la salinité de l'eau soit à 35 g/kg et sa température 25°C

- si le réfractomètre est à 20°C, la goutte d'eau sur sa vitre sera à peu près à 20°C ; le réfractomètre mesure l'indice de réfraction à 20°C et tient compte de cette température pour afficher la salinité de 35 g/kg ; il affiche aussi la densité qu'elle aurait à 20°C à savoir 1,0264
- si le réfractomètre est à 15°C, la goutte d'eau sur sa vitre sera à peu près à 15°C ; le réfractomètre mesure l'indice de réfraction à 15°C et tient compte de cette température pour afficher la salinité de 35 g/kg ; il affiche aussi la densité qu'elle aurait à 20°C à savoir 1,0264

En d'autres termes, le réfractomètre affichera toujours la même salinité et la même densité quelle que soit, dans une limite raisonnable, sa température et celle de l'eau.

- Le conductimètre

On trouve dans le commerce aquariophile des conductimètre indépendants ou en combinaison avec certains « ordinateurs » comme IKS et Aquatronica entre autres.

Tous mesurent la conductivité et la température et affichent au choix, outre la conductivité, la salinité, la masse volumique ou la densité.

Attention à la terminologie anglaise pour ces 2 dernières possibilités.

- Le densimètre ou hydromètre à flotteur

Il en existe de 2 types

1. L'hydromètre à aiguille présente l'avantage d'être bon marché et facile à utiliser mais a la mauvaise réputation d'être peu précis à cause des frottements des paliers de l'aiguille notamment en raison des concrétions de sel dont ils peuvent faire l'objet.

Il comporte souvent une échelle de densité (Specific Gravity sur l'image ci-dessous) et en ppt à une température donnée (25°C dans l'exemple).

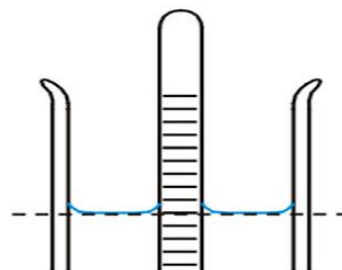


2. L'hydromètre flottant consiste en un cylindre creux, lesté et gradué, qui s'enfonce plus ou moins dans le liquide à mesurer selon sa densité.

Il comporte aussi parfois un thermomètre comme sur l'image ci-contre.

On lit directement la densité du liquide dans lequel il est plongé sur la graduation présente à la surface libre, valable uniquement à la température généralement indiquée sur l'appareil.

Il faut lire l'échelle au niveau de la surface de l'eau, comme indiqué par le pointillé sur la figure ci-dessous, et pas au niveau du ménisque qui peut monter ou descendre sur le tube en verre.



Un densimètre à flotteur est relativement précis mais il faut l'utiliser avec précaution :

- quand il est sec il peut se former des bulles d'air qui collent au verre; le flotteur est trop haut donc la densité indiquée est trop élevée;
- faire attention à ce qu'il ne plonge pas sous l'eau car de l'eau subsiste sur la partie émergée, le flotteur est plus lourd donc la densité indiquée est trop faible.

## 6) Préparation de l'eau de mer

Idéalement pour préparer de l'eau de mer on devrait mettre 35 g de sel dans un récipient et ajouter de l'eau pour que le tout pèse un kg (sans le récipient !)

Une autre possibilité est de mettre 35,8 g de sel dans un récipient et de compléter avec de l'eau jusqu'à un litre.

On peut aussi prendre un litre d'eau et y ajouter 36,2 g de sel pour obtenir 1,01 litre d'eau salée.

Le problème est que les sels commerciaux contiennent déjà une partie d'eau ; par exemple Instant Ocean contient 15% d'eau ; il ne s'agit pas d'un défaut de fabrication ou de conservation ; ceci est inhérent à la manière dont les sels sont fabriqués ; par exemple pour ajouter du Magnésium on utilise du chlorure de Mg hexahydraté  $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  : 1 g de chlorure contient 0,23 g d'eau.

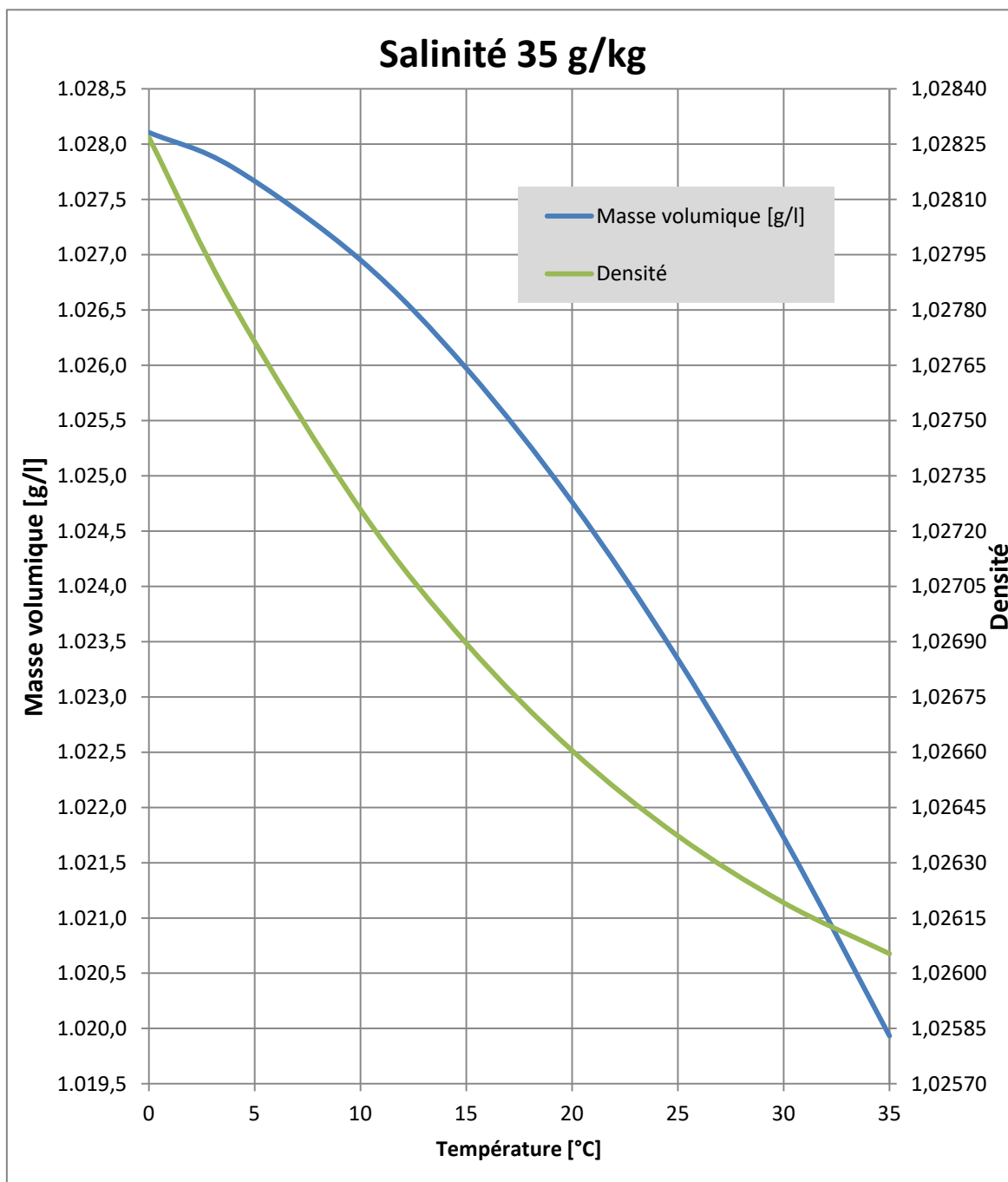
Par conséquent il faut utiliser un peu plus de sel commercial, typiquement 17% en plus.

Par exemple au lieu d'ajouter 35 g de sel il faut en utiliser 41.

7) <u>Résumé</u>	Salinité	Masse volumique	Densité
Définition	Poids de sel, en grammes contenu dans un kg d'eau salée	Poids en grammes d'un litre d'eau salée	Poids d'un litre d'eau salée divisé par le poids d'un litre d'eau pure
Objectif	34,5 à 36,5 g/kg Idéal : 35 g/kg	À 25°C 1022 à 1024,2 Idéal : 1023,1	À 25°C 1,025 à 1,027 Idéal : 1,026
Remarque	Ne dépend pas de la température	Dépend de la température	

## 8) Conversions

Voici un graphique permettant de connaître la densité et la masse volumique en fonction de la température pour une salinité de 35 ppt.



Un programme permettant de calculer 2 des 3 paramètres salinité, densité et conductivité en fonction du troisième et de la température est disponible gratuitement en téléchargement ici [Conductivité, masse volumique, salinité et densité](#).

Il affiche aussi la masse volumique de l'eau salée et de l'eau pure à la même température.

Par exemple, puisque la plupart des réfractomètres affichent la densité à 20°C, on peut saisir cette température et la densité affichée, puis modifier la température à, par exemple 25°C pour connaître la densité dans l'aquarium qui est à cette température.

Mais je répète que le moins ambigu est de ne pas parler de densité mais bien de salinité qui, ne dépend pas de la température.

Le programme en question permet aussi de convertir en salinité la densité affichée par un hydromètre à flotteur.