

Remarques, suggestions et contributions via [ce sujet](#) ou en ouvrant un nouveau dans la [Boîte à idées](#).

Table des matières

I.	Lexique, grandeurs, unités et notations	3
A.	Système international d'unités (SI).....	3
1.	Unités de base	3
2.	Unités dérivées.....	3
3.	Préfixes du Système international d'unités	3
B.	Définitions de la concentration	4
C.	Notations chimiques.....	4
D.	Réactions chimiques.....	4
E.	Unités propres à la lumière	5
II.	Biotope	6
A.	L'eau de mer	6
1.	Composition de l'eau de mer naturelle.....	6
2.	Fabrication de l'eau de mer artificielle.....	9
3.	Salinité, densité et coëtera.....	11
4.	Moyens de mesure	13
5.	La supplémentation.....	17
6.	Méthodes de supplémentation.....	17
7.	La complémentation (en attente de rédaction)	20
B.	Épuration des nutriments.....	20
1.	Respiration.....	20
2.	Le cycle de l'azote	20
3.	Métabolisme.....	21
4.	Concept de Redfield	22
5.	Élimination des Phosphates	22
6.	Élimination des Nitrates	22
7.	Méthodes	23
III.	Biocénose : les êtres vivants.....	25
A.	Taxonomie	25
B.	Poissons.....	25
C.	Coraux.....	26
D.	Autres organismes.....	26
IV.	Matériel	27
A.	L'équipement	27
B.	L'installation électrique	28

1.	Différentiel et mise à la terre de l'eau	28
2.	Répartiteur	28
3.	Alimentation de secours.....	30
C.	L'aquarium et sa cuve technique	30
1.	L'aquarium.....	30
2.	La cuve technique.....	31
3.	Choix d'un aquarium	33
4.	Support de l'aquarium ou meuble	33
D.	Descente et remontée.....	34
1.	Remontée	34
2.	Descente.....	35
3.	Les changements d'eau	37
E.	La lumière.....	39
1.	Caractéristiques de la lumière.....	39
2.	Besoins des coraux	40
3.	Mesure de la lumière.....	41
4.	Choix d'un système d'éclairage	42
F.	Le brassage	46
G.	L'écumeur.....	48
1.	Principe de l'écumage	48
2.	Fonctionnement de l'écumeur	49
3.	Choix d'un écumeur.....	50
H.	L'osmoseur	51
I.	L'osmolateur	55
J.	Chauffage / refroidissement	55
V.	Fonctionnement d'un aquarium récifal.....	55
A.	Démarrage.....	55
1.	L'eau, le sel et les cailloux.....	55
2.	Le sable.....	55
3.	L'ensemencement	55
B.	Plan de Maintenance de l'Aquarium Récifal.....	57
VI.	Glossaire	58

I. Lexique, grandeurs, unités et notations

A. Système international d'unités (SI)

1. Unités de base

Le système international d'unités (SI) est constitué de sept unités de base :

Grandeur	Unité	
	Masse	kilogramme
Temps	seconde	s
Longueur	mètre	m
Température	Kelvin	K
Courant électrique	Ampère	A
Quantité de matière	mole	mol
Intensité lumineuse	candela	cd

2. Unités dérivées

Toutes les autres unités sont dérivées de ces unités de base, par exemple un volume s'exprime en mètres cube m^3 .

Pour la température, hormis pour la couleur de [la lumière](#), nous n'utilisons pas le kelvin K mais le degré Celsius $^{\circ}C$: $K = ^{\circ}C + 273,15$.

Une mole = N_A particules, voir plus loin "Nombre d'Avogadro".

Enfin la candela (cd) mesure l'intensité lumineuse dans une direction déterminée; une source lumineuse qui rayonne une intensité de 1 cd dans toutes les directions fournit une intensité de 1 lumen; si ce lumen éclaire une superficie de $1 m^2$ l'éclairement est de 1 lux.

3. Préfixes du Système international d'unités

Préfixe	Symbole	Puissance de 10	Facteur	Nom
Téra	T	10^{12}	1 000 000 000 000	Billion
Giga	G	10^9	1 000 000 000	Milliard
Méga	M	10^6	1 000 000	Million
Kilo	k	10^3	1 000	Millier
Hecto	h	10^2	100	Centaine
Déca	da	10^1	10	Dizaine
(aucun)	—	10^0	1	Unité
Déci	d	10^{-1}	0,1	Dixième
Centi	c	10^{-2}	0,01	Centième
Milli	m	10^{-3}	0,001	Millième
Micro	μ	10^{-6}	0,000 001	Millionième
Nano	n	10^{-9}	0,000 000 001	Milliardième
Pico	p	10^{-12}	0,000 000 000 001	Billionième

B. Définitions de la concentration

Le taux est le poids d'un élément par rapport au poids total, ce n'est pas une unité mais un facteur, il s'exprime en

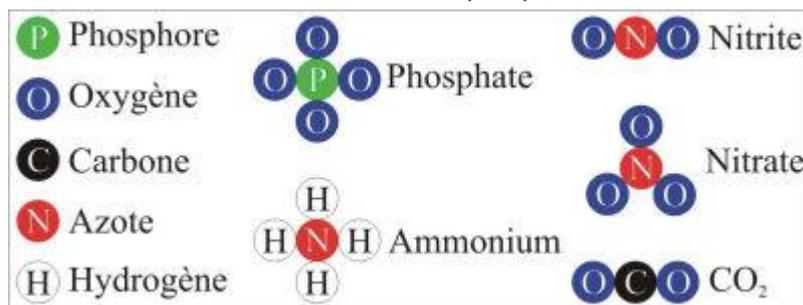
- ppt : parts per thousand : parts pour mille
- ppm : parts per million : parts pour un million
- ppb : parts per billion : parts pour un milliard

Au lieu de "Taux de Calcium : 413 ppm" on peut écrire $[Ca] = 413 \text{ ppm}$.

Pour la concentration totale voir le sujet Salinité, densité et cœtera

C. Notations chimiques

Les différents éléments atomiques peuvent s'assembler en corps simples ou composés.



A gauche les corps simples, substances chimiques qui ne sont composées que d'un type d'élément chimique.

A droite les corps composés, substances chimiques constituées d'atomes appartenant à des éléments

chimiques différents.

Par exemple le phosphate est un corps composé d'un atome de Phosphore P et de 4 atomes d'oxygène O

pour cette raison on le note PO_4

Un corps constitué de plusieurs atomes identiques ou différents qui n'est pas ionisé (qui ne porte pas de charge électrique) s'appelle une molécule.

Une fois dans l'eau la plupart des corps simples ou composés se chargent électriquement, on les appelle des ions, la charge peut être négative (anions) ou positive (cations).

En chimie on note le nombre d'éléments d'un corps en indice et la charge électrique d'un ion en exposant, par exemple

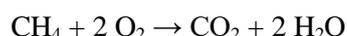
- l'ion sodium porte une charge positive et est composé d'un seul atome de sodium : Na^+

- l'ion nitrate porte une charge négative et composé d'un atome d'Azote et 3 atomes d'Oxygène : NO_3^-

D. Réactions chimiques

Une réaction chimique est une transformation de certaines molécules dont les atomes se réarrangent autrement pour constituer d'autres molécules.

L'équation est constituée de 2 termes : les réactifs d'origine à gauche, les corps produits à droite, par exemple combustion du méthane



Les atomes d'origine ne sont pas modifiés, pour cela il faudrait une réaction nucléaire, ils s'organisent seulement autrement.

Par exemple dans l'équation ci-dessus on trouve

4 atomes d'oxygène O à gauche : 2 molécules d'oxygènes qui contiennent chacune 2 atomes

4 atomes d'oxygène O à droite : 1 molécules d'oxyde de carbone CO_2 qui en contient 2 + 2

molécules d'eau H_2O qui en contiennent chacune un.

E. Unités propres à la lumière

- Longueur d'onde : nanomètre (nm) = un milliardième de mètre
- CCT : Correlated Color Temperature = température de couleur proximale s'exprime en Kelvins
- Numération des particules : NA (Nombre d'Avogadro) égal à $602.214.076.000.000.000.000 = 6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$.
 Dans le cas de la lumière on utilise l'einstein égal à N_A photons.
 Unité pratique : micro-einstein μE = un millionième d'einstein.

Mesure de la lumière	Œil humain		Total	Photons	Photons	Chlorophylle
	Flux	Lumen				
Puissance	Flux	Lumen	PPF	Einstein/s	YPF	Einstein/s
Intensité	Eclairement	Lux	PAR	Einstein/m ² /s	PUR	Einstein/m ² /s

- PAR = Photosynthetically Active Radiation
- PUR = Photosynthetically Useable Radiation
- PPF = photosyntetic photon flux
- YPF = yield photon flux (Rendement du flux de photons)

Grandeur	Intensité	Flux	Eclairement
Unité	Candela	Lumen	Lux
Symbole (SI)	cd	lm	lx
Définition	Luminosité d'une source lumineuse dans un angle et une direction particuliers.	Puissance totale de lumière dans toutes les directions.	Puissance qui frappe un mètre carré. $1\ Lx = 1\ Lm / 1\ m^2$

II. Biotope

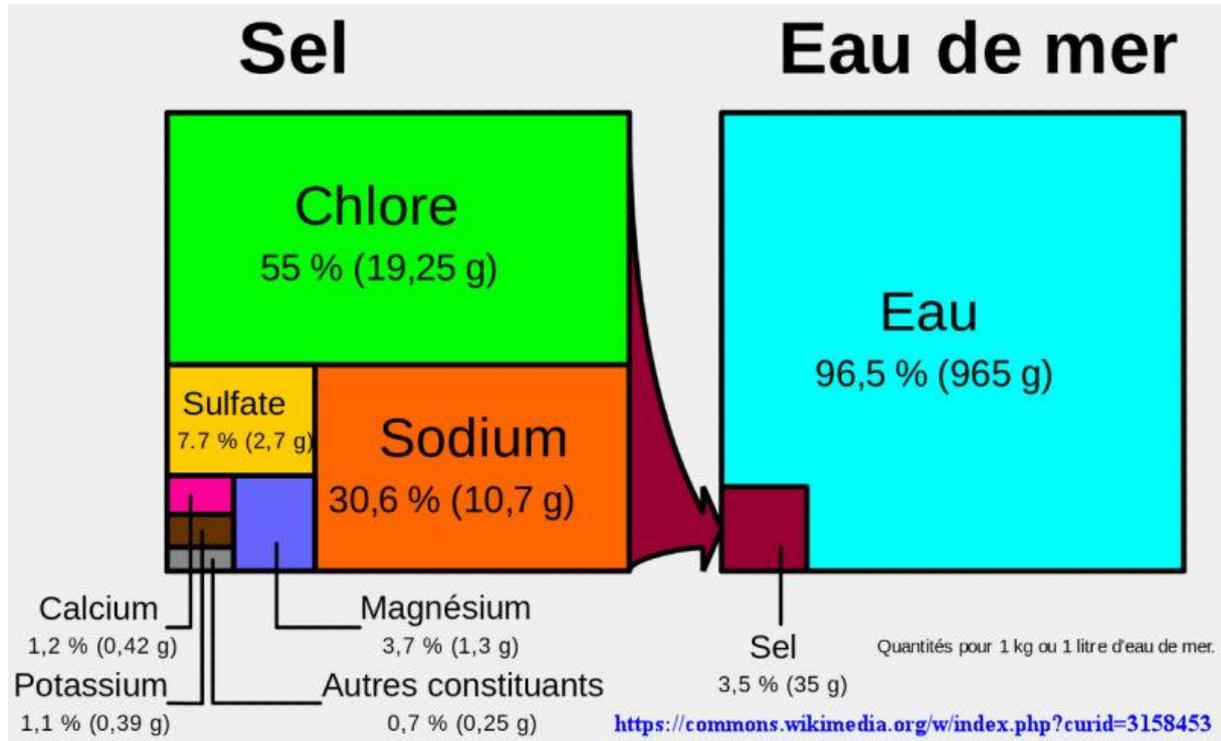
A. L'eau de mer

1. Composition de l'eau de mer naturelle

L'eau de mer naturelle contient 96,5% d'eau et 3,5% de sel constitué de nombreux ingrédients notamment Chlore et Sodium (86% du sel à eux deux) mais aussi Sulfate, Magnésium, Calcium, ...

Ceux dont la proportion dans l'eau est supérieure à 1 ppm (un milligramme par litre) sont appelés "Macro-éléments", les plus rares "Oligo-éléments".

Bien qu'elle puisse varier de 30 à 40 ppt la salinité moyenne des eaux de surface de l'océan est de 35 ppt (35 grammes de sel par kilogramme d'eau salée).



L'une des grandes particularités de l'eau de mer est que, quelle que soit la salinité, les proportions relatives de ses macro-éléments sont sensiblement constantes sur l'ensemble des océans, c'est la [loi de Dittmar](#).

Par exemple le rapport entre le taux de Magnésium et le taux de Calcium est toujours égal à 3,12 :

eau à 35 ppt, taux de Calcium = 413 ppm, taux de Magnésium = 1.289 ppm soit $413 \times 3,12$

eau à 37 ppt, taux de Calcium = 437 ppm, taux de Magnésium = 1.363 ppm soit $437 \times 3,12$

La loi de Dittmar permet ainsi de déterminer la salinité de l'eau de mer par une seule mesure de la concentration d'un de ses macro-éléments.

Voici la composition des éléments constituant l'eau de mer à une salinité de 35 ppt selon [Karl K Turekian : Oceans. 1968](#)

Symbole	Macro-éléments	Taux [ppm]
Cl	Chlore	19.400
Na	Sodium	10.800
Mg	Magnésium	1.290
S	Soufre	904
Ca	Calcium	411
K	Potassium	392
Br	Brome	67,3
Sr	Strontium	8,1
B	Bore	4,45
F	Fluor	1,32

Tous les macro-éléments sont indispensables.

Certains oligo-éléments sont nécessaires aussi mais certains sont facultatifs et certains même nuisibles.

1 ppm (part per million) = 1.000 ppb (part per billion)

Symbole	Oligo-éléments	Taux [ppb]	Utilité
Li	Lithium	170	Indispensable
I	Iode	64	
Ba	Baryum	21	
Mo	Molybdène	10	
Zn	Zinc	5,0	
Si	Silicium	2900	
V	Vanadium	1,9	
Ni	Nickel	6,6	Accessoire
Fe	Fer	3,4	
As	Arsenic	2,6	
Cu	Cuivre	0,9	
Se	Sélénium	0,9	
Sn	Etain	0,8	
Mn	Manganèse	0,4	
Co	Cobalt	0,4	
Ag	Argent	0,3	
Cr	Chrome	0,2	
Be	Béryllium	0,0	
Al	Aluminium	1,00	
Ti	Titane	1,00	
Sb	Antimoine	0,33	
La	Lanthane	0,00	
Tl	Thallium	1,00	Nuisible
Hg	Mercure	0,15	
Cd	Cadmium	0,11	
Pb	Plomb	0,03	
Bi	Bismuth	0,02	
W	Tungstène	0,00	

Ces 2 tables reprennent les éléments principaux qu'on trouve dans l'eau de mer où ils se trouvent associés et ionisés.

Voici les principaux ions qu'on trouve dans l'eau de mer

Anions		Cations	
Chlorure	Cl ⁻	Sodium	Na ⁺
Sulfate	SO ₄ ²⁻	Magnésium	Mg ²⁺
Hydrogénocarbonate	HCO ₃ ⁻	Calcium	Ca ²⁺
Carbonate	CO ₃ ²⁻	Potassium	K ⁺
Hydroxyde	HO ⁻	Strontium	Sr ²⁺
Nitrite	NO ₂ ⁻	Lithium	Li ⁺
Nitrate	NO ₃ ⁻	Aluminium	Al ³⁺
Phosphate	PO ₄ ³⁻	Ammonium	NH ₄ ⁺

a) *Le pH*

L'eau elle-même s'ionise, c'est ce qu'on appelle l'Autoprotolyse de l'eau : H_2O se scinde entre H^+ et OH^- .

Ceci permet de définir un paramètre important : le pH ou potentiel Hydrogène; dans de l'eau pure le pH est égal à 7.

Signification : dans un litre d'eau pure il y a 10 millions de moles d'hydrogène soit 10^7 moles.

Le pH a une échelle logarithmique c'est-à-dire qu'à pH = 6 il y a 10 fois moins d'hydrogène, 100 fois moins à pH 5, ...

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$

Je rappelle que [X] signifie "Concentration de X".

Si on ajoute d'autres éléments dans l'eau le pH change : si le pH est inférieur à 7 la solution est acide, s'il est supérieur elle est basique.

Notamment, à cause de la photosynthèse, le pH augmente pendant que l'éclairage est allumé et diminue pendant qu'il est éteint.

b) *L'alcalinité*

Le Carbonate et l'Hydrogénocarbonate sont 2 ions particuliers car ils vont fournir l'alcalinité de l'eau :

$$\text{Alcalinité} = 2 \times [\text{CO}_3^{2-}] + [\text{HCO}_3^-]$$

Elle peut s'exprimer en ppm de CaCO_3 , en milliéquivalent par litre mais le plus souvent en degrés KH ou °KH.

$$1^\circ\text{KH} = 17,85 \text{ ppm de } \text{CaCO}_3 \text{ et } 1 \text{ ppm de } \text{CaCO}_3 = 0,056^\circ\text{KH}$$

A noter que KH (Karbonathärte) est la traduction allemande d'Alcalinité d'où la confusion possible entre la grandeur KH et son unité °KH, afin de ne pas tout mélanger il vaut mieux écrire "Alcalinité = 7°KH" plutôt que "KH 7".

Dans l'eau de mer naturelle l'alcalinité est stable (6,3°KH) grâce au volume d'eau gigantesque, mais dans nos aquarium il peut varier à cause de la consommation des carbonates et de la photosynthèse; on conseille aussi un peu plus que 7°KH afin de stabiliser le pH.

En effet, pour une même alcalinité le rapport entre $[\text{CO}_3^{2-}]$ et $[\text{HCO}_3^-]$ dépend du pH : si le pH diminue il y a d'avantage d'ions H^+ à disposition, une partie du CO_3^{2-} va se transformer en HCO_3^- ce qui va limiter l'augmentation du pH puisqu'une partie des ions H^+ en excès va être "capturé" par la paire de carbonates et l'alcalinité va diminuer puisque CO_3^{2-} compte double par rapport à HCO_3^- pour calculer l'alcalinité.

Le pH varie naturellement à cause de la photosynthèse, par conséquent l'alcalinité augmente pendant que l'éclairage est allumé et diminue pendant qu'il est éteint.

Par contre un excès d'alcalinité risque de provoquer des nécroses des coraux si le taux des nutriments, notamment de nitrate, est faible.

2. *Fabrication de l'eau de mer artificielle*

Pour remplir nos bacs on peut utiliser de l'eau de mer naturelle prélevée au large; la plupart des aquariophiles n'ont pas cette possibilité et utilisent du sel commercial en poudre dissout dans une eau douce de qualité c'est-à-dire de l'eau osmosée qui ne contient presque que de l'eau.

a) *L'eau*

Pour obtenir une eau pratiquement pure on utilise un osmoseur, voir l'article qui lui est dédié : [D.7 l'osmoseur](#).

b) *Le sel*

En chimie un sel est un assemblage d'ions de charges différentes; le sel de cuisine n'est qu'un cas particulier constitué de Chlore et de Sodium : le chlorure de sodium; le sel contenu dans l'eau de mer est constitué majoritairement (86%) de chlorure de sodium mais aussi de 14% d'autres éléments.

Pour produire le sel les fabricants utilisent donc principalement du chlorure de sodium mais certains éléments ne sont pas disponibles séparément.

Par exemple le Calcium est un métal qui n'existe pas dans la nature en tant que corps simple, il est très peu soluble dans l'eau.

Par conséquent pour ajouter du Calcium les fabricants doivent utiliser un sel de calcium, généralement du Chlorure de Calcium CaCl_2 qui, dissout dans l'eau, va se scinder en 2 ions : Ca^{2+} et Cl^- .

De même pour ajouter des carbonates les fabricants doivent utiliser du Carbonate de Sodium Na_2CO_3 qui, dissout dans l'eau, va se scinder en 2 ions : Na^+ et CO_3^{2-} .

Ainsi en ajoutant du Calcium et des carbonates ils ajoutent aussi du Chlore et du Sodium ce qui n'est pas bien grave car on en a besoin de 86%, il faudra seulement utiliser un peu moins de Chlorure de Calcium.

Ce faisant les fabricants ajoutent aussi de l'eau H_2O .

Par exemple le Chlorure de Calcium est difficile à conserver sec, on le trouve sous forme de $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$.

De même le sel de Magnésium se trouve sous forme de $\text{MgCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$ ou $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$.

En voulant ajouter du Calcium ils ajoutent donc de l'eau ce qui fait que le sel commercial contient environ 15% d'eau (ce pourcentage dépend du fabricant).

C'est la raison pour laquelle pour obtenir 1 kg d'eau à 35 ppt il ne suffit pas d'ajouter 965 grammes d'eau à 35 grammes de sel commercial car on n'ajouterait qu'environ 30 grammes de sel, il faut plutôt compter 41 grammes de sel commercial par kg d'eau salée. Ceci n'est pas intentionnel pour nous vendre de l'eau au prix du sel, c'est inhérent à la fabrication du produit.

La loi de Dittmar (proportionnalité entre les différents éléments constitutifs de l'eau de mer naturelle) n'est évidemment pas valable dans nos aquariums parce que certains éléments sont en manque, d'autres sont ajoutés volontairement ou pas :

- éléments en déficit
 - complémentation : éléments absents des sels commerciaux et qu'il faut ajouter
 - supplémentation : éléments qui à la longue viennent à manquer parce qu'ils sont consommés : Ca, Mg, carbonates, oligos
- éléments en excès qui doivent être retirés :
 - nutriments en particulier nitrates et phosphates
 - Polluants nuisibles (plomb, mercure, ...)

Ceci nécessite un certain effort pour maintenir tous ces éléments dans des proportions idéales ce qui implique qu'on doit pouvoir les mesurer.

3. Salinité, densité et coëtera

a) Salinité

en anglais : Salinity

- Définition : poids de sel, exprimé en grammes, par kilogramme d'eau salée.
Il serait donc théoriquement facile de "fabriquer" une eau à 35 ppt : il suffit de prendre 35 grammes de sel, de les mettre dans un récipient puis d'ajouter de l'eau jusqu'à ce que le poids total soit égal à 1.000 grammes; la difficulté est que le sel commercial contient toujours un peu d'eau : dans les 35 grammes il y a donc moins de 35 g de sel + quelques grammes d'eau ce qui fait que la salinité obtenue est inférieure à 35 ppt.
- Unité : grammes par kilogramme ou, ce qui revient au même ppt (Part Per Thousand : part pour mille = grammes pour 1.000 grammes) ou encore PSU (Practical Salinity Unit) qui est absolument identique, elle a été créée pour une question de conversion de la conductivité en salinité.
- Valeur normale : la salinité moyenne de l'eau de mer en surface est de 35 grammes par kilo.
- Dépendance de la température : si on prend un kg d'eau par exemple à 20°C et qu'on la chauffe à 40°C elle pèse toujours un kg la salinité ne dépend donc pas de la température.
- Mesure : On pourrait penser qu'il suffit de peser un kg d'eau salée, de la laisser évaporer puis de mesurer le poids du sel résiduel mais les composés du sel dissout sont sous forme d'ions dont une partie s'évapore aussi, le résultat obtenu est donc inférieur à la salinité !

L'inconvénient de la salinité est qu'il n'est pas possible de la mesurer directement : il faut mesurer la masse volumique ou la densité ou la conductivité ou l'indice de réfraction (c'est ce que mesure un réfractomètre) et effectuer une conversion en tenant compte de la température, car si la salinité ne dépend pas de la température ces différents moyens de mesure en dépendent bien; par exemple les réfractomètres ATC (Automatic Temperature Compensation = compensation automatique de la température) corrigent en réalité l'indice de réfraction, qui dépend de la température, pour afficher la salinité qui n'en dépend pas !

b) Masse Volumique

en anglais : Density !

- Définition : poids d'un litre d'eau salée à une température donnée.
- Unité : grammes par litre.
- Valeur normale : à 25°C la masse volumique de l'eau de mer en surface est de 1.023,34 grammes par litre;
remarquez que le chiffre est un peu supérieur à mille.
- Dépendance de la température : comme l'eau se dilate si on la chauffe, la masse volumique dépend de la température, par exemple à 20°C la même eau a une MV de 1.024,77 g/l;
la différence n'est pas bien grande mais une MV de 1.024,77 g/l à 25°C correspond à une salinité de 36,9 ppt, il faut donc une balance et un thermomètre exacts !
Quand on communique la masse volumique il faut aussi communiquer à quelle température elle a été mesurée.
- **Mesure** : la masse volumique peut être directement mesurée à l'aide d'un aréomètre. On pourrait aussi prendre un litre d'eau salée et le peser la difficulté étant de mesurer un litre à 0,1 ml près et de peser 1 kg à 0,1 g près.

c) *Densité*

en anglais : Specific Gravity = SG

- **Définition** : poids d'un litre d'eau salée à une température donnée (= la masse volumique à cette température) divisé par le poids d'un litre d'eau pure à une autre température (= la masse volumique de l'eau pure à cette autre température).
- **Unité** : s'agissant du quotient entre g/l et g/l la densité n'a aucune unité.
- **Valeur normale** : à 25°C la densité de l'eau de mer en surface par rapport à de l'eau pure à 25°C aussi est de $1.023,34 / 997,05 = 1,0264$ remarquez que le chiffre est un peu supérieur à un.
- **Dépendance de la température** : puisque les 2 masses volumiques dépendent de la température, quand on communique la densité il faut aussi communiquer à quelle température elle a été mesurée ainsi que la température de l'eau pure de référence, par exemple sur les réfractomètres on trouve souvent D20/20 = densité de l'eau salée à 20°C par rapport à de l'eau pure à 20°C.
- **Mesure** : la densité peut être directement mesurée à l'aide d'un ... densimètre. Attention toutefois au fait que beaucoup d'appareils dénommés "densimètre" sont en fait des aréomètres qui ne donnent pas la densité mais la masse volumique, il s'agit d'une erreur de traduction !
Cas particulier : certains densimètres indiquent SG25/4 = densité de l'eau salée à 25°C par rapport à de l'eau pure à 4°C; comme un litre d'eau pure à 4°C pèse exactement un kg il indique le poids d'un litre d'eau salée à 25°C divisé par 1 ce qui est donc égal à la masse volumique à 25°C multipliée par 1.000.

A propos de la salinité, pourquoi est-il important d'écrire "35 grammes par kilo" et non "35 grammes par litre" ?

En effet un litre d'eau pure pèse *environ* 1 kg alors qu'un litre d'eau salée pèse 1,023 kg, cette différence de 2,3% n'est pas bien grande.

C'est flagrant pour les oligo-éléments (moins de 1 ppm) par exemple le taux normal d'iode est de 0,064 ppm ce qui fait 0,0655 grammes par litre.

Par contre, puisqu'on ne peut pas mesurer directement la salinité, si on mesure la masse volumique (MV) à l'aide d'un aréomètre le résultat est différent.

La Masse volumique est le poids d'un litre d'eau salée à une température donnée.

Par conséquent à 25°C la MV d'une eau à 35 grammes par **litre** est de 1.022,76 g/l :

si on considère qu'il s'agit de grammes par kg et qu'on convertit en salinité on obtient 34,2 ppt et non 35 !

De même la densité est le poids d'un litre d'eau salée à une température donnée (= la masse volumique à cette température)

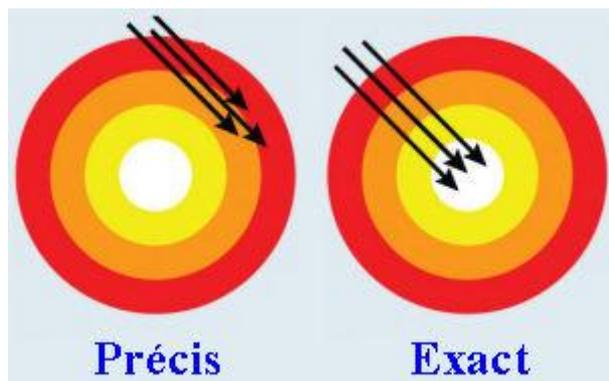
divisé par le poids d'un litre d'eau pure à une autre température (= la masse volumique de l'eau pure à cette autre température).

A à 25°C la MV d'une eau à 35 grammes par **litre** est de 1.022,76 g/l alors que la MV de l'eau pure est de 997 g/l.

Par conséquent la densité est égale à $1.022,76 / 997 = 1,0258$: si on la convertit en salinité on obtient 34,2 ppt et non 35 !

4. Moyens de mesure

a) Résolution, précision et exactitude



L'exactitude est définie comme la différence entre la mesure et la valeur réelle, tandis que la précision fait référence à la proximité des valeurs de mesure répétées.

Supposons que la valeur à mesurer soit 1,0.

Un test qui donne 1,0 est exact.

Un test qui donne 10 fois de suite 1,1 est précis.

D'autre part la différence entre 2 graduations successives de l'échelle s'appelle "résolution" : ce n'est pas parce qu'un thermomètre affiche un

chiffre après la virgule qu'il est exact à 0,1°C près.

b) Paramètres qu'il est utile de mesurer

Symbole	Paramètre	Valeur
S	Salinité	35 ppt
T	Température	24,5 - 28,5 °C
pH	potentiel Hydrogène	8,1 - 8,3 (*)
ORP	Redox (potentiel d'oxydo-réduction)	
Macro-éléments		
Mg	Magnésium	1.290 ppm
Ca	Calcium	411 ppm
K	Potassium	392 ppm
KH	Alcalinité	7 - 11 °KH(*)
Nutriments		
NO ₂	Nitrite	Zéro
NO ₃	Nitrate	
PO ₄	Phosphate	
Oligo-éléments : voir texte		

(*) A cause de la photosynthèse, le pH et l'alcalinité augmentent pendant que l'éclairage est allumé et diminuent pendant qu'il est éteint; pour suivre l'évolution il faut donc toujours les mesurer au même moment de la "journée" (par rapport au cycle d'éclairage). Les taux des macro et oligo-éléments sont donnés pour une salinité de 35 ppt, si elle est différente le taux doit être calculé au prorata.

c) Mesure de la salinité

La salinité est le poids de sel contenu dans un kg d'eau salée (voir le sujet [Salinité, densité et coëtera](#)), elle ne dépend donc pas de la température mais il n'est pas possible de la mesurer directement.

Alors les physiciens ont inventé plusieurs méthodes pour déterminer indirectement la quantité de sel qu'il y a dans l'eau de mer, on peut donc mesurer

- la conductivité, qui dépend de la salinité mais aussi de la température, à l'aide d'un conductimètre qui corrigera la conductivité en fonction de la température (il a donc besoin aussi d'une sonde de température) et affichera la salinité;
- l'indice de réfraction, qui dépend de la salinité mais aussi de la température, à l'aide d'un réfractomètre qui corrigera l'indice de réfraction en fonction de la température de

sa vitre (ATC = Automatic Temperature Compensation) et affichera la salinité (et aussi, pour la plupart des réfractomètres, la densité D20/20);

- la masse volumique, c'ad le poids d'un litre d'eau salée, à l'aide d'un aréomètre, elle dépend de la température;
- la densité, c'ad le poids d'un litre d'eau salée divisé par le poids d'un litre d'eau pure, à l'aide d'un densimètre, il existe plusieurs températures de référence :
 - D20/20 (eau salée à 20°C par rapport à eau pure à 20°C) : c'est ce qu'on lit dans un réfractomètre bien étalonné;
 - D20/4 (eau salée à 20°C par rapport à eau pure à 4°C) : c'est ce qu'on lit dans un réfractomètre Red Sea bien étalonné;
 - D25/4 (eau salée à 25°C par rapport à eau pure à 4°C) : c'est ce que donnent les aréomètres JBL et Aqua Médic.
Puisqu'un litre d'eau pure à 4°C pèse exactement un kg, D25/4 = poids d'un litre d'eau salée divisé par un = poids d'un litre d'eau salée = masse volumique à 25°C !

Ce qui vient surtout semer le doute c'est qu'en anglais "Masse Volumique" se dit "Density" qui est souvent mal traduit en français par "Densité" ("Densité" se dit en anglais "Specific Gravity" d'où le SG D25/4 qu'on trouve sur les aréomètres JBL et AM.) A 25°C

Français	Salinité	Masse volumique	Densité	Conductivité
Anglais	Salinity	Density	Specific gravity	Conductivity
Définition	Poids de sel par kg d'eau salée	Poids d'un litre d'eau	MV d'un litre d'eau salée divisée par la MV d'un litre d'eau pure	
Unité	[ppt]	[g/l]	[sans unité]	[mS/cm]
Eau pure	0	997	1	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

d) *Mesure du pH*

Le plus simple est d'utiliser un pH-mètre électronique, ponctuellement on peut utiliser un test colorimétrique (voir paragraphe suivant) ou un photomètre, par exemple Hanna HI780 pH 6,3 à 8,6 pH ±0,2 pH

e) Mesure des macro-éléments et des nutriments

Le plus simple est d'utiliser un test colorimétrique qui existent sous forme de kits (voir le sujet [Quels tests colorimétriques utilisez-vous ?](#) : on ajoute certains réactifs dans un peu d'eau puis on compare la couleur obtenue avec la charte fournie dans le kit, exemple de test Salifert pour les nitrates



Il n'est parfois pas aisé d'interpréter le résultat, on peut s'aider du logiciel [Photomètre](#), certains fabricants proposent des photomètres qui fonctionnent sur le même principe mais "lisent" le résultat électroniquement, par exemple chez Hanna

Paramètre	Modèle	Gamme	de	Exactitude
Alcalinité	HI755	10 à 300 ppm		±5 ppm ±5%
	HI772	0,6 à 20 dKH		±0,3 dKH ±5%
Calcium	HI758	200 à 600 ppm		±6%
Magnésium	HI783	1000 à 1800 ppm		±5%
Ammoniaque	HI700 LR	0,1 à 3 ppm	NH ₃ -N	±0,05 ppm ±5%
	HI715 MR	0,1 à 9,99 ppm	NH ₃ -N	±0,05 ppm ±5%
	HI784	0,1 à 2,5 ppm	NH ₃	±0,05 ppm ±5%
Nitrites	HI707	40 à 600 ppb	NO ₂ -N	±20 ppb ±5%
	HI764 ULR	20 à 200 ppb		±10 ppb ±4%
	HI767 LR	20 à 999 ppb		±10 ppb ±4%
Nitrate	HI781 LR	0,5 à 5 ppm	NO ₃	±0,25 ppm ±2%
	HI782 HR	4 à 75 ppm	NO ₃ ⁻	±2,0 ppm ±5%
Phosphate	HI774 ULR	0,04 à 0,9 ppm		±0,02 ppm ±5%
	HI713	0,08 à 2,5 ppm		±0,04 ppm ±4%
Phosphore	HI736 ULR	20 à 200 ppb		±10 ppb ±5%

Le Phosphore est l'élément P du phosphate PO₄ : pour obtenir le taux de phosphate il faut multiplier celui du phosphore par 95/31

ce qui donne pour le modèle HI736 ce qui donne 0,06 à 0,6 ppm ±0,03 ppm ±5% de la lecture de phosphate, le plus exact est donc le HI774.

f) Mesure des oligo-éléments

Il existe quelques tests colorimétrique notamment pour l'Iode ou le Strontium ainsi que quelques photomètres, par exemple chez Hanna

HI702 Cuivre HR 0,10 à 5,00 ppm $\pm 0,05$ ppm $\pm 5\%$

HI716 Brome 0,2 à 8,0 ppm $\pm 0,1$ ppm $\pm 5\%$

HI721 Fer 0,08 à 5,00 ppm $\pm 0,04$ ppm $\pm 2\%$

mais ils ne sont pas très exacts, le plus simple pour mesurer (pratiquement) tous les oligo-éléments et aussi la plupart des macro-éléments ainsi que la salinité, ... est de faire appel à un laboratoire spécialisé qui utilise une machine ICP (Inductively Coupled Plasma = Spectromètre à plasma à couplage inductif).

Ils ne peuvent par contre pas mesurer les taux des gaz rares, de Carbone, Hydrogène, Oxygène ni Azote

ni les nitrites et nitrates ni l'alcalinité qui sont analysés par d'autres méthodes,

voir [Comparaison tests Labo ICP-OES](#).

5. La supplémentation

Cet article concerne les éléments qui à la longue viennent à manquer parce qu'ils sont consommés, notamment Calcium, carbonates, Magnésium, strontium, oligo-éléments. Voyons d'abord comment ils sont consommés.

a) Les macro-éléments

Le carbonate de Calcium

Pour construire leur squelette les coraux durs, et dans une moindre mesure les mous, utilisent du Carbonate de Calcium CaCO_3 qui, heureusement, est insoluble; de ce fait il ne suffit pas d'ajouter du carbonate de calcium dans l'eau : il tomberait simplement au fond sans se dissoudre.

Il faut donc apporter séparément des ions Calcium Ca^{2+} et Carbonates CO_3^{2-} ou HCO_3^- . Ces derniers forment l'alcalinité :

pour chaque degré KH consommé les coraux utilisent exactement 7,15 ppm de Calcium.

On peut utiliser indifféremment du carbonate CO_3^{2-} ou de hydrogénocarbonate (appelé avant bicarbonate) HCO_3^- sachant que de toute façon l'un va se transformer en l'autre en fonction du pH, la seule différence est que l'ajout de CO_3^{2-} augmente un peu le pH et HCO_3^- le diminue mais c'est marginal vu les faibles quantités mises en œuvre.

Il n'est cependant pas possible de disposer d'ions séparément, il faut utiliser un sel qui, en chimie, est un assemblage d'ions de charges différentes.

Cas particulier : le chlorure de sodium NaCl appelé communément sel (de cuisine) est un assemblage de Na^+ et de Cl^- mais ce n'est qu'un sel parmi beaucoup d'autres.

Autres macro-éléments

On trouve dans les coraux durs 375 fois moins de Magnésium que de Calcium ainsi qu'un peu de Strontium et d'autres éléments.

On peut donc supplémenter en Mg, Sr, ... mais les besoins des coraux sont beaucoup moindres que de Calcium et de Carbonates.

b) Les oligo-éléments

(en attente de rédaction)

6. Méthodes de supplémentation

Il existe plusieurs méthodes pour fournir ces ions indispensables aux coraux.

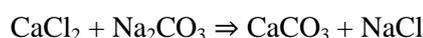
a) Les changements d'eau

Pour les bacs de faible volume ou peu peuplés de coraux le remplacement périodique d'une partie de l'eau par de l'eau salée neuve peut suffire à maintenir des taux suffisants.

b) La méthode Balling

Cette méthode inventée par le Dr Hans-Werner Balling consiste à utiliser une solution de sel de Calcium + une solution de sel de Carbonate.

En pratique le calcium est fourni par du chlorure de calcium CaCl_2 , le carbonate par de l'hydrogénocarbonate de sodium NaHCO_3 ou par du carbonate de sodium Na_2CO_3 , on parle alors de "Balling base carbonate.



On voit que cette méthode ajoute aussi du Chlorure de sodium NaCl (sel de cuisine) ce qui n'a pas grande importance puisqu'il constitue 86% de tout le sel dissout dans l'eau; à la longue la salinité pourrait un peu augmenter : elle peut être corrigée par des changements d'eau.

Au lieu de chlorure de Calcium on trouve plus facilement du chlorure de calcium di-hydraté $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$.

Les composants de la méthode Balling se trouvent facilement sous forme de poudre ou de solution dans le commerce, on peut aussi les fabriquer soi-même : le logiciel [Balling](#) permet de calculer facilement les quantités de produits nécessaires. Tous calculs faits

- pour augmenter l'alcalinité de 100 litres d'eau de 1°KH il faut utiliser 1,9 g de Na_2CO_3 ou 2,95 g de NaHCO_3
 - pour 100 grammes de Na_2CO_3 il faut ajouter 105 g de CaCl_2 ou 139 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
 - pour 100 grammes de NaHCO_3 il faut ajouter 67 g de CaCl_2 ou 89 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$
- pour augmenter l'alcalinité on peut aussi utiliser de l'hydroxyde de sodium NaOH plus soluble que le (bi)carbonate (di hydraté), il augmente aussi le pH, la solution peut être plus concentrée, il faut donc en jouter moins :

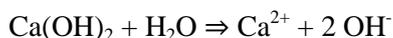
pour augmenter l'alcalinité de 100 litres d'eau de 1°KH il faut utiliser 1,43 g de NaOH ;
L'hydroxyde de sodium, appelé aussi Soude caustique est cependant très corrosif, à manipuler avec précaution :
H314 - Provoque de graves brûlures de la peau et de graves lésions des yeux.



Cette méthode permet aussi d'ajouter les autres macro-éléments (Magnésium, Strontium, ...) et les oligo-éléments sous forme d'une troisième solution; puisque les 2 premières ajoutent déjà du chlorure de sodium NaCl il n'est pas nécessaire que la 3^{ème} en contienne, pour cette raison on l'appelle "sel sans sel" (de cuisine), elle contient tous les éléments de l'eau de mer naturelle sauf Calcium, carbonate, Chlore et Sodium.

c) *Le réacteur à hydroxyde (RAH)*

A la base cette méthode fournit seulement du calcium en utilisant de l'hydroxyde de calcium Ca(OH)_2 appelé aussi "chaux éteinte" :



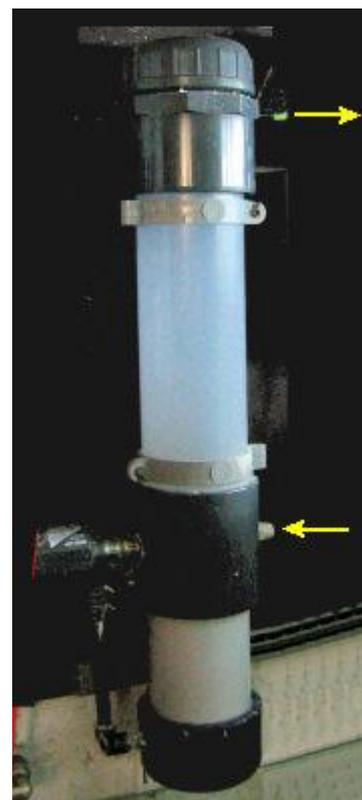
Indirectement elle produit aussi des ions hydroxyde OH^- qui, en s'associant au CO_2 naturellement dissout dans l'eau va donner les ions carbonate nécessaire aux coraux



Le CO_2 est en effet disponible par suite de la respiration des êtres vivants et de la dissolution du CO_2 présent dans l'air.

Le principe consiste à dissoudre de l'hydroxyde de calcium dans de l'eau dans un réacteur dont la solution est utilisée pour compenser l'évaporation.

L'eau du réacteur doit être régulièrement brassée afin d'éviter que le calcium s'associe au carbonate présent dans le réacteur à cause du CO_2 disponible et forme du carbonate de calcium insoluble, gaspillant l'hydroxyde.



Afin de n'injecter que de l'eau de chaux, solution limpide saturée d'hydroxyde de calcium, il faut cependant laisser reposer le mélange qui va se séparer en eau de chaux à la surface et lait de chaux blanchâtre, qui est de l'eau de chaux avec un excédent d'hydroxyde de calcium non dissout qui reste en suspension dans l'eau, dans le fond. Il présente cependant quelques inconvénients :

- il faut le recharger souvent;
- il ne subvient pas aux besoins en magnésium auquel il faut suppléer autrement;
- et surtout sa capacité de production est limitée à environ 1,5 gramme d'hydroxyde, qui contient 0,84 gramme de calcium, par litre d'eau évaporée par le bac.

d) *Méthode Régis Doutres*

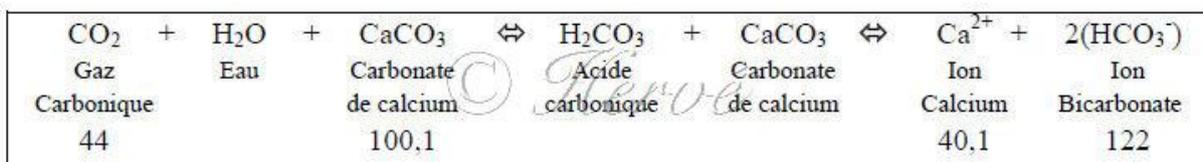
Afin de contourner l'inconvénient du RAH qui limite l'ajout d'eau de chaux à la quantité d'eau évaporée par le bac cette méthode consiste à injecter le lait de chaux dont le pH est relativement élevé, il faut donc injecter le lait en faible quantité à l'aide d'une pompe doseuse pilotée par le pH du bac.

e) *Le réacteur à calcaire (RAC)*

Puisque le squelette des coraux est essentiellement constitué de Carbonate de Calcium CaCO_3 qui est insoluble, il suffirait de parvenir à en dissoudre dans l'eau pour leur fournir les 2 éléments essentiels (Calcium et Carbonate) dans les proportions idéales; une façon d'y parvenir est d'acidifier l'eau (diminuer le pH) à l'aide d'un acide.

Dans un réacteur à Calcium on dissout du gaz carbonique CO_2 dans l'eau ce qui produit de l'acide carbonique H_2CO_3 .

La réaction ci-dessous se déroule de gauche à droite dans le réacteur et de droite à gauche dans les coraux.



Cette équation révèle qu'il faut 44 grammes de gaz carbonique pour dissoudre 100,1 grammes de carbonate de calcium et produire 40,1 grammes d'ions calcium et 122 grammes d'ions bicarbonate qui équivalent à 5,61°KH.

Pour chaque degré KH produit un RAC produit aussi exactement 7,15 ppm de Calcium

Il est inexact de prétendre qu'il est possible de (dé)favoriser la production de carbonates en modifiant le débit.

Dans le substrat qui sera dissout on peut aussi prévoir d'autres éléments comme le Magnésium, le Strontium, ... qui seront ajoutés au bac en même temps dans les mêmes proportions que dans le substrat.

Le RAC a la mauvaise réputation d'acidifier le bac, cependant un RAC bien réglé, càd avec un débit tel qu'il ne gaspille pas de CO_2 , ne diminue pratiquement pas le pH du bac. Pour une description complète et la manière d'utiliser un RAC voir l'article [Le réacteur à carbonate](#).

7. La complémentation (en attente de rédaction)

B. Épuration des nutriments

Le métabolisme peut être défini comme l'ensemble des transformations chimiques qui entretiennent la vie au sein des cellules des organismes vivants; on distingue

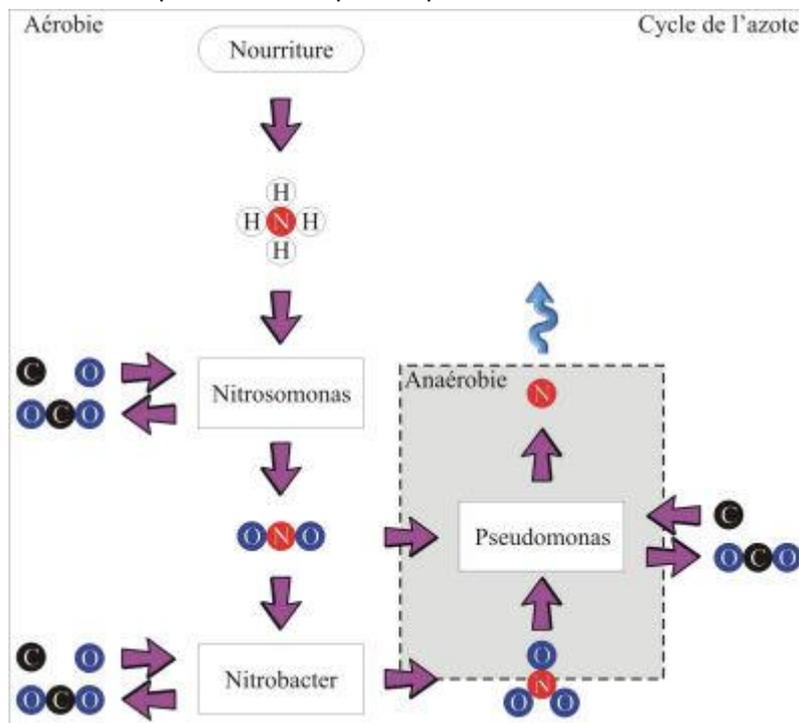
- l'anabolisme qui donne lieu à la création de matière : la croissance, la reproduction;
- le catabolisme qui dégrade de la matière pour produire de l'énergie.

Ces deux catégories impliquent la digestion de la nourriture et l'élimination des déchets qu'il faut exporter : dans nos aquariums récifaux cette tâche est confiée aux bactéries.

On appelle milieu aérobie un environnement où on trouve de l'oxygène sous forme de molécules de dioxygène (O_2), et milieu anaérobie un environnement où il n'y a pas de dioxygène.

La périphérie des pierres poreuses, les couches supérieures du sable ainsi que les anneaux de céramique, les bioballes en plastique et aussi la mousse et le perlon sont des milieux aérobies.

Les couches profondes des pierres poreuses et du sable sont des milieux anaérobies.



1. Respiration

Pour obtenir de l'énergie toutes les bactéries ont besoin de carbone qu'elles brûlent (réaction exothermique), pour cela elles ont besoin d'oxygène :

- celles qui vivent en milieu aérobie utilisent l'oxygène O_2 dissous dans l'eau.
- celles qui vivent en milieu anaérobie utilisent l'oxygène disponible dans les nitrites NO_2^- ou les nitrates NO_3^- .

Quelle que soit leur source d'oxygène, les bactéries ont besoin d'une source de carbone sous forme de matière organique et produisent du gaz carbonique CO_2

2. Le cycle de l'azote

Comment les nitrates arrivent-ils dans nos bacs ?

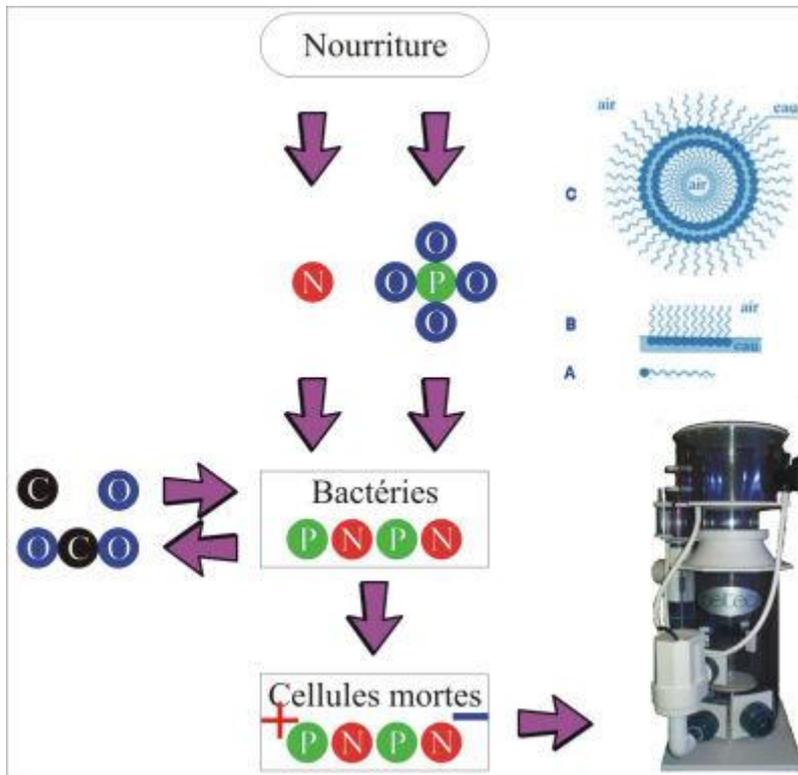
Initialement il s'agit de déchets, restes de nourriture, déjections des poissons et autres animaux, animaux et coraux morts, ... qui se dégradent principalement en ammonium NH_4^+ qui contient donc de l'azote N.

1. Première phase : nitrification

Les bactéries aérobies, qui disposent d'oxygène O_2 dissous dans l'eau, l'utilisent pour oxyder l'ammonium NH_4^+ en nitrite NO_2^- (nitrosomonas) puis en nitrate NO_3^- (nitrobacter).

2. Deuxième phase : dénitrification

Les bactéries anaérobies pseudomonas qui ne disposent pas d'oxygène sous forme O_2 mais qui en ont besoin pour leur respiration prélèvent cet oxygène des ions nitrite NO_2^- ou nitrate NO_3^- . Elles libèrent ainsi l'azote N_2 qui est un gaz qui finira par "s'évaporer" dans l'atmosphère.



3. Métabolisme

Pour leur reproduction les bactéries ont besoin de multiplier leurs cellules qui contiennent du carbone, de l'azote et des phosphates; ces phosphates imbriqués dans les molécules organiques sont appelés "phosphates organiques"; ils proviennent d'ions phosphate minéraux ("ortho-phosphates" = "inorganiques") PO_4^{3-} dissous dans l'eau que les bactéries utilisent pour construire leurs cellules.

A noter que nos tests colorimétriques ne mesurent que les ortho-phosphates, une fois intégrés dans les bactéries ils ne sont plus mesurables.

Les phosphates PO_4 proviennent de matière organique morte et entre autres de la nourriture qu'on distribue.

Les bactéries aérobies du système ont besoin d'ammonium et d'ammoniac pour leur croissance, ammonium et ammoniac qu'elles prélèvent dans l'eau avant que ces derniers ne se dégradent en nitrites et en nitrates.

Lorsque ces bactéries meurent elles se décomposent en différentes molécules qui se retrouvent dans l'eau, ces molécules contiennent donc de l'azote et des phosphates.

Conclusions

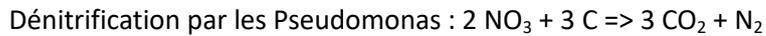
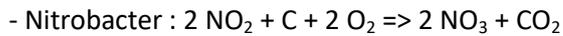
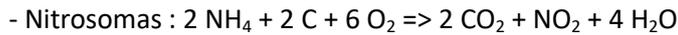
Pour respirer toutes les bactéries ont besoin d'oxygène et de carbone, d'où les méthodes sucre, Vodka, $NO_3:PO_4:X$, VSV et consorts qui permettent aux bactéries de vivre en leur apportant le carbone nécessaire.

Les bactéries aérobie trouvent l'oxygène dans l'eau; les bactéries anaérobies le trouvent dans

les nitrates et les phosphates.

Voici à quoi pourraient ressembler les réactions globales, le processus réel étant nettement plus complexe

Nitrification



4. Concept de Redfield

On entend souvent dire que les NO_3 et PO_4 doivent être présent dans un rapport fixe $\text{N/P}=16$ qu'aurait découvert Alfred Clarence Redfield (1890-1983); ce n'est pas correct.

Le rapport de Redfield s'exprime en moles : 16 moles de N pour une mole de P correspondent à 10,44 ppm de NO_3 pour 1 ppm de PO_4 .

$\text{N/P}=16$ correspond à ce qui est mesuré dans les eaux profondes des océans loin des zones très actives biologiquement.

Ce qui avait stupéfait Redfield c'est que ce rapport était aussi retrouvé dans le plancton de ces zones.

Cela suggérait un lien et cette question : est-ce le vivant qui influe sur la composition du milieu ou le milieu qui conditionne la composition du vivant ? On n'a toujours pas la réponse.

Et surtout on sait aujourd'hui que N/P peut varier de 5 à 60 dans le plancton selon les zones de prélèvements; on ne connaît pas l'intérêt de ce rapport $\text{N/P}=16$ dans la nature et encore moins dans nos bacs où les imports et les exports de N et P sont quasiment indépendants.

Pour un atome de phosphore utilisé lors de la photosynthèse, 16 atomes d'azote et 106 atomes de carbone sont consommés alors que 172 atomes d'oxygène sont libérés

C'est le concept de Redfield, il ne signifie pas que ces proportions doivent être respectée pour que les bactéries "fonctionnent".

Il faut en effet les 3, même les 4 en comptant l'oxygène, mais pas nécessairement dans le rapport $\text{O/C/N/P} = 172/106/16/1$.

Récapitulons

5. Élimination des Phosphates

Pour pouvoir se reproduire les bactéries ont besoin de phosphore qu'elles trouvent dans les phosphates dissous dans l'eau (ortho-phosphates).

Pour réduire les ortho-phosphates les bactéries les transforment en phosphates organiques qu'elles enfouissent dans leur "chair".

Nos tests colorimétriques ne mesurent que les ortho-phosphates dissous dans l'eau, pas ceux enfouis dans les cellules des organismes vivants.

Quand les bactéries meurent, elles se dégradent en molécules amphiphiles qui finissent par se faire capturer par l'écumeur et les phosphates qu'elles contiennent avec elles.

6. Élimination des Nitrates

Le cycle de l'azote permet de réduire une grande quantité de déchets organiques qui passent par une phase nitrates que nous mesurons dans l'eau.

Pour se reproduire les bactéries puisent les atomes d'azote N nécessaires à la formation des composés azotés organiques (acides aminés, protéines etc...), elles contiennent donc de l'azote organique mais pas sous forme de nitrate.

L'écumeur n'exporte donc pas de nitrate, ni sous forme inorganique car non amphiphile, ni sous forme organique car il n'y en a pas dans les bactéries.

Une fois que la bactérie est "née" et qu'elle a fixé un peu d'azote elle respire pendant toute la durée de sa vie en dégageant de l'azote en bien plus grande quantité que ce qu'elle a fixé

et qu'elle libérera à sa mort via l'écumeur.

Ce cycle de l'azote comporte une phase aérobie, les bactéries qui y participent trouvent un milieu favorable à la périphérie des pierres poreuses dites vivantes justement parce qu'elles abritent des bactéries, les couches supérieures du sable ainsi que les céramiques, les bioballes et aussi la mousse et le perlon.

Les bactéries qui interviennent dans la seconde phase (anaérobie) trouvent refuge dans les couches profondes des PV et du sable.

A noter que les autres milieux cités (céramiques, bioballes, mousse et perlon) sont qualifiés de "nids à nitrates" car étant fortement irrigués (donc oxygénés) ils participent bien à la phase aérobie mais pas à la phase anaérobie : ils produisent donc des nitrates mais n'offrent pas les moyens de les réduire en azote libre.

Bilan

Pour que tout ceci fonctionne les bactéries ont donc besoin à la fois d'oxygène, de carbone, d'azote (sous forme d'ammonium, de nitrites ou de nitrates) et de phosphates.

Si l'un des 3 vient à manquer le processus s'arrête (Loi de Liebig).

Un écumeur est incapable d'exporter les nitrates et phosphates inorganiques dissous dans l'eau.

Un écumeur exporte un peu de phosphates et un peu d'azote; la phase anaérobie du cycle de l'azote exporte beaucoup de nitrates.

Par contre en absence d'écumeur les molécules amphiphiles provenant des bactéries mortes, de la nourriture non consommée, ... vont finalement se dégrader en azote et phosphore dissous, les taux de nitrates et de phosphates vont donc augmenter, mais dans le cas des nitrates pas autant que si on pouvait arrêter le cycle de l'azote.

7. Méthodes

Il existe plusieurs façons d'éliminer les nutriments

a) *Méthode berlinoise*

Cette méthode a été développée par le club aquariophile de Berlin, d'où son nom, sous la direction du biologiste, chimiste et physicien Peter Wilkens.

Elle utilise des pierres vivantes conjointement à un écumeur, un brassage de l'eau qui force le passage vers les pierres vivantes et un éclairage suffisamment intense.

b) *Méthode Jaubert*

Jean Jaubert, son concepteur, préconise l'installation, dans une cuve technique distincte du bac, d'un plénum d'environ 2 cm de haut sous une épaisse couche de sable (10 cm).

Le plénum est un caisson qui ne contient que de l'eau, fermé par dessus par une grille elle-même couverte d'un fin grillage afin d'éviter que le sable y pénètre.

c) *Méthode DSB (Deep Sand Bed = Lit de sable profond)*

Cette méthode est similaire à la méthode Jaubert avec le lit de sable dans le bac et non dans une cuve annexe et sans plénum.

d) *Méthode Michel (Riouffreyt) de l'entreprise [Aquaexotic](#) dite "de la mousse bleue"*

La filtration a lieu à travers une mousse à cellule ouverte, souvent bleue, placée dans le bac avec circulation d'eau forcée

Ce type de maintenance est essentiellement adaptée aux coraux mous et une faible population de poissons.

e) *Méthode Triton*

Cette méthode nécessite un refuge à algues (Chaetomorpha) d'un volume d'au moins le dixième de celui du bac; l'eau doit y circuler avec un débit de 10 fois le volume du bac

par heure (je n'ai toujours pas trouvé l'explication de la nécessité d'un tel débit, certains utilisent cette méthode avec un débit moindre); il faut aussi un écumeur et une résine anti-phosphate.

III. Biocénose : les êtres vivants

A. Taxonomie

Un taxon est une entité qui regroupe tous les organismes vivants possédant en commun certains caractères bien définis.

La taxonomie est une science qui consiste à décrire les organismes vivants et à les organiser en catégories hiérarchisées appelées taxons.

Voici une représentation de la hiérarchie du monde vivant :

- Super-règne, Empire, Domaine (Superregnum, Imperium, Dominium)
principaux domaines : archées (ou arché bactéries), bactéries, eucaryotes
- **Règne (Regnum)**
principaux règnes : bactéries, végétaux, champignons, animaux
- Sous-règne (Subregnum)
- Rameau (Ramus, « branch » en anglais)
- Infra-règne (Infraregnum)
 - Super-embranchement, Super-division (Superphylum, Superdivisio)
 - **Embranchement, Division (Phylum, Divisio)**
 - Sous-embranchement, Sous-division (Subphylum, Subdivisio)
 - Infra-embranchement (Infraphylum)
 - Micro-embranchement (Microphylum)
 - Super-classe (Superclassis)
 - **Classe (Classis)**
 - Sous-classe (Subclassis)
 - Infra-classe (Infraclassis)
 - Super-ordre (Superordo)
 - **Ordre (Ordo)**
 - Sous-ordre (Subordo)
 - Infra-ordre (Infraordo)
 - Micro-ordre (Microordo)
 - Super-famille (Superfamilia)
 - **Famille (Familia)**
 - Sous-famille (Subfamilia)
 - Tribu (Tribus)
 - Sous-tribu (Subtribus)
 - **Genre (Genus)**
 - Sous-genre (Subgenus)
 - Section (Sectio)
 - Sous-section (Subsectio)
 - **Espèce (Species)**
 - Sous-espèce (subspecies)
dernier rang zoologique officiel
 - Variété (varietas)
race étant un rang zoologique informel
 - Sous-variété (subvarietas)
sous-race étant un rang zoologique informel
 - Forme (forma) dernier rang en mycologie –
forme étant un rang zoologique informel
 - Sous-forme (subforma)

Exemple : Amphiprion percula :

- Domaine : eucaryote

Règne : animal

- Embranchement : Chordata

- Super Classe : Osteichthyes

Classe : Actinopterygii

sous-classe : Neopterygii

infra-classe : Teleostei

- Super-ordre : Acanthopterygii

Ordre : Perciformes

Sous-ordre : Labroidei

- **Famille : Pomacentridae**

comprenant les demoiselles et les poissons-clowns

- **Genre : Amphiprion**

- **Espèce : percula**

B. Poissons

C. Coraux

D. Autres organismes

IV. Matériel

A. L'équipement

Liste non exhaustive de l'équipement qui devrait faire partie d'un aquarium récifal :

1. L'aquarium lui-même ou cuve d'exposition qu'on appelle souvent "le bac";
2. La cuve technique souvent appelée improprement "décantation" ou même "décante" (une décantation est un compartiment relativement long qui ne contient que de l'eau dont la vitesse est faible afin que les sédiments se déposent dans le fond par gravité);
sauf pour les petits bacs qui n'en nécessitent pas toujours la cuve technique permet de déporter la plupart du matériel technique;
3. Pompe de remontée appelée ainsi parce qu'en général la cuve technique se trouve sous le bac,
elle assure la circulation de l'eau entre la cuve d'exposition et la cuve technique;
4. Osmoseur + résine de déionisation indispensable pour obtenir une eau osmosée de qualité
5. Osmolateur qui permet de compenser automatiquement l'évaporation afin de maintenir une salinité constante;
pour les bacs dont l'évaporation est faible ceci peut être fait manuellement
6. Éclairage
7. Pompes de brassage et leurs contrôleurs éventuels
8. Chauffage
9. En fonction de la méthode choisie (berlinoise / Jaubert / DSB / Michel dite Mousse Bleue)
 - Écumeur
 - Pierres vivantes et/ou mortes
 - Sable
10. Matériel nécessaire à la Supplémentation :
 - Pompes doseuses pour Balling
 - Réacteur à hydroxyde ou RAH
 - Réacteur à carbonates ou RAC
11. En option
 - "ordinateur" permettant d'automatiser différents systèmes comme le brassage, le pH du RAC, l'osmolation, ...
 - Matériel de filtration mécanique :
Perlon, micron bag, filtre à rouleaux, compartiment de décantation de la cuve technique
 - Refuge pour développer la microfaune sans prédateur
 - Bac à boutures
 - Distributeur de nourriture
 - Ventilateur et/ou "groupe froid"

B. L'installation électrique

La plupart des appareils qui assurent le fonctionnement de l'aquarium ont besoin d'électricité; la proximité de l'eau, salée donc conductrice de l'électricité, nécessite que l'installation électrique soit réalisée avec soin.



1. Différentiel et mise à la terre de l'eau

S'il y a une fuite de courant entre un appareil électrique et l'eau ce courant va finir par s'écouler à la terre.

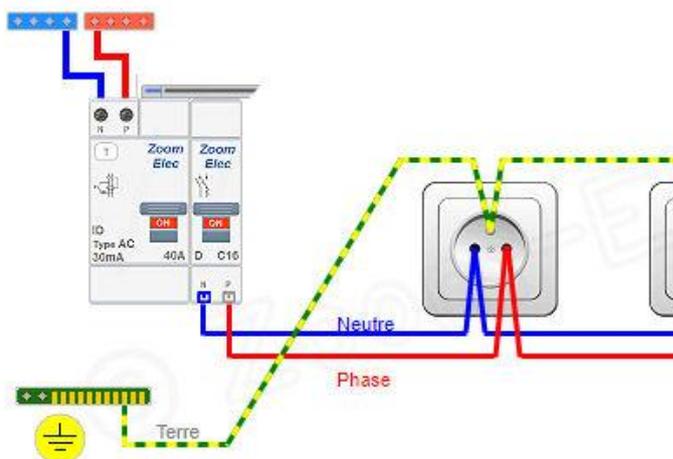
- S'il n'y a ni différentiel ni mise à la terre c'est l'aquariophile qui servira de conducteur et se fera électrocuter;
- s'il y a seulement un différentiel c'est l'aquariophile qui le fera déclencher en se faisant électriser au passage;
- s'il y a seulement une mise à la terre c'est le matériel qui risque de souffrir de ce courant indésirable;
- la seule solution qui protège complètement l'installation et l'aquariophile consiste à installer un différentiel et relier l'eau à la terre.

Voir les explications détaillées dans l'article [Pourquoi relier l'eau du bac à la terre ?](#)

L'alimentation électrique de l'aquarium doit donc passer par un ou plusieurs interrupteurs différentiels d'un calibre maximum de 30 mA.

La mise à la terre peut être réalisée par une électrode que l'eau de mer ne dégrade pas (titane, carbone) ou en utilisant l'enveloppe des résistances chauffantes "Titane".

Il va de soi que cette électrode ou le corps de ces résistances doit lui-même être relié à une prise de terre fonctionnelle !



2. Répartiteur

Chaque appareil nécessite une prise distincte par exemple sous forme de blocs multiprises. Pour la commodité de l'Aquariophile il est pratique de prévoir des interrupteurs (lumineux) pour pouvoir débrancher chaque élément individuellement.

On trouve aussi, notamment dans les magasins

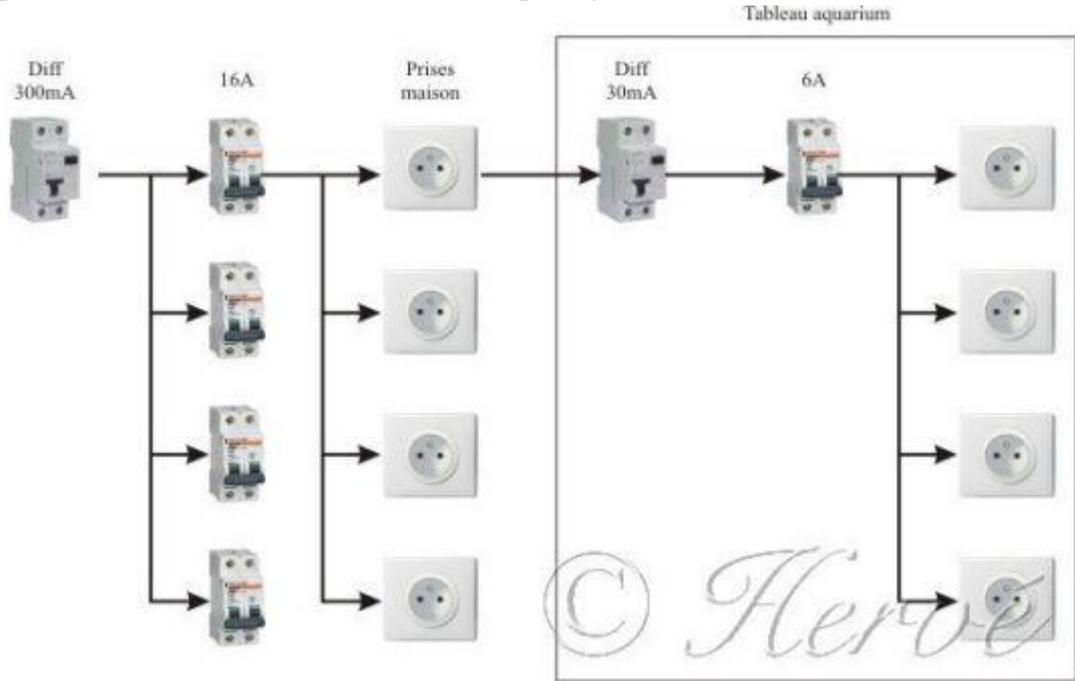


d'instruments de musique, des "Power Switches" comportant un interrupteur par prise. On peut aussi utiliser un coffret électrique comportant un différentiel général (pour le coffret) et un disjoncteur par prise.

Le calibre du disjoncteur doit être supérieur au courant consommé par l'appareil, par exemple une pompe de remontée de 100 Watts a besoins de $100/230 = 430$ mA : on prendra un disjoncteur de 1A (si on en trouve) ou max 2A; on peut évidemment regrouper plusieurs prises sur un même disjoncteur auquel cas le calibre devra être supérieur à la somme des courants.



Exemple d'un tableau électrique, la partie supérieure abrite un automate Zelio de Schneider qui assure la fonction d'osmoteur et de remplissage de la réserve d'eau osmosée.



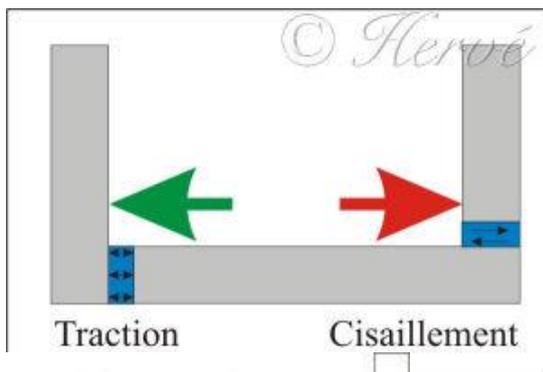
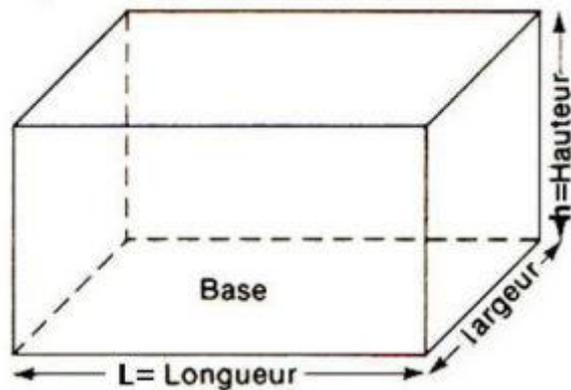
3. Alimentation de secours

C. L'aquarium et sa cuve technique

1. L'aquarium

appelé communément "bac" (d'exposition) est souvent constitué de verre, parfois de PMMA plus transparent mais plus difficile à coller et sujet aux rayures.

On évite de parler de "profondeur" car ce terme est ambigu, on préfère distinguer Hauteur et Largeur.

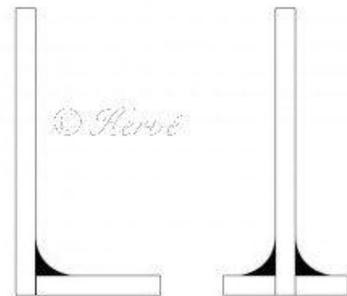


Les cuves en verre sont assemblées au moyen de silicone acétique (celui qui sent le vinaigre) transparent ou noir : la résistance est la même.

Selon sa position le joint peut être soumis à un effort en traction, en vert, ou en cisaillement, en rouge, nettement moins résistant.

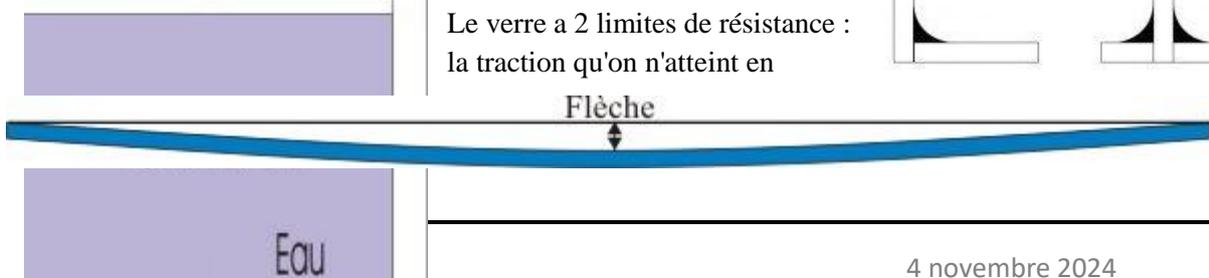
Pour cette raison la base est toujours collée entre les parois verticales et les petits côtés entre les grands.

Ils peuvent être renforcés par un congé (en noir sur l'illustration).



Le verre a 2 limites de résistance : la traction qu'on n'atteint en

Flèche



principe jamais avec des bacs de taille courante, et la flexion qui provoque une flèche

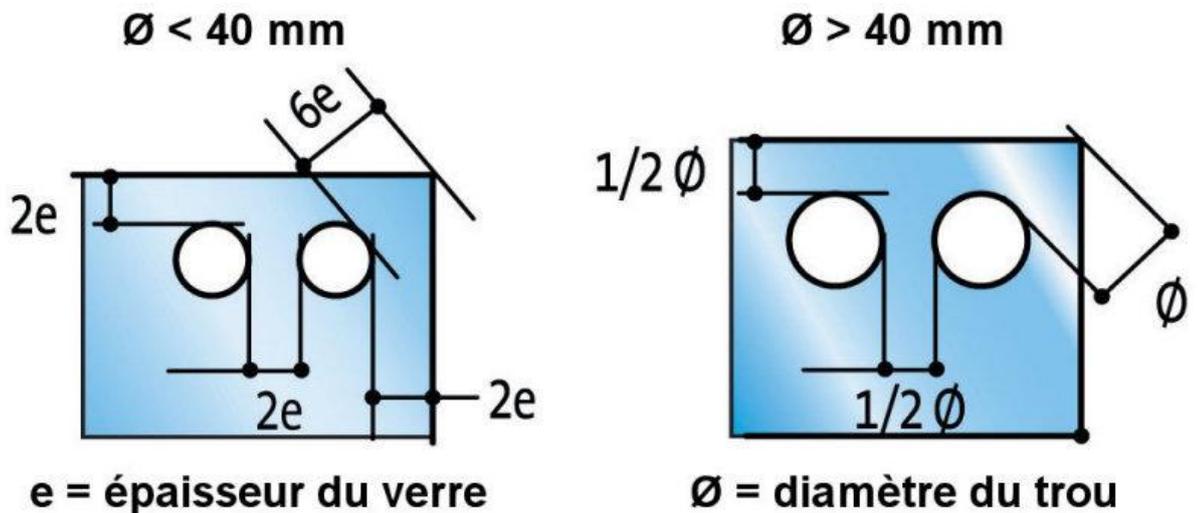
Pour limiter la flèche on peut installer

- des renforts qui relient 2 faces opposées
ils présentent l'inconvénient d'intercepter une partie de la lumière et compliquent l'accès au bac;
- une ceinture, bande collée horizontalement autour du bac.

Le logiciel [Calcul de l'épaisseur du verre d'un aquarium](#) permet d'effectuer facilement le calcul.

Enfin les perçages, par exemple pour installer un passe-cloison, doivent respecter certaines règles :

- un trou de moins de 40 mm de diamètre ne peut pas se trouver à moins de 2 fois l'épaisseur du verre d'une arête ou d'un autre trou ni à moins de 6 fois l'épaisseur d'un angle;
- un trou de plus de 40 mm de diamètre ne peut pas se trouver à moins de 2 fois le diamètre du trou d'une arête ou d'un autre trou ni à moins d'un diamètre d'un angle.



L'aquarium peut être posé sur un bâti en reposant seulement sur son pourtour, la vitre de fond doit alors être dimensionnée en conséquence; on peut aussi le poser sur une surface plane en intercalant un matériau qui reprendra les petites irrégularités notamment les "grains de sable" qui risqueraient de provoquer une contrainte énorme entraînant la rupture du fond; cette couche, par exemple en polystyrène expansé, ne doit pas nécessairement être épaisse : chez moi un tapis de gym de 7 mm.

2. La cuve technique

appelée improprement "décantation" ou même "décante" se trouve la plupart du temps dans l'armoire sous le bac.

Si on en a la possibilité on peut l'installer à l'étage inférieur (à la cave) ce qui nécessite une pompe de remontée plus puissante mais offre un confort indéniable car on évite les inconvénients du bruit (osmoteur, écumeur, ...) et on dispose de plus d'espace qui permet d'installer un refuge et/ou une réserve d'eau osmosée sans compter l'osmoseur et évite de devoir ramper à 4 pattes pour intervenir dans un espace exigü, surchargé et où les appareils électriques baignent dans une humidité qui leur est préjudiciable.

Ce qui est encore mieux est de placer la cuve technique dans un local situé à côté du bac,

on dispose alors des mêmes avantages avec une pompe encore moins puissante que si elle était sous le bac.

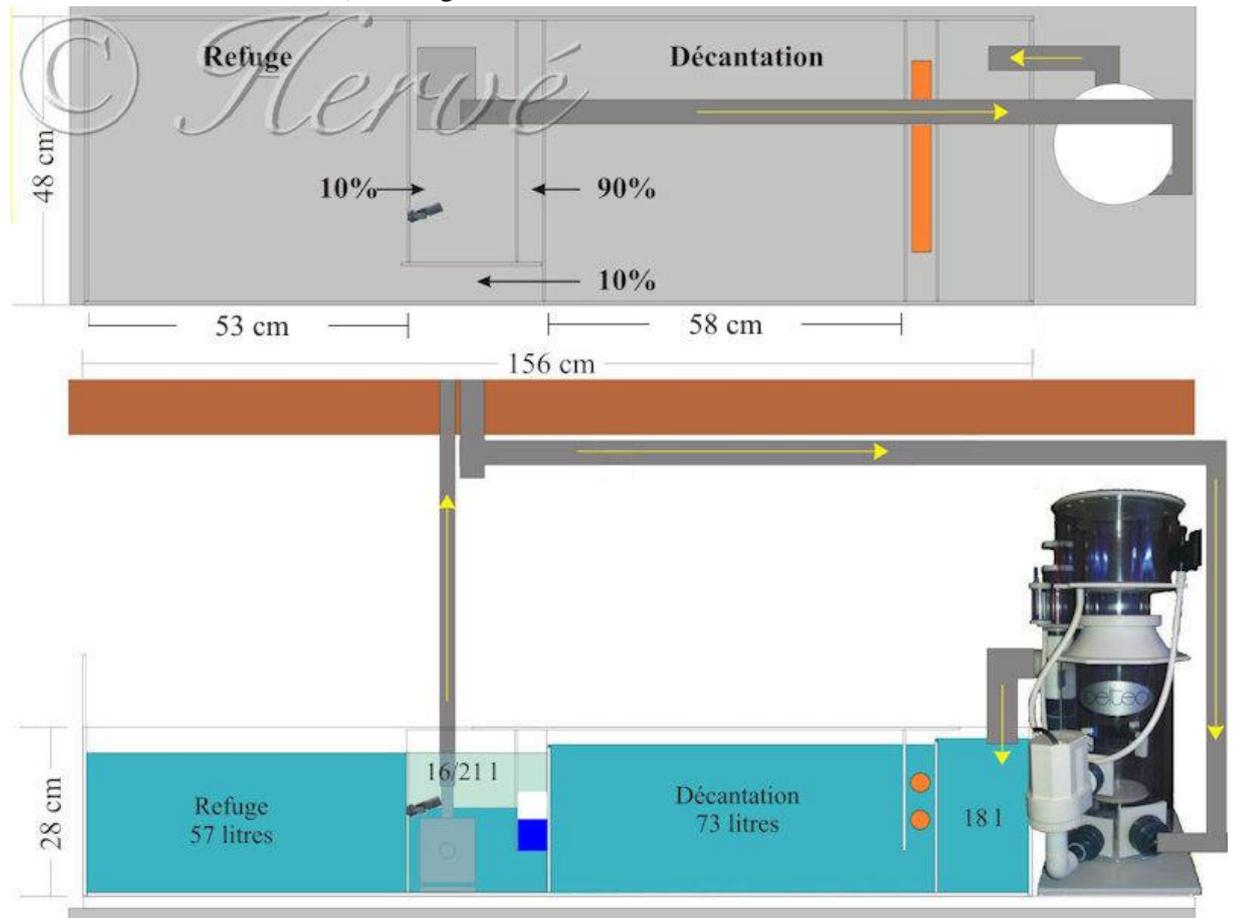
Le but de la cuve technique est d'abriter les équipements comme écumeur, chauffage, osmoteur, RAC, ... et pompe de remontée.



Elle comporte au minimum

- un compartiment de descente où arrive l'eau provenant du bac en traversant éventuellement une couche de perlon ou des micron-bags qui retiennent les sédiments;
- un compartiment de remontée qui abrite la pompe; vu la configuration de la cuve en cas de modification du volume d'eau total (ajout ou évaporation) le niveau varie seulement dans ce compartiment qui est donc idéal pour y installer le capteur de niveau de l'osmoteur;
- si on a choisi un écumeur interne (voir [D.6 L'écumeur](#)) qui nécessite un compartiment à niveau constant il trouvera sa place entre descente et remontée.

Exemple de cuve technique pour écumeur externe avec chauffage (en rouge), "vraie décantation" (compartiment relativement long qui ne contient que de l'eau dont la vitesse est faible afin que les sédiments se déposent dans le fond par gravité), perlon (en blanc sur une couche de mousse bleue) et refuge.



3. Choix d'un aquarium

D'une part plus un aquarium est grand plus il est imposant et plus il est stable.

En effet une perturbation, par exemple la perte d'un poisson, affectera moins un bac de 500 litres qu'un de 50.

De même en cas de panne d'électricité un bac de 500 litres refroidira moins vite qu'un de 50.

D'autre part plus un aquarium est grand plus il est coûteux à commencer par le bac lui-même et aussi tous ses équipements : éclairage, pompe de remontée, écumeur, quantité de sel, ... sans compter la consommation électrique.

Le choix dépendra donc de la place disponible (voir exemples dans le sujet [Photos de vos bacs](#)), des goûts de chacun (certains préfèrent un bac dit "shallow" c'est-à-dire avec une faible hauteur de l'ordre de 40 cm), du temps disponible et des moyens financiers.

4. Support de l'aquarium ou meuble

Il faut bien poser le bac quelque part, il existe plusieurs possibilités

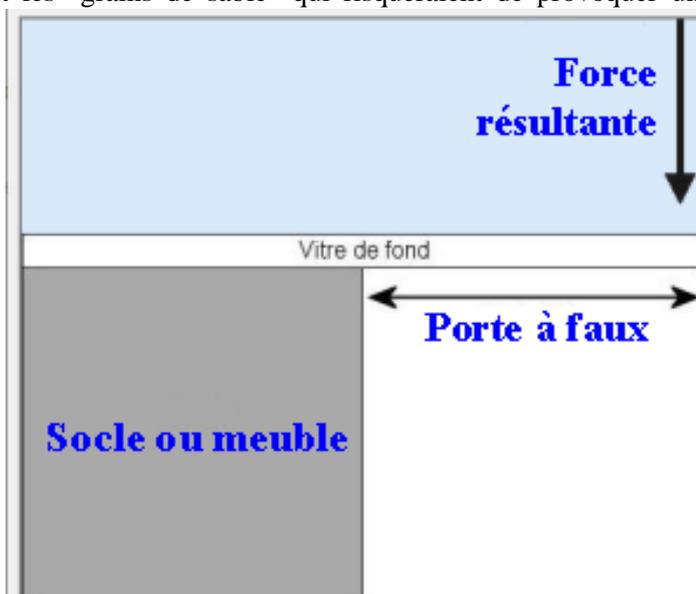
- bloc en maçonnerie;
- structure en tubes d'acier soudés recouvert de plaques décoratives, éventuellement maintenues à l'aide d'aimants qui permettent de déshabiller facilement le support pour les interventions techniques;
- meuble de panneaux comme la plupart de ceux proposés par les fabricants d'aquarium.

Si l'installation nécessite une cuve technique elle pourra trouver sa place dans ce support quel qu'il soit.

Dans tous les cas la face supérieure devra être plane.

Dans le cas du bâti en tubes le bac peut reposer seulement sur son pourtour protégé par une couche de mousse, la vitre de fond doit alors être dimensionnée en conséquence. On peut aussi le poser sur une surface plane en intercalant un matériau qui reprendra les petites irrégularités notamment les "grains de sable" qui risqueraient de provoquer une contrainte énorme entraînant la rupture du fond; cette couche, par exemple en polystyrène expansé, ne doit pas nécessairement être épaisse : chez moi un tapis de gym de 7 mm.

Il n'y a pas d'inconvénient à ce que le bac dépasse du support (chez moi : 15 cm tout autour); on peut vérifier la résistance d'une telle configuration à l'aide du logiciel [Porte à faux](#).

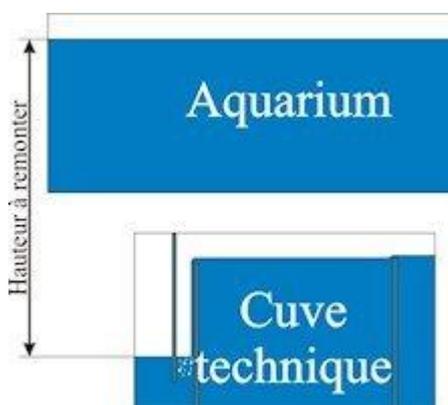


D. Descente et remontée

Pour assurer la circulation de l'eau entre le bac et la cuve technique il faut une pompe dite "de remontée" même si la cuve technique n'est pas sous le bac.

Le Turn Over (TO) est la fréquence du renouvellement de l'eau de l'aquarium; toutefois parce qu'il est difficile de connaître le volume occupé par les PV et le matériel le **Turn Over est par définition égal au débit de la pompe divisé par le volume du bac** sans déduire quoi que ce soit qui ne serait de toute façon qu'une grossière estimation; par exemple avec un débit de remontée de 1.000 l/h le TO d'un bac de 200 litres sera égal à 5; voir le sujet [Quel est le Turn Over de votre remontée ?](#)

Le débit de la descente qui amène l'eau du bac dans la cuve technique est fatalement égal au débit de la remontée : c'est donc la pompe qui conditionne ce débit, raison pour laquelle nous commenceront par elle.



1. Remontée

Les caractéristiques principales d'une pompe sont

- la hauteur maximale à laquelle la pompe est capable de remonter l'eau;

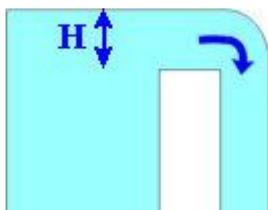
- le débit nominal mesuré à la sortie de la pompe sans y raccorder le moindre tuyau; le débit effectif diminue en fonction de
- la hauteur à remonter = différence de hauteur entre le niveau d'eau du bac et le niveau d'eau de la cuve technique, voir dessin;
- la longueur du tuyau de remontée;
- le diamètre du tuyau de remontée;
- le nombre et type de coudes (90°, 45°, normal ou large).
- la puissance électrique consommée : la plupart des pompes ont maintenant un contrôleur qui permet de régler la puissance et donc le débit qui varie en fonction du carré de la puissance; par exemple une pompe de 10.000 l/h qui consomme 100 Watts réglée pour débiter 5.000 l/h (1/2) consommera 25 Watts ($1/2^2 = 1/4$).

Pour éviter le bruit et les éclaboussures la sortie de la pompe doit être immergée dans le bac, par conséquent si la pompe s'arrête le tuyau va siphonner le bac dans la cuve technique; afin de désamorcer ce siphon il suffit de percer quelques trous dans la canalisation juste sous la surface pompe tournante.



Le logiciel [Pompes de remontée](#) permet de choisir une pompe en fonction du TO souhaité et des caractéristiques de la canalisation.

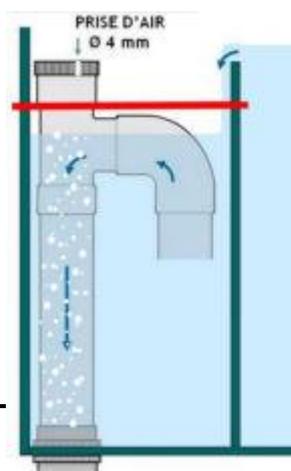
2. Descente



Quel que soit le système envisagé, l'eau doit monter un peu dans le bac pour entrer dans la canalisation de descente d'une hauteur qui est fonction du débit et des dimensions du bord, c'est ce qu'on appelle la "lame" d'eau.

En cas d'arrêt de la pompe ce volume d'eau supplémentaire va redescendre dans la cuve technique; le débit étant imposé, pour minimiser ce volume la lame doit être la plus large possible.

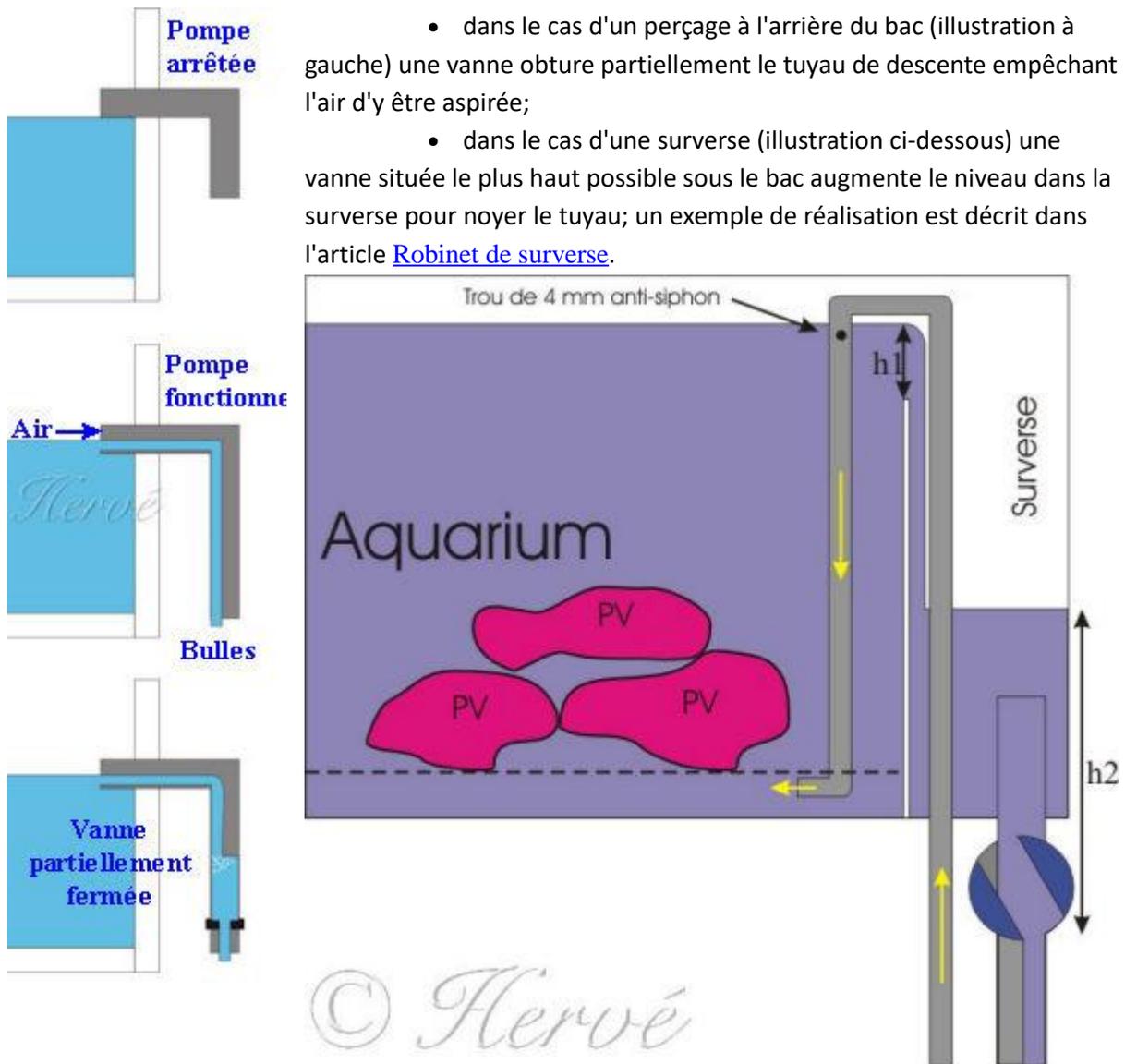
L'entrée dans la canalisation de descente peut être simplement un trou percé à l'arrière du bac, soit une cloison par dessus laquelle l'eau déborde pour s'écouler



dans un compartiment appelé "surverse" ou encore un "Déversoir" constitué de 2 boîtes, une à l'intérieur, l'autre à l'extérieur du bac reliées par un siphon en forme de \cap . Cette entrée doit être munie d'un peigne afin d'éviter que les poissons y entrent.

Quand l'eau entre dans le tuyau elle risque d'entraîner avec elle des bulles d'air qui provoqueront du bruit et des remous à la sortie dans la cuve technique; pour l'éviter il faut noyer l'entrée du tuyau, il existe plusieurs méthodes :

- le Durso, illustration ci-contre : l'entrée est bien noyée, l'eau passe par dessus le coude, un petit trou percé à la partie supérieure évite qu'un siphon s'amorce; cette aspiration d'air provoque aussi du bruit, on peut la déporter à l'aide d'un fin tuyau;



Si un tuyau doit traverser une paroi le plus simple et le plus sûr est d'utiliser un passe-cloison; un joint conique assure l'étanchéité.

Au montage quel que soit le sens il faut toujours placer le joint noir du côté du corps et le

blanc sous l'écrou.



Diamètre tuyau	Diamètre perçage
20	27
25	35
32	43
40	54

3. Les changements d'eau

Il est utile de changer périodiquement une partie de l'eau du système, pour avoir une idée du pourcentage et du volume je vous suggère de lire le sondage [A quelle fréquence faites-vous des changements d'eau?](#)

Pour les petits volumes on peut préparer de l'eau salée dans un seau, sinon un système automatique est plus pratique, voici un schéma de mon système :

- chaque jour à 9h l'électrovanne pilotée par Zelio s'ouvre pour remplir la réserve d'eau osmosée;
elle se ferme quand la réserve est pleine (interrupteur à flotteur);
- la pompe péristaltique est celle de l'osmoteur : elle compense automatiquement l'évaporation;
- quand je veux préparer de l'eau de mer



- un matin j'ouvre la vanne pour remplir par gravité la cuve de préparation (40 litres et non 15 comme indiqué sur le schéma);
- je branche chauffage et brassage;
- le soir j'ajoute le sel (1kg700 pour 40 litres);
- le lendemain matin je coupe la remontée

et je siphonne la cuve technique : 2 bidons de 20 litres;

- je branche la pompe Maxijet pour transférer l'eau salée dans la cuve technique.

Réalisation pratique :

- en haut à gauche la réserve d'eau osmosée;
- en bas à droite la cuve de préparation d'eau salée.



E. La lumière

1. Caractéristiques de la lumière

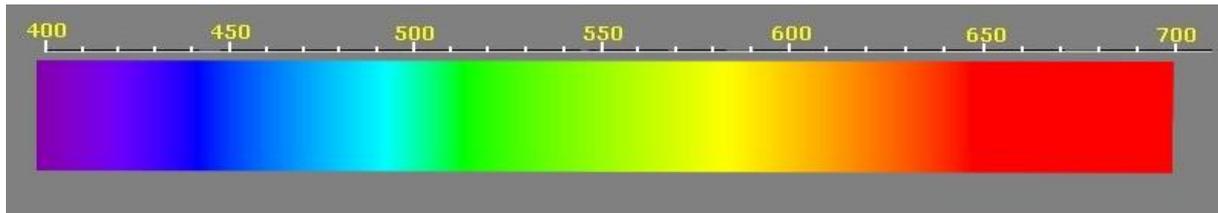
La lumière est constituée de photons qui ont comme caractéristiques

- leur longueur d'onde
- leur énergie

a) Longueur d'onde d'un photon

elle s'exprime en nanomètres (1 nm = 1 milliardième de mètre)

dans le spectre visible elle s'étend de 400 nm qui donne une couleur bleue à 700 nm qui donne une couleur rouge.



La CCT (Correlated Color Temperature = température de couleur proximale) d'une couleur

- est la température à laquelle il faut chauffer un corps pour obtenir cette couleur;
- s'exprime en Kelvins qui est une mesure de la température comme le degré Celsius décalé de $-273,15^{\circ}\text{C}$;
- représente la teinte perçue d'un rayonnement quel que soit son intensité.

On ne peut pas attribuer une CCT à n'importe quelle couleur, par exemple le vert n'a pas de CCT parce qu'un bout d'acier progressivement chauffé passe du rouge à l'orange ... et finalement au bleu, il ne sera jamais vert; c'est ce qu'on appelle un "Rayonnement de corps noir", il est constitué de toutes les longueurs d'onde avec une prédominance rouge à faible CCT et de plus en plus bleue au fur et à mesure que la température augmente.



Le soleil émet un tel rayonnement de corps noir qui atteint 6.500K à la surface de la mer.

• *Energie de la lumière*

D'après la loi de Stark-Einstein, la photosynthèse débute lorsqu'un photon excite un électron. En 1972, Keith Mc Cree découvre qu'en comptant les photons d'un rayonnement lumineux entre 400 et 700 nm à l'aide d'un Quantum-mètre il peut mesurer le taux de photosynthèse.

Le PAR (Photosynthetically Active Radiation) est le nombre de photons reçus par une surface de un m^2 en une seconde quelle que soit l'énergie et la longueur d'onde de ces photons.

Ce nombre de photons étant très grand on utilise l'einstein qui est un nombre NA (Nombre d'Avogadro) égal à $602.214.076.000.000.000.000 = 6,022\ 140\ 76 \times 10^{23}$, ça évite juste les chiffres suivis de 23 zéros.

L'unité pratique du PAR est le milliardième d'einstein par m^2 par seconde ($\mu\text{E}/\text{m}^2.\text{s}$)
 Au lieu de "je souhaite un PAR de 60.221.407.600.000.000 photons par m^2 par

seconde il est plus simple d'écrire "je souhaite un PAR de 100 $\mu\text{E}/\text{m}^2.\text{s}$ " mais c'est exactement la même chose; on peut omettre l'unité : "je souhaite un PAR de 100" reste compréhensible.

La mesure en PAR donne une première indication de l'efficacité photosynthétique d'une source lumineuse mais c'est le PUR ou rayonnement utilisable pour la photosynthèse (Photosynthetically Usable Radiation), qui est la fraction de PAR réellement absorbée par les organismes étudiés.

Plus la longueur d'onde est petite plus un photon transporte d'énergie.

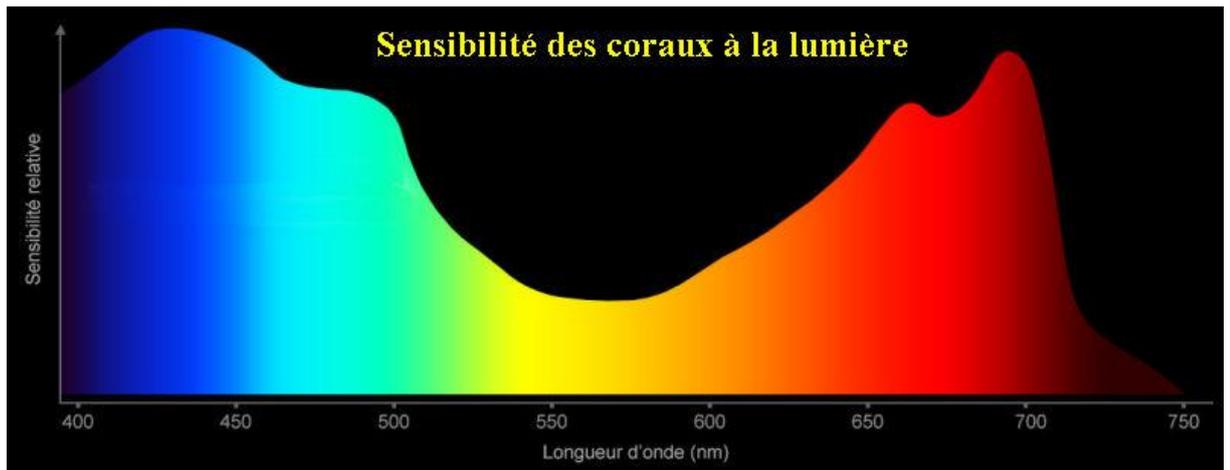
Pour transmettre une même énergie il faudra donc davantage de photons rouges que de bleus.

2. Besoins des coraux

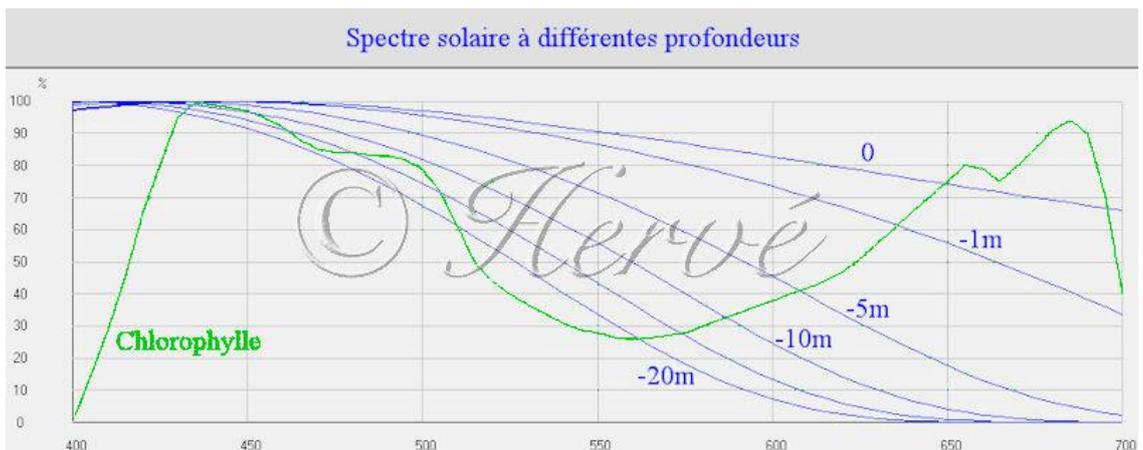
Les zooxanthelles présents dans les tissus des coraux ont besoin d'énergie sous forme de lumière.

Ces algues symbiotiques ne sont pas également réceptives à toutes les longueurs d'onde : comme le montre ce graphique ils profitent davantage du rouge et du bleu que du vert; le rouge est d'ailleurs plus efficace que le bleu, voir courbe de McCree.

Ceci ne signifie pas que les coraux ne pousseraient pas sous une lumière verte mais qu'il faudrait plus de puissance que si on l'éclairait en rouge ou en bleu.



D'une part plus on descend sous la mer plus le rouge est absorbé, puis l'orange, puis le vert; la lumière est donc de plus en plus bleue donc la CCT augmente; à un mètre de profondeur il n'y a déjà plus que 50% du rouge de surface; à 10m de profondeur il ne reste que 60% de vert et 0,1% de rouge; alors que les coraux pourraient utiliser tout le spectre comme ils le font par exemple dans les lagons, nous éclairons nos bacs avec une dominante bleue pour simuler l'ambiance qui règne sous la mer car il serait difficile de construire un bac de 10 m de haut.



D'autre part plus on s'enfonce sous l'eau plus la puissance lumineuse diminue : à 10m de profondeur il reste 50% de l'énergie disponible en surface.

A midi sous les tropiques on mesure jusque 2.000 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ à la surface, il reste 300 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ à 20m de profondeur. En moyenne sur une journée on constate 400 à 800 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ à 0m et 60 à 100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ à 20m.

Bien sur ça peut varier selon la quantité de particules en suspension, mais les coraux qui nous intéressent sont tous susceptibles de se maintenir dans ces valeurs.

3. Mesure de la lumière

Le PAR ne tient pas compte des besoins des coraux un peu comme si on comptait le nombre de véhicules qui passe sur une route, sans se soucier si c'est une mobylette ou un 45 tonnes.

Pour optimiser l'éclairage il faudrait utiliser le PUR (Photosynthetic Useable Radiations) qui est le PAR pondéré avec la courbe de sensibilité des coraux; je n'ai cependant toujours pas trouvé de tableau donnant le PUR nécessaire pour chaque corail ni le moyen de mesurer le PUR, il n'est donc pas plus significatif que le PAR.

Enfin l'éclairement, dont l'unité de mesure est le lux, est l'intensité perçue par l'œil humain qui ne représente donc pas les besoins des coraux mais est facile à mesurer globalement à l'aide d'un luxmètre alors que le PAR se mesure ponctuellement avec un Quantum-mètre.

L'éclairement (en Lux) ne correspond donc pas aux besoins des coraux, mais le PAR (en $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$) non plus.

Ecrire que tel corail a besoin d'un PAR de 150 n'a pas plus de sens qu'écrire qu'il a besoin d'un éclairement de 7.500 Lux.

Pour savoir si la lumière convient aux coraux il faudrait connaître le spectre, mesurer le PAR ou l'éclairement et calculer le PUR ce qui serait relativement complexe.

Par contre si la CCT est connue, on peut calculer la relation entre les différentes longueurs d'onde et le rapport entre PAR et éclairement devient constant, par exemple pour le soleil l'éclairement est égal au PAR multiplié par 54 : à un PAR de 100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ correspond un éclairement de 5.400 Lux.

On peut donc écrire que tel corail a besoin d'un PAR de 150 ou d'un éclairement de 7.500 Lux à condition de préciser à quelle CCT.

Les coraux sont très tolérants vis à vis du PAR : de 2.000 à 50 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$.

Pour beaucoup de coraux la photosynthèse est au max à 400 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ ce qui indique que cela ne sert à rien de dépasser cette valeur.

Et à 100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ la photosynthèse reste correcte mais la croissance devient faible, voici les valeurs relevées dans la nature :

Profondeur [m]	Eclairement [Lux]		Eclairement PAR	PAR [$\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$]		PUR PAR	PUR [$\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$]		CCT [K]
	Max	Moyenne		Max	Moyenne		Max	Moyenne	
0	108.000	32.000	54	2.000	600	0,600	1.200	360	5.800
-1	99.000	30.000	55	1.800	540	0,595	1.071	321	6.500
-5	65.000	20.000	54	1.200	360	0,598	718	215	10.000
-10	35.000	11.000	49	720	216	0,618	445	133	20.000
-15	22.000	6.000	43	500	150	0,637	319	96	36.000
-20	12.000	4.000	38	320	96	0,652	209	63	57.000

A une CCT de l'ordre de 15.000K un luminaire devrait donc fournir un éclairement minimum de 5.000 Lux ou un PAR minimum de 100 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ dans le fond du bac;

un éclairement maximum de 20.000 Lux ou un PAR maximum de 400 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ à la surface.

4. Choix d'un système d'éclairage

Plusieurs critères techniques sont à prendre en compte pour choisir un système d'éclairage :

- l'intensité de la lumière
- la consommation électrique et le rendement
- la couleur de la lumière ou CCT
- la répartition de la lumière sur le bac

Ensuite il reste à prendre en considération la disponibilité, l'esthétique, le budget, ... et aussi via [Le Forum Récifal](#) la qualité de fabrication, la fiabilité, le bruit des ventilateurs éventuels, l'efficacité du sav, ... sans oublier le côté pratique pour les réglages, la pose et l'encombrement.

Voir aussi l'avis de [Jörg Kokott](#) biologiste pour la firme [Sangokai](#).

a) Intensité de la lumière

L'intensité en surface dépend des coraux qu'on souhaite abriter et de la hauteur d'eau.

Comme expliqué dans l'article [D.4 La lumière](#) le PUR détermine les besoins des coraux mais on ne trouve ni le PUR idéal pour chaque corail ni le moyen de le mesurer.

Certains utilisent le PAR (en $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$), d'autre l'éclairement (en Lux) mais le premier mesure le nombre de photons quelle que soit leur longueur d'onde et leur énergie alors que le second est relatif à la sensibilité de l'œil humain : aucun des deux ne correspond donc aux besoins des coraux.

Le sujet [Besoins d'éclairage des SPS](#) donne des valeurs indicatives de PAR et d'éclairement pour certains d'entre eux.

La plupart des coraux ne poussent pas sous un éclairement inférieur à 5.000 Lux et ne poussent pas davantage si on dépasse 20.000.

Avec 20.000 Lux en surface on obtient 10.000 Lux sous 60 cm d'eau, le double du minimum nécessaire, ce qui fait 14.000 en moyenne.

Le logiciel [Choix d'un luminaire](#) propose 3 options :

- Eclairement minimum = 5.000 Lux ou PAR = 140 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ dans le fond du bac minimise la puissance consommée tout en permettant aux coraux de pousser;
- Eclairement recommandé = 14.000 Lux ou PAR = 390 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ au milieu meilleur compromis permettant une belle pousse même dans le fond;
- Eclairement maximum = 20.000 Lux ou PAR = 555 $\mu\text{E}/\text{m}^2/\text{s}$ en surface maximise l'intensité lumineuse sans suréclairer inutilement.

Il vaut mieux choisir un luminaire dont on pourra régler la puissance comprise entre 50 et 80% parce que

- en dessous de 50% il est plus économique de diminuer le nombre de luminaires;
- au-dessus de 80% il devient difficile de régler la couleur puisque tous les canaux sont presque à fond;
- le flux lumineux diminue avec l'âge : si la puissance est proche de 100% on ne pourra pas compenser cette perte de luminosité.

D'autre part les luminaires modernes équipés de LEDs permettent de régler la couleur et l'intensité de l'éclairage et notamment de la faire varier progressivement pendant les phases d'allumage et d'extinction ce qui évite de stresser les poissons; il est toutefois inutile qu'elles durent trop longtemps parce que pendant ces périodes

- la lumière n'est pas très efficace, voir [Quelle durée d'éclairage ?](#)
- les animaux doivent sans cesse s'habituer au changement ce qui consomme leur énergie.

b) Consommation électrique et rendement

On définit le rendement comme le flux lumineux produit, en Lumens, par Watt de puissance électrique consommée : plus le rendement est élevé moins une rampe consommera d'électricité pour un même éclairage.

A noter que le rendement augmente si la puissance diminue, par exemple une rampe d'une puissance de 100 Watts fournissant un flux de 7.000 Lumens soit un rendement de 70 lumens par watt, ne fournira pas 3.500 Lm si on diminue sa puissance à 50W mais 4.000 soit un rendement de 80 lumens par Watt.

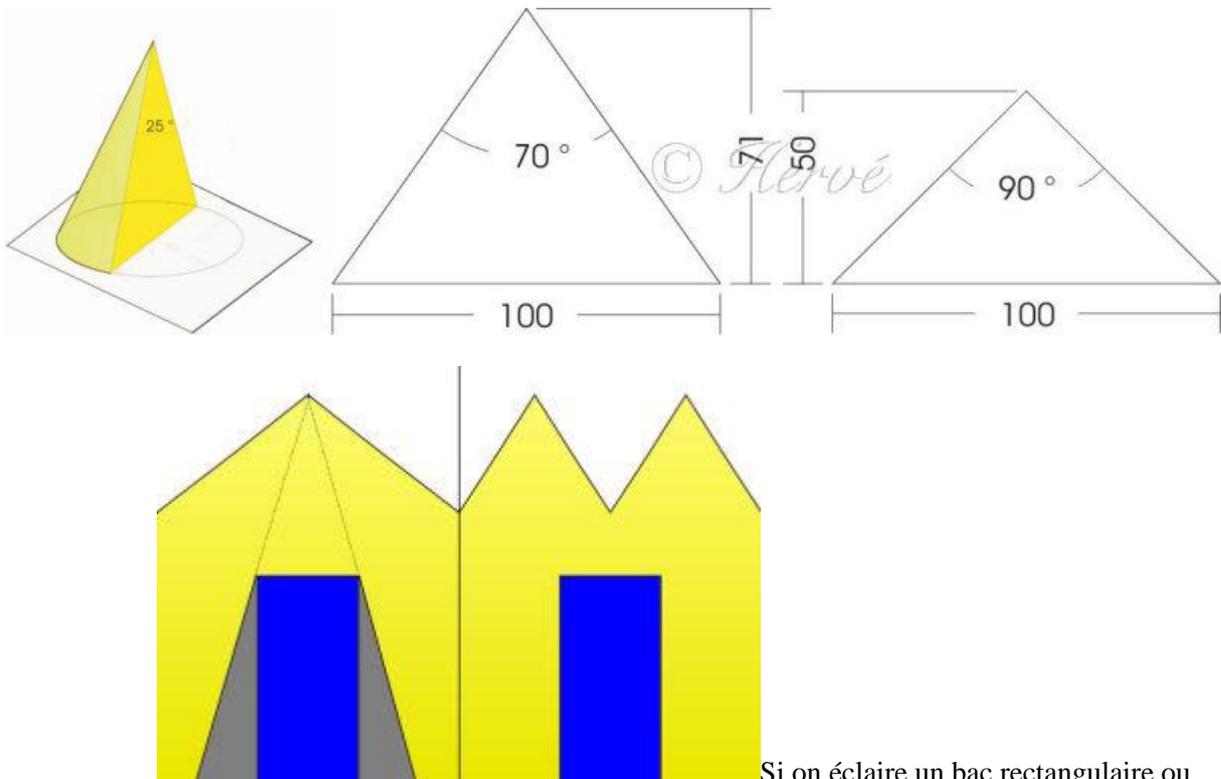
Contrairement aux T5 et HQI avec lesquels on considérait qu'il fallait un watt par litre parce que le rendement était toujours proche de 50 lm/W, celui des LEDs varie fortement selon la marque, le modèle et le pourcentage de puissance; par exemple pour fournir un éclairage de 14.000 Lux au milieu d'un bac de 120 x 60 x 60 cm il faudrait 150 Watts avec une rampe Zetlight ZT6800 ou Alpheus contre 270W soit pratiquement le double avec Arcadia S6 ou Aquarium Systems Series 6.

c) Couleur de la lumière ou CCT

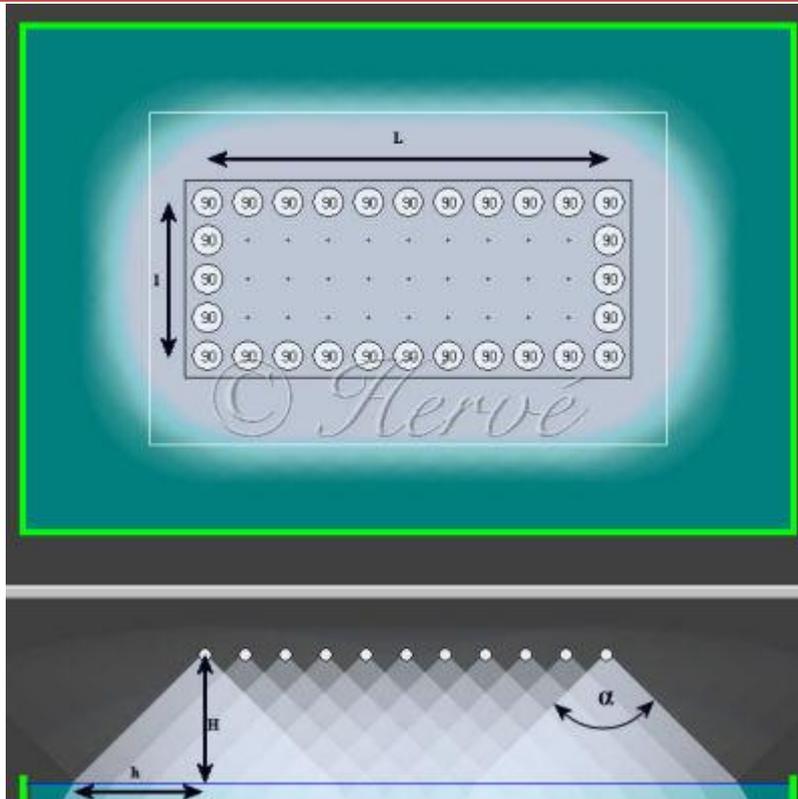
d) Répartition de la lumière sur le bac

Une source lumineuse, par exemple une LED équipée d'une lentille, émet sa lumière dans un cône (illustration à gauche); plus l'angle est petit plus le diamètre du cercle éclairé sera faible ou plus il faudra augmenter la distance de la source à la surface à éclairer.

Par exemple, à droite, il faudra placer une LED avec lentille à 70° à 71 cm de la surface pour éclairer un cercle de 1 mètre et à seulement 50 cm si l'angle est de 90°



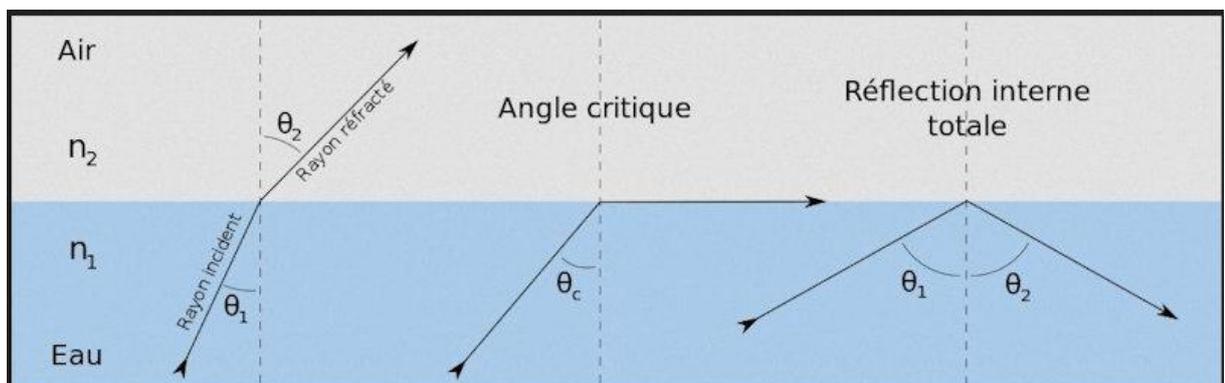
Si on éclaire un bac rectangulaire ou même carré avec une seule source les angles seront mal éclairés puisque la partie éclairée est circulaire; de plus un seul spot provoque des ombres comme illustré à gauche.

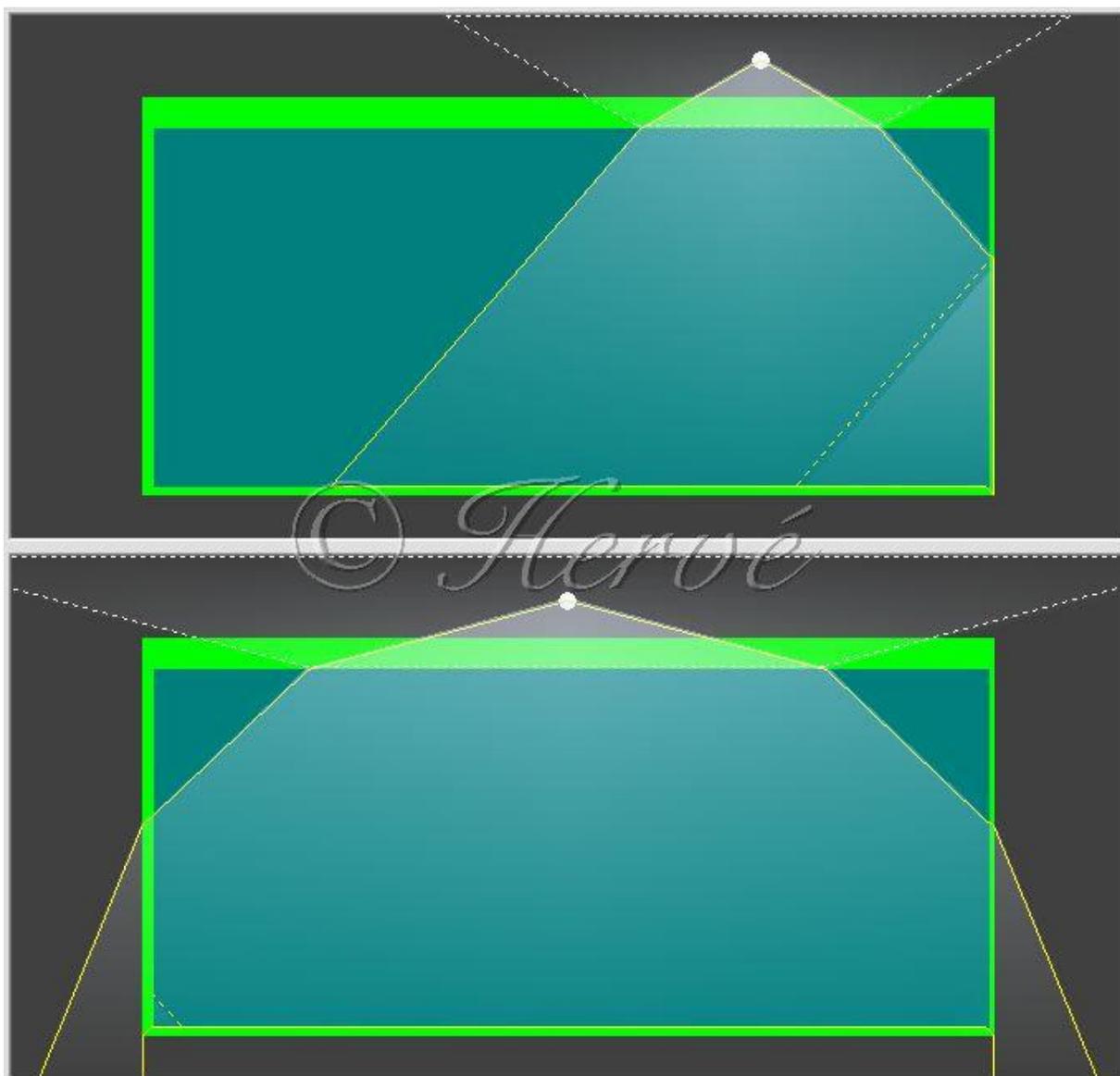


Pour cette raison on dispose en général plusieurs LEDs en longueur L et en largeur l ou même plusieurs luminaires afin de couvrir toute la surface du bac.

A cause de l'angle α des lentilles un luminaire placé à une hauteur H éclaire plus long et plus large que les distances entre les LEDs extrêmes L et l .

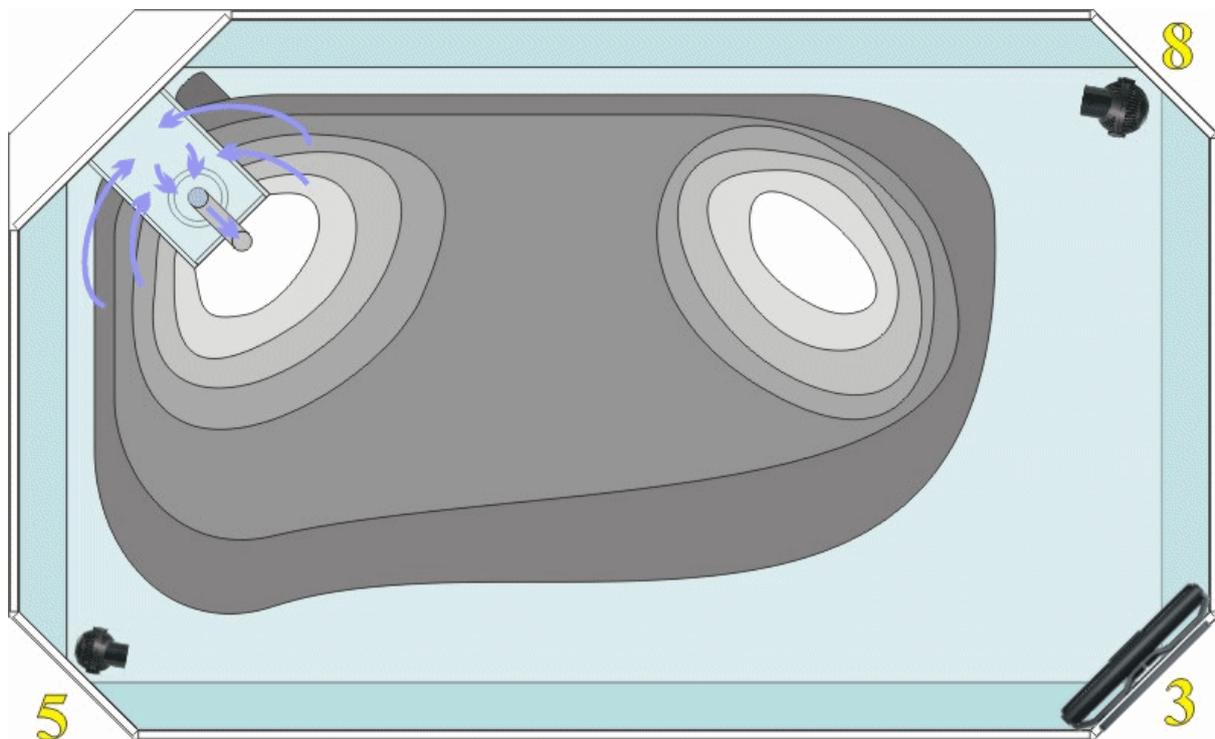
Le logiciel [Répartition de l'éclairage](#) permet de visualiser les faisceaux lumineux produits par une ou plusieurs rampes, il permet aussi de calculer automatiquement la distance entre plusieurs luminaires et leur hauteur afin d'éclairer au mieux toute la superficie du bac et pas en dehors.





F. Le brassage

- Il est nécessaire de brasser l'eau du bac afin d'apporter les nutriments aux animaux sessiles (fixé à un support comme les coraux) et d'éliminer leur mucus et les sédiments. Il faut compter un débit moyen de 20 à 30 fois le volume du bac par heure. Pour être efficace ce débit doit varier en puissance et en direction, à défaut certains endroits masqués ne seront pas brassés, les sédiments ne seront pas débusqués dans tous les recoins du décor; 2 possibilités :
- modifier en permanence la puissance des pompes; pour obtenir un débit moyen de 20 à 30 fois la somme des débits maxima des pompes doit être largement supérieur, pour fixer les idées environ 40 fois le volume du bac par heure; par exemple si on a 2 pompes de 20 fois (ce qui fait 40 en tout) mais qu'on les fait fonctionner à tour de rôle le brassage moyen est de 20 fois; mieux vaut donc 2 pompes de 20 fois qui tournent alternativement qu'une seule de 20 fois qui tourne en permanence; de plus cette précaution permet de maintenir un brassage minimum en cas de panne d'une pompe;
- faire pivoter les pompes : c'est l'oscillateur, illustration ci-dessous : pompes 5 et 8; il n'est plus besoin de faire varier leur débit puisque leur orientation change en permanence; puisque les pompes tournent à 100% on peut se contenter de pompes moins puissantes, occupant moins de place, non réglables donc moins chères;



Il est aussi utile d'ajouter une pompe de brassage en surface dirigée vers la surverse, comme la pompe 3 dans l'exemple ci-dessus, dont le but est d'éliminer le "film gras" et de favoriser les échanges gazeux avec l'atmosphère.

Il existe aussi des système "à vague" ou "wave box" : le principe consiste à faire osciller la masse d'eau du bac dans le sens de la longueur.

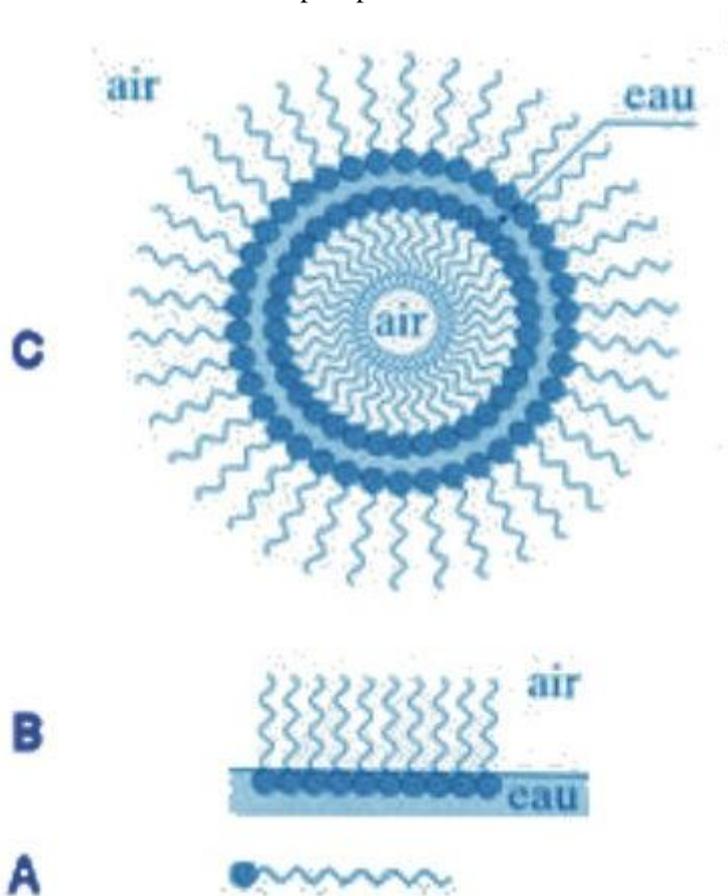
L'effet houle permet de déplacer la masse d'eau complète, ce qui est très bénéfique pour les coraux branchus, où il est difficile de renouveler l'eau en leur sein. Un brassage classique direct et violent est préjudiciable pour les tissus.

Les polypes ondulent magnifiquement sous l'effet de la houle mais certains récifalistes sont gênés, tout comme le miroitement donné par certains éclairages.

Ce balancement de l'eau induit des contraintes sur le bac qui doit être dimensionné pour les accepter : vitre plus épaisse, renforts transversaux et/ou longitudinaux...

G. L'écumeur

Lorsque les bactéries meurent elles se décomposent en différentes molécules qui se retrouvent dans l'eau, en compagnie de protéines issues de matière biologique : il faut les éliminer car ces molécules contiennent de l'azote et des phosphates.



1. Principe de l'écumage

Il se fait que ces molécules sont amphiphiles c'est-à-dire qu'elles présentent un côté hydrophile (qui aime l'eau) et un côté hydrophobe (qui fuit l'eau), indiqués par les signes + et - sur le schéma ci-contre; dans un système berlinois elles sont ainsi piégées par l'écumeur dont le principe consiste à produire de nombreuses bulles que les molécules amphiphiles apprécient particulièrement parce qu'en s'installant à la surface de la bulle elles peuvent avoir leur côté hydrophile dans l'eau et leur côté hydrophobe hors de l'eau.

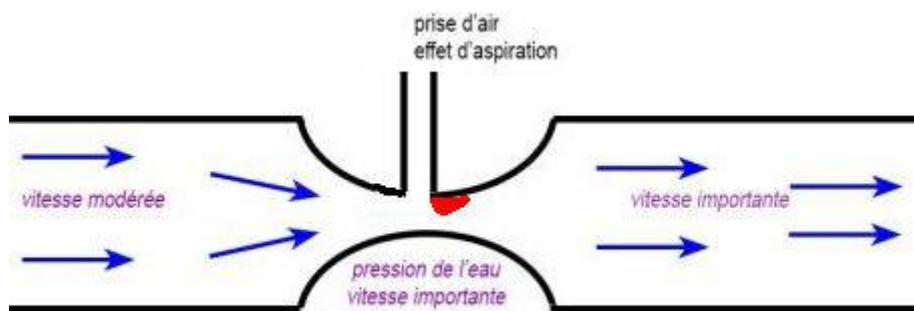
L'azote et les phosphates contenus dans les molécules amphiphiles sont donc exportés avec les bulles.

Dans un Jaubert ces molécules se font piéger par l'oxyde ferrique.

Le schéma montre comment les molécules amphiphiles (A) qui comportent une "tête" hydrophile et une "queue" hydrophobe se rassemblent à la surface de l'eau (B).

Dans l'écumeur elles se regroupent autour des bulles (C) avec leur tête dans l'eau (la paroi de la bulle) et leur queue dans l'air (dans ou à l'extérieur de la bulle).

Les molécules amphiphiles sont ainsi capturées par les bulles et se retrouvent dans le godet : c'est l'écume.



2. Fonctionnement de l'écumeur

Une pompe à eau dont l'entrée est munie d'un venturi injecte dans le corps une eau chargée de nombreuses bulles d'air qui capturent les molécules amphiphiles; ces bulles remontent ensuite dans une colonne et débordent dans la coupelle.

A noter que la couleur de l'écume est seulement une question de dilution : l'écumage a lieu dans le corps de l'écumeur où les protéines sont piégées à la frontière air/eau des bulles en fonction de la superficie totale de contact des bulles (débit d'air) et du temps de contact (débit d'eau); ensuite selon que l'écume déborde dans le godet en même temps que plus ou moins d'eau elle sera simplement plus ou moins claire.

Il existe principalement 2 types d'écumeur

- interne (exemple de droite) qui doit obligatoirement être placé dans un compartiment rempli d'eau (cuve technique ou directement dans le bac);
une pompe aspire de l'eau de ce compartiment, la mélange à de l'air sous forme de bulles avant d'envoyer le tout dans le corps de l'écumeur;
- externe (exemple de gauche) qui peut être placé dans un compartiment rempli d'eau ou en dehors;
une pompe aspire de l'eau dans l'écumeur, la mélange à de l'air sous forme de bulles avant de renvoyer le tout dans le corps de l'écumeur;
cette pompe assure donc le brassage dans l'écumeur mais pas l'apport d'eau nouvelle : il faut utiliser une pompe supplémentaire ou la descente.



A priori pour un même corps d'écumeur et une même pompe le modèle externe est plus efficace parce que

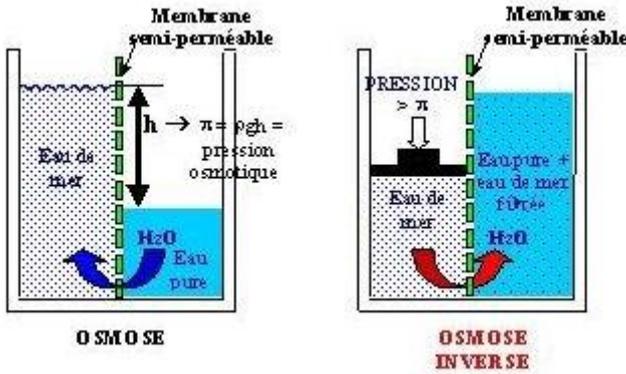
1. la pompe d'un écumeur externe ne doit assurer que la circulation de l'eau dans l'écumeur alors que celle d'un écumeur interne doit en plus assurer l'injection d'eau dans l'écumeur;
2. une partie de l'eau qui se trouve dans le compartiment où est nécessairement plongé l'écumeur interne peut le contourner sans le traverser; de plus l'eau qui sort de l'écumeur peut à nouveau inutilement y entrer;
alors que toute l'eau qui traverse un écumeur placé hors de tout compartiment est traitée complètement et une seule fois, ce qui est seulement possible avec un écumeur externe même si on peut aussi l'immerger afin d'éviter que, si la coupelle déborde, elle inonde le sol.

3. Choix d'un écumeur

Le volume d'air aspiré par la pompe est fonction de la charge organique des animaux, poissons et coraux, hébergés dans l'aquarium

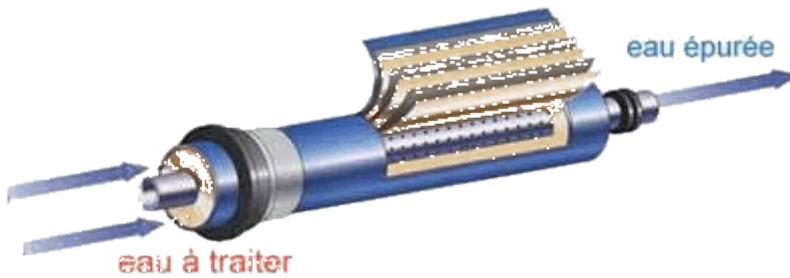
- pour un bac peu chargé : débit d'air = volume du bac;
- pour un bac moyennement chargé 2x le volume;
- pour un bac chargé en sps lps compter entre 2 et 3 fois le volume.

H. L'osmoseur

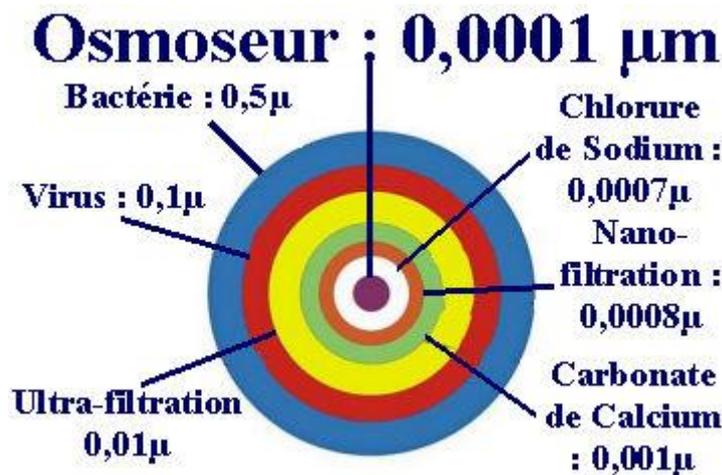


Tous les aquariophiles n'ayant pas la possibilité de puiser de l'eau de mer naturelle il faut la fabriquer en dissolvant du sel dans de l'eau aussi pure que possible; le meilleur moyen d'y parvenir est de filtrer l'eau de ville à l'aide d'un osmoseur.

On sait depuis le XVII^e siècle que si deux solutions sont mises en contact par l'intermédiaire d'une membrane semi-perméable, les sels de la solution la plus concentrée ne pouvant la traverser, c'est l'eau de la solution la moins concentrée qui la traversera afin de réduire la différence de concentration entre les 2 côtés de la membrane; quand cet équilibre est atteint la différence de hauteur entre les deux solutions est la pression osmotique; si on force l'eau à traverser une telle membrane en appliquant une pression supérieure à la pression osmotique on obtient une eau pratiquement pure; c'est le principe d'osmose inverse.



Un osmoseur est simplement constitué d'une membrane poreuse, enroulée sur elle même pour augmenter la superficie utile, à travers laquelle l'eau est poussée par la pression de l'eau de ville.



L'image ci-contre illustre la taille en microns (μm = un millième de millimètre) des pores d'un osmoseur et d'autres moyens de filtration (ultra- et nano-filtration) relativement à quelques impuretés qu'ils sont sensés retenir : seule l'osmose permet de les arrêter efficacement.

La caractéristique principale d'une membrane est son débit nominal, il est généralement exprimé en

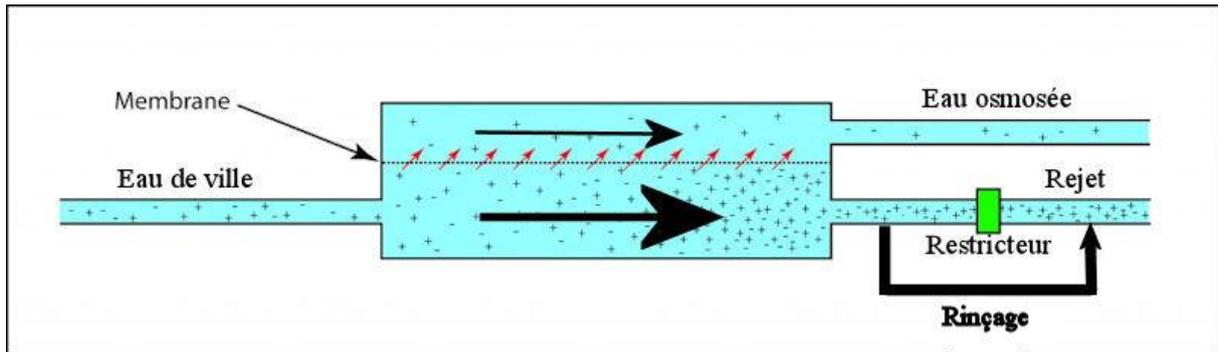
GPD (Gallons Per Day = gallon par jour).

1 GPD = 0.1577 litre par heure; pour obtenir le débit en litres par heure on peut aussi diviser le débit en GPD par 6,34 ainsi 100 GPD = 15,77 L/h.

Ce débit est donné à une pression de 1 psi (Pound per Square inch = 3,45 bars) et une température de 25°C; plus la pression ou la température diminue plus le débit réel sera faible, par exemple une membrane de 100 GPD à 3 bars et 20°C fournira 72 GPD soit 11,5 L/h et non 17,77.

En dessous de 2 bars le débit à 25°C n'atteint plus que 50% du débit nominal; en dessous de 0,3 bar le débit devient nul; si la pression de l'eau de ville est trop faible ou si on souhaite augmenter le débit d'eau osmosée on peut ajouter une pompe de surpression ou "pompe booster".

Le logiciel [Osmoseur](#) permet de calculer le débit réel en fonction du débit nominal, de la pression et de la température.



On pourrait se contenter de faire arriver l'eau de ville d'un côté de la membrane et recueillir l'eau osmosée de l'autre mais les ions indésirables s'accumuleraient alors sur la membrane jusqu'à la colmater; on ajoute donc une sortie "rejet" (ou "concentrat") qui permet de les évacuer; elle est munie d'un restricteur qui limite le débit afin de garder la pression sous la membrane.

Le débit du restricteur est constant, son calibre, en millilitres par minute, est égal au débit d'eau osmosée multiplié par un facteur de conversion; plus ce facteur est grand plus la qualité de l'eau osmosée est élevée mais plus on gaspille d'eau par le rejet.

Par exemple une membrane de 50 GPD à 3 bars et 20°C fournit un débit de 5,7 l/h; avec un facteur 4 il faudrait un restricteur de $4 \times 5,7 \times 1000 / 60 = 380$ ml/min; tous les calibres n'étant pas disponibles dans le commerce on prendra un restricteur de 420 ml/min.

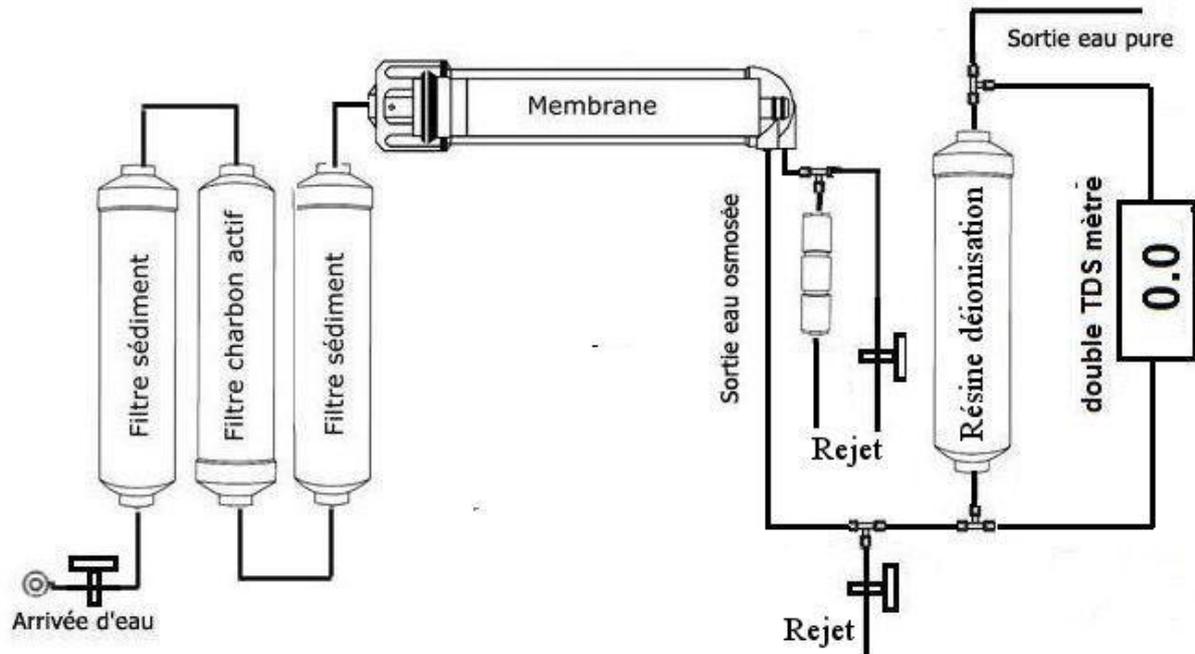
Une pompe booster n'augmente pas le débit du rejet qui est constant, elle augmente donc le rendement de l'osmoseur

La membrane retient une grande partie des ions (éléments dissouts dans l'eau); le taux de rétention est le pourcentage d'ions qui ne traversent pas le membrane; seuls quelques pourcents se retrouvent dans l'eau osmosée appelée aussi "perméat"; afin d'augmenter sa qualité il y a lieu d'installer en sortie une résine de déionisation qui retiendra ces éléments résiduels.

Un TDS-mètre (Total Dissolved Solids : solides dissouts) permet de savoir à quel moment il faut remplacer cette résine.

Une membrane peut filtrer une grande quantité d'eau à condition qu'on la débarrasse d'indésirables qui pourraient la colmater et du chlore qui détruit la membrane.

Voici le schéma complet d'un osmoseur



on y trouve 5 étapes

1. un premier filtre à sédiments
2. un filtre à charbon qui retient essentiellement le chlore
3. un second filtre à sédiments qui retient aussi les éventuelles particules de charbon
4. la membrane d'osmose inverse (RO = Reverse Osmosis)
 - pour augmenter la quantité produite on peut ajouter une seconde membrane, voir le sujet [Osmoseur avec 2 membranes en série](#)
 - sur la sortie rejet le restricteur; un robinet permet de le court-circuiter pour rincer la membrane
 - la première eau qui sort de la membrane n'est pas de bonne qualité, sur la sortie osmosée un robinet permet d'éviter qu'elle traverse la résine la saturant prématurément, c'est ce qu'on appelle la purge;

voir le sujet [Rinçage et purge d'osmoseur](#)



5. la résine de déionisation :
 - afin d'éviter que l'eau contourne la résine la cartouche qui la contient doit être placée verticalement et l'eau doit circuler de bas en haut;

le TDS-mètre permet de mesurer le TDS avant et après la résine :
si le premier augmente trop il faut changer la membrane
si le dernier augmente trop il faut changer la résine.

I. L'osmolateur

Il s'agit d'un dispositif qui permet de compenser automatiquement l'évaporation.

Il est fortement déconseillé de couvrir un aquarium récifal afin de favoriser les échanges gazeux avec l'atmosphère : élimination du CO₂ produit par les animaux, de l'azote produit par la dénitrification, et augmentation du taux d'oxygène.

Ceci favorise l'évaporation dont l'inconvénient est l'augmentation de la salinité car seule l'eau s'évapore, pas le sel.

Le niveau d'eau dans le bac est pratiquement constant, surtout s'il est muni d'une surverse.

Pour les installations qui en sont équipées, la plupart des compartiments de la cuve technique débordent dans le suivant ce qui fait que le niveau y est aussi constant.

Le seul compartiment où le niveau varie à cause de l'évaporation est donc celui qui contient la pompe de remontée : on peut y installer un interrupteur à flotteur qui commande une petite pompe qui ajoute de l'eau osmosée dans le bac.

Le débit de cette pompe ne doit pas être trop élevé afin de ne pas faire diminuer la salinité trop vite quand de l'eau est ajoutée au bac.

J. Chauffage / refroidissement

Il faut mettre la sonde qui commande le chauffage dans le même compartiment que la résistance parce que si la pompe de remontée venait à s'arrêter toute l'eau refroidirait donc la sonde si elle n'était pas dans le même compartiment commanderait à la résistance de chauffer sans cesse.

V. Fonctionnement d'un aquarium récifal

A. Démarrage

Nous avons donc le bac, sa cuve technique, un osmoseur, du sel et des cailloux : il faut mettre tout ça en route.

1. L'eau, le sel et les cailloux

Il vaut mieux que les pierres et le sable ne soient pas saturés d'eau douce car le sel mettrait très longtemps à y pénétrer, nous avons donc 2 options :

introduire les pierres à sec dans le bac puis ajouter l'eau salée déjà préparée;

avantage : il est plus facile de construire le décor en assemblant les pierres hors de l'eau;

inconvénient : on doit disposer de contenants pour préparer l'eau salée hors du bac;

remplir l'aquarium d'eau, ajouter le sel, chauffer et brasser puis introduire les pierres;

avantage et inconvénient : le contraire du premier cas.

2. Le sable

Il vaut mieux introduire le sable après que les pierres auront fini de sédimenter (perdre des particules minérales mal fixées) afin de pouvoir aspirer et éliminer ces sédiments.

Toutefois il vaut mieux poser les pierres sur une couche de sable afin de mieux répartir le poids sur la vitre de fond.

Certains préfèrent ne pas mettre de sable du tout, on parle alors de "bare bottom" (Fond nu).

3. L'ensemencement

Il faut démarrer le cycle de l'azote afin d'assurer l'épuration des nutriments, on a aussi 2 options :

utiliser uniquement des pierres vivantes

Avantage : les bactéries nécessaires sont déjà présentes, le démarrage sera relativement rapide.

Inconvénient : elles peuvent abriter des indésirables comme des aiptasias, des vers de feu, ...

utiliser uniquement des pierres mortes

il faudra lesensemencer en utilisant une faible quantité de PV soit à l'aide de bactéries disponibles dans le commerce.

On peut évidemment combiner les deux : plus la proportion de PV sera élevée plus le démarrage sera rapide.

On peut aussi utiliser du "Sable vivant" càd qui contient déjà des bactéries; son conditionnement fait cependant douter de la vivacité de celles-ci.

B. Plan de Maintenance de l'Aquarium Récifal

Cet aide-mémoire n'a pas la prétention d'être exhaustif, il donne une idée des tâches qu'il faudra prévoir, donc du temps à y consacrer, pour un bac stabilisé.

Les fréquences sont indicatives et devront être modifiées selon l'état d'avancement du bac, par exemple la mesure du taux de nitrite n'a d'utilité que dans les premiers jours après démarrage.

- Maintenance Journalière
 - Nourrissage des animaux
 - Contrôle visuel du matériel (cuve technique, coupelle de l'écumeur, réserve d'eau osmosée), étanchéités (bac, tuyauterie) ainsi que la température.
 - Nettoyer les vitres si nécessaire.
 - Uniquement au tout début du lancement du bac : mesure quotidienne des nitrates NO_3 pour s'assurer du démarrage correct; à cette occasion on peut aussi mesurer les nitrites NO_2 , quand le bac est démarré ce n'est plus nécessaire et la mesure des nitrates devient mensuelle.
- Maintenance Hebdomadaire
 - Contrôle des paramètres : pH, salinité.
 - Vérification de la qualité de l'eau osmosée, au besoin remplacer la résine de déionisation voire les préfiltres et la membrane.
 - Changement d'eau en fonction de la quantité et à la fréquence adoptée (peut être aussi bi-hebdomadaire, mensuel, ... voir le Sondage)
 - Remplacement de la ouate ou nettoyage de la mousse ou du sac micron bag selon leur niveau de saturation.
 - Vérification des niveaux des réserves de suppléments ou du substrat du RAC ou remplir le RAH en fonction de la méthode choisie, voir La supplémentation
- Maintenance Mensuelle
 - Alcalinité : si elle a varié de plus d'un degré KH vérifier aussi Calcium et Magnésium
 - Taux de nitrates et Phosphates, au besoin ajuster les dispositifs anti-nitrates et phosphates (résines, carbone, ...).
 - Si besoin siphonnage des sédiments
 - Ratisser le sable s'il semble encrouté
 - Vérification des pompes de dosages (fonctionnement, tuyaux obstrués)
 - Nettoyage des optiques des luminaires
- Maintenance Trimestrielle
 - Mesurer le taux de Calcium et éventuellement du Magnésium
 - Nettoyage des pompes de brassage, chauffage, divers capteurs et éléments dans l'aquarium
 - Nettoyage de la cuve technique
 - Nettoyage de la réserve d'eau osmosée et de sa pompe
- Maintenance Semestrielle
 - Nettoyage complet de l'écumeur
 - Nettoyage de la pompe de remontée
 - Calibration des pompes de dosage
 - Soufflage des luminaires (ventilateurs, dissipateurs, etc.)

- Nettoyage à l'eau claire puis séchage avec un chiffon sec des éléments extérieurs (châssis, tuyauteries, boîtiers, etc.)
- Maintenance Annuelle
 - Faire une analyse labo, peut être plus fréquente si vous le souhaitez ou nécessaire en cas de problème avec les coraux.
- Précaution
 Strictement, avant toute intervention sur les éléments électriques ou en contact avec l'eau, il conviendrait de couper l'alimentation électrique générale de l'aquarium ce qui est relativement lourd notamment parce que si on coupe l'éclairage on ne voit plus rien !
 La meilleure façon d'éviter tout accident est de Mettre l'eau du bac à la terre.

Remarques et suggestions bienvenues dans le sujet [Base de connaissances](#)

VI. Glossaire

Aérobic : Milieu où on trouve de l'oxygène sous forme de molécules de dioxygène (O₂)

Aiptasia : Anémones de verre particulièrement redoutées en aquariophilie récifale car elles s'attaquent aux coraux et se propagent rapidement dans les bacs.

Anaérobic : Milieu où on ne trouve pas d'oxygène sous forme de molécules de dioxygène (O₂)

Aragonite : Une des formes cristallines du Carbonate de Calcium

Archée : bactéries primitives, les plus anciennes. Comme les bactéries ces organismes principalement unicellulaires et ne comportent pas de noyau.

CCT : Correlated Color Temperature = température de couleur proximale : température en Kelvins à laquelle il faut porter un corps noir pour obtenir la couleur en question

Densité : poids d'un litre d'eau salée à une température donnée (= la masse volumique à cette température) divisé par le poids d'un litre d'eau pure à une autre température (= la masse volumique de l'eau pure à cette autre température)"

Descente : Canalisation qui conduit l'eau du bac à la cuve technique

Éclaircissement : Sensation lumineuse perçue par l'œil humain

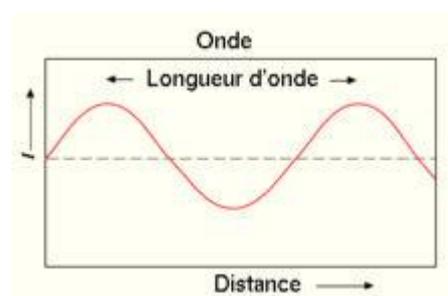
Eucharyote : organismes formés de cellules (généralement plusieurs) contenant leur ADN dans un noyau ; les poissons, les coraux sont donc dans ce domaine.

HQI : Hydrargyrum Quartz Iodide : ampoule de verre remplie d'un gaz (halogénure métallique) dans laquelle on produit une décharge électrique.

Longueur d'onde : Distance séparant deux maxima consécutifs de l'amplitude d'une onde monochromatique

Macro-élément : Élément dont la concentration est supérieure à 1 ppm (1 milligramme par kilo)

Masse volumique : poids d'un litre d'eau (salée) à une



température donnée

Métabolisme : Ensemble des transformations chimiques qui entretiennent la vie au sein des cellules des organismes vivants

Oligo-élément : Élément dont la concentration est inférieure à 1 ppm (1 milligramme par kilo)

Osmolateur : Dispositif qui permet de compenser automatiquement l'évaporation

Osmoseur : Filtre aux pores très fins permettant d'obtenir une eau pratiquement pure

PAR : Photosynthetically Active Radiation

PMMA : Poly Methyl MethAcrylate Nom commercial : Plexiglas

PUR : Photosynthetically Useable Radiation

PV : Pierre Vivante

Quantum-mètre : Un quantum («combien» en latin, pluriel «quanta») représente la plus petite mesure indivisible. Un Quantum-mètre mesure le nombre de particules élémentaires notamment de photons.

RAC : Réacteur A Carbonates ou à Calcaire

RAH : Réacteur A Hydroxyde

Remontée : Canalisation qui conduit l'eau de la cuve technique au bac

Salinité : Poids de sel, exprimé en grammes, par kilogramme d'eau salée

Surverse : Compartiment par dessus la cloison duquel l'aquarium déborde pour s'écouler vers la cuve technique via la descente

Symbiotique : Association étroite et durable entre deux espèces à leur bénéfice mutuel

T5 : Tube fluorescent d'un diamètre de 5/8^e de pouce (16 mm)

Turn Over : Fréquence du renouvellement de l'eau de l'aquarium