

L'alpinisme et la plongée, des sports en milieux extrêmes



Les documents présentés dans ce parcours constituent un guide et un ensemble de ressources pour que les professeurs y puisent la matière pour construire leurs propres séquences d'enseignement, adaptées à leurs élèves. Nos intentions didactiques sont de mettre en œuvre des stratégies d'enseignement qui prennent en compte les conceptions et représentations initiales des élèves et qui permettent de soutenir leur envie d'apprendre et de comprendre, ou bien de la faire naître.

L'alpinisme et la plongée sous-marine constituent par la diversité des situations rencontrées un immense champ de réflexion pour notre enseignement. Il nous faut toutefois être conscients de la difficulté, pour certains élèves, d'appréhender la complexité de ces situations et des lois physiques et physiologiques qui les régissent.

Sommaire

Les contenus disciplinaires mis en jeu dans ce parcours	3
1. La pression atmosphérique	4
1.1 Phase de contextualisation.....	4
1.1.1 <i>Éléments de structuration du questionnement</i>	4
1.1.2 <i>Informations et questions soulevées par ces documents</i>	6
1.2 Découverte de la pression atmosphérique et de son interprétation microscopique	6
1.2.1 <i>Mise en évidence expérimentale de la pression atmosphérique : les hémisphères de Magdebourg</i>	6
1.2.2 <i>Définition de la pression</i>	8
<i>Pour aller plus loin : Comment écraser une canette sans la serrer ?</i>	8
1.3 Phase de recontextualisation : le caisson hyperbare	9
2 La pression hydrostatique	10
2.1 Introduction.....	10
2.2 Phase de décontextualisation	15
2.3 Phase de recontextualisation : un détour par l’histoire des sciences ou les SVT.....	17
3. La loi de Boyle - Mariotte	17
3.1 Phase de contextualisation.....	17
3.2 Phase de décontextualisation	18
3.2.1 <i>Expérience proposée</i>	18
3.2.2 <i>Comment la pression d’un gaz varie-t-elle en fonction de son volume ?</i>	19
3.3 Phase de recontextualisation :	20
4. Dissolution d'un gaz dans un liquide	24
4.1 Phase de contextualisation.....	24
4.2 Phase de décontextualisation	29
4.3 Recontextualisation.....	31

Les contenus disciplinaires mis en jeu dans ce parcours

Notions et contenus	Compétences attendues
<p>La pression: la pression est une grandeur physique qui permet de comprendre l'influence de l'altitude sur les performances sportives et les effets physiologiques ressentis en plongée subaquatique.</p>	
<p>Pression d'un gaz, pression dans un liquide.</p> <p>Force pressante exercée par une surface, perpendiculairement à cette surface.</p> <p>Pression dans un liquide au repos, influence de la profondeur.</p> <p>Dissolution d'un gaz dans un liquide.</p> <p>Loi de Boyle-Mariotte, un modèle de comportement de gaz, ses limites.</p>	<p>Savoir que dans les liquides et dans les gaz la matière est constituée de molécules en mouvement.</p> <p>Utiliser la relation $P = F/S$, F étant la force pressante exercée sur une surface S, perpendiculairement à cette surface.</p> <p>Savoir que la différence de pression entre deux points d'un liquide dépend de la différence de profondeur.</p> <p>Savoir que la quantité de matière de gaz dissous dans un volume de liquide augmente avec la pression.</p> <p>Savoir que, à pression et température données, un nombre donné de molécules occupe un volume indépendant de la nature du gaz.</p> <p><i>Pratiquer une démarche expérimentale pour établir un modèle à partir d'une série de mesures.</i></p>

1. La pression atmosphérique

1.1 Phase de contextualisation

Cette première phase se construit autour de l'étude et de l'analyse de documents à caractère authentique : un article d'un quotidien régional de Bretagne « Le télégramme » et un article de la revue scientifique « Pour la Science ».

Le professeur cherche à rassembler et structurer le questionnement des élèves dans l'objectif de construire et d'organiser les séances suivantes. Ces questions peuvent tout à fait faire l'objet d'une réflexion en collaboration avec le professeur de S.V.T. Si les programmes de lycée s'appuient sur les spécificités des disciplines, ils ont été écrits dans le but de renforcer la cohérence entre celles-ci. **Il s'agit de développer l'aptitude de l'élève à mobiliser des connaissances dans des situations globales et complexes, aptitude que la parcellisation des compétences peut atrophier.**

1.1.1 Éléments de structuration du questionnement

Document 1 : Everest, une française renonce à l'ascension sans oxygène. (Le Télégramme du 20 mai 2009)- <http://www.letelegramme.com>

Le but de ce document est de sensibiliser les élèves à la difficulté du sport en altitude. Le questionnement des élèves vise à identifier les difficultés rencontrées par Martine Marsigny pour réaliser l'ascension de l'Everest.

Une alpiniste de 42 ans qui devait se lancer à l'assaut de l'Everest aujourd'hui pour tenter de devenir la première Française à atteindre sans oxygène le toit du monde a dû renoncer à 8.600 mètres d'altitude à cause d'un problème à l'oeil, a rapporté son époux. "Martine s'est apparemment gelé la cornée la nuit dernière et souffre de surcroît d'une ophtalmie. Le plus urgent est donc de redescendre afin qu'elle puisse être soignée", a confié à l'AFP son mari, François Marsigny, qui l'accompagnait dans cette aventure.



Froid record

Martine Marsigny, accompagnatrice en moyenne montagne, épaulée par son époux guide de haute montagne à Chamonix, avait amorcé cette nuit l'ascension depuis le camp 3, situé à 8.300 mètres d'altitude. Selon François Marsigny, le froid a été plus intense que ne l'avaient annoncé les prévisions météo. Il a dû faire -30 °C. Parti début avril de Katmandou, le couple s'était lancé à l'assaut du toit du monde par le versant tibétain pour éviter "une énorme cascade de séracs" sur le versant népalais et en raison de leur "sensibilité pour la culture tibétaine", avait expliqué à l'AFP Mme Marsigny, originaire des Houches (Haute-Savoie), avant le départ de l'expédition.

Martine Marsigny ne renonce pas

Rendant hommage à la première femme qui a atteint le toit du monde sans oxygène en 1988, la Néo-zélandaise Lydia Bradey, Mme Marsigny a expliqué qu'elle souhaitait réitérer l'exploit "pour pouvoir profiter" de l'altitude de l'Everest (8.848 mètres). "Le fait d'utiliser de l'oxygène, c'est comme si on était physiquement 1 500 mètres plus bas, sur un sommet de 7.000 mètres, donc ce n'est plus l'Everest", avait-elle estimé. Au sommet, Mme Marsigny et son époux comptaient déployer une banderole pour soutenir la candidature française d'Annecy aux JO d'hiver de 2018. Christine Janin avait été la première Française à atteindre le sommet de l'Everest en 1990.

Document 2 : Extrait de l'article paru dans « Pour la science » N°130 du mois d'août 1988

Dans un second temps le document 2, de nature scientifique, permet d'identifier avec plus de précision le lien entre pression atmosphérique et manque en dioxygène. Il s'agit d'identifier les questions scientifiques soulevées par cet article.

Le développement de l'alpinisme, l'attrait pour les voyages lointains, le goût pour les défis sportifs mènent les sportifs vers des expéditions en haute altitude. Défi sportif « l'himalayisme » constitue également un défi médical, car l'organisme humain y est poussé à ses limites, entre l'adaptation et l'épuisement. Quelles sont ces limites ?

Les études récentes ont notamment mis en évidence le rôle important joué par le cœur dans l'adaptation de l'organisme au manque d'oxygène en altitude.

La pression atmosphérique diminue lorsque l'altitude

augmente : au sommet de l'Everest (8848 mètres), la pression atmosphérique n'est que le tiers de sa valeur du niveau de la mer, environ 250 millimètres de mercure.

Les effets du manque d'oxygène en altitude apparaissent dès 2000 mètres, parfois à partir de 1500 mètres. Ils ne seront cependant sensibles qu'au-delà de 3500 mètres et pourront alors limiter fortement l'activité humaine. À partir de 5500 mètres, la vie permanente semble impossible et au-delà de 8800 mètres, aucun être humain n'a séjourné plus de quelques dizaines d'heures.

Divers facteurs, tels que le froid, le rayonnement solaire intense, l'isolement, les dangers spécifiques de la montagne, font de l'environnement de haute altitude un milieu hostile, mais les contraintes les plus importantes sont liées à l'hypoxie créée par la réduction du nombre de molécules d'oxygène disponibles pour les cellules[...]. L'organisme réagit alors en augmentant les débits d'oxygène à tous les niveaux : respiration pulmonaire, diffusion entre les alvéoles et le sang, débit de sang pompé par le cœur, diffusion de l'oxygène du sang vers les cellules

1.1.2 Informations et questions soulevées par ces documents

Document 1 : Martine Marsigny a principalement rencontré deux difficultés : le manque d'oxygène dû à l'altitude et le froid.

Document 2 : Pourquoi l'oxygène est-il rare en altitude ? Quelles sont les limites du corps humain entre l'adaptation et l'épuisement ? Pourquoi la pression atmosphérique diminue lorsque l'altitude augmente ?

1.2 Découverte de la pression atmosphérique et de son interprétation microscopique

Il s'agit de sortir provisoirement du cadre contextualisé pour aborder au sein du laboratoire, les notions physiques traitées dans les différents documents. Des études menées par les chercheurs en didactique, avec des élèves de collège et de lycées et des étudiants en sciences, laissent prévoir des difficultés dans la conceptualisation de la notion de pression. **Il nous semble inutile de débiter par une définition de la pression. Nous souhaitons mettre l'élève en situation d'observations d'expériences simples et l'inciter à identifier les paramètres nécessaires pour définir la pression.**

1.2.1 Mise en évidence expérimentale de la pression atmosphérique : les hémisphères de Magdebourg

Un bref document distribué aux élèves permet de présenter le contexte historique de l'expérience et ses résultats.

Document 3 : (D'après *Les hémisphères de Magdebourg* de Pascal Rebetez)

En 1654, le physicien allemand Otto Von Guericke présenta à l'empereur Ferdinand III et à la noblesse du Saint-Empire romain germanique l'expérience décrite sur cette gravure :



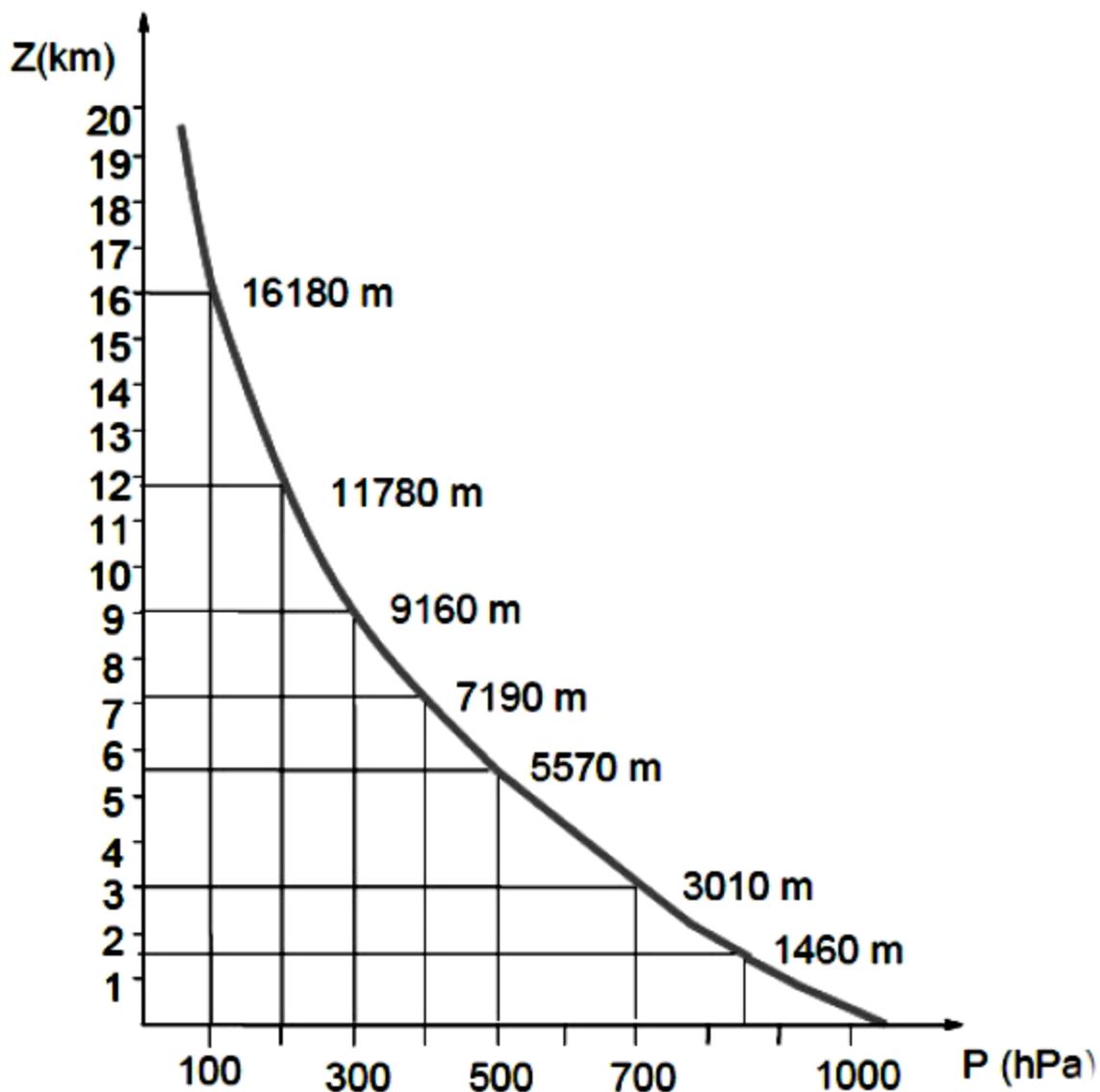
Des chevaux tentent de séparer deux hémisphères plaqués l'un contre l'autre sous l'effet de la pression atmosphérique

Deux demi-sphères furent accolées au moyen d'un mélange de graisse, de cire et de térébenthine. La sphère ainsi obtenue fut vidée de son air. Otto Von Guericke fit atteler deux chevaux à chaque hémisphère qui tirèrent de manière opposée, mais rien ne se produisit ; il fit atteler deux autres chevaux : toujours rien. À la stupéfaction générale, deux attelages de huit chevaux suffirent à peine à séparer les deux hémisphères bien qu'ils se séparèrent d'eux-mêmes dès que l'air pénétra dans la sphère.

À l'issue de la lecture du document 3, nous invitons les élèves à proposer une explication du phénomène observé. Pour les aider en cela, l'expérience sera réalisée devant eux. Certains élèves proposent spontanément d'expliquer les effets observés par la pression de l'air. Les échanges doivent permettre de faire émerger les représentations des élèves sur l'origine matérielle de cette pression. Les liens avec les connaissances abordées en classe de quatrième seront établis. Le professeur pourra prendre appui sur le simulateur disponible sur le site <http://pcollette.webege.com/gaz.html> pour sensibiliser les élèves aux résultats suivants :

L'air qui nous entoure, immobile, est le siège d'agitation microscopique. La pression d'un gaz sur une surface est liée aux chocs des molécules sur cette surface.

Une courbe de l'évolution de la pression atmosphérique en fonction de l'altitude peut être commentée.



Pour aller plus loin : comment écraser une canette sans la serrer ?

Matériel :

1. Une canette de soda
2. Une plaque chauffante
3. Une pince
4. Un cristalliseur à moitié rempli d'eau froide

Manipulation :

1. Remplir la canette d'un ou deux centimètres d'eau.
2. Faire chauffer jusqu'à maintenir l'ébullition de l'eau dans la canette pendant quelques instants. Lorsque la vapeur d'eau s'échappe de la canette, retourner rapidement la canette dans le cristalliseur et observer.

Explications :

1. Lorsque l'eau dans la canette est en ébullition, la vapeur dégagée expulse de l'air de la canette.
2. Lorsqu'on retourne la canette et qu'elle est rapidement refroidie, la vapeur d'eau se condense et la pression atmosphérique à l'extérieur est beaucoup plus grande que la pression à l'intérieur.

La pression atmosphérique écrase alors la canette.

1.2.2 Définition de la pression

Il est possible, par exemple, de prendre du sable très fin et de placer à sa surface des cylindres de masses négligeables, dont les rayons des bases sont très différents. On peut alors proposer aux élèves de les charger de deux masses égales et leur demander ce qui va se passer.

L'observation : « Le cylindre de plus petit rayon s'enfoncera beaucoup plus » ne les surprendra pas. En multipliant les exemples et expériences et en suscitant le questionnement, ils diront qu'il faut considérer la force, mais aussi la surface sur laquelle elle se répartit. L'effet doit augmenter si la force augmente ou si la surface sur laquelle elle se répartit diminue.

La pression atmosphérique sera définie ainsi que les unités associées et les appareils permettant de la mesurer.

1.3 Phase de recontextualisation : le caisson hyperbare

Le caisson hyperbare est utilisé pour traiter le mal aigu des montagnes¹ en très haute altitude. On peut prendre appui sur la vidéo visualisable sur le site :

<http://www.tvmountain.com/video/montagne/7063-caisson-hyperbare-altitude-expeditions.html>

Ce film permet de voir si l'élève est capable de mobiliser les connaissances qui ont été introduites par les études précédentes. Il s'agit notamment de réinvestir la courbe $P=f(h)$ et de comprendre que le caisson en augmentant la pression environnante pour la personne qui est placée à l'intérieur permet de simuler une descente.



¹ Le mal aigu des montagnes se manifeste par différents symptômes comme des maux de tête, vomissements, vertiges et fatigue générale. Il est dû à une montée trop rapide en altitude.

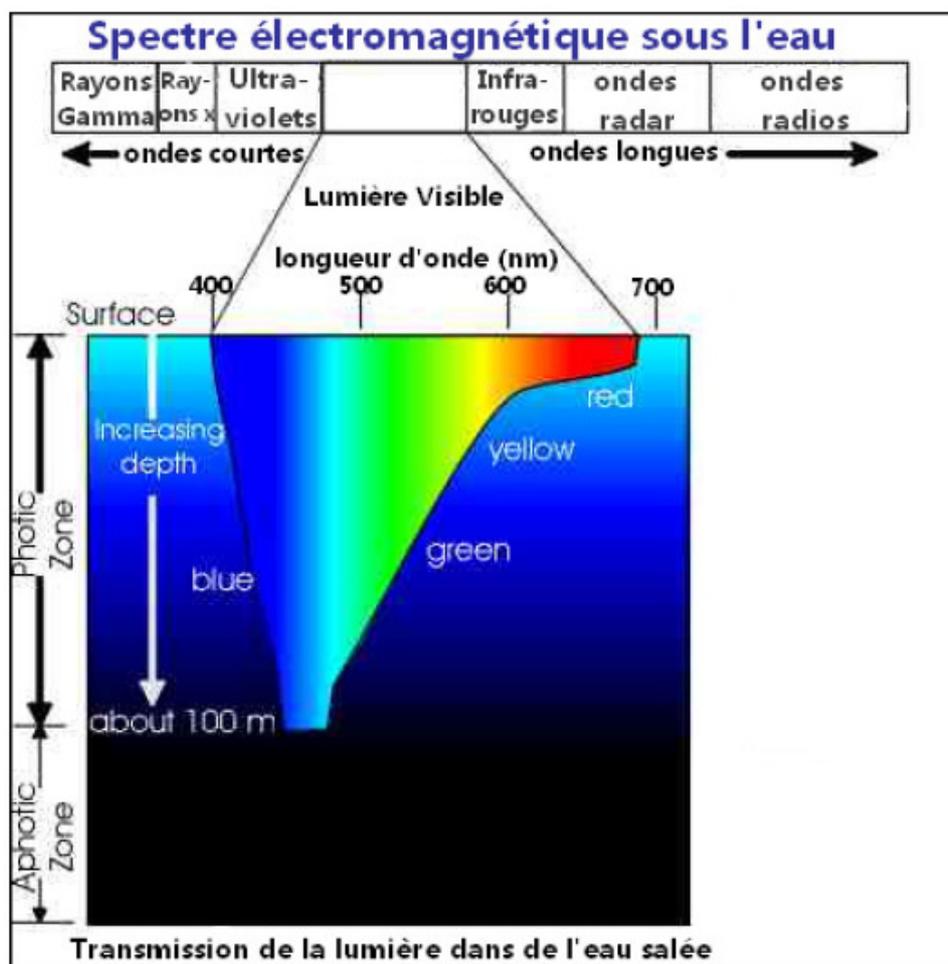
2 La pression hydrostatique

2.1 Introduction

L'océan représente incontestablement un milieu hostile dont il faut s'accommoder.

Il est souhaitable de questionner les élèves sur les paramètres physiques modifiés lorsqu'un plongeur descend en profondeur dans l'océan. Leurs réponses permettront d'aborder à nouveau des notions déjà traitées dans d'autres thèmes du programme et feront émerger, très probablement, la notion de pression hydrostatique. Ces réponses attendues peuvent être :

- **La température** : la différence de température existant généralement entre le corps et l'eau, même en été, oblige le plongeur à utiliser des vêtements isothermes.
- **La lumière et les couleurs du spectre solaire** :



- **La vision** : le plongeur lorsqu'il ouvre les yeux dans l'eau voit flou. Le port du masque est nécessaire afin de remettre l'œil dans son milieu aérien. Les lois de la réfraction permettent de comprendre pourquoi les objets ne sont pas vus de taille réelle.

- **L'audition:** Le plongeur lorsqu'il est immergé est transporté dans un milieu où ses perceptions auditives sont très perturbées. Dans l'eau les sons se propagent à la célérité de 1500 m.s^{-1} alors qu'ils se propagent dans l'air à une vitesse de 340 m.s^{-1} .
- **La respiration subaquatique :** les plongeurs assistés respirent de l'air en bouteille qui, par l'intermédiaire d'un détendeur, doit être fourni à la pression ambiante. C'est le point crucial du bon déroulement de la plongée, une garantie certaine de se garder en vie. Il faut rester conscient de sa respiration et la contrôler.

La présentation aux élèves des documents 1, 2, 3 et 4, a pour but de susciter le questionnement sur la pression hydrostatique et sur l'influence de la profondeur.

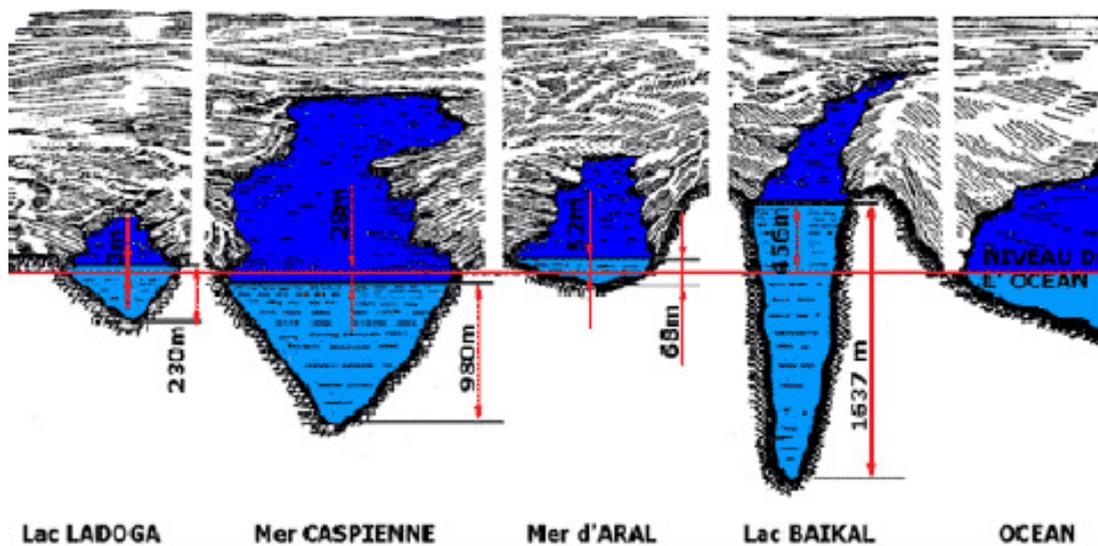
Document 1: Extrait de « C'est pas sorcier : La plongée sous-marine »

Durée 25 secondes : (De 5 min 45 s à 6 min). Un plongeur en apnée emporte une bouteille en plastique pleine d'air à 6 mètres de profondeur.

Document 2 : Record du monde de plongée en eau douce, au fond du lac Baïkal en Russie (Magazine Science et Santé du 29 juillet 2008. RTL info)

Lien : http://www.rtlinfo.be/info/magazine/sciences_et_sante/154684/record-du-monde-de-plongee-au-fond-du-lac-baikal-en-russie

Profondeur du lac BAIKAL (année 2006)



Une équipe scientifique russe est descendue au fond du lac Baïkal mardi, par moins de 1.680 mètres, pour en étudier l'écosystème, établissant au passage le record mondial de plongée en eau douce, ont annoncé les organisateurs.

Les petits sous-marins russes Mir-1 et Mir-2, avec chacun à leur bord trois personnes, se sont posés successivement au fond du lac le plus profond de la planète, surnommé "la mer" par ses riverains, tant il est étendu.

"C'est un record du monde de plongée en eau douce", a déclaré peu après un des organisateurs, cité par l'agence russe Interfax.

"Mir-1 à 1 680 m", a-t-on pu entendre à la radio en

provenance du submersible sur la barge d'où il avait été immergé à la mi-journée. Le sous-marin a ensuite parcouru le fond sur environ 200 mètres, a expliqué un porte-parole de l'expédition. Le lac, situé au coeur de la Sibérie, s'avère ainsi plus profond que ce qui était estimé jusqu'ici (1.637 mètres). Il s'étend par ailleurs sur 636 kilomètres de long et 80 kilomètres de large.

Mir-1 et Mir-2 ont été mis à l'eau à une demi-heure d'intervalle à l'aide d'une grue, puis emmenés à quelques centaines de mètres de là, dans deux directions différentes, avant d'entamer leur plongée, au large des côtes de la république russe de

Bouriatie, dans la partie orientale du lac, à cinq heures en bateau du petit port de Tourka.

"Nous voulons étudier, observer le Baïkal" afin d'aider à "le préserver", avait expliqué le chef de l'expédition, Artour Tchilingarov, à la veille de la plongée.

Ce scientifique, un député proche du Kremlin, avait déjà mené l'opération fortement médiatisée ayant permis de planter un drapeau russe au fond de l'océan Arctique à plus de 4.000 mètres sous le Pôle Nord, en août 2007. Des dizaines de plongées des Mir-1 et 2 sont programmées pour les prochains mois dans les

profondeurs du lac Baïkal qui contient 20 % des réserves d'eau douce du globe.

Les scientifiques vont tenter d'établir s'il contient des espèces animales inconnues et des dépôts de gaz, notamment de méthane, voire de pétrole, grâce aux prélèvements qui seront effectués pendant les plongées. Mir-1 et Mir-2, construits en Finlande et mis en exploitation en 1987, peuvent descendre jusqu'à 6.000 mètres de profondeur. Ils ont été utilisés pour l'observation de l'épave du Titanic, lors de l'expédition russe au Pôle Nord en 2007 et après les accidents des sous-marins nucléaires russes Kursk et Komsomolets

Document 3 : extrait de : « Comment ça marche un sous-marin ? »

Lien : <http://www.netmarine.net/bat/smarins/triompha/comment.htm>

Le principe de Pascal

Plus on descend, plus la pression augmente.

Sur la surface d'un corps immergé s'exerce une pression, en bars, perpendiculaire à cette surface, dirigée vers l'intérieur et égale au nombre de dizaines de mètres d'immersion.

Ainsi, à l'immersion de 100 mètres s'exerce une pression de 10 bars par rapport à la pression atmosphérique. Toute augmentation de 10 mètres de profondeur s'accompagne d'une augmentation de pression de 1 bar. Appliqué au sous-marin, ce principe permet de comprendre que les forces croissantes qui s'exercent sur la coque tendent à l'écraser. La « **coque épaisse** » abrite le personnel et le matériel. Elle est construite en acier très résistant. Son épaisseur est calculée en fonction de l'immersion maximum prévue par le programme militaire du bâtiment.

Lien : <http://www.ifremer.fr/exploration/nautil/sphere.htm>

La sphère



Le choix de la forme

Quelle forme donner à l'habitacle pour accueillir les plongeurs ?

La sphère offre, pour une pression donnée, le meilleur rapport masse / volume disponible, suivie de l'ellipsoïde, puis du cylindre. Mais le choix ne repose pas que sur cet unique critère. En matière d'hydrodynamisme, l'ordre est différent : ellipsoïde, cylindre, sphère. Pour la facilité de construction, l'ordre varie encore : cylindre, sphère, ellipsoïde. Pour le cylindre, on roule une tôle dont on soude ensemble les deux extrémités. Puis on ferme le cylindre par deux demi-sphères. Si la profondeur prévue est importante, il faut renforcer le cylindre à l'aide de couples intérieurs ou extérieurs. Pour réaliser une sphère, on peut emboutir à chaud deux demi-sphères, puis les assembler par soudage ou boulonnage.

Le choix s'est finalement porté sur une sphère, elle-même enchâssée, on le verra plus loin, dans une coque ellipsoïdale.

Bien sûr, il y a des ouvertures à prévoir dans cette sphère. Un panneau de 45 centimètres de diamètre suffit pour y pénétrer. Trois hublots de douze centimètres de diamètre permettent une vue correcte de l'extérieur sans trop en affaiblir sa résistance. Quatre passages de coque de vingt centimètres de diamètre permettent la circulation de différents fluides (puissance électrique, oxygène, signaux vidéo, etc.).

La résistance à la pression

L'immersion maximale va conditionner la résistance, donc le poids et la difficulté de réalisation de cette sphère. Sachant que plus de 97 % des fonds marins font moins de 6000 mètres, les concepteurs retiennent cette profondeur.

La sphère habitée : de l'acier au titane

	Archimède	Alvin	Nautile
Profondeur	11 000 m	4 000 m	6 000 m
Diamètre Extérieur	2,4 m	2,08 m	2,24 m
Épaisseur de la sphère	150 mm	49 mm	62 mm
Masse de la sphère	19 tonnes	3 tonnes	4,6 tonnes
Densité de la sphère	2,48	0,64	0,75

Par sécurité toutefois, la sphère a été calculée pour résister à une pression bien supérieure (900 bars, soit environ 9000 m).

Le choix du matériau

Le choix du matériau est déterminant. On veut toutes les qualités, mais beaucoup sont, bien entendu, tout à fait incompatibles : poids minimal pour une résistance donnée, insensible à toutes les formes de corrosion, facile à travailler, à souder, à percer, résistante aux chocs, bon marché et disponible rapidement. Jusqu'à 600 mètres, le bois n'est pas à négliger : le Subnaut d'Helle (1956) était en acajou. Les complexes verres-résine (CVR), empilage de tissus de verre enduits de résine, ont servi aux Britanniques pour de nombreux sous-marins porte plongeurs (LR2 à LR5) et individuels (Wasp, Spider, Hornet). Des études ont été faites en France sur ces matériaux, mais la technique ne permettrait guère de dépasser mille mètres. En outre, le vieillissement des CVR est mal connu.

L'Aluminaut, sous-marin construit à prix d'or comme hymne à la gloire de l'aluminium est allé en toute sécurité à 4 500 mètres. Les aciers ne manquent pas, mais ils conduiraient tous à des sphères lourdes qui grèveraient le devis de poids au détriment des batteries et des outillages. Les plus résistants de ces aciers ne sont pas inoxydables. Il reste le titane, ou plutôt les alliages de titane. Ils sont moins denses que l'acier à résistance égale, insensibles à toute oxydation à température ordinaire, mais très difficiles à usiner et à souder. Ils offrent donc légèreté, résistance mécanique et résistance à la corrosion. Le TA6 V4, titane allié de vanadium et d'aluminium, est très utilisé en France pour les matériels aérospatiaux, mais toujours en faible épaisseur. Or il nous faut laminier, emboutir et souder des tôles de 9 à 10 centimètres d'épaisseur. Il faudrait un lingot de 9 tonnes pour le diamètre désiré de 2,20 m. Las ! Aucun métallurgiste ne peut s'engager au-delà de 7 tonnes. Le diamètre sera donc réduit à 2,10 mètres (exactement celui de la sphère de l'Archimède).

Ce sont les avancées technologiques sur les matériaux (on en verra d'autres avec le flotteur) qui ont permis de passer de l'Archimède (200 tonnes) au Nautile (19 tonnes), et ainsi de réaliser des submersibles : - transportables sur des navires (et non plus remorqués) - beaucoup plus manœuvrants.

Début 1984, les deux hémisphères usinés et percés sont assemblés et boulonnés.



La sphère part alors en avion vers Washington. Sur les bords du Potomac, l'U.S. Navy possède le seul caisson d'essai capable, à l'époque, de recevoir, une telle sphère et de l'amener à une pression extérieure de 700 bars, l'équivalent de 6 700 mètres d'eau de mer. L'essai en caisson permet de vérifier que la déformation de la coque est bien conforme au calcul.

Le questionnement des élèves peut ici s'organiser autour de deux questions principales:

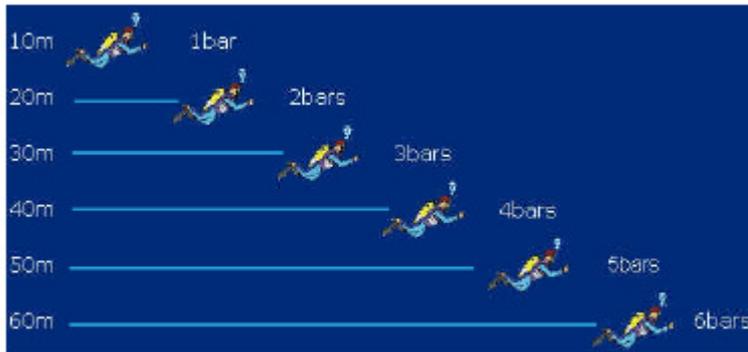
- Que se produit-il lorsque la bouteille en plastique est amenée en profondeur dans l'eau ? Quels sont les paramètres physiques qui varient et comment varient-ils ?
- Comment justifier les recherches sur la forme et sur la résistance des matériaux pour les sous-marins évoluant en très grande profondeur ?

2.2 Phase de décontextualisation

Il s'agit d'une démarche expérimentale sur la relation entre pression hydrostatique et profondeur. Cette partie de séquence peut-être réalisée sous forme de démarche d'investigation, ou tout du moins sous la forme d'une démarche active de l'élève. On propose un travail par groupes de 3 à 4 élèves, afin de construire un protocole d'expériences permettant de vérifier le principe de Pascal énoncé dans les documents précédents.

Objectifs :

1. Mettre en évidence la relation entre pression dans un fluide et différence de profondeur
2. Représenter graphiquement des données expérimentales



Document 1 : La Pression hydrostatique



Document 2 : Manomètre

Matériel à disposition :

Éprouvette de 25 mL, manomètre, tube plexiglas (1,0 m), thermomètre, tuyau aquarium, tube verre, eau distillée, eau salée, tube à essai, béchers, ballon de baudruche, mètre ruban.

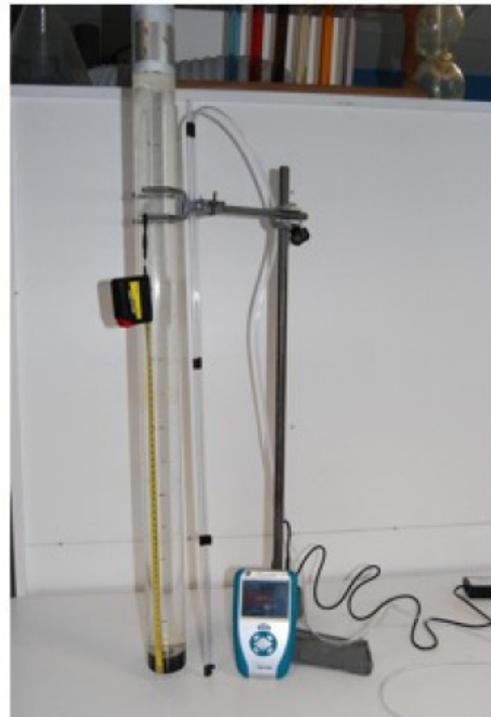
Travail à accomplir :

Établir, puis réaliser un protocole expérimental permettant de vérifier le principe de Pascal :

« Sur la surface d'un corps immergé, s'exerce une pression, en bars, perpendiculaire à cette surface, dirigée vers l'intérieur et égale un nombre de dizaines de mètres d'immersion »

La production finale devra faire apparaître le protocole réalisé, ainsi que les résultats obtenus. Elle devra mettre en évidence de manière graphique la dépendance entre la pression hydrostatique et la profondeur.

Quelques photographies du montage :



Remarques :

1. Le bouchon permettant de boucher le fond du tube de plexiglas peut s'acheter chez un pisciniste (bouchon de diamètre ajustable à n'importe quel tube).
2. Sur les photos, le mètre ruban n'est pas correctement positionné. En effet, il est souhaitable de réaliser l'étalonnage du tube à partir de la surface de l'eau ($h = 0$ m).

2.3 Phase de recontextualisation : un détour par l'histoire des sciences ou les SVT...

1. Document histoire des sciences sur le tonneau de Pascal.

http://www.arts-et-metiers.net/pdf/carnet_pascal.pdf

2. Extrait d'un article de La recherche : sous la pression de milliers de mètres d'eau vit une faune de micro-organismes. La biomasse cachée des fonds océaniques.

<http://www.larecherche.fr/content/recherche/article?id=16767>

3. La loi de Boyle - Mariotte

3.1 Phase de contextualisation

Présentation d'un extrait du magazine de la santé au quotidien de France télévision.

« **Pour éviter les accidents, plongez responsables** »

Le magazine dure 9 min 24 s. Lors de cette séance seule l'écoute attentive de la première partie (de 0 à 3min25s et s'intitulant : « Changement de pression; attention au barotraumatisme ») est nécessaire. Cette émission montre des situations complexes, en particulier d'un point de vue physiologique.

<http://www.bonjour-docteur.com/actualite-sante-- 104.asp?1=1&idbloc=Tout>

Le questionnement des élèves peut ici s'organiser autour de deux questions principales:

- Quels sont les états physiques des différents constituants du corps humain? Donner des exemples. *Solides : os...; liquides : sang, eau...; Gaz (cavités contenant des gaz): oreilles, sinus, tube digestif, poumons...*
- Lorsque le plongeur descend, la pression augmente. Qu'est-ce qui différencie le comportement des solides et des liquides de celui des gaz ? *Les solides et les liquides sont (pratiquement) incompressibles alors que les gaz sont compressibles.*

3.2 Phase de décontextualisation

3.2.1 Expérience proposée

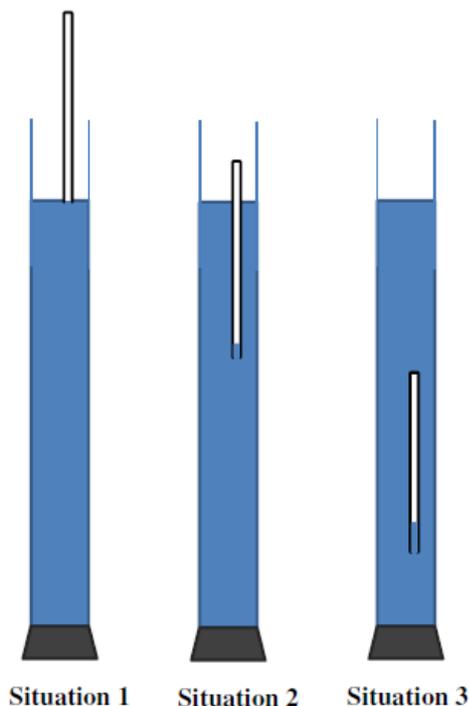
L'expérience proposée aux élèves est celle de l'immersion verticale d'un tube à essai retourné dans un récipient contenant de l'eau. Nous procédons en plusieurs étapes :

Première étape : L'ouverture du tube à essai est proche de la surface de l'eau

Deuxième étape : Le tube à essai est complètement immergé à mi-hauteur

Troisième étape : Le tube à essai est complètement immergé au fond du récipient

Avant de réaliser l'expérience devant les élèves, nous souhaitons recueillir, par écrit, leurs prévisions et les justifications correspondantes.



Cette expérience simple à réaliser va mettre leur sens physique à rude épreuve. Vont-ils faire évoluer le niveau de l'eau dans le tube à essai ? Comment ? Pourquoi ? Comment vont-ils prendre en compte la présence d'air dans le tube à essai et sa compressibilité ? Les réponses des élèves sont variées; sur une classe de trente-cinq élèves de seconde, aucun d'entre eux n'a employé le mot compressibilité. Les prévisions sont parfois exactes avec des justifications fausses. Exemples de réponses d'élèves :

« Quand le tube est à la surface de l'eau, la pression est basse donc un peu d'eau rentre dans le tube. Quand le tube est au fond de l'eau, le tube est vide, car la pression augmente, l'eau part du tube ».

« Il est probable que le tube se remplisse d'eau lorsque la profondeur augmente, car la pression de l'eau devient plus forte que la pression de l'air ».

« Tout d'abord l'air ne peut s'échapper du tube. Il y aura donc toujours de l'air dans le tube, peu importe la profondeur. Cependant plus la profondeur augmente, plus la pression qui s'exerce sur l'air augmente et donc plus le volume occupé par l'air diminue ».

Ce que nous attendons des élèves :

- L'observation de l'augmentation du niveau de l'eau dans le tube à essai lors de l'augmentation de la profondeur d'immersion.
- L'interprétation des trois niveaux de l'eau par l'augmentation de la pression de l'eau sur l'air et la compressibilité de l'air.

3.2.2 Comment la pression d'un gaz varie-t-elle en fonction de son volume ?

Dispositif expérimental :

- Une seringue munie d'un dispositif qui permet de maintenir le piston dans une position déterminée.
- Un capteur de pression numérique.

Conseil : Placer initialement le piston en position intermédiaire. Détendre l'air et relever toutes les valeurs de pression à la diminution du volume.

Démarche choisie :

Il s'agit d'étudier la variation de la pression d'une quantité donnée d'un gaz en fonction de son volume, à température constante. Les élèves doivent faire preuve d'initiative, d'autonomie, de rigueur et de discipline. Ils ont à proposer, par écrit, un protocole expérimental puis doivent le mettre en œuvre.

Le professeur s'attachera à guider les élèves de façon à les amener à effectuer une saisie de leurs mesures sur un tableur, de manière efficace et rigoureuse. Il proposera différents modèles puis demandera aux élèves de vérifier la cohérence de leurs résultats aux modèles proposés et/ou retenus.

En fin de séance, le professeur peut demander de prévoir la pression pour un volume que la seringue ne peut afficher.

Remarques :

1. La loi a été découverte à quelques années d'intervalle par l'Irlandais Robert Boyle (en 1662) et par le Français Edme Mariotte (en 1676). Certains la nomment *loi de Boyle*, et d'autres, *loi de Boyle-Mariotte*.



Robert BOYLE (1627-1691)



Edme MARIOTTE (1620-1684)

À température constante, si l'on modifie le volume d'une certaine quantité d'un gaz (d'une valeur V_1 à une valeur V_2), dans le même temps,

sa pression varie d'une valeur p_1 à une valeur p_2 de telle manière que

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

Ou bien :

À température constante, le produit de la pression par le volume d'une certaine quantité de gaz est constant. Cette constante est indépendante de la nature du gaz.

p V = constante

L'unité du système international de pression est le Pascal (Pa). L'unité du système international de volume est le mètre cube (m³).

2. Validité de cette loi :

Cette loi s'applique au modèle du gaz parfait. C'est un modèle simple qui correspond à un gaz formé de molécules

- de volumes propres négligeables par rapport au volume total occupé par le gaz
- entre lesquelles il n'y a pas d'interactions autres que celles ayant lieu au moment des chocs

Le gaz parfait n'existe pas ; un gaz réel peut être considéré comme parfait si sa pression est faible : dans ce cas, les molécules sont très dispersées et leur volume propre est effectivement petit devant le volume total occupé par le gaz ; il s'ensuit que les interactions entre molécules sont négligeables.

Tous les gaz étudiés le seront dans le cadre de cette hypothèse du gaz parfait.

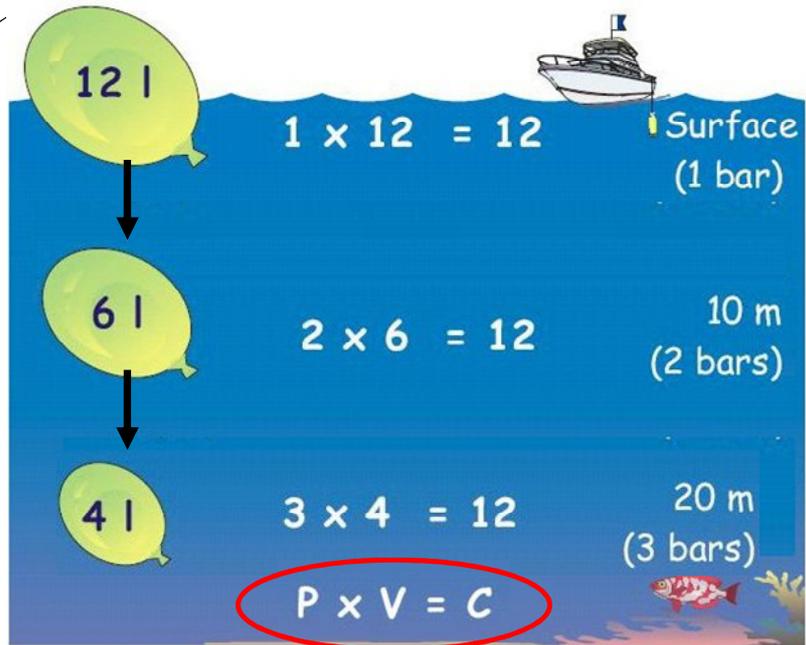
3.3 Phase de recontextualisation :

Document 1 : Extrait d'un cours de plongée

<http://plongeedansfosses.95.pagesperso-orange.fr/coursite/cour2N2.pps>



LOI DE MARIOTTE



LOI DE MARIOTTE

Elle s'exprime ainsi :

LE VOLUME D'UN GAZ EST INVERSEMENT PROPORTIONNEL A LA PRESSION QU'IL RECOIT

Son expression mathématique s'écrit ainsi :

$$PV = Cte$$

Ou encore l'équation suivante :

$$P1 \times V1 = P2 \times V2 = P3 \times V3 = Pn \times Vn$$

Document 2 : Extrait de surpression pulmonaire et embolie gazeuse cérébrale chez une enfant de douze ans

(lien: <http://www.copacamu.org/spip.php?article244>)

G. GARCIA-MAJOUFRE (1), E. BERGMANN (1), M. BROQUIER (2), C. MASSON (2), O. SEGUIN (2)

Mercredi 4 avril 2007

(1) Service de médecine hyperbare, centre hospitalier général Font-Pré, Toulon, France.

(2) Service des urgences, centre hospitalier général Marie-José Treffot, Hyères, France.

INTRODUCTION

La surpression pulmonaire est l'accident barotraumatique le plus grave pouvant survenir en plongée. Il s'agit d'une rupture alvéolaire lors de la remontée, du fait d'une gêne expiratoire et donc d'une augmentation brutale du volume des alvéoles jusqu'à leur limite d'élasticité. Ceci peut avoir pour conséquences un pneumothorax, un pneumomédiastin ou une embolie gazeuse cérébrale (3). Les facteurs aggravants sont une vitesse de remontée trop rapide, une masse importante d'air bloquée et la survenue à proximité de la surface. C'est un accident que l'on rencontre plus fréquemment chez les débutants et les enfants.

CAS CLINIQUE

Nous rapportons ici, une observation qui nous a semblé intéressante afin de rappeler des éléments essentiels de la plongée sous-marine notamment chez l'enfant et des règles de prise en charge de cette pathologie.

Le 13 août 2003 vers 23 heures, une enfant de 12 ans est adressée aux urgences de l'hôpital Font-Pré de Toulon, avec un tableau de somnolence et monoparésie du membre inférieur gauche. Dans l'après-midi, vers 16h30, elle a effectué un baptême de plongée (son « deuxième » en 48 heures, le premier s'étant déroulé sans anomalie). Il a été écourté en raison d'otalgies bilatérales gênant la descente. L'état général de l'enfant avant la plongée ne montrait pas de signe de fatigue, d'épisode infectieux ou d'élément pouvant contre-indiquer la plongée. La durée totale de la plongée aurait été de 4 minutes avec une première descente à - 3,40 m, une remontée puis une nouvelle tentative de descente à - 2 m. Le moniteur était seul avec l'enfant. La fillette dit avoir bloqué sa respiration lors de la remontée afin de vider son masque et avoir ressenti une brève douleur thoracique qu'elle n'a pas signalée au moniteur. Deux heures après sa sortie de l'eau, elle présente des paresthésies de la main droite, une asthénie intense se majorant au fil du temps et une monoparésie du membre inférieur gauche. À la prise en charge, après mise sous oxygénothérapie normobare au masque à haute concentration, les signes cliniques ont commencé à disparaître, mais devant la persistance de signes neurologiques et en l'absence de signe thoracomédiastinal, elle est traitée par oxygénothérapie hyperbare. Une recompression thérapeutique à 4 ATA suivie d'une table suroxygénée a permis une régression complète de la symptomatologie. Il persistait secondairement des hémotympan responsables d'une hypoacousie de transmission bilatérale. Malgré une récupération neurologique ad integrum, la plongée lui sera définitivement contre-indiquée.

DISCUSSION

À l'arrivée de la patiente aux urgences, après avis pédiatrique, nous nous sommes orientés en priorité vers une pathologie cérébrale, hémorragique ou tumorale (n'ayant pas la notion de blocage respiratoire) et nous avons pratiqué une tomodensitométrie cérébrale. Tout cela s'est déroulé rapidement et la mise sous oxygénothérapie normobare au masque à haute concentration fut concomitante (elle était auparavant sous oxygénothérapie aux lunettes). La normalité du scanner, l'anamnèse et l'amélioration de son état sous Oxygène à fio2 proche de 1 nous a permis de confirmer l'hypothèse d'une embolie cérébrale secondaire à une surpression pulmonaire.

Cette observation permet de rappeler qu'il faut toujours penser à ce type d'accident même pour des plongées à priori banales, voire anodines (à faible profondeur et de courte durée) et avec une symptomatologie survenant plus ou moins à distance. Une oxygénothérapie au masque à haute concentration à 15 l /min et non aux lunettes (qui permettra uniquement d'atténuer la symptomatologie) et un avis spécialisé auprès d'un médecin hyperbariste le plus rapidement possible sont de règle. Ce dernier décidera de la nécessité d'une recompression thérapeutique secondaire, le pronostic de l'accident étant corrélé à un délai de mise en oeuvre de l'OHB le plus court possible. À l'issue de la séance d'oxygénothérapie hyperbare, il est recommandé de pratiquer une tomodensitométrie thoracique et cérébrale de contrôle. Si aucun facteur de risque n'a été mis en évidence, des explorations fonctionnelles respiratoires avec test à la métacholine à la recherche d'un syndrome obstructif bronchique peuvent être préconisées.

La pratique de la plongée sous-marine peut alors être contre-indiquée de façon définitive. Les enfants ont une approche ludique et moins théorique de la plongée sous-marine que l'adulte. La plongée enfant est limitée à - 10 m pour les « plongeurs Or » et à -3 m pour les baptêmes dans la tranche d'âge 12 à 14 ans. La zone de plongée enfant est la plus dangereuse en ce qui concerne les variations de pression-volume. En effet, la pression varie d'un rapport de 1 à 2 entre 0m et -10 m et de 2 à 3 entre -10 m et -20 m. Ainsi, plus le plongeur est proche de la surface, plus les volumes varient en fonction de la profondeur et donc les accidents sont à craindre ($PV=cte$ selon la Loi de Boyle-Mariotte).

Par conséquent, il est important :

- de faire une étude préalable des motivations de l'enfant pour la découverte du milieu sous-marin, de son état d'esprit, de son état général et de sa capacité de compréhension des explications précédant la plongée.
- d'assurer une surveillance attentive et individuelle de l'enfant par le moniteur lors des baptêmes et du passage des différents diplômes.
- de respecter les recommandations de profondeur de la FFESSM.

CONCLUSION

La plongée enfant est très spécifique. Les cas de surpression pulmonaire sont heureusement exceptionnels en raison d'une surveillance sérieuse des enfants par les clubs qui la pratiquent. Mais la survenue de ce cas nous rappelle la grande vigilance qu'il faut accorder à ce genre d'exercice, les réflexes d'oxygénation systématique à la prise en charge et la nécessité d'un avis spécialisé rapide.

4. Dissolution d'un gaz dans un liquide

4.1 Phase de contextualisation

Cette première phase se déroule autour de l'étude d'un document extrait (document 1) de cours de la Fédération Française d'Étude et des Sports Sous-Marins (FFESSM) sur la **Classification conventionnelle des accidents de plongée**, d'un diaporama (document 2) extrait d'un cours de plongée niveau II De FFESSM et d'un extrait du « Magazine de la santé » sur France Télévision sur le thème de la plongée sous-marine et des dangers associés à cette pratique. Nous nous sommes volontairement restreints dans cette phase à l'étude de la plongée assistée (bouteilles d'air comprimé).

Document 1 :

Classification conventionnelle des accidents de plongée sous marine (Extrait de « Les accidents de plongée sous-marine, Fédération Française d'Études et de Sports Sous-Marins »)

1. Les accidents mécaniques

Conséquence de la loi de Boyle-Mariotte, ils sont dus aux variations de volume et de pression des gaz contenus dans des cavités anatomiques dont la communication avec l'extérieur n'est pas assurée correctement (sinus, poumons, oreilles moyennes...). On peut citer, comme accidents mécaniques, les barotraumatismes ou la surpression pulmonaire ou encore l'œdème pulmonaire aigu. À noter que des barotraumatismes peuvent naître également en altitude.

Concrètement, un barotraumatisme survient lorsqu'il y a une difficulté d'adaptation entre la pression d'air à l'intérieur d'une cavité du corps et la pression externe. Les dommages sont occasionnés dans les parties du corps humain autour des cavités, car les gaz sont compressibles avec l'augmentation de pression alors que les tissus humains ne le sont pas.

La surpression pulmonaire peut intervenir à la remontée. C'est l'accident de plongée le plus grave car le plus souvent mortel. Le plongeur respire de l'air à la pression correspondant à la profondeur où il se trouve. À la remontée, l'air se détend et le volume gazeux contenu dans les poumons augmente. Lorsque la respiration est libre, l'air en excès est rejeté au cours de l'expiration, mais s'il y a un obstacle à l'évacuation de l'air, le volume gazeux se détend dans les poumons jusqu'à leur limite d'élasticité. Au-delà, les alvéoles pulmonaires et les vaisseaux sanguins qui les tapissent se déchirent. Il peut s'en suivre un passage de plasma sanguin dans les alvéoles des poumons : c'est l'œdème pulmonaire.

A contrario, l'œdème aigu pulmonaire (O.A.P) lui, s'observe à la descente en apnée et résulte d'une diminution du volume des poumons jusqu'à la limite du volume résiduel de 1,5 litre. L'augmentation de pression ambiante engendre alors le passage du plasma sanguin dans les alvéoles pulmonaires créant ainsi l'œdème.

2. Les accidents biochimiques

Ils sont dus à la toxicité des gaz respirés, lorsque leur pression partielle atteint une valeur pour laquelle le corps humain n'est plus adapté, c'est le seuil de toxicité.

L'organisme est adapté aux pressions partielles des gaz qui constituent l'air atmosphérique.

Quand ces pressions partielles sont modifiées, le fonctionnement cellulaire ne se déroule plus normalement. La pression partielle d'un gaz constituant d'un mélange de gaz est égale à la pression totale du mélange (pression ambiante) multipliée par le pourcentage du gaz dans le mélange. Ainsi, le diazote devient dangereux lorsque sa pression partielle atteint la valeur de 4 bars (4.105 Pascals) et engendre une narcose appelée « ivresse des profondeurs » liée à un engourdissement et une désorientation spatiale.

Les effets de la pression partielle de dioxygène sont aussi importants. En dessous de 0,16 bar, c'est l'hypoxie, avec risque de perte de connaissance. Au-dessus de 1,6 bar c'est l'hyperoxie, avec risque de convulsion ou crise de tétanie et risque de noyade. C'est cette valeur de 1,6 bar qui permet de déterminer la profondeur maximale de plongée, pour un mélange de gaz donné.

3. Les accidents biophysiques

Il s'agit d'accidents de décompression liés à la présence d'azote dans le sang qui contrairement au dioxygène qui est consommé lors de la respiration n'a qu'un rôle de diluant.

C'est la conséquence du phénomène de dissolution des gaz dans les liquides. Plus la pression est forte, plus la quantité de gaz dissous dans le sang sera grande. Lorsque le plongeur inspire de l'air comprimé en profondeur, la pression partielle de diazote est plus forte qu'en surface et le sang a dissous une forte quantité de diazote.

Lors de la remontée, la pression partielle de diazote diminue et ce dernier tend à s'échapper. Il est normalement éliminé par la respiration si la remontée est lente. Des paliers de décompression sont alors nécessaires, car si la remontée est trop rapide, les bulles d'azote ne peuvent pas s'échapper normalement et grossissent conformément à la loi de Boyle-Mariotte.

La circulation sanguine peut alors être interrompue localement, c'est l'ischémie qui selon la zone atteinte aura des effets plus ou moins importants, allant jusqu'à la paralysie ou la mort.

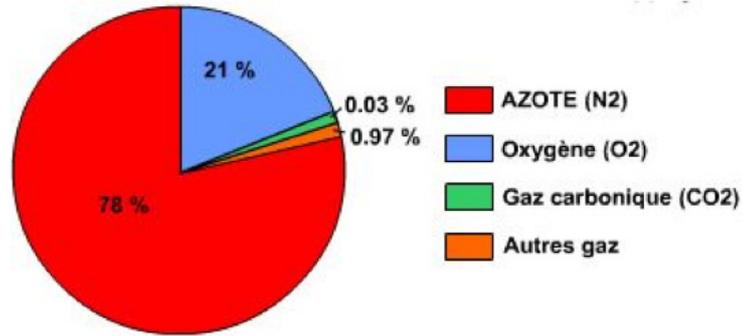
Document 2 :

Le magazine de la santé : « Pour éviter les accidents, plongez responsables ».
De 2 min 29 s à la fin.

Document 3 :

Extraits d'un diaporama : Cours de plongée Niveau II

LA COMPOSITION DE L'AIR



Pour les calculs de plongée nous retenons les valeurs de :

AZOTE = 80 % **OXYGENE = 20%**

Les autres gaz ne rentrent pas en ligne de compte

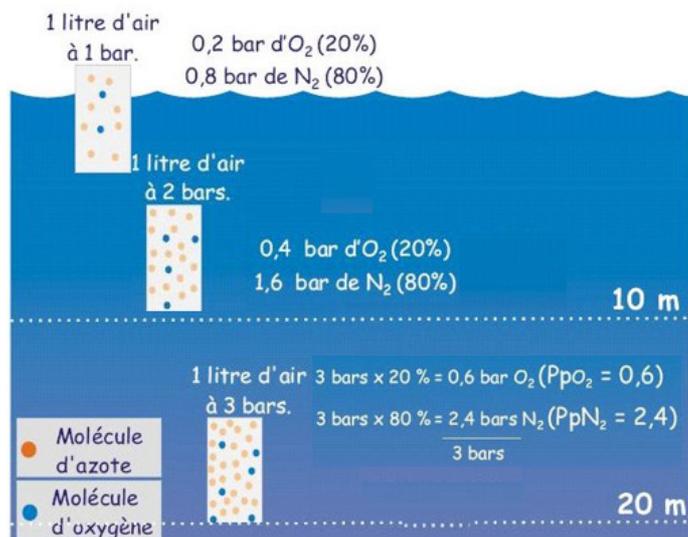
LES PRESSIONS PARTIELLES EN PLONGEE

RAPPEL : AIR = 80% azote et 20% oxygène

Pressions partielles des composants de l'air en surface

Pressions partielles des composants de l'air à 10 mètres de fond

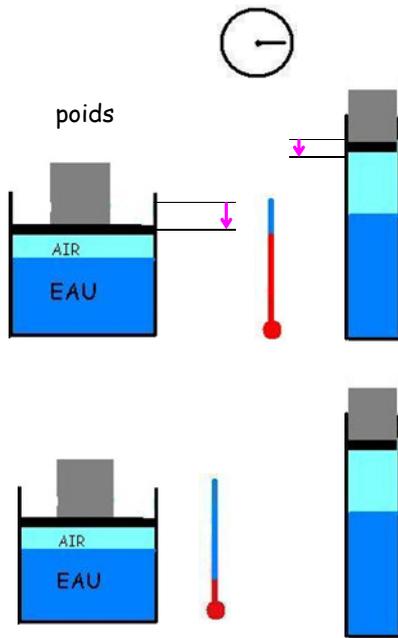
Pressions partielles des composants de l'air à 20 mètres de fond



LOI DE DALTON

$$P_p \text{ gaz} = P_{Abs} \times \% \text{gaz}$$

DISSOLUTION DES GAZ



Après un certain temps d'exposition à une pression et une température constante, une partie du gaz a intégré le liquide en s'y dissolvant jusqu'à un point d'équilibre.

La quantité de gaz dissout dans le récipient étroit est plus petite.

REGLE UN pour une même pression la quantité de gaz dissout dépend de la surface en contact avec le liquide.

Quand la pression diminue le phénomène s'inverse et le liquide libère plus lentement les gaz dissous.

En abaissant la température la dissolution du gaz dans le liquide reprend jusqu'à un point d'équilibre.

REGLE DEUX les gaz se dissolvent plus facilement aux basses températures.

Quand la température augmente le phénomène s'inverse et le liquide libère les gaz dissous.

Lorsque le point d'équilibre est atteint le liquide est à **SATURATION**

LA LOI DE HENRI

La loi de Henri s'énonce ainsi :

A température constante et à SATURATION la quantité d'un gaz dissout par un liquide est proportionnelle à la pression subit par ce gaz au dessus du liquide.

Les facteurs qui influencent la dissolution sont :

Les variations de pression.

Les variations de la surface d'échange

Les variations de température

La nature des liquides

L'ÉCHANGE GAZEUX DANS L'ORGANISME

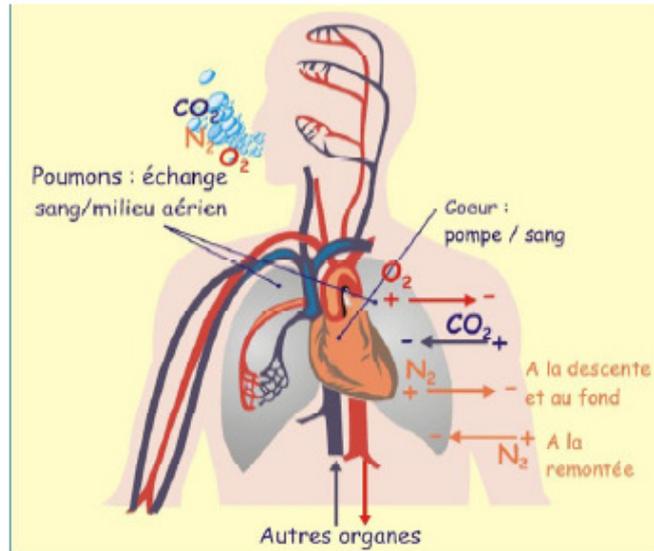
Notre organisme composé à 65% d'eau dissout les gaz qui composent l'air comme le font tous les liquides (fluides corporels, sang, lymphe...). La dissolution s'arrête à la SATURATION de l'organisme.

L'oxygène fournit l'énergie. Le gaz carbonique résidu de combustion sert dans les transmission nerveuses. L'azote, n'est pas utilisé par l'organisme. Tous les gaz sont évacués par la respiration.

Pour un plongeur, la température du corps est constante. La surface d'échange dépend de sa capacité pulmonaire. Son rythme respiratoire et la pression de l'air inspiré interviennent dans la saturation de l'organisme par l'azote.

La saturation en azote est à l'origine des

ACCIDENTS DE DÉCOMPRESSION.



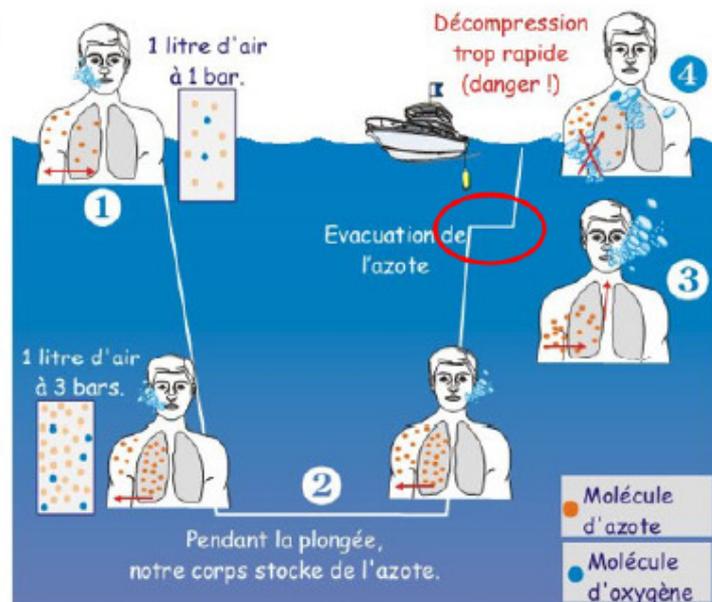
LA DÉCOMPRESSION

1 Lors de la descente La pression augmente et le plongeur se **CHARGE** en azote d'autant plus que la profondeur est grande.

2 A profondeur constante la durée de la plongée augmente la **CHARGE** d'azote.

3 lors de la remontée la pression diminue et le plongeur se **DECHARGE** de son azote. La vitesse de la **DECHARGE** est plus lente que la vitesse de **CHARGE**. Cette différence peut entraîner l'exécution d'un **PALIER DE DÉCOMPRESSION**.

4 Une remontée trop rapide ou le non-respect d'un palier peut entraîner un **ACCIDENT DE DÉCOMPRESSION (A.D.D.)**



Le questionnement des élèves doit s'organiser autour de deux questions importantes :

- Quels sont les différents accidents possibles lors d'une plongée et quelles en sont les raisons physico-chimiques ?
- Comment expliquer la nécessité de paliers de décompression lors de la remontée des plongeurs ?

Ces thèmes étant transversaux, il est possible d'organiser une réflexion avec les collègues de SVT. Ces présentations pluridisciplinaires permettront aux élèves d'envisager leur questionnement de manière globale et de ne pas cloisonner les matières.

4.2 Phase de décontextualisation

Prérequis :

- Notion de quantité de matière, solvant et soluté (thème santé)
- Notion de concentration molaire (thème santé)

Cette séance permet de faire émerger la notion de **solubilité des gaz dans un solvant**. Elle permet d'évaluer les compétences des élèves en particulier sur leurs facultés de déduction et de raisonnement scientifique.

- **Expérience 1** : Manipulation d'eau gazeuse et d'eau plate sous cloche à vide

Faire la manipulation devant les élèves et l'enregistrer avec une webcam pour pouvoir repasser le film lors de la phase de réflexion des élèves.

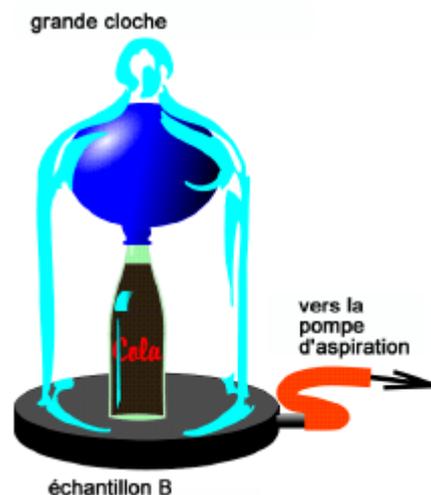


- **Document 1** : Étiquette de l'eau gazeuse utilisée indiquant la présence de gaz carbonique



- **Expérience 2**

Lors de la manipulation et à l'aide d'un petit ballon de baudruche, on récupère le gaz qui s'échappe de l'eau minérale gazeuse. Ce gaz « trouble » l'eau de chaux.



- **Document 2 :** Extrait d'un livre de chimie : « *Molécules, matière, métamorphoses* » par Peter William Atkins, Loretta Jones, André Pousse .

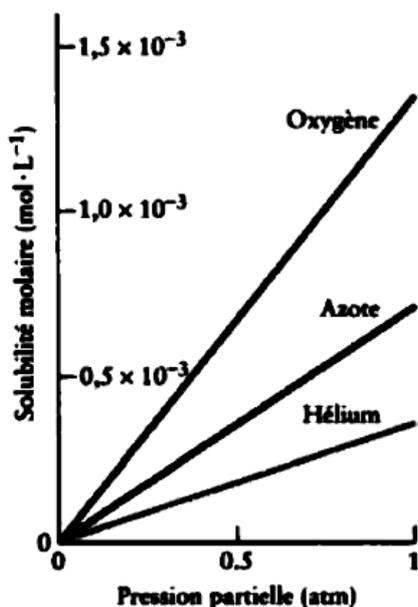


FIGURE 12.7 Variation de la solubilité de l'oxygène, de l'azote et de l'hélium avec la pression partielle. Notez que la solubilité de chaque gaz double lorsque sa pression partielle double.

Consigne donnée aux élèves :

À l'aide de vos connaissances, des documents fournis et de l'expérience, établir le lien entre pression et solubilité d'un gaz. Votre réponse devra être structurée et argumentée.

Réponses attendues :

On observe que lorsque l'on fait le vide partiel, des bulles de gaz se dégagent du béccher contenant l'eau minérale gazeuse. Au même instant, aucune bulle n'est observée dans le béccher contenant l'eau « plate ». Si on l'on continue à faire le vide, de petites bulles apparaissent alors aussi dans le béccher contenant l'eau « plate ».

Le gaz qui s'échappe de l'eau gazeuse trouble l'eau de chaux: il s'agit de dioxyde de carbone. Sur l'étiquette de l'eau est indiqué : « eau enrichie en gaz carbonique ».

À l'aide de l'exploitation du document du livre de chimie, on remarque que la solubilité des gaz augmente avec la pression partielle du gaz (notion abordée succinctement dans la phase de contextualisation). Plus la pression partielle du gaz augmente, plus la concentration de ce gaz dans le liquide augmente. Lorsqu'on l'on fait un vide partiel dans la cloche, la pression diminue et de ce fait la solubilité du gaz carbonique diminue aussi. On assiste alors à un « dégazage », c'est-à-dire que le gaz s'échappe du liquide.

Ce phénomène se produit aussi avec l'eau plate, lorsque la pression continue à diminuer. Le gaz qui se dégage est le dioxygène solubilisé dans l'eau. Ce gaz étant plus soluble dans l'eau que le dioxyde de carbone, on voit apparaître des bulles pour une pression plus faible.

Remarque : Ce graphe a été réalisé à température constante. Ce paramètre est important, car la solubilité des gaz dépend entre autres de la température.

4.3 Recontextualisation

- **Première étape : valider les connaissances disciplinaires en répondant de manière précise au questionnement de la première phase. Comprendre la narcose et le rôle des paliers de décompression.**

Lien : <http://www.webplongee.com/theorie/physique/compressibilite-gaz.html>

La narcose ou l'ivresse des profondeurs apparaît à partir d'une trentaine de mètres de profondeur pour les personnes les plus sensibles. Mais on considère qu'à partir de 60 mètres, tout le monde est plus ou moins narcosé. Ce phénomène est lié à l'augmentation de la pression partielle d'azote augmentant ainsi la solubilité du diazote dans le sang et donc sa concentration. Le corps n'éliminant pas ce gaz (au contraire du dioxygène), il engendre des dysfonctionnements dans les liaisons nerveuses. La décompression est liée au diazote qui est présent à hauteur de 80 % dans l'air, dont se chargent les différents tissus du corps du plongeur en fonction de la profondeur et de la durée de la plongée. La compréhension de ce

phénomène est donc importante pour une meilleure sécurité. À la remontée, avec la diminution de la pression un "dégazage" se produit dans les tissus pour évacuer l'azote absorbé. Cela se matérialise par l'apparition de microbulles dont le volume va varier avec la diminution de la pression ambiante. Ces microbulles sont évacuées par la respiration lorsque l'on respecte les procédures de décompression qui définissent les vitesses de remontées et les paliers à respecter. Dans le cas contraire, on aboutit à un dégazage anarchique qui conduit à ce que l'on appelle un accident de décompression ou accident de désaturation ou encore ADD qui peut conduire à des lésions graves et irréversibles.

- **Deuxième étape : Valider l'aptitude des élèves à mobiliser leurs connaissances dans des cas complexes.**

Document 1 : article de Ouest France

Un caisson hyperbare pour se réoxygéner

Document 2 : article de l'agence spatiale canadienne

Lien : http://www.asc-csa.gc.ca/fra/astronautes/mso_pre-respiration.asp

L'exercice pour prévenir le mal de décompression.



L'astronaute de l'ASC Chris Hadfield debout sur le cale-pied portatif relié au Canadarm d'Endeavour. (Photo NASA)

Objet

Ce projet est axé sur le développement et la mise à l'essai de protocoles améliorés visant à prévenir le mal de décompression qui peut affliger les astronautes appelés à réaliser des sorties extravéhiculaires (EVA) depuis la Station spatiale internationale (ISS).

Sujets sur doubles bicyclettes ergométriques dans les installations de RDDC-Toronto lors d'un projet visant le développement d'un protocole de prérespiration de 2 heures. (Photo : NASA)



Contexte

Les astronautes appelés à sortir à l'extérieur de la navette doivent se soumettre à un protocole de décompression de 12 heures qui réduit les risques associés au mal de décompression. Cette procédure est désignée « prérespiration d'oxygène ». Au cours de la période de prérespiration à bord de la navette, les astronautes respirent de l'oxygène pur pendant une ou deux heures à la pression atmosphérique qui règne à bord. La pression est ensuite réduite à 10,2 psi pour une période de 12 heures. Enfin, les astronautes respirent encore de l'oxygène pur pendant une heure avant d'effectuer leur sortie. Ce protocole de décompression de 12 heures combat efficacement le mal de décompression, mais le temps consacré à ce protocole ainsi qu'aux préparatifs des EVA nuit à l'efficacité des missions. Pour achever la construction de l'ISS, il faudra effectuer plus de 160 sorties extravéhiculaires. Pour respecter le calendrier de construction, il faut établir un protocole de décompression plus efficace.

L'intolérance orthostatique est principalement due à une diminution du volume sanguin global et à une réduction des réflexes qui font normalement circuler le sang des jambes vers le haut du corps. La compliance veineuse pourrait peut-être aussi expliquer l'apparition de ces symptômes chez les astronautes. Si un vol spatial augmente la compliance veineuse dans les jambes, l'afflux de sang dans la partie inférieure des jambes augmente, ce qui provoque des symptômes d'intolérance orthostatique.

Description du projet

Il s'agit d'un projet dirigé par la NASA et entrepris en collaboration avec l'ASC, Recherche et Développement pour la défense Canada (RDDC-Toronto), Duke University (Carolina du Nord), et le Hermann Center for Environmental, Aerospace and Industrial Medicine (University of Texas). Le projet porte sur l'essai d'une série de protocoles qui font appel à des séances d'exercices pendant la période de prérespiration d'oxygène pur. La désaturation en azote, c'est-à-dire l'élimination de l'azote dans le système, dépend de l'apport de sang aux tissus. À l'effort, la circulation sanguine s'accélère, ce qui favorise du même coup la désaturation en azote. On peut ainsi réduire sans risque le temps de préparation aux EVA.

Sujets expérimentant le protocole de prérespiration à 4,3 lb/po2 dans le caisson hypobare de RDDC Toronto. (Photo : NASA)



Des équipes de chercheurs, y compris une équipe canadienne dirigée par l'ASC, évaluent présentement divers protocoles de prérespiration qui proposent tous une séance d'exercices de durée et d'intensité différente. Les chercheurs canadiens font l'essai des protocoles à l'aide d'une chambre hypobare de RDDC à Toronto. Les sujets appliquent les protocoles de prérespiration avant d'entrer dans la chambre. À l'intérieur, les sujets sont exposés aux mêmes variations de pression atmosphérique que subissent les astronautes durant une sortie extravéhiculaire. On leur demande ensuite d'effectuer certaines tâches simulant les travaux menés au cours d'une EVA.

Résultats

L'utilisation d'un des protocoles mis à l'essai a été approuvée pour les astronautes qui portent la combinaison spatiale américaine EMU (pour EVA Mobility Unit) et qui empruntent le sas de l'ISS pour sortir dans l'espace. Les astronautes équipés de la combinaison russe Orlan n'appliqueront pas ce protocole en raison de différences de pressurisation de la combinaison Orlan. Des travaux sont en cours pour élaborer des protocoles et plus efficaces de réduction des risques associés au mal de décompression pour les futures EVA.