

Elimination du dioxyde de carbone dans les recycleurs.

Symptômes de l'hypercapnie	
PpCO ₂	Effets
0,02 bar	Pas d'altération notable des fonctions physiologiques au repos et à l'effort
0,03 bar	Acidose, hyperventilation
0,04 bar	Forte hyperventilation, maux de têtes, fatigue, vomissements
0,045 bar	Augmentation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle
0,07 bar	Tolérance limitée à une dizaine de minutes

Le scrubber est une pièce maîtresse des recycleurs. C'est en son sein que vont se produire les réactions chimiques qui vont éliminer le dioxyde de carbone (CO₂) produit par la respiration du plongeur. Au repos un adulte produit de l'ordre de 0,3 grammes de CO₂ par minute, cette quantité peut être multipliée cinq lors d'un effort violent. Le protocole DERA-QinetiQ d'Alverstoke¹ qui permet de déterminer la durée d'utilisation de la chaux dans un scrubber donné, se base sur un taux respiratoire moyen de 40 l/min produisant 1,6 l

de CO₂ par minute. Il est possible d'estimer sa production de CO₂ en multipliant sa consommation métabolique d'oxygène par 0,9.

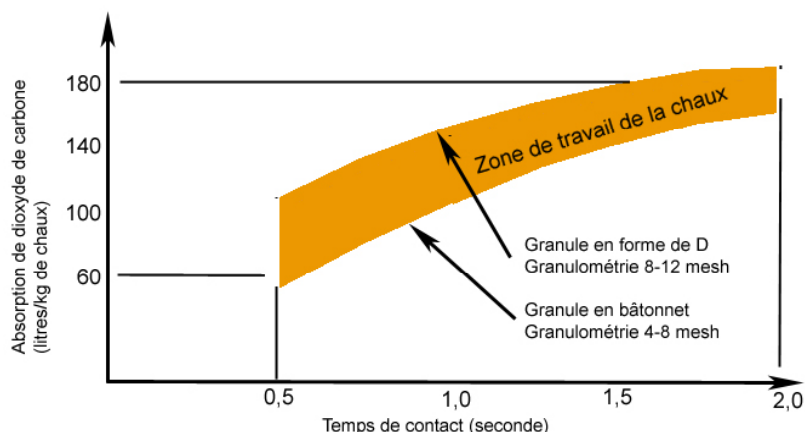
Pour éviter les risques d'hypercapnie² il est impératif d'éliminer le CO₂ de la boucle respiratoire. Au delà d'une pression partielle CO₂ de 0,02 bar le risque devient important. L'OSHA³ préconise de ne jamais dépasser la pression partielle de 0,005 bar (5000 ppm à la pression atmosphérique) L'élimination du CO₂ se fait à l'aide d'un produit chimique la chaux sodée.

L'efficacité dans l'élimination du CO₂ dépend d'une part des qualités de la chaux et d'autre part de la conception du scrubber.

La chaux sodée.

Sous le vocable de chaux sodée, se cache en fait un produit chimique complexe. Produits commercialisés sous divers noms : DiveSorb ou DiveSorb Pro, SpheraSorb, Sofnoline... Le principal composant est la chaux hydratée (Ca(OH)₂) auquel sont ajouté d'autres hydroxydes qui servent d'accélérateur aux réactions chimiques. Les accélérateurs sont le plus souvent un mélange d'hydroxydes de sodium (NaOH) et de potassium (KOH). Ce qui justifie l'appellation de chaux sodée. La chaux ou oxyde de calcium (CaO) s'obtient par calcination du calcaire à la température de 900 °C. Par la suite cette chaux vive est éteinte par adjonction d'eau de manière à obtenir la chaux hydratée. Industriellement l'extinction se réalise dans des malaxeurs qui mélange chaux et eau, la réaction exothermique étant strictement contrôlée. La soude (NaOH) est produite a partie de sel (NaCl) et de craie par le procédé Solvay⁴. La potasse ou hydroxyde de potassium (KOH) est simplement obtenue par électrolyse du chlorure de potassium (KCl). Les divers produits sont broyés, mélangés, et formés en granules.

Fig. 01



L'efficacité de la chaux dépend grandement du temps de passage du gaz sur les granules. Ce temps de passage est conditionné principalement par la granulométrie et la forme des granules. Le dessin ci contre montre la quantité de dioxyde de carbone par litre de chaux en fonction de la durée de contact entre le gaz et les granule. On constate que la quantité absorbée varie en fonction de la forme et la granulométrie. Il est admis que

le temps de passage minimum est de 0,5 seconde.

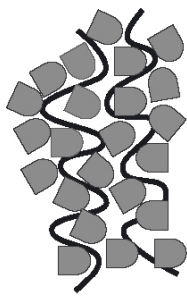
¹ U.K Defence Evaluation and Research Agency –QinetiQ : Britain's largest independent science and technology company

² Intoxication due à l'oxyde de carbone.

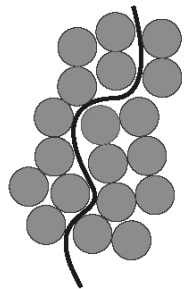
³ Occupational Safety and Health Administration -USA

⁴ Ernest Solvay (Rebecq 16/04/1838 - Ixelles le 26/05/1922) chimiste et un industriel belge

Forme, granulométrie et dureté de la chaux.



Granule en "D"



Granule sphérique

La forme et la granulométrie jouent un rôle capital dans l'efficacité de l'élimination de l'oxyde de carbone. Les granules se placent aléatoirement dans le scrubber, laissant un certain vide permettant au gaz de circuler. Certaines formes de granules vont avoir tendance à allonger le chemin parcouru par le gaz dans le scrubber. C'est le cas des granules ayant une forme de D ou semi-hémisphérique. Le temps de passage sera plus important et l'élimination de dioxyde de carbone meilleure. Par contre des granules sphériques n'auront pas cet effet.

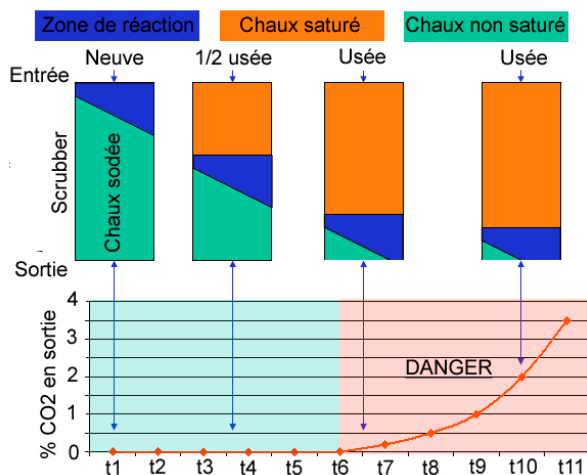
Les gaz doivent pouvoir circuler facilement sans engendrer des pertes de charges trop importantes dans le système.

Des pertes de charges importantes engendreraient d'importants efforts inspiratoires de la part du plongeur. Les granules doivent être suffisamment grosses pour ne passer au travers des grillages du scrubber. Le choix de la granulométrie est un compromis entre l'efficacité d'élimination du CO₂, de la perte de charge admissible et des paramètres constructifs du scrubber.

La détermination de la granulométrie est obtenue par passage au travers d'une série de tamis de mailles décroissantes. L'unité de granulométrie Mesh reflète le nombre de mailles du tamis par inch (1 inch = 25.4 mm). Au plus il y a de mailles, au plus élevé est le chiffre Mesh et donc au plus fin sera le tamis. Au plus fin est le tamis, au plus petite sera la taille des granules. Pour les recycleurs la granulométrie est généralement comprise entre 4 et 12 Mesh .

Mesh	microns
4	4760
5	4000
6	3360
7	2830
8	2380
10	2000
12	1680
14	1410

La dureté revêt également une certaine importance pour éviter le tassement et la production de poussière. Plus la granule est dure et moins elle aura tendance à se tasser et produire de la poussière. Un tassement trop important risque de nuire à la bonne circulation des gaz dans le scrubber. La dureté s'estime en comparant la masse d'une certaine quantité de granules avant et après vibration. Le rapport entre ces masses donne un indice de dureté.



Mode de fonctionnement de la chaux.

La chaux n'est pas attaquée uniformément par le dioxyde de carbone mais par couches successives. La zone de réaction se déplace de l'entrée du scrubber vers la sortie. La zone de chaux saturée s'agrandit jusqu'à occuper l'ensemble du scrubber. Lorsque la zone de réaction devient insuffisante le taux d'oxyde de carbone croît très rapidement.

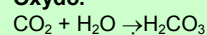
Le « repacking » qui consiste à vider le scrubber de la chaux pour la réutiliser ultérieurement est un procédé particulièrement hasardeux, même si on tente d'enlever la couche de chaux saturée. L'épaisseur de celle-ci étant difficile à estimer, la couleur n'étant pas un critère suffisamment fiable.

La température au sein du scrubber n'est pas uniforme, il y a des points chauds et froids. Les points chauds sont situés dans la zone de réaction, les froids dans les zones saturées et non saturées. Cette particularité rend difficile la conception d'un indicateur de saturation basé sur la température fiable et financièrement acceptable.

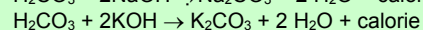
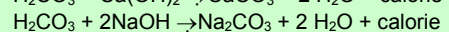
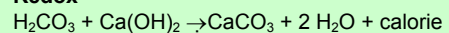
Réactions chimiques.

Les réactions chimiques au sein du scrubber se décomposent en deux phases distinctes. La phase primaire d'oxydation ou le dioxyde de carbone (CO₂) réagit avec l'humidité pour produire de l'acide carbonique (H₂CO₃). L'amorçage de cette réaction étant largement favorisé par l'humidité de la respiration. La phase secondaire de réduction ou l'acide carbonique va réagir avec les hydroxydes de calcium (Ca(OH)₂),

Oxydo.



Rédox



de sodium (NaOH) et de potassium (KOH) de la chaux sodée pour produire les carbonates correspondants (CaCO_3 , Na_2CO_3 , K_2CO_3), de l'eau et de la chaleur. L'eau produite va perpétuer la réaction et la chaleur la favoriser. L'ensemble de ces réactions est une « oxydo-redox » cauchemar de pas mal d'élèves dans le secondaire.

Paramètres influençant l'efficacité de la chaux

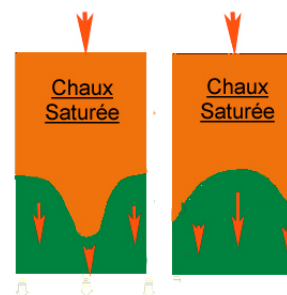
Paramètres physiques.

Les réactions chimiques sont fortement influencées par les conditions physiques tel que la pression, la température, la viscosité des gaz. La viscosité des gaz augmentant en fonction de la profondeur le DERA à démontrer que la capacité d'absorption de la chaux diminue drastiquement en fonction de la profondeur d'utilisation. Approximativement on considère qu'une charge de chaux valable 180 minutes dans la zone de 0-20m ne sera plus valable que 140 minutes dans la zone de 20-50m et 100 minutes au delà de 50m.



Le Channeling

Les gaz vont toujours avoir une tendance naturelle à suivre le chemin le plus facile c'est à dire celui des « moindres pertes de charge ». Si la chaux présente un couloir « Channel » le gaz va suivre ce couloir et n'aura pas le temps de se débarrasser de son dioxyde de carbone. Cela peut être gravissime pour la santé du plongeur et même mettre le pronostic vital en cause. Il faut être particulièrement attentif lors du remplissage du scrubber.

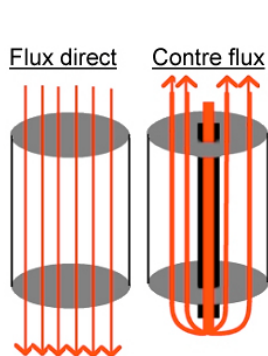


Le Scrubber

C'est le réservoir qui contient la chaux sodée. L'efficacité de l'élimination du dioxyde de carbone dépend en grande partie de sa conception. C'est loin d'être un simple réservoir ils doivent être capables d'éviter le channeling, de maintenir en place la chaux, d'éviter la dispersion de la chaux dans la boucle respiratoire. Certains disposent d'un boîte à eau, de chicanes, de capteurs.

Design général.

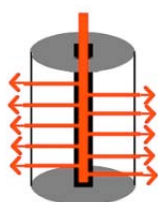
Il y a deux grands types de mode de fonctionnement suivant le sens du flux : les scrubbers axiaux et radiaux



Scrubbers axiaux

Dans ce type de conception le flux du gaz suit l'axe du scrubber. Dans le mode en flux direct, le gaz entre d'un côté du scrubber et sort par l'autre côté. C'est la manière la plus simple de concevoir un scrubber. En contre flux le gaz entre et sort par le même côté du scrubber. Le gaz passe dans un tube central non perforé jusque dans une boîte munie d'une tôle perforée qui répartit le flux au travers de la chaux. Le rendement est inférieur aux scrubbers radiaux et ils sont plus sensibles au channeling. Les légers défauts sont largement compensés par leurs qualités. Ce sont des scrubbers simples, peu coûteux, ne comportant qu'un minimum de pièces et facile à nettoyer. Ils équipent les SCR, machines simples, ayant une autonomie réduite par rapport aux CCR et où il est inutile de rechercher les derniers % de rendement.

Scrubbers radiaux

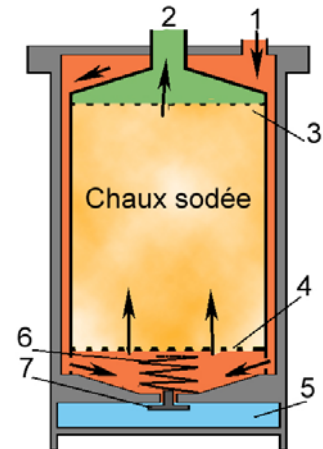


Contrairement au scrubber axial à contre flux le tube central est perforé, ce qui va permettre au gaz de traverser radialement le scrubber. Le gaz débarrassé de son oxyde de carbone sera récolté à la périphérie du scrubber. De conception plus sophistiquée, ce type de scrubber a un rendement supérieur de 20% aux scrubbers

axiaux. Nettement plus complexe que les scrubbers axiaux leurs coûts sont élevés. Ils sont réservés à des eCCR très performants : Mégalon, Ouroboros...

Fonctionnement

Le dessin ci contre représente le schéma d'un scrubber axial à contre flux. L'entrée du gaz chargé de dioxyde de carbone (1) se fait sur la périphérie du scrubber. Cette configuration permet d'éliminer les gouttelettes d'eau qui après passage au travers de la soupape (7) sont récoltées dans la boîte à eau (5). Les gaz passent ensuite au travers d'une grille anti channeling (4) pour se frayer un chemin au travers de la chaux sodée avant de se retrouver dans la boucle inspiratoire (2). Le Ressort (6) comprime la chaux sodée afin de la maintenir en place. Il est important de maintenir la chaux légèrement compactée pour éviter tous risques de channeling. La raideur du ressort doit être déterminée de manière à maintenir la chaux en place, quelle que soit la position du plongeur, sans écraser la chaux sodée. La grille (3) empêche les granules de chaux sodée de migrer dans la boucle respiratoire tout en assurant le passage du gaz épuré du dioxyde de carbone.



Description des composants

Corps de scrubber

Scrubber Submatix



La capacité varie entre 2 et 4 kilos de chaux sodée suivant les modèles. Le corps du scrubber est généralement fait en matière synthétique moulé ou usiné dans la masse. Le scrubber moulé a l'avantage de ne pas être tenu à une forme strictement cylindrique, il permet facilement l'intégration de chicane et boîte à eau tout en ayant un nombre de pièces réduit. Le coût élevé en outillage pour ce mode de fabrication réserve ce type de scrubber à des machines fabriquées en série. Une tendance actuelle consiste à fabriquer

Scrubber moulé – Dräger



le corps du scrubber en plastique transparent, ce qui permet en fin de plongée d'apprécier le degré de saturation de la chaux sodée en fonction de sa couleur.

Des logements peuvent être prévus dans le couvercle pour placer des cellules de mesure oxygène.

Grille anti channeling



Il s'agit d'un grillage qui répartit le flux de gaz sur toute la surface de la chaux sodée. La section de passage des perforations est déterminée pour minimiser les pertes de charges.

Les ressorts servent à empêcher les mouvements de la chaux sodée en la comprimant légèrement.

Connections

Le scrubber est relié aux sacs inspiratoire et expiratoire. La manière la plus simple d'assurer une liaison rapide et fiable est un système d'encliquetage.

Bibliographie et crédits

Livres et e-Books

Les recycleurs et la plongée loisir – Jean-Claude Taymans
Nitrox et recycleurs – Jean-François André (dit Jeff)

Articles

Rebreather Fundamentals by Kevin Gurr
Absorbent canisters by Kevin Guur
Carbon dioxide absorption by Molecular Products

Manuel

Dräger Dolphin
Buddy Inspiration
Ouroboros
Aquatek-Voyager
Submatix

Notice technique

Médisorb – GE Healthcare
Drägersorb – Drägermedical
Soda Lime – Molecular Products Ltd
CO2 Absorbent – Extendair

Web

<http://www.nwdesigns.com/rebreathers/sofnolime.htm>
<http://www.frogdiver.com/scrubber.html>

Conférence

CO2 Scrubber Design for 1ATM PSUB Life Support (2005) - Psubs.Org Convention - Jon Wallace