



Comité Régional Côte d'Azur

Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins
Fondée en 1955, Membre fondateur de la confédération mondiale des activités subaquatiques



Contenu des connaissances en physique dans le cursus fédéral.

Mémoire d'admission au collège des instructeurs régionaux

Rédigé sous la direction de



MEDALIN Pierre, Instructeur National
LEFEVRE Raymond - GAVORRY Claude, Instructeur National
par
Ludovic Savariello.

Ce Mémoire est disponible sur le site de la CTR à L'URL suivant:

<http://ctr.crca.free.fr/cadres/ir.html>

contenu
des connaissances en physique
dans le cursus fédéral

$$TN2 = T0 + Tf \times (1 - \exp(-t/D))$$
$$TN2 = T0 + Tf \times (1 - \exp(-t/D))$$



N1 ?

N2 ?

N3 ?

N4 ?

$$\sin i / \text{Cair} = \sin r / \text{Ceau}$$

PHYSIQUE

Remerciements

Merci avant tout à Pierre Médalin pour ses conseils et son support pour la rédaction de ce mémoire.

Merci à Dominique Ricou, Raymond Lefèvre et Claude Gavorry pour leurs relectures.

Sommaire

I) INTRODUCTION	5
II) PLACE DE LA THÉORIE DANS L'ENSEIGNEMENT DE L'ACTIVITÉ SPORTIVE	6
1. OBJECTIFS.....	6
A. La prévention des accidents.....	6
B. Amélioration de la technique personnelle.....	6
2. LES PRATIQUANTS.....	8
A. Où se trouvent les pratiquants ?.....	8
B. Le plongeur français est-il diplômé ?.....	8
C. Profils socio-culturels et attentes des plongeurs.....	9
3. COMMENT TROUVER LES LIMITES DU CONTENU ?.....	10
A. Les consignes fédérales.....	10
B. Les objectifs finaux de formation.....	11
C. Les faiblesses de l'enseignement théorique.....	12
III) PRESSION ET FORCES	13
IV) COMPRESSIBILITÉ DES GAZ	17
1. MISE AU POINT SUR LE PHÉNOMÈNE PHYSIQUE	17
2. CONTENU ET LIMITES DANS LE CURSUS FÉDÉRAL	18
V) LA FLOTTABILITÉ	23
1. MISE AU POINT SUR LE PHÉNOMÈNE PHYSIQUE	23
2. CONTENU ET LIMITES DANS LE CURSUS FÉDÉRAL.....	24
VI) LA DIFFUSION DES GAZ	26
1. MISE AU POINT SUR LE PHÉNOMÈNE PHYSIQUE	26
A. Un équilibre.....	26
B. Statique d'un équilibre liquide / gaz.....	26
C. La tension.....	27
D. Limitation de la loi de Henry.....	27
E. Etude cinétique d'Haldane.....	27
F. La désaturation critique.....	27
G. Les autres modèles.....	28
2. CONTENU ET LIMITES DANS LE CURSUS FÉDÉRAL.....	30
VII) L'ACOUSTIQUE SOUS-MARINE	34
1. MISE AU POINT SUR LE PHÉNOMÈNE PHYSIQUE	34
2. CONTENU ET LIMITES DANS LE CURSUS FÉDÉRAL	37
VIII) LA PROPAGATION DU SPECTRE LUMINEUX	39
1. MISE AU POINT SUR LE PHÉNOMÈNE PHYSIQUE.....	39
A. Propagation.....	39
B. Absorption de la lumière.....	39
C. Réflexion et réfraction.....	39
2. CONTENU ET LIMITES DANS LE CURSUS FÉDÉRAL.....	41
IX) LES ÉCHANGES THERMIQUES	43
1. MISE AU POINT SUR LE PHÉNOMÈNE PHYSIQUE	43
2. CONTENU ET LIMITES DANS LE CURSUS FÉDÉRAL	44
X) CONCLUSION	47
Références bibliographiques	48

D) Introduction

Enseigner la physique à un plongeur semble à priori chose facile : le phénomène est connu, la démonstration et la mise en évidence sont maîtrisées et l'application à la plongée est évidente pour un moniteur.

Néanmoins, malgré d'apparentes facilités, la tâche est moins aisée au regard de l'évolution de la population de personnes venant aujourd'hui à la plongée. Dans une société de consommation des loisirs de pleine nature, comment former le plongeur à ses prérogatives sans le noyer sous une masse d'informations (comble de tout, dispensées en salle) ?

L'objectif de ce rapport est d'essayer d'approcher les connaissances théoriques en physique comme un contenu minimal utile pour la pratique. Avant d'exposer les limites de ce contenu dans le cursus fédéral pour des plongeurs du N0 au N4, une brève étude expose la problématique de l'enseignement de la théorie dans une activité sportive et établit le profil des pratiquants. De plus, cette analyse permet de juger de l'adéquation entre le contenu des cours dispensés, les objectifs de ces cours vis à vis des contraintes légales relatives aux prérogatives et les attentes des pratiquants.

II) Place de la théorie dans l'enseignement de l'activité sportive.

1. Objectifs

La plongée sous-marine est riche en cours théoriques. Il suffit de regarder sur le marché du livre, le nombre croissant de parutions sur cette activité (une moyenne de 10 livres par an). Cette spécificité se retrouve, essentiellement, sur des pratiques sportives dites à risques et de plein air (souvent allant de pair !). C'est ainsi un principe de base pour des sports comme le parachutisme, l'alpinisme, le parapente, le nautisme. Diminuer le risque, revient à rendre le pratiquant plus responsable c'est à dire apte techniquement. L'adaptation à un milieu comme la mer ou la montagne constitue un paramètre supplémentaire d'adaptation, faculté qui nécessite la connaissance !

Ainsi, les cours visant à donner des connaissances théoriques aux plongeurs de différents niveaux ont les finalités suivantes :

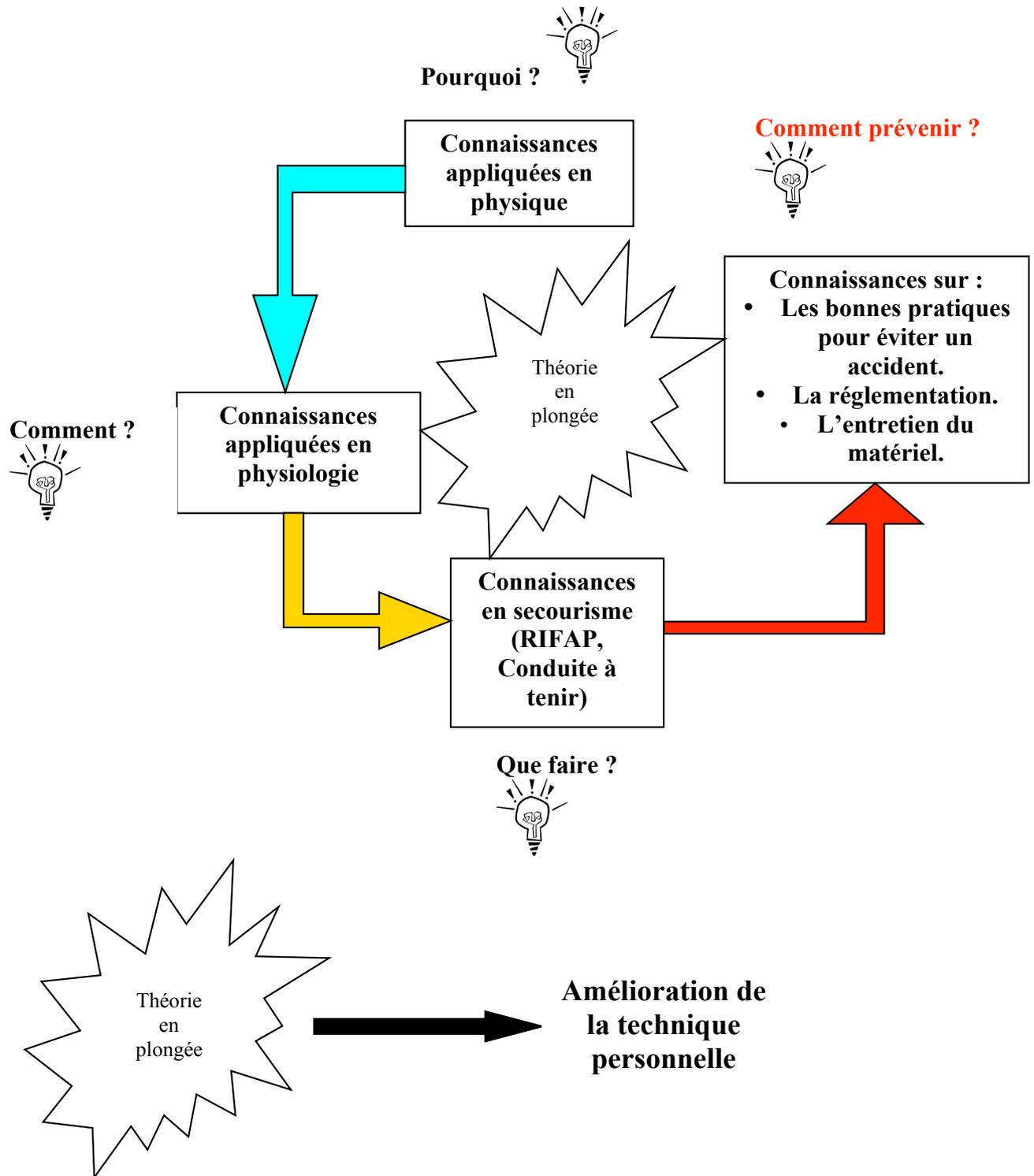
A. La prévention des accidents.

La diminution du risque d'accidents passe par la prévention. **Ainsi, l'objectif primordial de l'enseignement théorique repose sur la prévention des accidents.** Cette dernière est efficace si le pratiquant comprend au préalable pourquoi un accident apparaît (connaissances en physique), comment évolue-t-il (connaissances en physiologie), que faire (connaissances en secourisme) et enfin comment le prévenir (Voir schéma « Théorie en plongée » page 7).

B. Amélioration de la technique personnelle.

La connaissance de la physique d'un milieu particulier comme le monde subaquatique permet de développer l'apprentissage. Savoir, par exemple, que les variations de volumes sont les plus importantes entre 0 et 10 m permet d'anticiper sa fréquence de purge pour une remontée contrôlée au gilet. « **La connaissance théorique permet d'optimiser la représentation mentale du geste sportif. La représentation mentale assume de toute évidence une position clé puisque ses fonctions sont de direction (« image idéale »), de programmation, d'entraînement et de régulation** » (source : « apprentissage psychomoteur » d'Arturo Hotz aux éditions Vigot collection sport + enseignement).

Utilité de la théorie en plongée



2. Les pratiquants

L'enseignement sportif dans toute discipline doit en permanence s'adapter aux pratiquants. De plus, la dynamique d'évolution de notre société de consommation accentue la vitesse du changement. Il paraît donc intéressant de regarder précisément le profil des plongeurs et analyser leurs attentes. L'idée est d'adapter l'enseignement de la plongée aux spécificités des pratiquants tout en gardant, comme objectif final, une formation donnant les compétences nécessaires au respect des conditions de pratique imposées par l'arrêté du 22 Juin 1998.

A. Où se trouvent les pratiquants ?

Source : enquête « La plongée dans les régions » - Plongée magazine n°52 – Octobre / Novembre 2002.

L'analyse donnée ci-après se base sur un « classement établi sur la base de la proportion de licences délivrées dans les régions fédérales, par rapport au nombre total de licences délivrées en métropole en 2001 (145371) ».

En regardant « le nombre total de licences délivrées en métropole en 2001 (145371) », l'analyse du lieu de délivrance permet de « constater que **l'ensemble des régions de l'intérieur (sans façade maritime) ou peu privilégiées pour la plongée (ouvertes sur la Manche) représente plus de 52 % des licenciés métropolitains** et 49 % de l'ensemble des licences. »

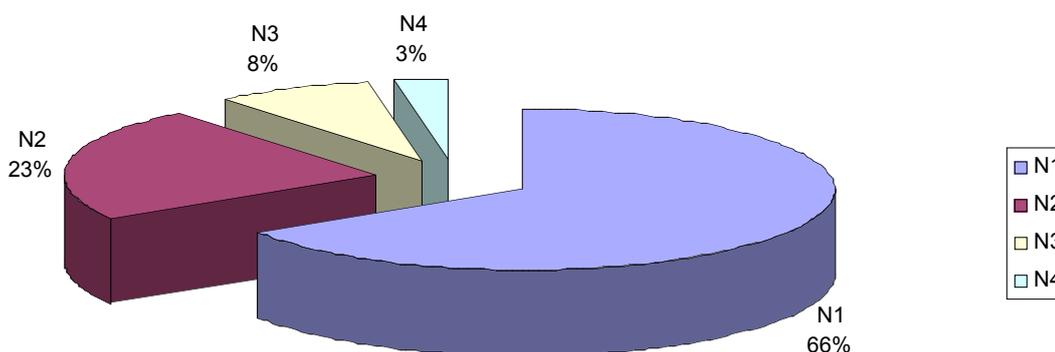
Occuper des plongeurs en piscine pendant une période allant de Septembre à Juin est une tâche pédagogique difficile. La tentation est grande de surdimensionner l'enseignement théorique mais il faut garder à l'esprit que le nombre de licenciés est en baisse constante depuis 2001 et qu'il existe, chaque année, au sein de la FFESSM un turn-over important de licenciés.

B. Le plongeur français est-il diplômé ?

Source : Plongée magazine n°44 – Juin / Juillet 2002.

« Avec plus de 60000 brevets de Niveau 1 à 4 délivrés en 2000 (toute organisation confondue), la formation se porte plutôt bien en France. Si on ajoute une estimation des brevets délivrés par les organismes nord-américains ou européens (PADI, NAUI, SSI, VDTL, BSAC...) ainsi que les brevets de plongeurs aux mélanges (IANTD, TDI, NAUI,...), on peut estimer à près de 75000, le nombre de brevets délivrés chaque année. »

« Les statistiques de la FFESSM sont très fournies et fiables depuis la systématisation de la délivrance de la carte double-face FFESSM / CMAS. Elles sont donc très intéressantes à exploiter. Ainsi, le chiffre total de brevets (43178) peut être rapproché de celui de 153000 licenciés : **environ 28 % des plongeurs de la FFESSM sont brevetés dans l'année.** Bien sûr, la plupart des autres licenciés sont déjà brevetés lors des années précédentes. Si l'on s'intéresse aux seuls brevets N1 délivrés chaque année, ils représentent près de 19 % du nombre total de licenciés. **La relative stabilité d'une année sur l'autre de ces chiffres démontre bien que des plongeurs viennent à la fédération pour se former, puis ne se licencient plus l'année suivante.** Ils sont remplacés par d'autres nouveaux plongeurs. » Le pic de formation de 7400 brevets N1 au mois d'Août montre aussi que ceux sont des vacanciers découvrant une nouvelle activité de pleine nature.



Ce graphique montre d'une part que **le pratiquant « consommateur d'activités de pleine nature » se contente en majeure partie des prérogatives d'un N1**. D'autre part, on constate que la progression générale des brevets fédéraux de plongeurs est de forme pyramidale (au plus on monte dans les niveaux au moins il y a de plongeurs). Cette caractéristique se retrouve dans tous les organismes. Néanmoins, il existe une différence notable chez PADI sur la progression du premier niveau de plongeur (Open Water Diver) vers le deuxième (Advanced Diver). Cette progression est quasiment linéaire (48,3 % d'Open Water Diver en France pour l'année 2000 pour 43,3 % d'Advanced Diver). **Cet organisme réussit donc à fidéliser de manière beaucoup plus efficace que la FFESSM les plongeurs durant leurs premières étapes de leur progression.**

C. Profils socio-culturels et attentes des plongeurs

Source : Plongée magazine n°36 – Février / Mars 2000.

Le plongeur d'aujourd'hui est avant tout un consommateur de loisirs. Une étude INSEE de 2003 a montré que malgré une morosité actuelle due au contexte économique, les Français préfèrent se priver dans leur vie quotidienne plutôt que de sacrifier leurs loisirs. Le plongeur est donc avant tout un consommateur de plusieurs activités de pleine nature. La moyenne des plongées effectuées dans l'année en milieu naturel est inférieure à 10 ! **Le pratiquant souhaite découvrir cette activité avec une formation adaptée et courte**. Le souhait de pouvoir voyager par la suite et découvrir d'autres espaces est de plus en plus présent.

En effet, 15 % des plongeurs voyagent et la proportion des pratiquants ayant un bagage technique minimal ne cesse d'augmenter. La durée moyenne d'un séjour étant d'une semaine, la formation se fait généralement avant le départ en voyage. La majorité des plongeurs-voyageurs sont issus d'un milieu socio-professionnel moyen/supérieur disposant d'un revenu mensuel de 3000 à 4500 euros par ménage et de temps libre. C'est dans la classe des 35-45 ans que se recrutent 75 % de la clientèle, suivis des 45-55 ans puis des 25-35 ans.

La pratique de la plongée est donc plus facile à faire passer que la théorie en salle (souvent considérée comme un gaspillage de temps libre par les pratiquants).

Les cours ne doivent pas être sacrifiés mais optimisés et directement exploitables pour la pratique.

« Les cours théoriques en salle » se transforment alors en « cours en salle afin d'améliorer la pratique ». La démarche est différente !

3. Comment trouver les limites du contenu ?

Pour trouver les limites du contenu, le moniteur peut, tout d'abord, s'aider des consignes fédérales. Néanmoins, sa méthode pédagogique doit, aussi, lui permettre de trouver les limites du contenu en fonction des objectifs finaux de formation. Enfin, prendre conscience des faiblesses de l'enseignement théorique permet, aussi, de tendre vers une certaine optimisation.

A. Les consignes fédérales

La liberté pédagogique, donnée par les contenus de formation, paraît naturelle dans la mesure où une approche par objectifs a été adoptée. Néanmoins, les limites du contenu à enseigner sont parfois clairement spécifiées dans le manuel du moniteur de la FFESSM :



- **Principes des barotraumatismes** : « aucune analyse des mécanismes n'est exigible ».
- **L'essoufflement** : « idem ».
- **Le principe de l'accident de décompression** : « aucune recherche de mécanisme....savoir que l'ADD est dû à la dissolution du N2 sous pression ».



« Notions physiques simples permettant de comprendre les effets du milieu, les principes de fonctionnement du matériel, l'autonomie en air, la flottabilité. Rester à des problèmes de physique correspondant à une pratique de niveau 2 ».



Aucune connaissance physique spécifiée en plus du N2.

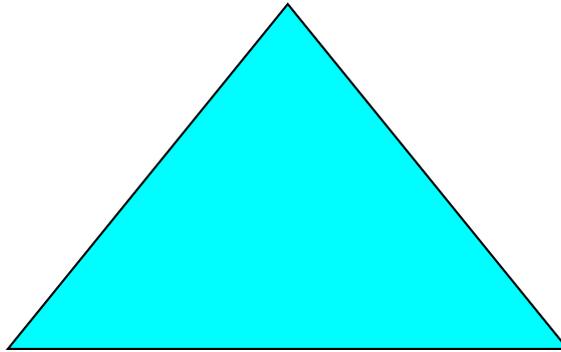


- **Flottabilité** : « Poids réel, poids apparent, problèmes de relevage en association avec la loi de Mariotte, densité et masse volumique. Problèmes chiffrés simples avec des résultats qui tombent juste. »
- **Compressibilité des gaz** « $PV=nRT$ est hors sujet. Se limiter à des problèmes dont les données chiffrées sont simples. »
- **Pression partielle** : « toxicité des gaz, notions sommaires sur les Nitrox. Les mélanges ternaires ou binaires autres que les Nitrox n'ont pas à être traités. »
- **Dissolution** : « Connaissance du modèle de compartiment. Connaissance très succincte de l'existence d'autres modèles : diffusion, bulles circulantes...Les calculs se limiteront à des périodes entières, la maîtrise de la formule exponentielle est hors sujet, de même que le calcul de la durée du palier ».
- **Optique et acoustique** : « Aucune formule trigonométrique n'est pas au programme »(programme = contenu de formation).

B. Les objectifs finaux de formation

L'objectif de la formation est d'amener le plongeur aux compétences requises et nécessaires pour disposer des prérogatives données par son niveau (suivant l'arrêté du 22 Juin 1998). Les objectifs finaux de formation donnent donc un contenu opérationnel de la théorie. En deux mots, nous ne parlons plus de cours théoriques mais plutôt de cours en salle pour améliorer sa pratique.

**PREROGATIVES DU PLONGEUR DONNEES
PAR L'ARRÊTE DU 22 JUIN 1998**



Objectifs finaux de formation

Sachant que les objectifs finaux de formation reposent sur les prérogatives du plongeur, la théorie est là pour améliorer la pratique et prévenir des accidents de plongée.

La démarche d'enseignement des connaissances théoriques doit être axée sur du contenu de compréhension.

En effet, toutes les formules et applications numériques n'ont pas grande utilité si le plongeur est capable de les reproduire sans aucune analyse.

La vulgarisation de la physique et l'utilisation de formules permettent avant tout de faire **comprendre au plongeur un phénomène physique de manière quantitative (avec des chiffres)**.

Ce contenu de compréhension n'est qu'une étape intermédiaire dans l'enseignement.

Ainsi, ce contenu de compréhension doit apprendre au plongeur à avoir un comportement. Le savoir entraîne le savoir-faire.

C. Les faiblesses de l'enseignement théorique

 *Un contenu théorique mal amené et non exploitable en plongée*

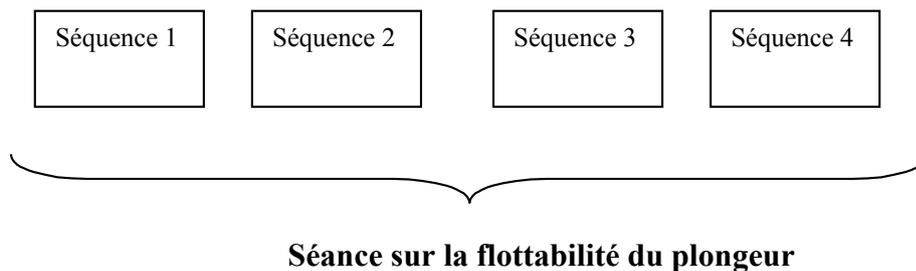
Aujourd'hui encore, l'enseignement théorique est dispensé en plongée de façon trop scolaire. Tout d'abord, certains cours sont entièrement consacrés à des lois physiques avec, en fin de séance, les applications à la plongée. Cette méthodologie présente bien entendu des avantages : des cours pouvant être facilement fractionnés. Néanmoins, la population des pratiquants étant très hétérogène (cadres, artisans, professions libérales, adolescents), la démarche de partir de la théorie pour expliquer la pratique est naturelle uniquement pour des personnes ayant un niveau scolaire minimum (niveau bac pour la plupart du temps). Le reste des pratiquants dispose plutôt de facilités de compréhension en partant de la pratique pour ensuite comprendre un phénomène physique. **Ainsi, dispenser un cours de plongée en l'axant sur la pratique de la plongée avec un apport en notions de physique et anatomie a l'avantage d'intéresser tous les pratiquants ayant en commun le même objectif : plonger.**

Un cours sur la flottabilité en plongée au N4 intéressera tous les stagiaires. A contrario, un cours sur le principe d'Archimède ennuiera l'artisan, fera sourire le scientifique, fera fuir l'adolescent ayant l'impression de réviser le bac !

 *Une sous exploitation des outils pédagogiques*

Le cours au tableau n'est pas l'unique façon d'aborder un cours en salle. Les méthodes programmées (découvertes en utilisant du matériel), les différents support de communication (vidéo, transparents, présentation Power Point) sont autant d'outils permettant à la fois de rendre le cours plus intéressant mais aussi plus vivant.

Un cours devrait donc être plutôt une séance composée de plusieurs séquences. Ces séquences peuvent être amenées à des moments différents de la formation.



III) Pression et forces

Niveaux	Objectif final de formation	Profils du plongeur	Contenu	Moyen de communication et d'enseignement de la connaissance théorique	Contenu évaluable
Baptêmes	Transformer le baptême en une expérience agréable à minima. Favoriser l'adhésion à cette activité.	Enfant de 8 à 18 ans. Adultes de tout âge.	Force : néant. Pression : L'explication est utilisée pour faire comprendre la manœuvre de Vasalva. : « l'eau exerce donc une pression sur les oreilles et sur le masque. »	Discussion informelle sur site.	Aucune évaluation directe. La bonne compréhension du Vasalva est simplement demandée à ce niveau
N1	Etre capable de plonger dans la zone des 20 mètres, encadré, et en palanquée.	Enfant de 12 à 18 ans et adultes. Personnes découvrant une activité nouvelle et très souvent, pour la première fois, une activité sportive nécessitant des cours théoriques.	<u>Force</u> : explication en donnant des exemples simples (pousser une porte, appuyer sur un bâton de ski). L'enseignement doit rester dans le cadre de référence du plongeur enfant ou adulte. <u>Pression</u> : Là aussi des exemples du quotidien doivent servir à expliquer ce phénomène physique tout en restant dans le cadre de référence du pratiquant (enfants : une trace de pas dans la neige, des adultes : la pression des pneus...). La description d'une force permet ENSUITE de comprendre ce qu'est une pression. L'explication de la pression avec la pression atmosphérique n'est pas toujours chose facile car on est souvent bien loin du cadre de référence des pratiquants (certes le bulletin météo donne cette grandeur mais ce qui est souvent retenu à ce sujet c'est la couleur du ciel !!!). Savoir que la pression augmente d'un bar tous les 10 m en plongée. Le calcul de la colonne d'eau est très	Discussion informelle sur site de plongée à minima. Pas de moyens pédagogiques spécifiques si l'enseignement reste simple.	L'unité d'une force n'est pas à évaluer. Connaître la différence entre une force et une pression Savoir qu'une pression s'exprime en bar et que 1 bar représente une pression de 1 kg sur une surface de 1 cm ² (Vulgarisation utile pour la compréhension) Savoir calculer une pression totale (en bar uniquement) pour une profondeur donnée. Exemple d'évaluation : « Peux-tu me dire quelle pression d'air te délivre ton détendeur à 20 m ? »

			loin de ce que l'on peut attendre d'un N1 (sauf si le pratiquant en formule la demande !).		
N2	Sur accord du directeur de plongée, être capable de plonger en autonomie dans la zone des 20 m et être capable de plonger encadré en palanquée dans la zone des 40 m.	Enfants de 16 à 18 ans et adultes. Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus rapidement possible une autonomie (relative en club).	<p>Force : savoir qu'une force a un sens et une intensité. Connaître aussi le résultat lorsque deux forces s'opposent. Ces notions élémentaires permettent de comprendre par la suite le fonctionnement d'un détendeur.</p> <p>Pression : L'élève doit être informé qu'il existe d'autres unités de pression (Pascal, mmHg).</p> <p>La notion supplémentaire par rapport au niveau 1 est celle de la pression partielle. Cette notion est essentielle pour comprendre les accidents toxiques. La connaissance à assimiler est la suivante : les gaz dans un mélange ont chacun une contribution sur la pression totale. Cette contribution dépend de la proportion de ces derniers.</p> <p>Dans la mesure où les quantités de gaz ne peuvent pas être calculées, la pression partielle est un outil permettant UNIQUEMENT d'avoir des explications chiffrées.</p> <p>Ainsi, la fameuse formule $P_p = P_{abs} \times \%$ n'est qu'un outil parmi d'autres pour la compréhension de ce phénomène. Un schéma explicatif est parfois aussi explicite pour des personnes « étanches » à toutes formules mathématiques !</p>	<p>Ces explications sont abordées graphiquement (sur un tableau)</p> <p>Discussion informelle</p> <p>Ces explications sont abordées graphiquement (en salle).</p> <p>La notion de pression partielle étant abstraite, les canaux auditifs et visuels sont un minimum pédagogique !</p>	<p>L'unité d'une force n'est pas à évaluer, ni la représentation graphique de sa résultante.</p> <p>La connaissance des autres unités de pression ne doit pas être évaluée.</p> <p>La connaissance de la formule $P_p = P_{abs} \times \%$ ne doit pas être évaluée. L'élève est donc uniquement évaluable sur sa connaissance des profondeurs seuil pour la narcose.</p> <p>Exemple d'évaluation :</p> <p>«Quelle est la profondeur limite au delà de laquelle les effets de la narcose sont certains ? Pourquoi cette profondeur ? »</p>

<p>N3</p>	<p>Organiser une sortie plongée avec 2 autres personnes du même niveau et être capable de plonger en autonomie jusqu'à 60 m.</p>	<p>Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus rapidement possible une autonomie réelle et incontestable.</p>	<p>Force : rien de plus qu'au niveau 2.</p> <p>Pression : explication des équivalences entre bar, Hecto pascal et mmHg.</p> <p>Objectif : comprendre et analyser un bulletin météo ainsi qu'estimer les incidences sur la décompression d'une plongée en altitude.</p> <p>Pression partielle : pas de nouveau contenu.</p>	<p>Explications en salle.</p>	<p>L'élève doit comprendre de manière quantitative la différence des plongées qu'il va réaliser en tant que N3 (N2 : 3 bars – N3 : pressions allant jusqu'à 7 bars). Les conséquences sur la narcose et l'essoufflement doivent en découler.</p> <p>L'élève doit connaître parfaitement les profondeurs limites de plongée pour la narcose et la toxicité de l'O₂. Il doit pouvoir retrouver les valeurs de Pp par l'utilisation de la formule.</p>
<p>N4</p>	<p>Etre capable d'encadrer une palanquée de 4 N1 à 20 m et 4 N2 à 40 m.</p>	<p>Adultes souhaitant entrer dans l'encadrement.</p>	<p>Force : donner l'unité en Newtons. Connaître la différence entre l'application de forces et sa résultante. Savoir représenter graphiquement une force par son intensité et son sens. La connaissance plus poussée d'une force permet :</p> <p>* Dans un premier temps, de comprendre plus facilement les pannes de matériel et les moyens parfois simples d'y remédier (usures par frottements, compression de ressort, compensation...) * Dans un deuxième temps de maîtriser cette connaissance pour ensuite</p>	<p>Explications graphiques</p>	<p>La compréhension est évaluée uniquement sur la description du fonctionnement du matériel.</p>

			<p>la simplifier dans un enseignement futur en tant que MF1.</p> <p>Pression : idem N3 + calcul de la pression atmosphérique en altitude (inférieur à 5000 m).</p> <p>Exemple de contenu à apporter : « diminution de 0.1 bar tous les 1000 m ». Le parallèle est donc fait de manière quantitative avec la pression de l'eau « 1 bar tous les 10 m ».</p> <p>Pression partielle : idem N3.</p>	<p>Explications graphiques</p>	<p>Idem N3</p> <p>+</p> <p>Le N4 doit comprendre l'influence de l'altitude avec la décompression (applications sur les cabines dépressurisées des avions mais aussi sur la modification de la décompression lors d'une plongée en altitude).</p>
--	--	--	---	--------------------------------	--

IV) Compressibilité des gaz

1. Mise au point sur le phénomène physique

L'état d'un gaz au repos dépend de ses constituants mais aussi du volume qu'il occupe, de la pression qu'il exerce et de sa température. La loi qui relie entre elles les variables P, V et T est appelée équation d'état. Elle n'a été appréhendée que très progressivement.

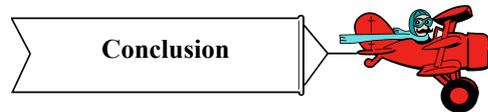
* Mariotte en 1676, Boyle un peu avant, trouvèrent que $PV=Cte$.

* Charles en 1798 trouva que $P/T=cte$.

* Gay Lussac en 1802 trouva que $V/T=Cte$.

Enfin, les trois variables furent liées par $PV=KT$. Cette formule est aussi appelée, parfois improprement, loi de Mariotte alors qu'il n'en a été que co-constructeur.

L'affaire n'en restera pas là. En faisant un balayage expérimental sur un plus grand domaine de valeurs, Van-De-Walls s'aperçut que les points s'éloignaient progressivement de la courbe $PV=KT$. Il proposa, en 1873, une équation qui collait plus longtemps à la réalité mais beaucoup plus compliquée. Néanmoins, aux fortes pressions, les valeurs recommencèrent à ne plus cadrer exactement. D'autres formules, de plus en plus compliquées par des termes correctifs apparurent. Mais finalement aucune formule ne couvre exactement tout le domaine exploitable.



La formule $PV=Cte$ sert simplement à appréhender un phénomène physique en plongée mais en aucune façon à estimer quoi que ce soit (sauf pour un gaz parfait, que l'air n'est pas !).

2. Contenu et limites dans le cursus fédéral

Niveaux	Objectif final de formation	Profils du plongeur	Contenu	Moyen de communication et d'enseignement de la connaissance théorique	Contenu évaluable
Baptême	Transformer le baptême en une expérience agréable à minima. Favoriser l'adhésion à cette activité	Enfant de 8 à 18 ans. Adultes de tout âge.	La notion peut être abordée sous une forme très simplifiée afin d'éviter toute distension pulmonaire (à la remontée, l'air présent dans les poumons augmente de volume)	Communication informelle sur le pont du bateau	La notion de physique n'est pas évaluable mais uniquement la connaissance du comportement à avoir : ne jamais bloquer sa respiration à la remontée
N1	Etre capable de plonger dans la zone des 20 mètres, encadré, et en palanquée.	Enfant de 12 à 18 ans et adultes. Personnes découvrant une activité nouvelle et très souvent, pour la première fois, une activité sportive nécessitant des cours théoriques.	La formule $PV=Cte$ ainsi que le nom et l'énoncé de la loi ne sont pas utiles. Le phénomène physique peut être abordé de manière quantitative : « lorsque la pression augmente le volume diminue ou inversement ».	Communication informelle	Le plongeur doit savoir que les barotraumatismes sont causés par la variation de volumes de certaines cavités physiologiques. Le N1 doit aussi savoir que ces variations de volumes sont les plus importantes entre 0 et 10 m. Enfin, le N1 doit savoir que la compressibilité des gaz intervient sur la modification de sa flottabilité
N2	Sur accord du directeur de plongée, être capable de plonger en autonomie dans la zone des 20 m et être	Enfants de 16 à 18 ans et adultes. Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de	Les notions données au N1 permettent de comprendre les effets du milieu. Le N2 doit, en plus, maîtriser son autonomie en air et optimiser la prévention des accidents . Pour cela : <ul style="list-style-type: none"> Il doit connaître l'influence de la température sur la compressibilité des 	Informations graphiques	Savoir que lorsque la température baisse, la pression baisse.

	<p>capable de plonger encadré en palanquée dans la zone des 40 m.</p>	<p>profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus rapidement possible une autonomie (relative en club).</p>	<p>gaz.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il doit connaître la consommation d'un plongeur. • Il doit avoir vu un calcul de consommation avec pour objectif une prise de conscience d'un temps « typique » de plongée en autonomie dans la zone des 20 mètres. • Il doit avoir vu l'incidence de la compressibilité des gaz sur son corps de manière quantitative (calcul de distension pulmonaire entre 10 m et la surface) 		<p>Savoir que la consommation moyenne d'un plongeur est de 20 l/min en surface et que cette dernière est proportionnelle à la pression</p> <p>Expliquer quelle est la durée typique d'une plongée en autonomie à 20 m et la différence avec une plongée profonde (en termes de bouteille de plongée et de durée de plongée).</p> <p>La définition, l'énoncé ainsi que le nom de la loi ne sont pas des connaissances à évaluer</p> <p>Le N2 doit savoir que la zone des 10 m est dangereuse pour la surpression pulmonaire ; Il devra donc être particulièrement vigilant dès le début de son stage de formation.</p> <p>Le N2 doit comprendre que l'arrivée en surface est une phase critique de la décompression. Il doit aussi savoir ralentir considérablement sa vitesse de remontée dans cette zone.</p>
--	---	---	---	--	--

<p>N3</p>	<p>Organiser une sortie plongée avec 2 autres personnes du même niveau et être capable de plonger en autonomie jusqu'à 60 m.</p>	<p>Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus rapidement possible une autonomie réelle et incontestable.</p>	<p>Le contenu est identique à celui du N2 mais on demande cette fois ci de savoir utiliser la formule $PV=CTE$</p> <p>Le contenu peut être apporté de la manière suivante : « quel que soit l'état, le produit PV donne toujours le même résultat »</p> <p>Révision de l'incidence de la compressibilité des gaz sur son corps de manière quantitative (calcul de distension pulmonaire entre 10 m et la surface, utilité des vitesses variables durant la remontée).</p>	<p>Informations graphiques en salle</p> <p>Informations graphiques en salle</p>	<p>Le N3 doit savoir utiliser de manière opérationnelle la formule $PV=CTe$ afin de pouvoir :</p> <p>* Choisir la capacité de sa bouteille en fonction de la plongée grâce à une estimation de sa consommation. Le N3 doit comprendre de manière quantitative la différence entre une plongée à 40 m (effectuée en tant que N2) et une plongée à 60 m (effectuée en tant que N3).</p> <p>* Planifier sa plongée en termes de consommation en air et donc de changer sa valeur de réserve (passer de 50 bars à 80 bars pour une plongée à 60 m par exemple). L'énoncé de la loi ainsi que son nom ne sont pas des connaissances évaluables</p> <p>Même évaluation qu'au N2.</p>
-----------	--	--	--	---	--

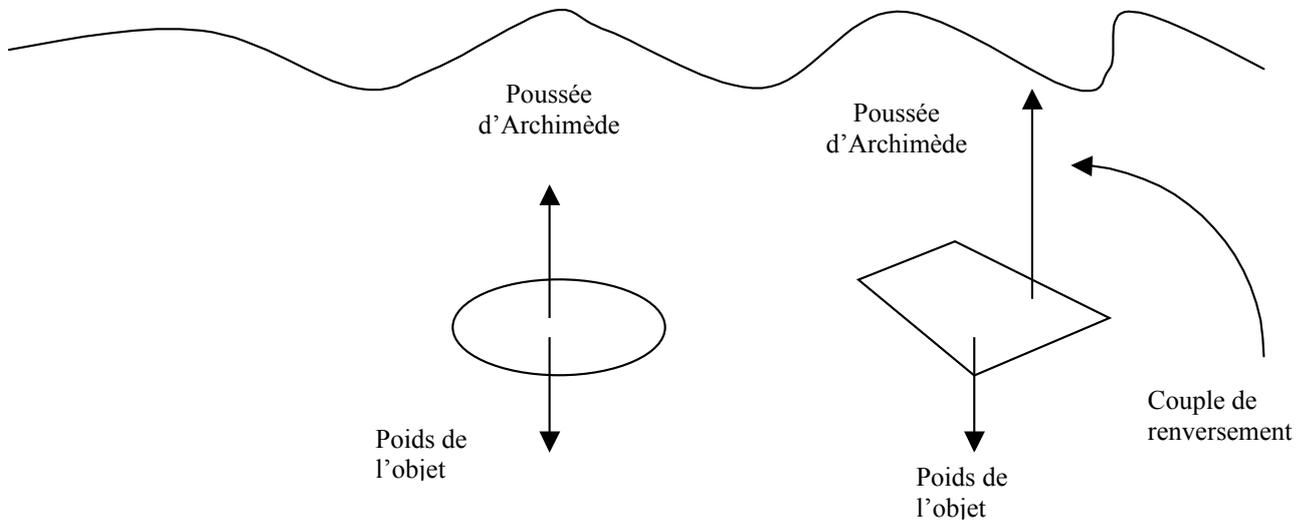
<p>N4</p>	<p>Etre capable d'encadrer une palanquée de 4 N1 à 20 m et 4 N2 à 40 m.</p>	<p>Adultes souhaitant entrer dans l'encadrement.</p>	<p>Loi de Charles : influence de la température sur la pression $P1/P2=T1/T2$</p> <p>Loi de Boyle Mariotte : $P1V1=Cte$</p> <p>Les problèmes de gonflage à partir de tampons sont abordés. Les applications chiffrées doivent pouvoir se faire sans calculatrice.</p>	<p>Informations graphiques</p>	<p>Le N4 comprend et explique par le calcul la chute de pression d'un bloc du fait d'un contraste thermique. Il sait donner le nom de la loi (connaissances pour rentrer en formation moniteur).</p> <p>Le N4 sait donner le nom et l'énoncé de la loi (connaissances pour rentrer en formation moniteur).</p> <p>ATTENTION : le N4 doit savoir que ces connaissances font partie d'un savoir, acquis pour le monitorat.</p> <p>La relation $PV=nRT$ est hors sujet.</p> <p>Le N4 doit savoir utiliser de manière opérationnelle la formule $PV=Cte$ afin de pouvoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> * Choisir la capacité des bouteilles de sa palanquée en fonction de la plongée * Vérifier la planification de la plongée donnée par le Directeur de Plongée en termes de consommation en air. <p>Le N4 sait effectuer un problème de gonflage d'UNE bouteille de plongée à partir de</p>
-----------	---	--	---	--------------------------------	---

			<p>Donner les incidences de la compressibilité des gaz sur la conduite de la palanquée et sur la prévention des accidents. Contenu amené de manière quantitative (calcul de distension pulmonaire entre 10 m et la surface, utilité des vitesses variables durant la remontée).</p>	<p>Informations graphiques</p>	<p>2 ou 3 tampons. L'objectif est de comprendre la méthode de gonflage.</p> <p>Le N4 doit connaître les moyens matériel à mettre en place et le comportement à adopter pour éviter tous accidents liés à la compressibilité des gaz/</p> <p>Exemple d'évaluation : « Expliquer pourquoi la zone des 0-10 m est tout particulièrement dangereuse pour les plongeurs N1. Donner les moyens matériels ainsi que votre comportement de guide de palanquée pour éviter tout accident ».</p>
--	--	--	---	--------------------------------	---

V) La flottabilité

1. Mise au point sur le phénomène physique

Le théorème d'Archimède est assez simple à comprendre. Néanmoins, il convient de distinguer la résultante des forces de gravité et la résultante des forces de poussée.



Le centre de poussée correspond à la résultante des forces exercées par l'eau sur l'objet immergé. Le centre de poussée se situe au même endroit que le centre de gravité du volume d'eau équivalent. Par conséquent, en changeant de milieu (mer Méditerranée, mer Rouge), l'intensité de la poussée va changer mais pas le lieu d'application du centre de poussée.

Le centre de gravité de l'objet dépend de sa constitution et donc de sa masse.

La résultante des deux forces va créer un couple stable ou instable. Typiquement, nous constatons cela avec une stab gonflée en surface, la position allongée sur le dos est stable, la position droite est instable (sans effort de palmage).

2. Contenu et limites dans le cursus fédéral

Niveaux	Objectif final de formation	Profils du plongeur	Contenu	Moyen de communication et d'enseignement de la connaissance théorique	Contenu évaluable
B a p t ê m e s	Transformer le baptême en une expérience agréable à minima. Favoriser l'adhésion à cette activité	Enfant de 8 à 18 ans. Adultes de tout âge.	La notion de flottabilité sert à justifier la présence d'une ceinture de plombs et de la différence de poids de la bouteille de plongée sur terre et sous l'eau.	Communication informelle	Aucune évaluation nécessaire. Le phénomène physique de la poussée d'Archimède ne doit pas être abordé.
N1	Etre capable de plonger dans la zone des 20 mètres, encadré, et en palanquée.	Enfant de 12 à 18 ans et adultes. Personnes découvrant une activité nouvelle et très souvent, pour la première fois, une activité sportive nécessitant des cours théoriques.	La flottabilité est abordée sans donnée la formule basée sur le principe d'Archimède. A ce niveau, il suffit de décrire les éléments faisant varier la flottabilité par variations de : <ul style="list-style-type: none"> • Volume : gilet, stab, poumon ballast, combinaison. • Poids : lestage, poids de la bouteille 	Communication informelle	Le N1 doit connaître les éléments faisant varier sa flottabilité. Il doit par la même occasion savoir comment ajuster son lestage (de manière qualitative ce qui veut dire savoir s'il faut augmenter ou diminuer le lestage).
N2	Sur accord du directeur de plongée, être capable de plonger en autonomie dans la zone des 20 m et être capable de plonger encadré en palanquée dans la zone des 40 m.	Enfants de 16 à 18 ans et adultes. Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus rapidement possible une autonomie (relative en club).	La flottabilité est cette fois-ci abordée par l'explication du principe d'Archimède. L'exemple donné sera en rapport avec la plongée. La formule Papparent= Poids Réel-Poussée d'Archimède est donnée avec la simplification suivante : Volume d'eau déplacé en litres = Poussée d'Archimède en kg.	Informations graphiques en salle	Alors que le N1 a été informé sur les éléments faisant varier sa flottabilité, le N2 doit être capable de restituer ces connaissances pour les rendre opérationnelles pour lui et ses coéquipiers (différence entre un bloc 12 l court et long, différence entre une combinaison 3 mm et 5 mm,) mais aussi de quantifier la

					quantité d'air mise dans un gilet pour une remontée de 20 m avec sa fréquence de purge (connaissance couplée avec la compressibilité des gaz).
N3	Organiser une sortie plongée avec 2 autres personnes du même niveau et être capable de plonger en autonomie jusqu'à 60 m.	Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus rapidement possible une autonomie réelle et incontestable.	Pas de connaissances supplémentaires par rapport au N2		Vérification des acquis + applications sur des plongées profondes.
N4	Etre capable d'encadrer une palanquée de 4 N1 à 20 m et 4 N2 à 40 m.	Adultes souhaitant entrer dans l'encadrement.	<p>En plus de la relation $P_{apparent} = P_{réel} - P_{poussée}$ d'Archimède, le N4 doit connaître le calcul de la poussée d'Archimède à partir de la densité de l'eau de mer (1,03) et du volume d'eau déplacé.</p> <p>Ces connaissances permettent de pouvoir vérifier la flottabilité d'un plongeur habitué à plonger en lac, en mer tropicale allant vers un autre milieu (mer Méditerranée par exemple).</p>	Informations graphiques	Le N4 doit savoir calculer un problème de changement de flottabilité d'un plongeur durant sa plongée (Utilisation du principe d'Archimède + Boyle Mariotte) grâce à la prise en compte de la consommation en air et donc de la variation de poids de la bouteille de plongée. Les calculs de levage n'ont pas d'intérêt direct pour l'amélioration de sa technique personnelle. Les applications numériques demandées doivent être simples.

VI) La diffusion des gaz

1. Mise au point sur le phénomène physique

La dissolution des gaz dans les liquides est un phénomène physique qui obéit à des règles dont les explications sont attachées aux propriétés moléculaires de la matière. Pour cerner et évaluer le phénomène, il faut donc procéder en deux étapes. D'abord, la première consiste à comprendre ce qu'est un état d'équilibre liquide / gaz. Puis, la seconde explique comment le système peut parvenir à cet équilibre.

A. Un équilibre.

En physique, un état d'équilibre est un état stationnaire. Un système est en équilibre s'il n'échange, ni matière, ni énergie avec l'extérieur, ce qui ne veut pas dire qu'à l'intérieur du système il ne se passe rien. D'où la définition :

Un système est en équilibre si son état est stationnaire, c'est-à-dire pour un mélange gazeux par exemple, si ses paramètres pression, température, etc... sont constants. L'état d'équilibre implique automatiquement que tous les critères fixés par l'expérimentateur restent constants.

En effet, si on chauffe un gaz par exemple, on lui communique de l'extérieur de l'énergie, donc il n'est pas à l'équilibre.

B. Statique d'un équilibre liquide / gaz

La loi démontrée par W. Henry (1801) nous apprend qu'il existe une relation à l'état d'équilibre, donc à **température et à pression constante**, entre les quantités de gaz dissous et leur pression partielle respective exercée sur la surface du liquide.

A l'équilibre, la quantité Q_i du gaz i dissous dans un liquide est proportionnelle à la pression partielle P_{pi} qu'il exerce sur la surface du liquide, indépendamment de la pression absolue.

Son expression mathématique s'écrit :

$$\| \text{Loi de HENRY :} \qquad Q_i = k_{s_i} \cdot P_{pi}$$

Le coefficient de proportionnalité "ks", (qui dépend de la température et du gaz i), représente une constante de dissolution, c'est une valeur propre à chaque couple liquide / gaz, elle est déterminée expérimentalement.



Pourquoi préciser: indépendamment de la pression absolue ?

Pour un même liquide comprimé à des pressions absolues différentes pour différents mélanges de gaz, (tout autre paramètre identique), la quantité dissoute d'un des gaz est la même si sa pression partielle est la même dans les différents mélanges.

C'est la concentration du gaz incriminé qui varie et non la pression absolue.

Par exemple, si la pression absolue du mélange gazeux est doublée et qu'en même temps la pression partielle d'un constituant du mélange gazeux est divisée par deux, la quantité dissoute de ce constituant ne varie pas. C'est l'intérêt du nitrox ou des mélanges utilisés en plongée, pour des pressions absolues plus grandes à profondeur plus élevée, la pression partielle du constituant azote est diminuée ...

C. La tension

La pression partielle particulière qui maintient à l'équilibre un gaz en solution dans un liquide s'appelle la tension. Elle est nommée T_i pour le gaz i .

La tension n'est ni plus ni moins qu'une valeur particulière de la pression partielle : celle de l'état d'équilibre du gaz avec le liquide.

Il est nécessaire de parfaitement comprendre que la tension d'un gaz est une **vue de l'esprit**, c'est un outil mathématique et pédagogique pour exprimer une quantité sous la forme d'une pression en rendant de la sorte le paramètre gaz dissous indépendant de la quantité de liquide.

D. Limitation de la loi de Henry

La loi d'Henry est une loi thermodynamique qui décrit des systèmes en équilibre, donc en état stationnaire, elle ne donne aucun renseignement quant au devenir des gaz et des liquides pendant le passage d'un état d'équilibre dans un autre.

Contrairement à la thermodynamique qui ne se préoccupe que de l'état initial et de l'état final, la cinétique étudie le chemin parcouru entre deux états.

Ainsi, cette loi ne mérite donc pas un cours de 40 minutes.

E. Etude cinétique d'Haldane

Haldane et ses collègues (Boycott) exposèrent des chèvres à une profondeur de 45 pieds (14 m) durant 2 heures puis les décompressèrent rapidement : seules quelques chèvres ressentaient, semblait-il, quelques douleurs. Ils en conclurent donc qu'une différence de pression de plus de 1 Ata pouvait être tolérée. Ils soumièrent, de nouveau, leurs chèvres à des expositions prolongées à une pression de 8 Ata, ils ne remarquèrent aucun symptôme s'ils les décompressaient à 4 Ata. De même, après de longues expositions à 6 Ata, il était tout à fait possible de remonter à 3 Ata, et enfin pour des expositions à 2 Ata, de remonter à la surface. Ils conclurent que, pour des tissus humains, on pouvait écrire mathématiquement que si le rapport de P_1 sur P_2 (avec P_1 = pression d'exposition et P_2 la pression que l'on veut atteindre rapidement) était égal à 2, aucun signe d'ADD n'était à craindre. Ils venaient de découvrir un premier rapport de « sursaturation critique » en dessous duquel aucun symptôme apparent n'était visible...ce qui ne veut pas dire qu'aucune maladie de décompression n'était apparue....

A partir de ce premier constat, Haldane allait proposer un modèle d'échanges de gaz dissous, et fournir des équations représentatives. Il supposa que la concentration de gaz dissous dans tout l'espace tissulaire était uniforme (c'est faux). Il se rallia à l'idée que les échanges entre sang et tissus s'effectuaient seulement par perfusion et que les tissus offraient peu de résistance à la diffusion.

Par conséquent, il n'introduisit pas la diffusion comme paramètre supplémentaire dans sa formule. Pour Haldane, les tensions d'azote dans le tissu et dans le système veineux sont identiques (c'est faux).

De plus, il considéra que les phases de saturation et de désaturation des différents tissus de l'organisme étaient symétriques (c'est faux).

C'est à partir de cette supposition qu'Haldane a écrit l'équation fondamentale de la décompression obtenue par diverses considérations mathématiques hors de propos ici.

Le résultat est donc le suivant :

$$TN2 = T0 + (Tf - T0) * \%$$

Avec TN2 : tension d'azote recherchée dans le compartiment.

T0 : tension d'origine du compartiment.

Tf : Tension finale à 100 % de la dissolution.

% : le pourcentage de saturation correspondant

F. La désaturation critique

Le dégazage spontané peut être provoqué, par exemple, par une chute de la pression du gaz au-dessus d'un liquide. Ce dégazage présente une irrégularité, (c'était trop simple !).

En effet, on observe pour un système sursaturé qu'au-delà d'une limite (limite constante pour un même système pris dans les mêmes conditions), que le dégazage n'obéit plus à la loi, mais à d'autres lois mathématiques discontinues (fractales).

G. Les autres modèles

Concept d'Hempleman

Avec l'évolution des connaissances, vers le milieu 20^{ème} siècle, des critiques apparurent concernant le modèle Haldanien. Elles portaient essentiellement sur deux points :

- Non prise en compte de la résistance mécanique des tissus, et donc oubli des lois de diffusion.
- Non prise en compte de la phase gazeuse non pathogène dans la décompression.

En vue de la préparation des nouvelles tables US Navy 1956, un développement nouveau et intéressant fut introduit par Hempleman en 1952.

Par ailleurs, à l'inverse d'Haldane qui supposait la symétrie entre l'absorption et l'élimination du gaz inerte par le corps, Hempleman considérait que l'élimination du gaz était une fois et demi plus lente que l'absorption. Les nouvelles tables obtenues furent utilisées avec des modifications par le « British Sub Aqua Club » ainsi que d'autres recherches aux Etats Unis.

Modèle de Spencer

Dans les années 70, le Dr Merril Spencer observa, à Washington, la présence de bulles détectées par l'intermédiaire d'un « Doppler » dans le sang des plongeurs après qu'ils aient effectué des plongées n'ayant produit aucun symptôme de décompression.

Plus précisément, cette détection par ultrasons mettait l'accent sur des embolies de gaz veineuses (appelées « nevous gas emboli » ou VGE) et que celles-ci étaient en complète corrélation avec l'apparition de bends. Aucun bend ne se développait sans une détection antérieure de VGE. Le concept actuel des US Navy qui voulait qu'il n'y ait aucun problème lors de la remontée pour un temps illimité passé à 9 mètres était loin d'être confirmé.

Diverses expériences de plongées exécutées en mer démontrèrent une augmentation d'apparition de VGE et de bends sensibles par rapport à celles exécutées en atmosphère sèche (caisson). Ce qui revient à penser qu'une table développée à partir d'un caisson est moins sécurisante qu'une table établie à l'aide d'expérimentations in situ.

Modèle de BR Wienke : modèle de réduction du gradient des bulles (RGBM : Reduced Gradient Bubble Model).

Une approche d'un modèle de décompression, le modèle de réduction du gradient des bulles, fut développée dans les années 90. Il fut introduit dans la théorie de formation des bulles proposée par Yount. Ce qui est différent dans l'algorithme RGBM c'est de mettre au point une perméabilité de bulles en excès jusqu'à ce que le gaz dissous se transforme en bulles à la remontée. Les profils marginaux permis par les tables ont été restreints dans ce modèle. Les points principaux inclus dans cet algorithme sont :

- La réduction du temps de plongée sans palier issue du modèle de la perméabilité variable.
- La réduction de temps de palier dans la zone de 3 à 6 mètres (en réduisant la profondeur de remontée).
- Une vitesse de descente et de remontée de 20 m /mn (ou plus lente).
- Une restriction des plongées répétitives, surtout au delà des 30 mètres (base de la réduction de la perméabilité des bulles en excès).
- La restriction des « pics d'expositions profondes » (ou profil de descente rapide et profonde pendant peu de temps) qui favorise et « excite » la présence des gaz nucléi.
- Restriction de l'activité multi-journalière qui favorise la régénération des nucleus.
- L'élaboration d'une véritable procédure pour les plongées en altitude.

Modèles probabilistes

La mise au point des tables de plongées calculées sur des paramètres déterminés est cependant peu satisfaisante : les statistiques rapportent toujours des accidents qui surviennent malgré le respect des tables de décompression. C'est ainsi qu'en 1980, Berghage relève à partir de la base de données de l'US Navy, des taux d'accidents allant jusqu'à 4,8 % pour des plongées à l'air de 60 minutes à 30 mètres et de 1,25 % pour des plongées avec paliers, toutes profondeurs confondues.

De même, en France, la sécurité des tables GERS 65 ayant été mise en cause à la même époque, Godbarge, en 1979, crée le terme d'accidents « immérités ». Il est vrai qu'en milieu hospitalier Durero (1980) et Wolkiewicz (1982) relèvent un nombre non négligeable d'accidents avec respect des tables.



Toutes ces observations ont démontré à l'évidence que les modèles utilisés ne correspondaient que d'assez loin à la réalité, ne serait-ce qu'en raison des approximations nécessaires à leur établissement et à la difficulté de déterminer les vrais paramètres. C'est pourquoi, à la suite des travaux de conception de la nouvelle table de l'US Navy, il a été admis par la plupart des auteurs que le modèle mathématique n'a que peu d'importance. Ce qui compte, c'est l'étude statistique du risque. L'accident de décompression est alors considéré comme un événement aléatoire inéluctable. L'étude d'une base de données est la seule réaliste sur laquelle se fonder pour en déterminer ses caractères.

2. Contenu et limites dans le cursus fédéral

Niveaux	Objectif final de formation	Profils du plongeur	Contenu	Moyen de communication et d'enseignement de la connaissance théorique	Contenu évaluable
Baptêmes	Transformer le baptême en une expérience agréable à minima. Favoriser l'adhésion à cette activité	Enfant de 8 à 18 ans. Adultes de tout âge.	Le contenu sert simplement à rassurer : « le baptême est une plongée à petite profondeur qui permet de s'affranchir des problèmes de paliers ».	Oral	Aucun
N1	Etre capable de plonger dans la zone des 20 mètres, encadré, et en palanquée.	Enfant de 12 à 18 ans et adultes. Personnes découvrant une activité nouvelle et très souvent, pour la première fois, une activité sportive nécessitant des cours théoriques.	Principe de dissolution de l'azote : explication simple avec comparaison avec le cadre de référence du pratiquant (bouteille d'eau gazeuse...).	Communication informelle	Savoir que l'ADD est dû à la dissolution de l'azote sous pression. Savoir que l'état plongeur dure 12 h (comportement après une successive, avion...). Connaître la courbe de sécurité dans la l'espace médian (zone d'évolution du N1).
N2	Sur accord du directeur de plongée, être capable de plonger en autonomie dans la zone des 20 m et être capable de plonger encadré en palanquée dans la zone des 40 m.	Enfants de 16 à 18 ans et adultes. Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus	Loi de Henry : Une explication simple peut être réalisée en utilisant un plongeur dans les différents états de saturation, sursaturation et sursaturation critique. Présentation des facteurs favorisant de la dissolution. Présentation de la notion de tension.	Communication graphique	Le N2 doit connaître les différents états de saturation avec l'incidence sur l'accident de décompression. Grâce à ces connaissances, il doit connaître l'importance des protocoles de décompression (vitesse et paliers).

		rapidement possible une autonomie (relative en club).			Le N2 doit pouvoir associer les facteurs favorisant de la dissolution aux moyens de prévention de l'ADD. La connaissance de l'énoncé de la loi est inutile.
N3	Organiser une sortie plongée avec 2 autres personnes du même niveau et être capable de plonger en autonomie jusqu'à 60 m.	Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus rapidement possible une autonomie réelle et incontestable.	<p>Loi de Henry : les facteurs favorisants de la dissolution d'Azote sont repris au N3. Cette fois-ci, ces derniers doivent être corrélés à une organisation de plongée afin de prévenir l'ADD.</p> <p>Relativiser la corrélation : apparition des bulles dans les liquides = ADD avec le principe des bulles circulantes.</p> <p>Haldane : Explications des notions de période, compartiment, gradient, coefficient de sursaturation critique, GPS. Ces notions permettent alors d'expliquer le principe des procédures de décompression.</p> <p>* Tables MN90 : Explications avec Haldane d'une plongée consécutive et successive.</p> <p>* Ordinateur : le principe de fonctionnement, leurs limites sur le calcul de la décompression. La démonstration et l'utilisation de la formule utilisée pour le calcul de la tension d'azote sont inutiles.</p>	<p>Communication informelle</p> <p>Communications graphiques</p>	<p>Le N3 doit savoir adapter l'organisation de la plongée et sa planification afin de prévenir un ADD. Les facteurs de dissolution de la loi d'Henry doivent être corrélés à cette organisation.</p> <p>Le N3 doit connaître les éléments pour choisir une procédure de décompression.</p> <p>Exemple d'évaluation : déchiffrer les termes donnés dans une notice d'utilisation d'un ordinateur de plongée.</p> <p>Le N3 doit être capable de planifier une plongée avec cohabitation de différentes procédures de décompression.</p> <p>La connaissance de l'énoncé de la loi est inutile.</p>

N4	Etre capable d'encadrer une palanquée de 4 N1 à 20 m et 4 N2 à 40 m.	Adultes souhaitant entrer dans l'encadrement.	<p>Loi de Henry : Connaissances N3 + les facteurs favorisant de la dissolution d'Azote sont repris au N4. Cette fois-ci, ces derniers doivent être corrélés à une conduite de palanquée afin de prévenir l'ADD.</p> <p>Relativiser la corrélation : apparition des bulles dans les liquides = ADD avec le principe des bulles circulantes.</p>	Communications graphiques	<p>Connaissances N3</p> <p>La connaissance de l'énoncé de la loi est inutile.</p> <p>Par contre, le N4 doit connaître les facteurs favorisant de dissolution de l'azote et faire la corrélation avec un comportement de guide palanquée.</p> <p>Exemple d'évaluation : Utilité du mouillage en termes de prévention des accidents lors de la conduite d'une palanquée.</p>
			<p>Haldane : Connaissances N3 + Historique de la conception des tables. Présentation de la formule pour le calcul de la tension d'azote. ATTENTION, toutes les équations du type $TN_2 = T_0 + \text{Gradient} * (1 - \exp(-t/\delta))$ sont à proscrire !</p> <p>La formule la plus pédagogique est $TN_2 = TN_2 \text{ initiale} + \text{Gradient} * \%$. Une méthodologie de calcul par étapes doit être donnée. Par exemple :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Calcul de la tension initiale à saturation avant plongée. 2) Calcul de la tension finale à saturation en plongée. 3) Calcul du gradient 4) Calcul du pourcentage selon le temps de plongée (multiple de la période utilisée pour le calcul, pas plus de 4 périodes). <p>Présentation du coefficient de sursaturation critique et</p>	Communications graphiques	<p>Connaissances N3 +</p> <p>Savoir calculer une tension d'azote sur, au maximum, 4 périodes entières.</p> <p>Utilisation du Sc, calcul de la profondeur d'un palier pour un compartiment.</p> <p>Avec ce calcul, le N4 doit alors pouvoir expliquer pourquoi le plongeur fait des paliers courts relativement au temps de désaturation total (l'organisme tolère une variation de pression d'un</p>

			<p>l'origine de sa détermination expérimentale mais aussi les marges de sécurité prises sur ces valeurs pour les ordinateurs de plongée.</p> <p>Par le calcul, le N4 doit prendre conscience :</p> <ul style="list-style-type: none"> * De l'importance de la vitesse de remontée tout comme les paliers. * Du fonctionnement d'un ordinateur de plongée et de ses limites. * Des limites d'utilisation d'une table. * De l'organisation d'une plongée avec cohabitation de plusieurs procédures de décompression. <p>Description d'autres modèles (bulles circulantes, diffusion...). Présentation de l'importance croissante des analyses statistiques pour la réalisation d'une table.</p>		<p>rapport 2).</p> <p>La formule exponentielle est hors sujet ainsi que le calcul de la durée des paliers.</p>
--	--	--	---	--	---

VII) L'acoustique sous-marine

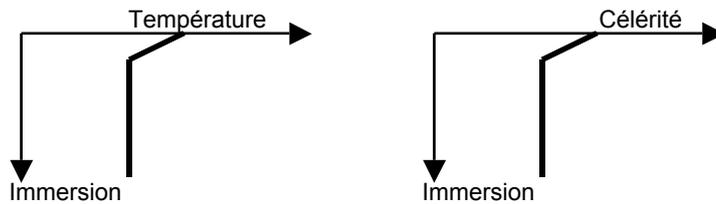
1. Mise au point sur le phénomène physique

Pour simplifier, nous considérons que la mer se présente comme :

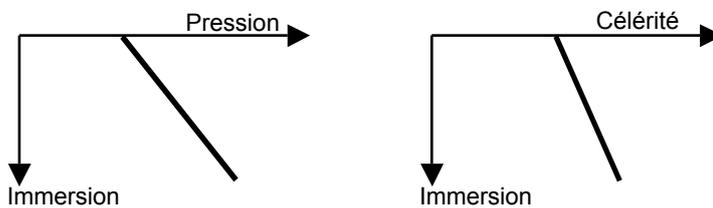
- * Un milieu stratifié en vertical (axe de l'immersion) et
- * Homogène en horizontal (axe des distances)

La CÉLÉRITÉ (Vitesse du son dans l'eau) varie selon l'immersion, car elle dépend de

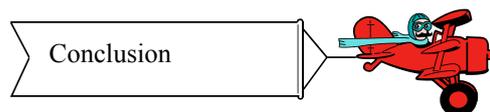
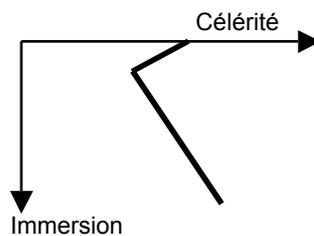
La température



La pression

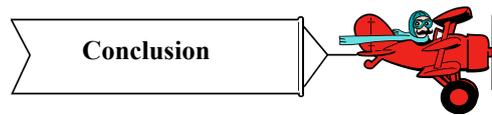
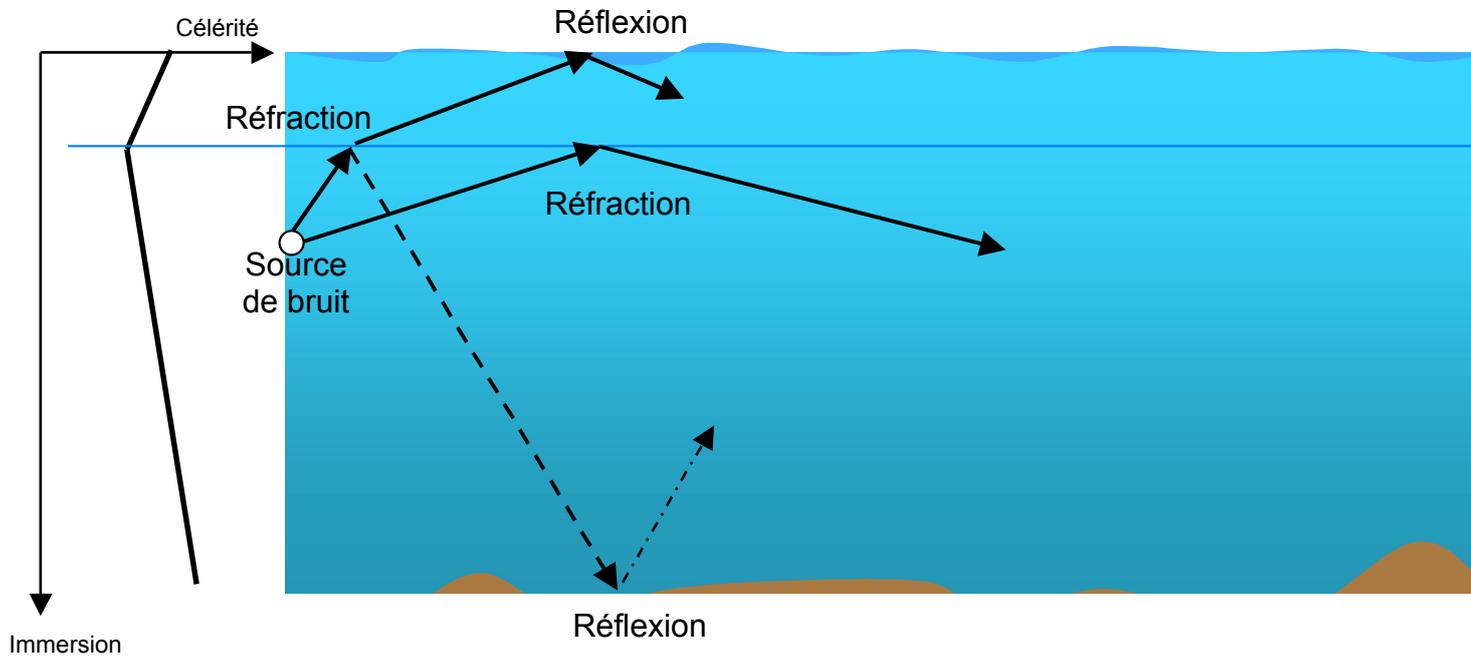


Soit au TOTAL

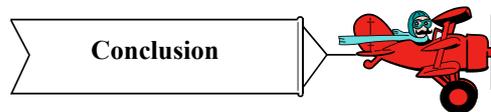
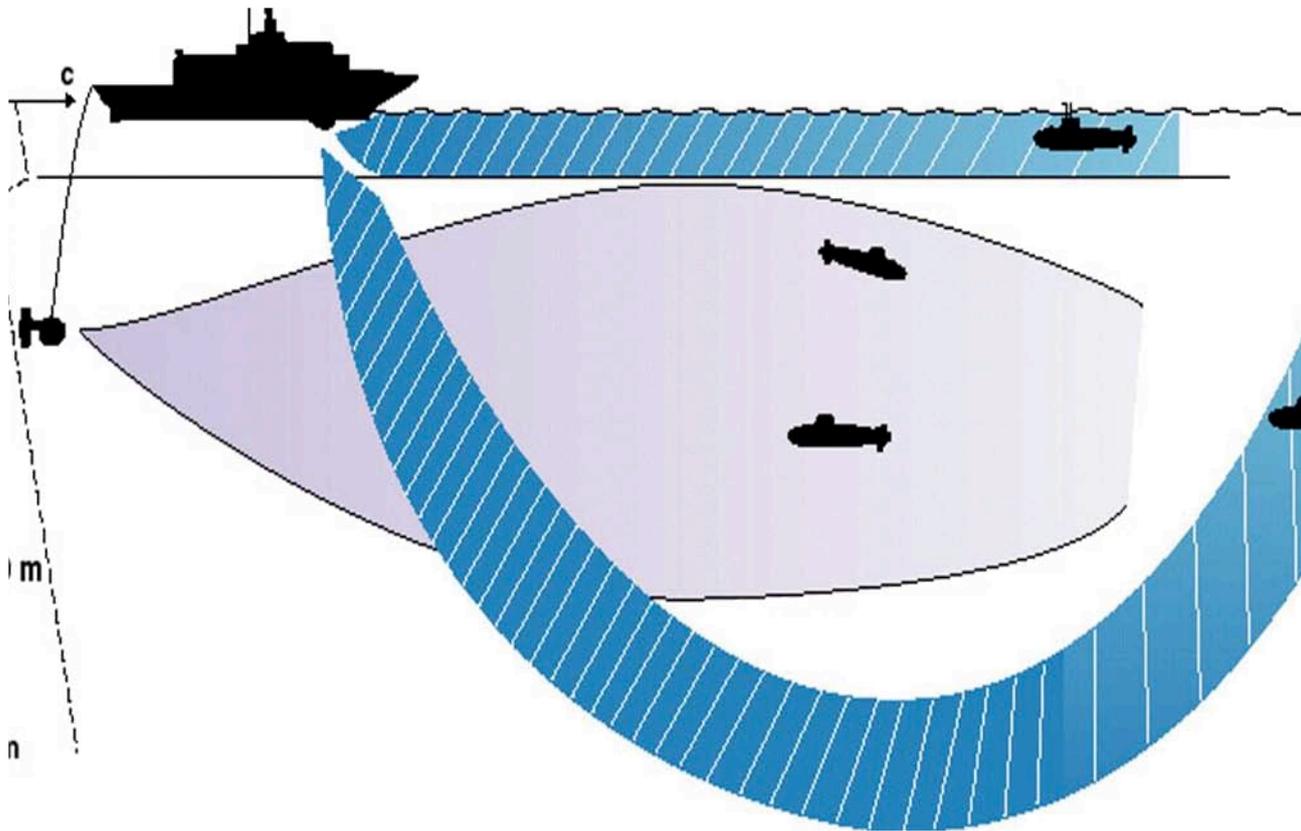


La vitesse de propagation du son dans l'eau n'est pas constante. La valeur de 1500 m/s est uniquement une moyenne.

La propagation des ondes acoustiques dépend de la Célérité et obéit en première approximation à la loi de DESCARTES



Un plongeur proche de la surface ne peut pas trouver la direction d'un navire uniquement par le son.



Les ondes acoustiques ne se propagent pas en lignes droites, le plongeur est dans l'impossibilité d'interpréter ou d'analyser une quelconque direction

2. Contenu et limites dans le cursus fédéral

Niveaux	Objectif final de formation	Profils du plongeur	Contenu	Moyen de communication et d'enseignement de la connaissance théorique	Contenu évaluable
B a p t ê m e s	Transformer le baptême en une expérience agréable à minima. Favoriser l'adhésion à cette activité	Enfant de 8 à 18 ans. Adultes de tout âge.	Aucun		
N1	Etre capable de plonger dans la zone des 20 mètres, et en palanquée.	Enfant de 12 à 18 ans et adultes. Personnes découvrant une activité nouvelle et très souvent, pour la première fois, une activité sportive nécessitant des cours théoriques.	Aucune notion de vitesse de propagation à communiquer. L'information devant être passée repose uniquement sur le fait que les sons se propagent plus vite dans l'eau que dans l'air.	Communication informelle	Aucun
N2	Sur accord du directeur de plongée, être capable de plonger en autonomie dans la zone des 20 m et être capable de plonger encadré dans la zone des 40 m.	Enfants de 16 à 18 ans et adultes. Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus rapidement possible une autonomie (relative en club).	La vitesse de propagation ne doit pas nécessairement être communiquée. Il suffit d'informer le plongeur sur le fait que les sons se propagent 5 fois plus vite dans l'eau que dans l'air. L'information capitale à communiquer repose sur le fait qu'un son n'est pas repérable sous l'eau pour diverses raisons (le son ne se déplace pas en lignes droites, phénomènes de réflexion en surface).	Communication informelle	Le plongeur N2 doit connaître le comportement à adopter lors d'une plongée en autonomie avec détection d'un bruit en surface. Le plongeur N2 doit aussi connaître le caractère destructif d'un pétard de rappel.

<p>N3</p>	<p>Organiser une sortie plongée avec 2 autres personnes du même niveau et être capable de plonger en autonomie jusqu'à 60 m.</p>	<p>Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus rapidement possible une autonomie réelle et incontestable.</p>	<p>Pas de connaissances supplémentaires par rapport au N2</p>	<p>Communication informelle</p>	<p>Idem N2</p>
<p>N4</p>	<p>Etre capable d'encadrer une palanquée de 4 N1 à 20 m et 4 N2 à 40 m.</p>	<p>Adultes souhaitant entrer dans l'encadrement.</p>	<p>La vitesse de propagation moyenne est donnée comme information au N4.</p> <p>Les moyens de production de bruits pour la cohésion de la palanquée sont vus à ce niveau.</p> <p>La différence de perception des sons en fonction de leur niveau sonore et de leur fréquence. Un bruit métallique d'un couteau sur une bouteille est plus perceptible qu'un cri dans un détendeur. Le son produit par un gros navire se propage plus loin qu'une petite embarcation à moteur. La différence est perceptible à l'oreille (gros moteur = bruit grave, période lente / petite embarcation = bruit aigu et période courte)</p>	<p>Communication informelle</p>	<p>Le N4 doit savoir comment :</p> <ul style="list-style-type: none"> * Se comporter en encadrement lors de l'arrivée en surface avec une détection d'un bruit s'apparentant à celui d'un moteur. * Connaître comment produire un bruit facilement détectable par la palanquée (bruit métallique, alarme sonore branchée sur la MP du détendeur). * Connaître aussi l'aspect destructif es bruits (pétards de rappel, explosions sous marines).

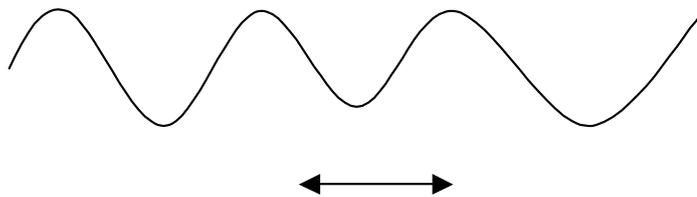
VIII) La propagation du spectre lumineux

1. Mise au point sur le phénomène physique.

A. Propagation

Contrairement au son, la lumière (= les ondes électromagnétiques) ont leurs propres transporteurs, les photons, particules d'énergie dépourvues de masse. Leurs déplacements, à l'inverse du son, sont gênés par la foule. C'est dans le vide qu'ils sont les plus rapides. Ils sont ralentis par les gaz et s'enlissent plus ou moins dans les liquides ou les solides lorsqu'ils y pénètrent. Dans le vide, les ondes électromagnétiques ont toutes la même vitesse : 299792458 m/s. C'est d'ailleurs ainsi qu'est défini officiellement le mètre à partir de la seconde. Cette constante universelle sera arrondie à 300000 Km/s.

La lumière occupe une plage très étroite dans l'éventail des ondes (rayons X, infrarouges, ondes hertziennes...). Le balayage de cette plage visible par l'homme donne les couleurs :



Longueur d'onde d'une onde électromagnétique =
distance entre deux bosses ou deux creux successifs

Couleur rouge : longueur d'onde comprise entre 610 et $750 \cdot 0,000000001$ mètres !

Couleur orange : entre 590 et $610 \cdot 0,000000001$ mètres.

Couleur jaune : entre 570 et $590 \cdot 0,000000001$ mètres.

Couleur vert : entre 500 et $570 \cdot 0,000000001$ mètres.

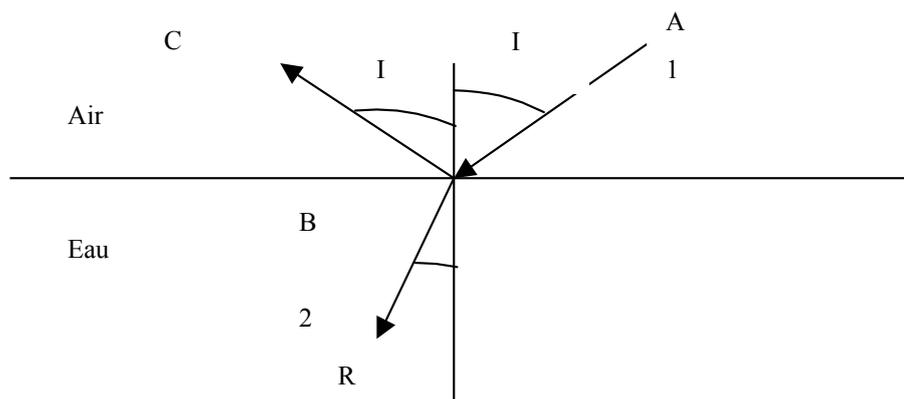
Couleur bleu : entre 450 et $500 \cdot 0,000000001$ mètres.

Couleur violet : entre 400 et $450 \cdot 0,000000001$ mètres.

B. Absorption de la lumière

Plus la longueur d'onde est grande, plus la couleur va disparaître au fur et à mesure de sa pénétration dans l'eau. Dans le spectre des couleurs, le rouge disparaît donc le premier.

C. Réflexion et réfraction

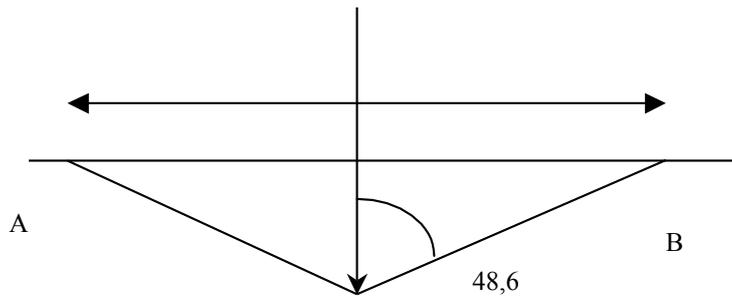


Un pinceau lumineux incident A rencontrant la surface (dioptré) d'un liquide ou solide peut donner lieu à un pinceau réfracté B et un pinceau réfléchi C. Les corps laissant passer B sont dits translucides. Dans le cas contraire (réflexion seule), ils sont dits opaques à la lumière. Le trajet d'un point air (1) à un point eau (2) ne se fait pas en ligne droite. Les photons choisissent la voie la plus rapide. Pour ce faire, ils allongent le trajet dans l'air, leur vitesse y étant plus grande (Vitesse dans l'eau = (3/4) Vitesse dans l'air) !

La relation de Snel - Descartes donne donc : $\sin I/C1 = \sin R/C2$

Avec C1 et C2, les vitesses de la lumière dans l'air et dans l'eau
Et I et R, les angles incident et réfléchi.

$C_{eau} = (3/4) C_{air}$



L'angle de réfraction limite est alors donné pour $i_{\text{maxi}} = 90^\circ$ soit $R_{\text{max}} = 48,6^\circ$. Donc proche d'un bateau, je pourrai voir ce dernier s'il se situe dans une périphérie matérialisée par cet angle (sur le schéma la périphérie est délimitée par l'intérieur du cercle de diamètre AB). Je distinguerai les gens penchés au bastingage. A l'extérieure de cette périphérie (donc au-delà de $48,6^\circ$), la surface sera un miroir réfléchissant. Je pourrai y voir éventuellement uniquement la partie immergée du bateau comme la quille, l'hélice.



Si la température d'un fluide augmente, la vitesse moyenne de ses molécules augmente aussi.

L'encombrement accru rencontré par les photons porteurs de lumière influera sur leur vitesse et par-là sur l'indice de réfraction. $\sin i = n \sin r$ montre que si n varie, r varie donc la position de l'image. A des variations de température correspondront des fluctuations de l'image. On détecte donc parfois à travers le masque des zones où l'eau semble tremblotante : c'est la marque du courant froid.

2. Contenu et limites dans le cursus fédéral

Niveaux	Objectif final de formation	Profils du plongeur	Contenu	Moyen de communication et d'enseignement de la connaissance théorique	Contenu évaluable
B a p t ê m e s	Transformer le baptême en une expérience agréable à minima. Favoriser l'adhésion à cette activité	Enfant de 8 à 18 ans. Adultes de tout âge.	Aucun		
N1	Etre capable de plonger dans la zone des 20 mètres, encadré, et en palanquée.	Enfant de 12 à 18 ans et adultes. Personnes découvrant une activité nouvelle et très souvent, pour la première fois, une activité sportive nécessitant des cours théoriques.	Information communiquée de manière extrêmement simpliste : les couleurs disparaissent les unes après les autres avec la profondeur. Il reste au final plus que le bleu et ensuite le noir. Un phare ou une lampe permettent de rétablir ces couleurs. Vision avec un masque : explication simple : la différence de milieu entre l'air du masque et l'eau fait office de loupe. Les objets semblent donc plus près (3/4 de la distance réelle) et plus gros (1/4 de leur taille en plus).	Communication informelle	Aucun
N2	Sur accord du directeur de plongée, être capable de plonger en autonomie dans la zone des 20 m et être capable de plonger encadré en palanquée dans la zone des 40 m.	Enfants de 16 à 18 ans et adultes. Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus rapidement possible une autonomie	Notions d'absorption avec la disparition des couleurs suivant la profondeur. Ceci permet de comprendre la différence de milieu entre une plongée dans l'espace médian et une plongée dans l'espace lointain. Notions simples sur la réfraction, la réflexion et la diffusion (aucune loi, aucune démonstration, le phénomène est simplement décrit).	Information graphique	Le plongeur N2 doit savoir comment se manifeste visuellement une thermocline et l'utiliser comme un élément visuel lors de sa conduite de plongée en autonomie. Le N2 doit connaître les limites de son orientation

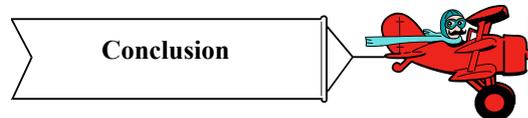
		(relative en club).	Corrélation de ces informations avec la vision sous l'eau (taille et distance des objets).		visuelle proche de la surface (bateau déformé, bateau disparaissant du reflet lorsqu'on s'en approche...).
N3	Organiser une sortie plongée avec 2 autres personnes du même niveau et être capable de plonger en autonomie jusqu'à 60 m.	Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus rapidement possible une autonomie réelle et incontestable.	Idem N2 + Informations rendues opérationnelles dans l'organisation de la plongée	Communication informelle	Le N3 doit savoir qu'une lampe permet de rétablir les couleurs lors des plongées profondes. Le N3 doit aussi savoir que lors d'une plongée de nuit le retour au mouillage est facilité par l'immersion d'une lampe à éclat au mouillage entre 3 m et 6 m plutôt qu'en surface ou sur le bateau (en rapport avec la réflexion).
N4	Etre capable d'encadrer une palanquée de 4 N1 à 20 m et 4 N2 à 40 m.	Adultes souhaitant entrer dans l'encadrement.	Idem N3 + Information sur la loi de Descartes (sans démonstration et utilisation des sinus). Explication simple de l'angle limite de réfraction.	Information graphique	Idem N3 + Connaissance de la valeur de l'angle de réflexion limite (la minute de degré n'est pas demandée !). Connaître les pièges de l'orientation visuelle proche de la surface vis à vis de l'angle de réflexion limite

IX) Les échanges thermiques

1. Mise au point sur le phénomène physique

Les différents échanges thermiques sont :

- **La conduction** : transmission de proche en proche par contact.
- **La convection** : La chaleur fait varier les volumes (loi de Gay Lussac). La densité diminuant, le gaz le plus chaud monte (Archimède). La convection est donc la transmission de chaleur par déplacement sous l'action de la température : l'air froid tombe, l'air chaud monte. Ce phénomène est très limité en plongée et pas équivalent à une combinaison trop grande avec une circulation d'eau. Dans ce cas, l'eau circule parce que la combinaison est grande et non par déplacement sous l'effet de la température ! Par contre, un plongeur, au soleil, sur le pont d'un bateau élimine les calories « déchets » produits par les muscles dans un premier temps par conduction à travers la peau puis par convection et rayonnement en surface.
- **Rayonnement** : propagation sous forme d'ondes électromagnétiques émises par un corps chauffé (les infrarouges sont photographiables !).



En plongée, la plus grande perte calorifique se fait par conduction mais aussi par évaporation de l'eau lors de l'expiration (phénomène amplifié par la source froide d'air issue de la détente au niveau du 2^{ème} étage).

2. Contenu et limites dans le cursus fédéral

Niveaux	Objectif final de formation	Profils du plongeur	Contenu	Moyen de communication et d'enseignement de la connaissance théorique	Contenu évaluable
B a p t ê m e s	Transformer le baptême en une expérience agréable à minima. Favoriser l'adhésion à cette activité	Enfant de 8 à 18 ans. Adultes de tout âge.	Très simpliste : justification du port de la combinaison.	Communication informelle	Aucun
N1	Etre capable de plonger dans la zone des 20 mètres, encadré, et en palanquée.	Enfant de 12 à 18 ans et adultes. Personnes découvrant une activité nouvelle et très souvent, pour la première fois, une activité sportive nécessitant des cours théoriques.	Notion d'équilibre thermique dans l'eau à 33°C. Le principe du refroidissement du plongeur repose aussi sur le fait que l'air respiré est à la température de l'eau.	Communication informelle	Le N1 comprend que l'épaisseur de sa combinaison doit être adaptée à la température de l'eau et la durée de sa plongée. Le N1 comprend que même si l'eau semble chaude, une protection adaptée est nécessaire pour une température du milieu inférieure à 33 °C.
N2	Sur accord du directeur de plongée, être capable de plonger en autonomie dans la zone des 20 m et être capable de plonger encadré en palanquée dans	Enfants de 16 à 18 ans et adultes. Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus rapidement possible une	Rappel N1 afin de pouvoir rendre ces connaissances opérationnelles	Communication informelle	Le N2 sait adapter, pour lui et ses coéquipiers, l'épaisseur de la combinaison en fonction de la température de l'eau et la durée de la plongée.

	la zone des 40 m.	autonomie (relative en club).			Le N2 connaît les conséquences du froid sur lui même et ses coéquipiers.
N3	Organiser une sortie plongée avec 2 autres personnes du même niveau et être capable de plonger en autonomie jusqu'à 60 m.	Certains souhaitent accéder exclusivement à une zone de profondeur plus importante alors que d'autres souhaitent avoir le plus rapidement possible une autonomie réelle et incontestable.	<p>Phénomène de conduction avec incidence sur la plongée profonde (gradient de température élevé donc perte calorifique importante) et sur la plongée en combinaison étanche en toile.</p> <p>Le phénomène de conduction peut être très bien expliqué avec les exemples ci dessus et donc sans l'utilisation de deux barres d'acier mises en contact ayant respectivement des températures T1 et T2.</p> <p>Phénomène de convection : explication du phénomène physique (important dans l'air moins important en plongée).</p> <p>Importante perte calorifique par évaporation de l'eau dans l'air expiré durant la plongée (phénomène amplifié par la source froide d'air inspiré due à la détente de l'air au niveau du 2^{ème} étage).</p>	Communication informelle	<p>Le N3 doit savoir changer son organisation matérielle (changement de combinaison) et ses paramètres de plongée lors d'une plongée en eau froide.</p> <p>La connaissance des mots conduction et convection n'est pas à restituer.</p> <p>Le N3 doit connaître l'importance de la conduction et de l'évaporation dans la perte calorifique en plongée.</p> <p>Le N3 doit savoir adapter son régime nutritif face aux contraintes du froid.</p>
N4	Etre capable d'encadrer une palanquée de 4 N1 à 20 m et 4 N2 à 40 m.	Adultes souhaitant entrer dans l'encadrement.	<p>Connaissances physiques : idem N3</p> <p>La notion complémentaire de radiation est totalement inutile pour la plongée.</p>	Communication informelle	<p>Idem N3 + Le N4 doit connaître la température d'équilibre thermique dans l'eau.</p> <p>Le N4 doit pouvoir adapter son organisation matérielle pour les plongeurs de sa palanquée (choix d'une</p>

					<p>combinaison) en fonction de la plongée planifiée par le directeur de plongée.</p> <p>Le N4 connaît l'incidence du froid sur le retour veineux.</p> <p>Le N4 sait détecter le 1^{er} stade de l'hypothermie en plongée.</p>
--	--	--	--	--	---

X) CONCLUSION

Au delà de ces connaissances théoriques minimum exploitables directement dans la pratique, il est évident que le moniteur doit être capable d'étayer ses explications afin de pouvoir satisfaire des demandes d'informations complémentaires. Néanmoins, il ne faut pas confondre informations complémentaires et évaluation des connaissances à retenir. Par ailleurs, selon le niveau des informations complémentaires, certains plongeurs peuvent être déroutés par les explications. Par conséquent, une demande individuelle de renseignements complémentaires s'accompagne souvent d'une explication personnelle.

Force est de constater que les plongeurs ne conçoivent plus le Niveau 4 comme l'aboutissement logique et incontournable de leur formation. Sur les 60064 brevets en 2000 (toutes organisations confondues), près du quart seulement des N1 vont au N2, puis un tiers environ des N2 vont au N3 et un dixième au N4.

Majoritairement, les pratiquants sont des débutants et ceux qui veulent continuer ont souvent l'enseignement de la théorie comme source de démotivation.

Continuer à enseigner des cours de physique contribuera à dépeupler de plus en plus notre population de bénévoles. Aujourd'hui, il est important de donner au plongeur ce qu'il attend tout en le formant à ses prérogatives.

Un cours de plongée en salle dans lequel des notions de physiques, de physiologie, de secourisme, de matériel et de réglementation sont dispensées afin d'améliorer la pratique et de prévenir les accidents reste un cours de plongée. Un cours de physique avec ses mises en évidence, démonstrations et en guise de dernier paragraphe « Applications à la plongée » s'en éloigne très fortement.

Références bibliographiques

- « Manuel du moniteur »- FFESSM.
- « Cours opérationnel sonar » – Thales Underwater Systems.
- « Acoustique sous-marine » – JP Marage – Editions Thomson CSF.
- « Les dossiers de CTN » info année 1994 et 1995.
- « Apprentissage psychomoteur » -Arturo Hotz - Editions Vigot collection sport + enseignement.
- « Se former à enseigner » – Patrice Pepel - Editions Dunod.
- « Guide de préparation au N4 » – Paul Villeveille – Editions Gap.
- « Code Vagnon N1 » – Denis Jeant – Editions Vagnon.
- « Code Vagnon N2 » – Denis Jeant – Editions Vagnon.
- « Mémento Vagnon du moniteur de plongée » – Pierre Médalin et Dominique Ricou – Editions du plaisancier.
- « Connaissances théoriques N1 » – Raymond Lefèvre et Richard Vial.
- « Connaissances théoriques N2 » – Raymond Lefèvre et Richard Vial.
- « Connaissances théoriques N3 & N4 » – Raymond Lefèvre et Richard Vial.
- « La physique appliquée à la plongée » – Jean Claude Ripoll – Editions Librairie des plongeurs.
- « Plongée N4 » – Pierre Médalin et Dominique Ricou – Editions du plaisanciers.
- « Importance de la température » - Source d'informations pour la science – Janvier 1995.
- « Thermodynamique chimique » - Monographies du centre d'actualisation scientifique et technique de l'INSA – Editions Masson & Cie
- « Cours de chimie – Licence Es Sciences – Chimie générale – Thermodynamique chimique » - P. Souchay – Editions Masson & Cie