

# Le contrôle de l'atmosphère des maisons sous-marines

par

PIERRE ORIOL et JACQUES CHOUTEAU

C.E.M.A., Marseille et Musée océanographique, Monaco (Principauté)  
Faculté des sciences St-Charles, Marseille (France)

## Introduction

Les maisons sous-marines contiennent un mélange gazeux à une pression suffisante pour équilibrer la pression hydrostatique de l'eau de mer qui les recouvre. Ce mélange doit également présenter les caractéristiques nécessaires pour ne pas perturber les mécanismes régissant les fonctions vitales de l'homme, et lui permettre de vivre sans altérer sa santé ou affecter son comportement.

L'atmosphère terrestre, dont la composition est bien connue, représente un élément de comparaison intéressant pour définir les caractéristiques d'un mélange respiratoire synthétique.

<i>Pressions partielles</i>	<i>Air Atmosphérique</i>	<i>Atmosphère synthétique</i>
pN <sub>2</sub>	0,78	aussi faible que possible
pO <sub>2</sub>	0,21	0,2 - 0,4
pA	0,009	aussi faible que possible
pCO <sub>2</sub>	0,0003	aussi faible que possible
pNe	0,00002	variable
pHe	0,000005	variable
pKr	0,000001	aussi faible que possible
pH <sub>2</sub>	0,0000005	variable

Le tableau précédent met en évidence les différences que l'on s'efforce de créer entre l'air et les mélanges synthétiques respirés sous pression.

La pression partielle de certains gaz est abaissée, alors que pour d'autres on peut l'augmenter sans inconvénient dans des proportions considérables. Cette discrimination repose sur des observations expérimentales précises, bien que la justification théorique ne soit pas encore très claire.

## Procédés utilisés pour maintenir la composition du mélange constante

Si l'on néglige l'apport de gaz de l'eau de mer, ou les fuites éventuelles des caissons, il résulte de la présence humaine ou animale une consommation d'oxygène\*, accompagnée de production de gaz carbonique\*\* et d'eau\*\*\*.

Il faut donc prévoir un apport d'oxygène, à partir de tubes de gaz comprimé. Deux procédés peuvent être utilisés, soit l'injection périodique d'oxygène, de manière à faire varier la pression partielle entre les deux limites fixées, soit la régulation à un taux déterminé avec un dispositif commandé par un capteur. Cette dernière solution satisfait davantage le médecin et le physiologiste, et limite le contrôle chimique.

\* environ 30 l/homme/heure (conditions standards).

\*\* environ 25 l/homme/heure (conditions standards).

\*\*\* 800g/homme/jour.

\* La mesure de pCH<sub>4</sub> n'est utile que lorsque des animaux : boucs ou moutons sont enfermés dans un caisson.

La pression partielle de gaz carbonique doit être maintenue à une valeur aussi faible que possible. Bien que ce composé ne présente pas de toxicité jusqu'à 0,01 bar, il faut prévoir son élimination permanente. Il existe plusieurs procédés pour cela, mais le plus simple et le plus sûr est basé sur l'utilisation de la chaux sodée qui se transforme en carbonate neutre de calcium.

Le mélange expiré est saturé en eau à la température de l'organisme et le taux d'humidité relative d'un caisson, ou d'une maison sous-marine, même fermée, atteint rapidement 100 %. Le séchage des gaz peut être effectué avec des produits déshydratants, tels que la silice, l'alumine, le chlorure de calcium; ou par refroidissement.

Avec une humidité relative de 60 % tout être vivant éprouve une impression de confort, et le matériel électrique ou électronique fonctionne dans de bonnes conditions, ce qui accroît la sécurité.

L'apport d'oxygène, l'élimination de gaz carbonique et d'eau, sont effectués dans le « circuit de régénération principal » dans lequel le débit est de 10 à 20 m<sup>3</sup> de mélange par homme et par heure (mesurés à la pression de l'expérience). Ce circuit est équipé de filtres qui retiennent une bonne partie des poussières. A ce sujet il faut remarquer que, ni dans les caissons expérimentaux, ni dans les maisons sous-marines, il n'est possible de fumer, car le tabac ne se consomme pas; de même la cuisine se limite au réchauffage des plats; ceci élimine les deux sources principales d'oxyde de carbone et d'aérosols organiques stables de particules très fines dont l'inhalation est particulièrement irritante.

L'air atmosphérique contient en moyenne 1000 ions/cm<sup>3</sup> soit 600 ions positifs et 400 négatifs. Certains auteurs avaient attribué à une augmentation de la proportion des ions négatifs une influence favorable sur l'état général et le comportement des hommes. Ces résultats sont actuellement controversés. De toute manière, l'amélioration attendue ne semble pas justifier les investissements et les risques qu'imposent les manipulations de sources radio-actives.

Le problème le plus ardu que pose un système de régénération, réside dans l'apparition d'une multitude de composés organiques dont le taux augmente régulièrement dans le mélange gazeux au cours du temps. Ces produits qui possèdent des fonctions chimiques diverses, sont en général malodorants, irritants et parfois toxiques. Les deux sources principales sont l'homme et l'habitable.

Les produits d'élimination, tels que l'urine, les flatuosités, les fèces, la transpiration apportent de l'ammoniac, de l'hydrogène sulfuré, du méthane, de l'hydrogène, et aussi des phénols, des amines, des mercaptans, des hétérocycles.

L'habitable libère des solvants de peinture, et les monomères et plastifiants correspondant à la dégradation des plastiques.

Le matériel, *lorsqu'il fonctionne bien*, ne semble pas avoir d'influence notable.

On dispose de trois procédés complémentaires pour traiter ce problème. Ce sont :

- la condensation de l'humidité, qui entraîne de nombreux produits solubles, et des poussières,
- l'oxydation catalytique des matières organiques qui présente l'inconvénient de donner des oxydes d'azote, de soufre et des hydracides halogénés,
- des absorbants sélectifs polyvalents tel le charbon actif ou des absorbants comme la silice humide (NH<sub>3</sub>) ou Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (H<sub>2</sub>S).

### Les mesures chimiques

En cours d'opération les pressions partielles d'oxygène, de gaz carbonique, d'azote et de méthane\* doivent être régulièrement contrôlées. Les méthodes utilisées, très classiques, sont les suivantes :

#### A. Les méthodes spécifiques

1. Pour l'oxygène — l'électrode ampéro-polarographique de Clark, permet, si elle est périodiquement étalonnée de mesurer la pression partielle d'oxygène dans l'habitable. Certains analyseurs d'oxygène paramagnétiques peuvent être utilisés pour la mesure du taux d'oxygène dans le gaz d'un caisson après détente. Ces deux appareils sont utilisables pour la régulation. Une mesure absolue peut être obtenue à l'intérieur de la maison par absorption (pyrogallol + KOH) et mesure de volume à pression constante ou de pression à volume constant.

2. Pour le gaz carbonique — les variations de pH d'une solution de bicarbonate de sodium sont mesurables directement ou par colorimétrie.

3. Pour le dosage des traces, les tubes colorimétriques Draeger ou Alba sont très utiles. Cependant ces tubes ne sont pas utilisés dans leurs conditions normales d'emploi et l'interprétation des résultats est parfois délicate.

### **B. Les méthodes générales**

La chromatographie en phase gazeuse permet de doser sans difficulté  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{CH}_4$ . Les appareils d'absorption de rayonnement infrarouge sont couramment utilisés pour doser  $\text{CH}_4$  et  $\text{CO}_2$  dans les gaz de caisson après détente. La spectrométrie de masse est susceptible de rendre de grands services pour l'analyse des gaz ramenés à la pression atmosphérique. Son usage sous pression élevée pose des problèmes de vide, qui ont toutefois été résolus pour l'expérience Précontinent III, effectuée à 12 bars.

### **Utilisation d'une maison sous-marine pour la recherche scientifique**

A cause des risques de pollution, le chercheur devra se soumettre, dans une maison sous-marine, à une discipline de travail plus stricte que dans un laboratoire terrestre. Les produits chimiques classiques qu'utilisent le biologiste et le physicien seront stockés à l'extérieur de la partie habitée, les récipients étant insensibles à la pression.

Certaines manipulations pourront être faites dans une boîte à gants, à l'intérieur; celles qui nécessitent l'emploi de réactifs particulièrement dangereux (acides, radio-éléments etc.) devront être effectuées à l'extérieur dans une autre boîte à gants (bulle d'air). L'électronique et les instruments d'optique ne posent guère de problèmes.

### **Conclusion**

Malgré le milieu hostile qui les entoure, et leur atmosphère purement synthétique, on admet maintenant que les maisons sous-marines utilisées au voisinage des côtes et à une profondeur moyenne (0 à 100 m), sont sans danger pour leurs occupants. La mise en œuvre de telles installations, affectées à la recherche scientifique, ferait certainement apparaître leur rentabilité et leur apport comme moyen de travail et de formation pour les jeunes chercheurs.

A plus grande profondeur, les problèmes se posent de manière plus aiguë et sont encore du domaine des spécialistes.

