

LA SURSATURATION DES GAZ DISSOUS, UN PHÉNOMÈNE SOUVENT MAL CONNU EN AQUACULTURE.

Jérôme HUSSENOT* et Didier LECLERCQ**.

Pour réaliser un élevage, l'aquaculteur pratique de plus en plus, sur l'eau à sa disposition, du pompage, du chauffage ou de l'oxygénation. Qu'en résulte-t-il ? Bien sûr une amélioration des conditions optimales de croissance, par une température ou une oxygénation plus élevée ; mais par la même occasion, l'éleveur déséquilibre le plus souvent les gaz dissous, ce qui peut créer des conditions dangereuses, voire même mortelles pour les animaux. Comment ? En suscitant, en raison de principes physiques élémentaires (cf. encart ci-contre) des modifications d'équilibre entre l'eau et les différents gaz de l'air. Ainsi peut apparaître une *sursaturation des gaz dissous* qui produira soit des mortalités chroniques légères, soit des signes cliniques variés, soit encore, dans des cas d'aggravation du phénomène, des mortalités aiguës sur la majorité de l'élevage en quelques jours seulement. Il s'agit d'une mortalité par embolie gazeuse, accompagnée le plus souvent d'un emphysème

coquillages, les crevettes et les crabes. Les pisciculteurs de truite qui utilisent les eaux souterraines (résurgence, sources, forages...) connaissent bien cette maladie, qui a aussi été observée en milieu naturel, à proximité des chutes ou des cascades. La mise au point récente d'un matériel portable de mesure de la sursaturation gazeuse (*photo 2*), qui, il est vrai, n'a encore que peu dépassé les frontières de l'Amérique du Nord, permet aujourd'hui d'évaluer précisément ces phénomènes et d'estimer l'efficacité des moyens de dégazage mis en œuvre.

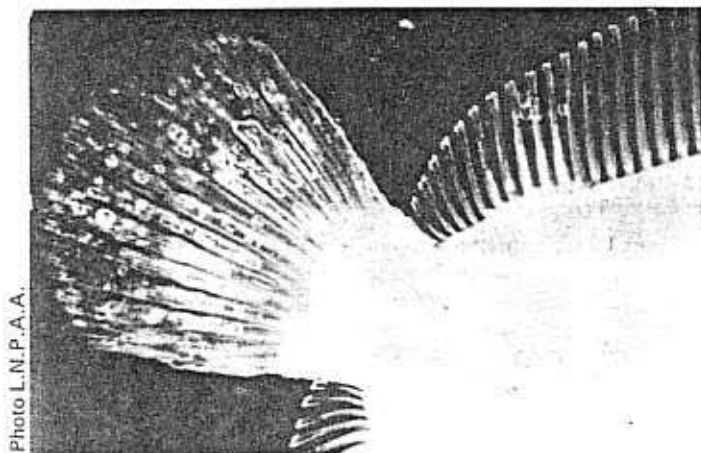


Photo L.N.P.A.A.

Photo 1

Juvenile de turbot atteint de la maladie de la bulle au niveau des nageoires.

cutané caractéristique (bulles de gaz sous la peau, *photo 1*), qui est appelé plus couramment « la maladie de la bulle », ou « gaz bubble disease » par les scientifiques anglo-saxons. Cette maladie a été décrite sur de nombreux animaux aquatiques, à partir de la fin du 19^e siècle, principalement sur les poissons, mais aussi sur les

* IFREMER CREMA-L'HOUMEAU, BP 5, 17137 Nieul-sur-Mer.
** IFREMER SEPA, ZIP des Huttes, 59820 Gravelines.

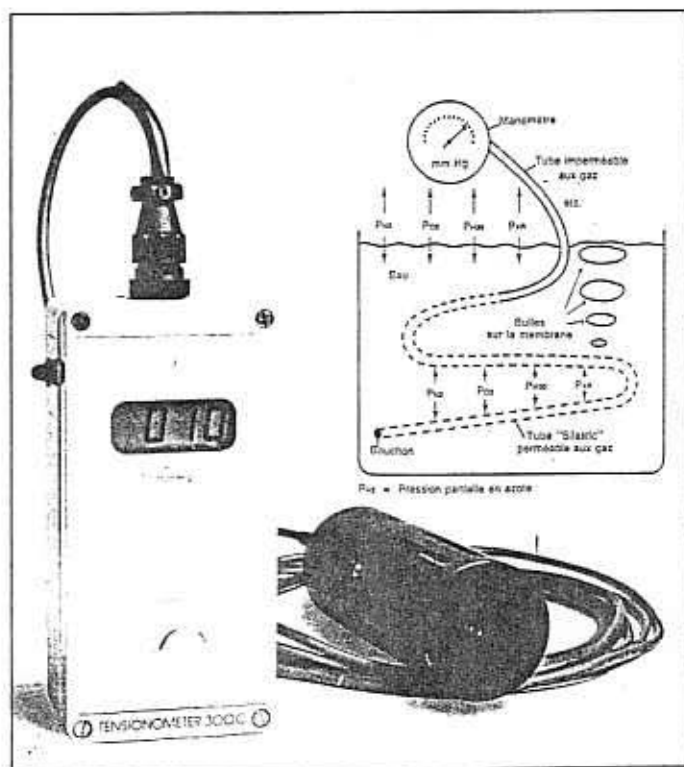
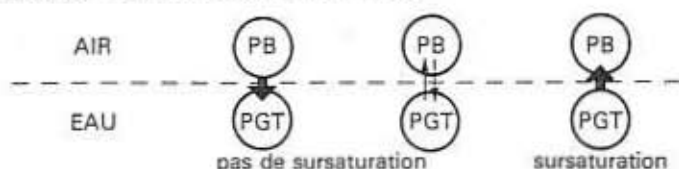


Photo 2

Un appareil de mesure de saturation gazeuse de fabrication étrangère (Amérique du Nord) et son principe de fonctionnement.

DÉFINITION DE LA SURSATURATION GAZEUSE

Il faut d'abord savoir que la concentration d'un gaz peut être exprimée par sa pression partielle et que la sursaturation d'un seul gaz peut ne pas entraîner de maladie de la bulle si la somme des pressions partielles de tous les gaz dans le liquide (Pression des Gaz Totaux : PGT) est inférieure ou égale à la pression barométrique (PB), somme des pressions partielles de tous les gaz dans l'air. La sursaturation gazeuse apparaît seulement lorsque la pression des gaz totaux dans le liquide (PGT) est supérieure à la pression barométrique. Le schéma suivant explicite les conditions de sursaturation, la flèche symbolisant le sens de passage préférentiel des gaz pour revenir vers l'état d'équilibre :



REPARTITION DES GAZ

DANS L'AIR ET DANS L'EAU DOUCE

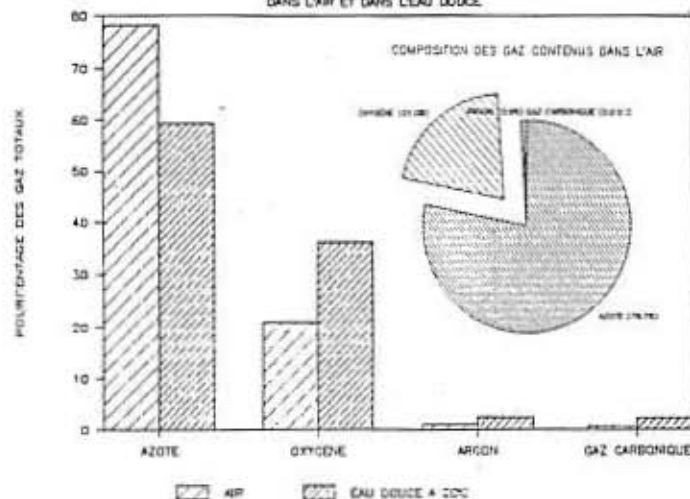


Fig. 1
La composition des gaz de l'air et leur répartition comparée dans l'air et dans l'eau douce saturée à 20 °C.

La pression des gaz totaux est la somme de la pression barométrique et du DELTA P (ΔP) fourni par les appareils de mesure de sursaturation gazeuse. Il y a donc deux façons de chiffrer la sursaturation gazeuse :

- le DELTA P par lecture directe (ΔP),
- la pression des gaz totaux (PGT) exprimée en pourcentage de la pression barométrique selon la formule :

$$PGT (\%) = \frac{\Delta P + PB}{PB} \times 100$$

PALOURDES
yann boisard
EXPLOITATION DU JAS NEUF
ARTOIS
17320 MARENNES
46 85 34 10

Murserie
Demi-élevage
Élevage
Commercialisation

LES PRINCIPES PHYSIQUES DE LA SOLUBILITÉ DES GAZ

La solubilité d'un gaz en solution dépend de la pression et de la température.

1. Selon la loi de Henry, à l'équilibre, la masse d'un gaz dissous dans un liquide est directement proportionnelle à la pression exercée sur ce liquide.

La solubilité d'un gaz augmente donc avec la pression.

Exemple : les mortalités observées parfois dans les élevages de poissons par temps orageux correspondent à une baisse de solubilité de l'oxygène, liée à une chute brutale de la pression barométrique.

2. La solubilité des gaz, à pression constante, est inversement proportionnelle à la température.

La solubilité d'un gaz, à l'équilibre, diminue lorsque la température augmente (cf. tableau 1).

Exemple : le chauffage de l'eau produit une sursaturation qui tend à l'élimination d'une partie des gaz dissous. Toutefois, la sursaturation peut persister quelque temps, car le dégazage naturel jusqu'à l'équilibre nouveau est lent dans des eaux faiblement brassées.

La sursaturation des gaz dissous est donc un état instable qui tend à revenir à un état stable par élimination d'une partie des gaz dissous sous forme de bulles ou microbulles.

	Température	Oxygène	Azote	Gaz carbonique	Argon
EAU DOUCE	0 °C	14,60	23,04	1,09	0,89
	10 °C	11,28	18,14	0,75	0,69
	20 °C	9,08	14,88	0,54	0,56
	30 °C	7,54	12,58	0,40	0,46
EAU DE MER 35 g/l	0 °C	11,50	17,75	0,91	0,70
	10 °C	9,03	14,25	0,63	0,55
	20 °C	7,38	11,89	0,46	0,45
	30 °C	6,22	10,21	0,35	0,38

Tableau 1
Solubilité des principaux gaz de l'air (pression 760 mm Hg, air humide) exprimée en milligrammes par litre

SEUILS DE TOXICITÉ DE LA SURSATURATION DES GAZ DISSOUS POUR LES POISSONS

Selon la terminologie établie ci-dessus, il faut donc essayer d'obtenir une eau proche de l'équilibre physique des gaz entre les deux phases, liquide et gazeuse. Cela veut dire un DELTA P égal à zéro, ou un PGT égal à 100 %. Dans la réalité des faits, il s'avère très difficile d'être parfaitement à l'équilibre, car le déplacement des gaz est très lent aux alentours de l'équilibre. Le tableau 2 précise les seuils de toxicité pour différentes espèces de poissons marins et d'eau douce. Il nous montre que les stades larvaires sont très sensibles, mais par contre que les alevins sont plus résistants jeunes qu'âgés.

Dans l'état actuel des connaissances, nous préconiserons, comme règle générale pour les poissons, les limites suivantes :

- en éclosion : PGT 102 %, soit DELTA P 15 pour PB = 760 mmHg;
- en grossissement : PGT 105 %, soit DELTA P 38 pour PB = 760 mmHg.

Il ne faut pas confondre ces pourcentages de pression de gaz totaux dans l'eau avec le taux de saturation qui peut être donné comme évaluation de la concentration d'un gaz (l'oxygène dissous ou l'azote que nous verrons plus loin comment calculer).

A la lumière de l'analyse des principes de la sursaturation gazeuse, les chocs thermiques sur les animaux en élevage (changement de bassin, pannes ou incidents divers...) prennent un nouveau relief. Un poisson transvasé brutalement, par exemple, d'une eau à 15 °C et à l'équilibre, à une eau à 20 °C, elle aussi à l'équilibre, provoque un état de sursaturation relative (environ 110 %) dans le milieu interne du poisson dont la température s'élève brutalement. Si l'oxygène en excès peut être métabolisé rapidement, il



AQUA ESPACES

SABEAU SERVICES AQUACULTURE

47, rue du 14 Juillet Tél. Nat.: 53.57.85.12 Téléc : CCIBERG
24100 Bergerac - FRANCE Int. : 33.53.57.85.12 570.418 F

**Etudes, Réalisations, Assistance,
Transferts Technologie, Bio Technologie.**

Une équipe : Hommes de terrain et scientifiques
20 années d'expérience pratique.

L'Aquaculture Nouvelle : Poissons, Mollesques, Crustacés.
Eau de mer, eau douce.

Les techniques : Ecloseries, prégrossissement, grossissement
Bassins, cages.

n'en va pas de même pour l'azote qui forme des microbulles dans le sang et provoquer l'embolie. Sur ce plan, un choc thermique froid est probablement moins dommageable, car la capacité de solubilisation des gaz dans le sang alors augmentera.

Dans un tel système où l'oxygène peut être métabolisé alors que l'azote et les gaz neutres ne le sont pas, la répartition des gaz dans l'expression de la pression des gaz totaux (PGT) est importante. Pour illustrer ceci, prenons trois exemples, qui tous correspondent à une PGT de 110 % dans une eau de mer à 20 °C.

- cuve de transport oxygénée :
% O₂ = 185 %, % N₂ = 90 % ;
- eau réchauffée (température initiale = 15 °C, pas de dégazage) :
% O₂ = 110 %, % N₂ = 110 % ;
- eau réchauffée recirculée après première utilisation par une pompe « pression » :
% O₂ = 84 %, % N₂ = 117 %.

Ces trois situations, quoique fictives et extrêmes, sont représentatives de situations pouvant exister dans une exploitation aquacole. Si la première est réputée inoffensive malgré une PGT qui pouvait apparaître au-delà des seuils préconisés, nous savons maintenant que les deux autres ne le sont pas. En effet, la sursaturation générée par l'apport d'oxygène pur est « négociable » par l'animal. Par contre, l'azote non-métabolisable pourra provoquer un dégazage interne et une embolie.

MESURE DES SURSATURATIONS GAZEUSES

Après environ un an d'utilisation d'un saturomètre, acquis par le département Technologie Aquacole de L'IFREMER, il nous semble utile à toute entreprise aquacole importante ou cabinet d'ingénierie de posséder un appareillage de mesure afin de tester régulièrement les circuits en place ou les montages nouveaux. Nous avons donc incité un industriel français d'électronique, spécialisé

dans la mesure de la qualité de l'eau, à fabriquer un saturomètre portable qui devrait sortir sur le marché dans le courant de l'année. Ces appareils fonctionnent sur le principe d'une sonde immergeable constituée d'un tube fermé en silicone, perméable aux gaz et relié à un dispositif de mesure de pression. L'étalonnage est très simple puisqu'il utilise la pression barométrique après équilibrage du capteur dans l'air. La mesure est très facile, elle nécessite simplement de disposer la sonde dans le liquide à mesurer et d'attendre un temps suffisant pour l'équilibrage des pressions en agitant de temps à autre pour détacher les bulles qui peuvent se former sur le tube. Toutefois cela prend régulièrement de l'ordre d'une dizaine de minutes pour chaque mesure, ce qui la rend un peu fastidieuse et difficile à réaliser quotidiennement dans un élevage. **Nous conseillons en routine des contrôles hebdomadaires aux points stratégiques et surtout une vérification systématique après l'installation de tout matériel nouveau de type pompe, aérateur, dégazeur, échangeur, réchauffeur...**

Les appareils donnent directement le DELTA P qui permet facilement le calcul du % PGT d'après la formule donnée plus haut. Dans des cas particuliers, il peut être intéressant de calculer le taux de saturation de l'azote et ensuite d'estimer le rapport oxygène/azote. Cela nécessite des calculs complexes faisant intervenir la pression des gaz totaux, la température, la salinité, la concentration en oxygène dissous, la pression de vapeur d'eau, les coefficients de Bunsen des différents gaz et éventuellement la concentration en gaz carbonique si elle est non-négligeable. Nous n'entrerons pas dans les détails, mais il faut savoir que ces calculs peuvent être simplifiés par l'utilisation de tables à double entrée (Colt 1984) ou de traitements informatiques simples des données. Sur demande aux auteurs, il est possible de se procurer une copie d'un tableur créé sous MULTIPLAN, qui effectue tous les calculs avec les corrections de salinité.

CAUSES PRINCIPALES DE SURSATURATION

Une sursaturation gazeuse peut provenir de processus physiologiques ou biologiques très divers. Six mécanismes principaux ont été décrits en détail par Colt (1983) :

Tableau 2

Seuil de toxicité aiguë et chronique de la sursaturation gazeuse exprimée en % de la pression des gaz totaux (PGT)

1. Toxicité aiguë : dose létale pour 50 % de mortalité en 4 jours (DL50 96H)					
Espèce	Taille/Poids	Température	DL50 96H	Seuil limite *	Références
Carpe	20,5 g	19,5 °C	122,5 ± 5 %	114	Gray & coll. (1982)
Poisson chat	27,7 g	19,5 °C	114,5 ± 8 %	107	Gray & coll. (1982)
Bar (loup)	3 cm	20 °C	127,2 ± 2 %	120	Gray & coll. (1985)
	10 cm	20 °C	116,0 ± 4 %	115	Gray & coll. (1985)
Mulet Céphalus	3 cm	20 °C	129,4 ± 4 %	119	Gray & coll. (1985)
	13 cm	20 °C	124,8 ± 3 %	115	Gray et coll. (1985)
Truite ardo-niel	œufs		peu sensible	126	Nebeker & coll. (1978)
	larves		117 sur 90 j		Nebeker & coll. (1978)
	jeunes-adultes		114-116 sur 30 j		Nebeker & coll. (1978)
2. Toxicité chronique sur les larves. Faible mortalité, signes cliniques.					
Espèce	Stade	Seuil PGT %	Signes cliniques		Références
Saumon Atlantique	œufs en incubation	102-105	développement impropre de l'opercule, bulle dans la bouche		Peterson (1971)
Bar Américain	larves	103-105	hyperinflation de la vessie natatoire, pb flottaison		Cornacchia & Colt (1984)

* Attention : le seuil limite pour une sursaturation permanente doit être fixé bien en deçà du seuil limite observé sur 96 heures.

En écloserie il serait prudent de fixer le seuil limite à 102 % PGT en prégrossissement-grossissement se maintenir en dessous de 105 % PGT.

• **L'entraînement des bulles** par tout procédé naturel ou technologique, comme les chutes, les cascades, les aérateurs, les conduites forcées, ou comme un incident de pompage par prise d'air à l'aspiration;

• **Le chauffage de l'eau**, souvent pratiqué en éclosérie, qui provoque systématiquement des sursaturations par diminution de la solubilité à température croissante. La *figure 2* précise le DELTA P produit : par exemple, une élévation de 10 °C sur une eau à 15 °C provoquera un DELTA P de + 150 mmHg, soit un PGT de 120 %;

• **Le mélange des eaux** de températures différentes, même si les deux eaux sont initialement à l'équilibre. Le DELTA P produit est présenté en *figure 3*;

• **La photosynthèse** qui peut créer, en période de haute intensité lumineuse, de fortes productions d'oxygène dissous. Les animaux semblent toutefois supporter des sursaturations plus fortes dans ces cas-là;

• **L'action des bactéries** qui peut modifier la concentration des gaz dissous. C'est le cas des eaux souterraines où la respiration des bactéries diminue le niveau d'oxygène et augmente celui du gaz carbonique. En conditions anaérobies des quantités importantes de méthane et d'azote peuvent être produites.

• **Les changements de pression.** Une diminution de pression atmosphérique rapide provoquée par un orage entraîne une augmentation du DELTA P. Il faudra de même éviter des décompressions rapides dans les installations.

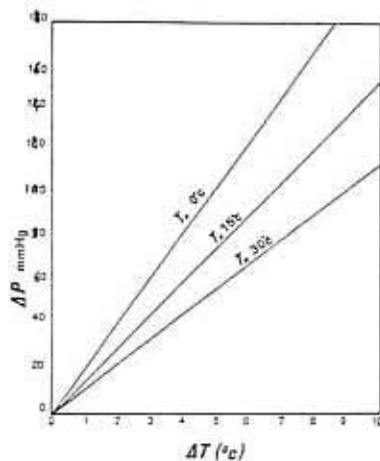


Figure 2

Effet de la température sur Δ P, selon la température initiale (T₀) d'après Colt (1983)

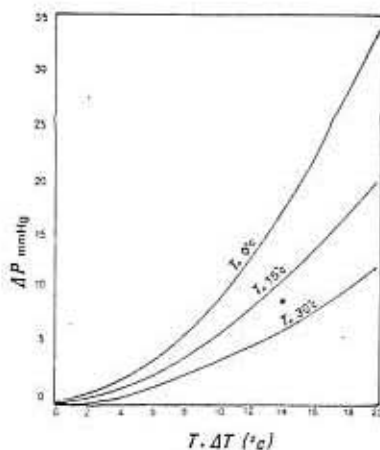


Figure 3

Δ P produit par mélange en quantités égales de deux eaux initialement à l'équilibre de température T₀ et T₀ + Δ T d'après Colt (1983)

Tableau 3

Sursaturations gazeuses occasionnées par différents types de pompes, exprimées en % PGT

Type de pompe	Refoulement	Élévation	Eau	Gaz totaux avant	Taux de saturation		Débit m ³ /h
					après	Oxygène avant	
De surface à pression variable	Conduite pression 1 bar	10 m	froide	100	64	103	150
	Conduite pression 2 bars	20 m	froide	105	73	114	150
	Pression 2 bars + prise d'air	20 m	froide	109	82	122	150
Submersible	Conduite en pression	3 m	richauffée mercaude	101 → 107	68 → 76	110 → 115	700
	Tube vertical à l'air libre	6 m	froide	98 → 98	55 → 56	109 → 109	5 800
Vis-Archimède	A l'air libre	1,3 m	froide	95 → 98	61 → 77	103 → 103	6 500

Nous attirerons spécialement l'attention des lecteurs sur les effets du pompage. Le *tableau 3* rassemble des mesures que nous avons effectuées sur différents types de pompes utilisées en aquaculture. Les conclusions de cette étude montrent que **pour les gros débits, où le dégazage est difficile et coûteux, il est préférable de mettre en place des pompes qui travaillent à pression faible ou nulle, et qui refoulent en canaux ouverts et non en conduites.**

RECOMMANDATIONS POUR UNE INTERVENTION D'URGENCE EN CAS DE MALADIE DE LA BULLE

1. — Surtout ne pas vider le bassin, l'eau étant moins sursaturée en profondeur, les poissons ont tendance à s'y réfugier.
2. — Si possible, même, augmenter la hauteur d'eau, en effectuant préférentiellement un apport d'eau plus froide de quelques degrés.
3. — En parallèle, aérer l'eau pour la dégazer avec un aérateur de surface (cascade, aérateur à palettes, grilles,...) et non avec un aérateur immergé (turbine, venturi, tube en U,...) qui mal dimensionné peut apporter lui-même une sursaturation.
4. — Rechercher, à l'aide d'un saturomètre, ou à défaut d'un oxymètre, les causes de la sursaturation accidentelle (prise d'air au pompage, aérateur immergé, chauffage de l'eau sans dégazage,...).
5. — Supprimer la cause de la sursaturation, ou installer un système de dégazage en amont du bassin d'élevage.

LES MOYENS DE DÉGAZAGE DE L'EAU EN AQUACULTURE

Pour éliminer des sursaturations qui ne pourraient pas être supprimées à la source, les techniques les plus couramment utilisées sont les cascades, les aérateurs de surface, les aérateurs diffuseurs peu profonds, les dégazeurs à vide, les colonnes d'aération gravitaires, l'injection de l'oxygène pur. Pour des débits jusqu'à 100 à 200 m³/h les colonnes d'aération-dégazage comme celle de la figure 4 emportent aux USA de plus en plus de popularité par rapport aux autres techniques. En France les organismes de recherche comme l'IFREMER et le CEMAGREF l'appliquent depuis deux à trois ans pour résoudre des problèmes de toxicité d'eaux souterraines : eaux salées captées sous le sol des marais de la station Aquative de Noirmoutier et utilisées pour l'hivernage du bar et de la dorade, eau douce à l'éclosérie d'esturgeon de Donzacq. Les dégazeurs à vide sont également très efficaces, mais ont l'inconvénient d'être limités en débit, voraces en énergie, et de diminuer le taux de saturation de l'oxygène dissous. Pour les gros débits de pisciculture de grossissement, l'aération par cascade ou aérateur reste souvent la seule solution. Le *tableau 4* montre les performances de dégazage atteintes dans différentes installations d'aquaculture nouvelle.

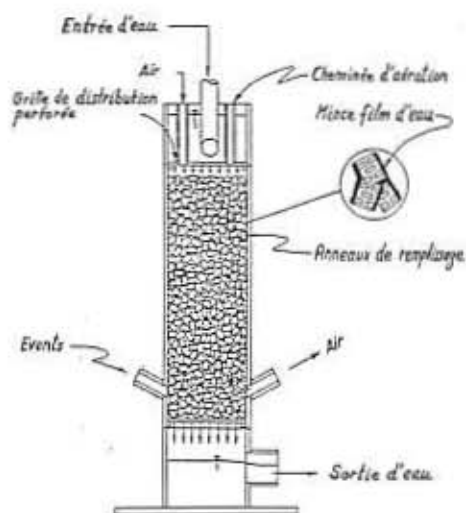


Figure 4

Schéma d'une colonne d'aération-dégazage sans ventilation forcée, garnie d'anneaux de remplissage.

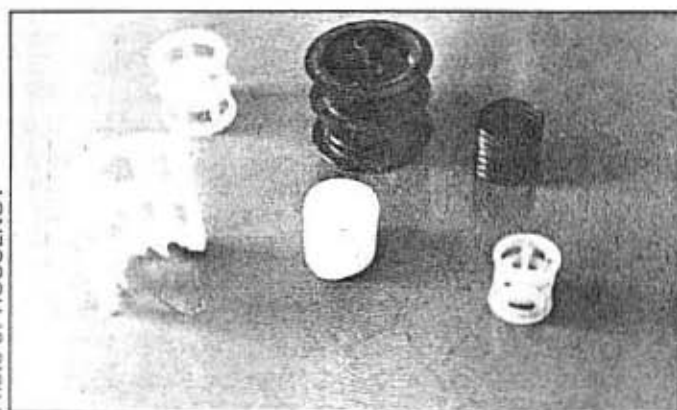


Photo 3

Les différents types d'anneaux de remplissage en matière plastique, utilisés en France dans les colonnes de dégazage.

Installations	Type d'eau	Température	% P.D.I.	% O ₂	% N ₂ + Ar	Dégazage	Débit m ³ /h
Grossissement poissons marins et eau rchauffée de centrale nucléaire *	arrivée	14.17	102-106	91-111	102-109	cataracte et exsotraitie aérateur diffusier à 1 m débit air/eau 50 %	100-1200
	eau froide	24.27	113-127	91-127	117-130		
	eau chaude	13.27	107-115	95-114	109-116		
Hivernage de poissons marins en eau saie souterraine *	eau de forage brute	14	103-115	20-25	120-121	colonne 2 m 50 hauteur vitesse 33 m/h	11
	eau de forage dégaie et aérie	14	100-102	50-100	100-101		
Hâi expérimental d'aquaculture marine centre de recherches *	eau chaude brute	18	112-114	104-106	115-117	colonne 2 m hauteur vitesse 200 m/h	8
	eau chaude dégaie	18	102-104	99	104-105		
Écloserie expérimentale de poissons marins *	eau chaude brute	25	104-113	30-40	118-122	colonne 1 m hauteur vitesse 130 m/h	2
	eau chaude dégaie	25	101-102	65-92	104-106		
Écloserie d'esturgeon en eau saie de forage...	eau brute	17	105-109	65-92	111-114	colonne 1 m 40 hauteur vitesse 125 m/h	9
	eau dégaie	17	100-101	51-98	101-102		

sources : * IFREMER, □ CEMAGREF.

Tableau 4

Observations des sursaturations dans plusieurs installations d'aquaculture nouvelle. Efficacité des traitements de dégazage employés.

Le dimensionnement des colonnes de dégazage peut être facilité par des programmes de calcul comme celui du CEMAGREF établi à partir des travaux de COLT et BOUCK (1984), ou d'extrapolations à partir de données empiriques sur des petites colonnes-test. Contrairement aux Américains qui utilisent en plus une ventilation forcée à contre-courant, les colonnes adoptées en France fonctionnent avec une vitesse de passage légèrement plus faible

mais sans ventilation. Le volume des colonnes est donc supérieur mais la fiabilité du matériel y gagne, surtout pour les installations eau de mer où l'association de matériel électrique est déconseillée (danger et corrosion). Pour l'eau de mer une aussi bonne efficacité a été vérifiée pour des vitesses de passage de 70 à 165 m³/m²/heure. La hauteur utile de chute, contenant les anneaux de remplissage (photo 3) d'un diamètre proche de 1/8 à 1/10 du diamètre intérieur de la colonne, doit être au minimum de 1 mètre. Pour des eaux particulières comme les eaux souterraines riches en azote et en gaz carbonique il peut être nécessaire de réaliser des colonnes de 2 à 3 mètres de hauteur qui s'avèreront, après quelques mois de fonctionnement continu, être de parfaits filtres biologiques si l'eau contient des concentrations élevées d'azote ammoniacal.

CONCLUSION

La sursaturation gazeuse est un phénomène physique qui doit être connu aujourd'hui par tous les aquaculteurs. Dans les années qui viennent son contrôle, au moyen d'un saturomètre, doit devenir une opération de routine dans les installations sensibles, et la vérification systématique d'une installation nouvelle est conseillée. Les équipements devront pouvoir être sélectionnés en fonction de leurs effets de sursaturation de façon à éviter un dégazage coûteux. Le dégazage restera toutefois toujours indispensable dans les installations effectuant un chauffage de l'eau quel que soit le procédé. De nombreux problèmes de qualité et de survie des alevins d'écloserie et des poissons de grossissement difficilement expliqués jusqu'ici, pourraient disparaître en même temps que la sursaturation gazeuse. Celle-ci est malheureusement encore présente dans un grand nombre d'élevages, à un niveau chronique subléthal ne permettant pas de l'authentifier par une maladie de la bulle bien caractéristique.

POUR EN SAVOIR PLUS

BELLET (1966), résumé d'une étude de la « la maladie des bulles de gaz ». *La Pisciculture Française*, 6 : 15-19.

COLT J. (1984), Computation of dissolved gas concentrations in water as functions of temperature, salinity, and pressure. *American Fisheries Society Special Publication*, 14, 154 pp. (tous les problèmes de calcul expliqués, avec formules et tables pour l'eau douce comme pour l'eau de mer).

COLT J. & BOUCK G. (1984), Design of packed columns for degassing. *Aquacultural Engineering*, 3 : 251-173.

CORNACCHIA J. & COLT J. (1984), The effects of dissolved gas supersaturation on larval striped bass *Morone saxatilis*. *Journal of Fish Diseases*, 7 : 15-27.

GRAY R., PAGE T., SAROGLIA M. BRONZI P. (1982), Comparative tolerance to gas supersaturated water of carp and black bullhead from the United States and Italy. *Journal of Fish Biology*, 20 : 223-227.

GRAY R., SAROGLIA M., SCARANO G. (1985), Comparative tolerance to gas supersaturated water of two marine fishes, *Dicentrarchus labrax* and *Mugil cephalus*. *Aquaculture*, 48 : 83-89.

HUSSENOT J. (à paraître), Le contrôle des gaz dissous en aquaculture marine. In Rapport du groupe de travail IFREMER sur le traitement de l'eau de mer.

LASSERRE J. (1985), Sursaturation gazeuse et pisciculture. *La Pisciculture Française*, 82 : 9-13.

LECLERCQ D. (1986), sursaturations gazeuses, situation actuelle au centre de démonstration de Gravelines. Evaluation de traitements et perspectives, aspects pathologiques. *Document IFREMER/SEFA Rapport technique 1986-2*, 21 pp.

NEBEKER A., ANDROS J., Mc CRADY J., STEVENS D. (1978), Survival of steelhead trout eggs, embryos and fry in air-supersaturated water. *Journal of Fish Research Board of Canada*, 35 : 261-264.

PETERSON H. (1971), Smolt rearing methods, equipment, and techniques used successfully in Sweden. In *Atlantic salmon workshop*. Unipress Co, Fredericton, New Brunswick, pp 32-62.

SAROGLIA M. (1986), La sovrassaturazione gassosa. Proceedings of the 2nd International Conference on aquafarming « *Acquacultura 84* », pp 256-266, Ente Autonomo Fiere di Verona, Italy.

WEITKAMP D.E. & KATZ M. (1980), A review of dissolved gas supersaturation literature. *Transactions of the American Fisheries Society*, 109 : 659-702.