

## Les lois physiques en plongée sous-marine ou comment motiver des élèves littéraires pour les Sciences physiques

par Marie-Claude FEORE,  
Lycée E.-Delacroix, Maisons-Alfort.

---

Le flot de questions posées par les élèves lors de l'étude de la loi de Mariotte nous a amené à réfléchir à une autre forme d'abord de ce sujet dans un contexte les concernant davantage.

Nous avons évoqué avec eux les problèmes causés par son non-respect dans le milieu aquatique. Ceux-ci étaient curieux des nombreuses lois de la physique qui trouvaient une application en plongée sous-marine et des conséquences parfois pénibles qu'elles pouvaient engendrer.

Elèves et professeurs ont réfléchi en fin d'année aux problèmes posés par les activités sub-aquatiques et ont défini les différents cours concernés.

Après quelques contacts avec le monde industriel pendant les mois de juillet et août, nous avons conçu que le projet élaboré avec les élèves pouvait être concrétisé et qu'un Projet d'Action Educative pouvait avoir lieu dans cette classe de Première afin d'aller au-delà des discours classiques.

Une trentaine d'élèves de seconde se sont portées volontaires pour participer à cette expérience. Nous avons donc créé une classe de Première littéraire à option supplémentaire : La Plongée.

Les professeurs ont aimé aussi ce cadre de travail particulier et une équipe pédagogique dans le cadre de l'interdisciplinarité réalisa des cours où plusieurs professeurs intervenaient dans la même plage horaire.

L'idée retenue avait pour support : les activités sub-aquatiques et ce, à travers :

- le cours de Français : la mer et ses poètes ;
- le cours d'Economie et le cours de Géographie :  
étude des problèmes économiques et géographiques de l'exploitation sous-marine : autour du pétrole ;

- le cours de Langues :  
le vocabulaire de la plongée ;
- les cours d'Arts plastiques :  
création d'un logo pour le tee-shirt du lycée,  
la réalisation de dessins humoristiques sur la plongée illustrant  
le cours des divers professeurs ;
- le cours de Sciences naturelles :  
étude des phénomènes physiologiques concernés par la péné-  
tration sub-aquatique ;
- le cours de Mathématiques :  
exploitation et formulation mathématique des résultats expé-  
rimentaux trouvés en Sciences physiques ;
- le cours d'Education physique :  
initiation à la plongée sous-marine donnée par des Moniteurs  
de la Fédération Française d'Etudes et de Sports Sous-Marins  
à la fosse de plongée de Charenton avec la collaboration du  
Club de plongée d'Alfortville ;
- le cours de Sciences physiques :  
un copieux programme : un maximum de travaux pratiques, de  
mise en situation (dans l'eau) ont été créés afin que nos élèves  
prennent conscience des réalités des lois physiques ;
- Etude des lois de physique et de leurs conséquences en  
plongée sous-marine :
  - \* principe fondamental de l'hydrostatique :
    - pression engendrée par une colonne d'eau,
    - pression subie par le plongeur en fonction de la pro-  
fondeur (T.P. à la fosse de 15 m) ;
  - \* principe d'Archimède :
    - notion de poids apparent,
    - le lestage (T.P. fosse de 15 m),
    - utilisation de la bouée ;
  - \* loi de Mariotte :



Fig. 1. — A — 12 m, étude de la compression d'un volume d'air  
(la balle de ping-pong sert de repère).

- observations des bulles lors de leur remontée,
- équilibration des oreilles,
- la surpression pulmonaire (on a évité le T.P.!),
- gonflage des bouteilles ;

\* définition de la pression en fonction de la force et de la surface ;

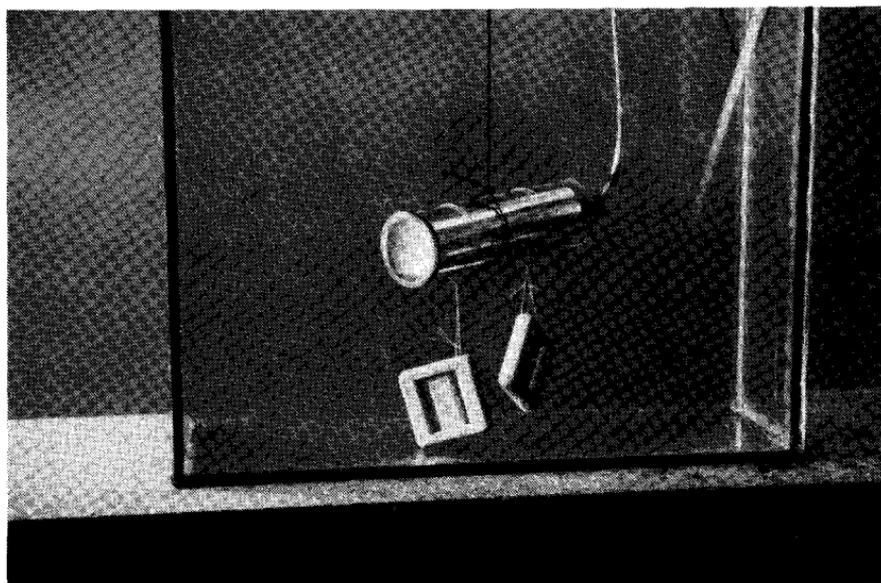
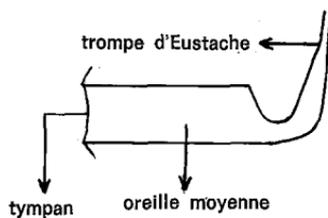


Fig. 2. — Oreille expérimentale immergée dans un aquarium de 1,20 m.



- \* étude du détendeur : appareil permettant de respirer en équipression avec le milieu aquatique ;
- \* construction d'un banc d'essai permettant de faire varier et de régler les divers paramètres du détendeur (tracé de courbes) ;

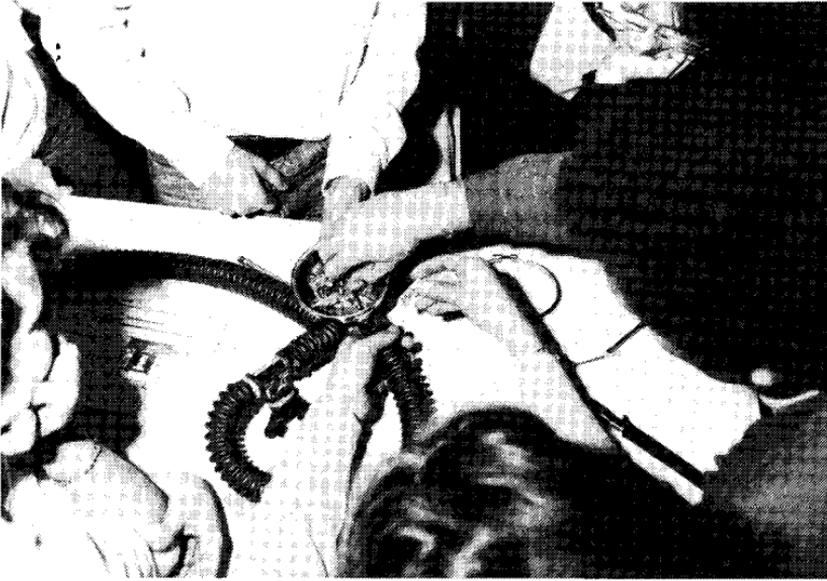


Fig. 3. — Démontage d'un détendeur en fonction d'un schéma.

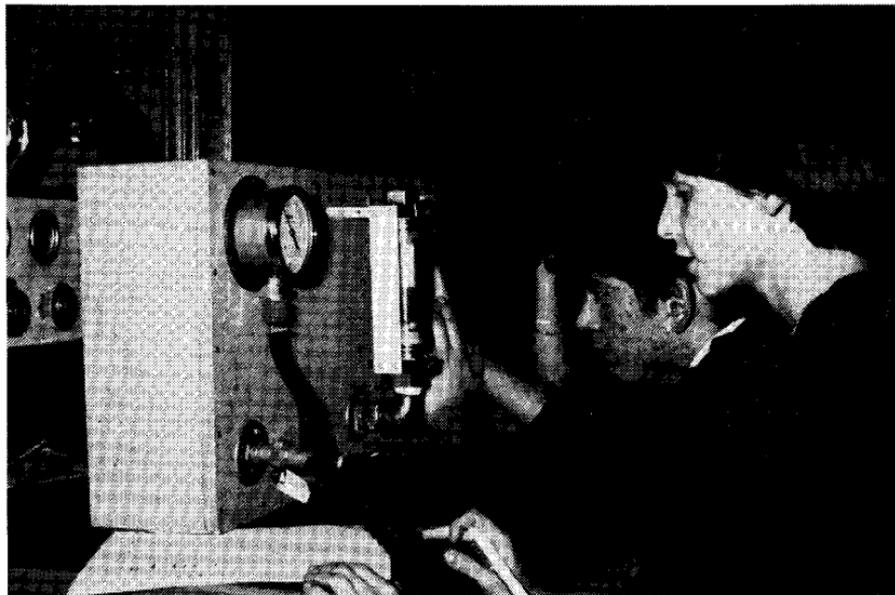


Fig. 4. — Tracé des courbes débit =  $f$  (dépression = inspiration) à partir d'un banc d'essai construit par eux-mêmes. C'est fiable !

\* loi de Dalton :

- T.P. en caisson,
- étude des pressions partielles et leurs conséquences (ivresse des profondeurs) ;

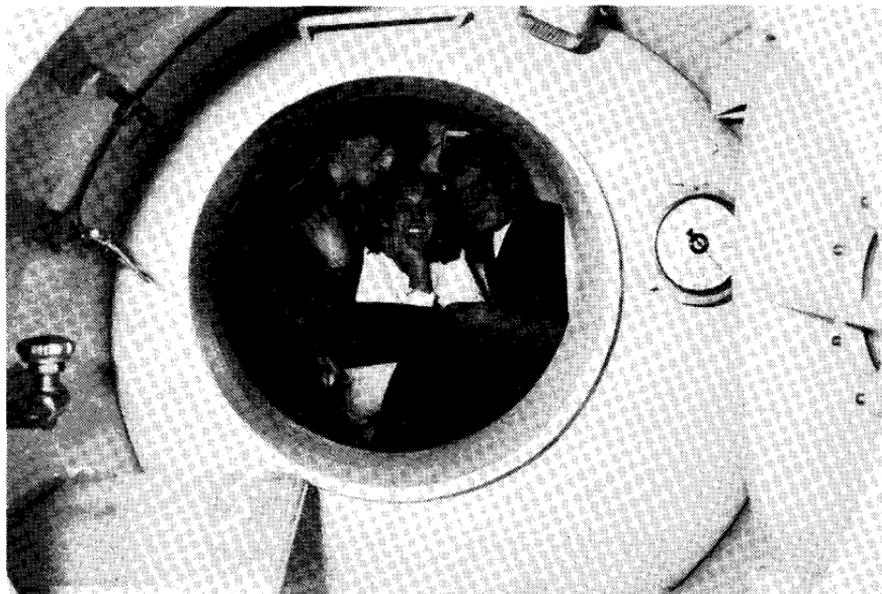
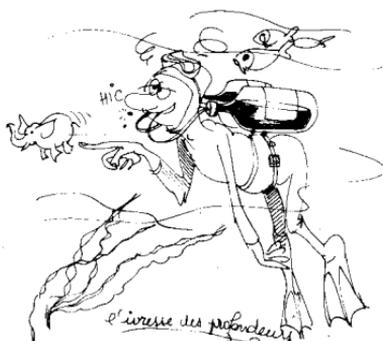


Fig. 5. — Elèves à la sortie du caisson de compression à la fin du T.P. sur les pressions partielles.

\* loi de Henry :

- solubilité des gaz,
- nécessité des paliers de décompression.

Nous pouvons résumer tout le cours de Sciences physiques par le tableau ci-après, où nous avons cherché à évaluer leurs acquisitions en fonction de la grille de capacité de la page 580.



**LES ACTIVITES SUBAQUATIQUES**

COURS	T.P.	EXERCICES	EVALUATION
<p><b>Le matériel du plongeur :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— matériel de base, matériel de sécurité,</li> <li>— matériel utile,</li> <li>— le bloc de plongée, robinetterie, réserve,</li> <li>— législation.</li> </ul>	<p><b>T.P. à la piscine :</b> Manipulation du matériel et essais.</p>	<p>Première plongée : interrogation et mise en situation réelle par les mouvements de plongée.</p>	<p>B 1 D 1</p>
<p><b>La pression :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Notion de force pressante.</li>   <li>— Poussée d'Archimède.</li>     <li>— Loi de Mariotte.</li> </ul>	<p><b>T.P. à la piscine :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— recherche de la profondeur à laquelle chaque élève ne peut plus respirer.</li> </ul> <p><b>T.P. à la fosse de 15 m :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— le ludion,</li> <li>— recherche de la flottabilité nulle,</li> <li>— lestage du plongeur,</li> <li>— bouée de sécurité.</li> </ul> <p><b>T.P. à la fosse de 15 m par Moniteurs de plongée et professeur :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— le ballon,</li> <li>— l'éprouvette,</li> <li>— les bulles.</li> </ul>	<p>Exercices théoriques.</p>	<p>B 1 B 1</p>
<p><b>Les barotraumatismes</b> (barotraumatismes mécaniques) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— Oreille.</li> <li>— Placage du masque.</li> <li>— Surpression pulmonaire.</li> </ul>	<p><b>T.P. en classe :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— avec oreille expérimentale et poumon expérimental.</li> </ul>	<p>IE n° 1 et n° 2.</p>	<p>D 1</p>

COURS	T.P.	EXERCICES	EVALUATION
Historique des appareils de la plongée.	Recherche de documents.		A 3
<b>Le détendeur :</b> — Rôle. — Principe. — Analyse fonctionnelle. — Etude mathématique.	<b>T.P. en classe :</b> — les divers détendeurs, — reconstitution d'un détendeur théorique, — démontage et remontage d'un détendeur réel.		E 1 E 2
<b>Courbes de débit du Mistral en fonction de l'inspiration :</b> A) création d'un banc d'essai, — cahier des charges, — construction ; B) tracé des courbes à l'aide du banc créé.	— élèves volontaires. <b>T.P. en classe :</b> — tableau de valeur, — débit = f (dépression).	I E	D 1 D 2 B 1 B 2 C 1 C 2
<b>Dissolution des gaz dans les liquides :</b> — Loi de Henry. — Accidents de décompression. — Les tables de plongée et les paliers.		Exercices théoriques.	A 2
<b>Pression au sein d'un mélange de gaz :</b> — Loi de Dalton. — Ivresse des profondeurs.	T.P. en caisson de décompression à la C G Doris.		A 2

Brevet théorique  
et Brevet pratique  
en piscine et en mer.

A une telle forme d'enseignement peut correspondre une nouvelle forme d'évaluation des connaissances.

Aussi avons-nous essayé de tester leurs connaissances, leurs savoir-manipuler, la façon dont il maîtrisait les techniques de langage, leur manière d'analyser et de déduire, leur maîtrise de juger et d'utiliser leurs connaissances.

Avant leurs premières plongées en mer, nous avons jugé utile de leur proposer un texte récapitulatif de tout ce module :

Session du 24 avril 1984

### BREVET ELEMENTAIRE

Les profondeurs sont données par rapport au niveau de la mer. L'eau est considérée comme douce ; sa masse volumique :

$$\rho = 10^3 \text{ kg m}^{-3}.$$

#### Capacités

Notre départ à l'Institut National Professionnel de Plongée sous-marine approche, vous y passerez vos épreuves pratiques, en attendant voyons vos acquis et votre adaptation au monde sous-marin.

A1

\* La phase la plus ennuyeuse de la plongée est pour tous l'habillage, et la préparation du matériel, mais c'est la phase capitale ! Préparez donc le matériel nécessaire à votre première plongée en mer et répartissez-le en matériel de base, de sécurité et utile.

D3

\* N'oubliez pas votre tuba, à propos..., si celui-ci était infiniment long, pourquoi ne pourriez-vous pas respirer dessus à toute profondeur, puis, calculez la pression engendrée par une colonne d'eau de hauteur  $h = 10 \text{ m}$  et de section  $s = 1 \text{ cm}^2$ .

Application numérique :

$$(\|\vec{g}\| = 10 \text{ N kg}^{-1} \quad \text{et} \quad \rho = 10^3 \text{ kg m}^{-3}).$$

Donnez les pressions absolues aux profondeurs  $h = -12 \text{ m}$ ,

$h = -45 \text{ m}$ .

A2

D1 D2 D3

\* Votre ceinture de lest est prête, combien de « plomb » avez-vous mis pour être en flottabilité nulle à  $-3 \text{ m}$ , si vous mesurez  $1 \text{ m} 65$ , vous pesez  $59 \text{ kg}$ , le volume non déformable de votre corps est de  $60 \text{ l}$ , vos poumons ont un volume déformable de  $5 \text{ l}$ ? On considèrera que leur masse est nulle.

(Plan à suivre : Calcul du volume total, poussée d'Archimède, poids apparent).

\* Vous êtes sur le bateau qui vogue vers les lieux de plongée, un dernier petit encas vous donnera de l'énergie mais

**Capacités**

que vaut-il mieux manger avant un exercice musculaire : une tartine de beurre ou une tranche de pain d'épice ? (pourquoi ?)

**D1 D3**

\* Vous allez bientôt vous immerger et descendre vers ces profondeurs désirées, votre corps va subir la pression de l'eau. Quels sont les risques barotraumatiques qu'il peut encourir et quels sont les moyens de les éviter ?

**E3**

\* Vous fixez votre détendeur sur votre bouteille, quelle précaution préliminaire avez-vous pris ? Tout en vissant celui-ci, vous vous souvenez du tout premier détendeur historique, à quelle date et par qui a-t-il été inventé ? Cette invention a permis l'écriture d'un roman célèbre dont je ne vous demande pas le titre !

**B1**

Votre détendeur doit être bien réglé ; quelle pièce avez-vous pu régler vous-même, expliquez son rôle dans le fonctionnement du détendeur ?

\* Un tableau de valeur vous revient en mémoire :

**C2**

Débit l/min	0	85	120	150	180	200	230	270	300
Dépression mb	3,7	5	5,5	6,2	7	7,5	8,5	10	12

Construisez la courbe débit = f (dépression) :

2 cm → 1 mb,

5 cm → 100 l/min.

Déterminez à partir de celle-ci :

— Quelle est la dépression minimale à créer pour avoir de l'air, quel est le nom donné à ce point ?

**E1**

— La courbe est-elle significative d'un détendeur bien réglé ? Qu'est-ce qu'un détendeur « idéal », tracez la courbe idéalisée !

\* Le moment historique est là ! Vous allez effectuer un splendide saut droit...

Dans l'eau, quels sont les réflexes au niveau de l'oreille interne, et au niveau cardiaque ?

\* Vous descendez, vous descendez...

**A2 D1 D2**

Vous utilisez 30 l par min en palmant à une certaine profondeur. Votre débit d'air en surface serait de 150 l/min. A quelle profondeur êtes-vous donc ?

\* Vous découvrez un splendide rivet de cuivre d'un navire ancien échoué dans un fond de  $h = -30$  m ; il pèse 1 kg et son volume est de 100 cm<sup>3</sup>.

**Capacités**

Vous ne voulez pas vous fatiguer, vous utilisez un parachute ascensionnel que vous attachez au rivet, le parachute et sa corde ont une densité égale à 1.

**A2 D1 D2**

Quel volume donnerez-vous au parachute afin de remonter le rivet ?

**A2**

\* Vous voyez des foules de choses, des poissons, des algues, des gorgones, des langoustes peut-être, mais votre corps pendant ce temps se sature. Expliquez ce phénomène et énoncez la loi de Henry.

— Le temps passe vite, votre montre indique 30 min de plongée.

— A  $h = -40$  m, quelles sont les pressions partielles d'Azote et d'Oxygène contenues dans l'air respiré ? (pourcentage de  $O_2 = 20\%$   $N_2 = 80\%$ ).

**D1 D2****E1**

Ces pressions partielles engendrent-elles un danger ?

— Vous amorcez votre remontée à 9 h, la profondeur maximale atteinte est de  $-40$  m.

**D1 D2 D3**

— A quelle heure devrez-vous faire surface ?

\* Voici votre première plongée effectuée dans l'imaginaire, les réelles se passeront au mois de juin et seront moins fatigantes...

**Résultats :**

SUJET	CAPACITES TESTEES	POURCENTAGE DE REUSSITE SUR 35 COPIES
Matériel	A1	74 %
Du tuba au détendeur	D3 (poumons)	62 %
	D3 (calcul)	40 %
	D3 (h)	82 %
Principe d'Archimède : calcul lestage	A2, D1, D2, D3	40 %
Loi de Mariotte : barotraumatismes sur organisme	D1	71 %
	D3	68 %
	E3 (Rouq)	77 %
Détendeurs : $P = \frac{F}{S}$	B1 (leviers)	5 %
	C2 (courbe)	57 %
	E1 (idéal)	65 %

Loi de Mariotte : calcul de profondeur	A2, D1, D2	77 %
Remontée d'un objet	A2, D1, D2	17 %
Loi d'Henry	A2	74 %
Loi de Dalton : calcul de pressions partielles	D1, D2	71 %
Critique des pressions partielles	E1	11 %
Calcul de paliers	D1, D2, D3	60 %

### QUELQUES COMMENTAIRES

*Le matériel* : Sujet très motivant car il s'agit de correctement s'habiller sur le bateau.

*Du tuba au détendeur* : Si l'on a compris la nécessité de passer du tuba au détendeur, le calcul de la pression engendrée par une colonne d'eau pose problème.

On ne possède pas bien les formules nécessaires et on n'est pas capable de mener des calculs de façon cohérente.

*Lestage* : La recherche du poids apparent laisse à désirer et ce fut bien drôle car nombre d'élèves ne réussirent pas à « descendre en plongée » avec le nombre de kilogrammes de plombs qu'ils avaient fixés sur leur ceinture d'après leur calcul.

*Barotraumatisme* : Loi de Mariotte : Assez bien comprise, nos élèves ont bien l'instinct de conservation de leur corps :

- car le non-respect de la loi de Mariotte engendre une vive douleur au niveau des tympan,
- une surpression pulmonaire ; un risque de mort à la remontée.

*Détendeurs* : On ne sait pas bien « régler » son détendeur (T.P.) mais on connaît quand même le réglage idéal.

*Loi de Henry - Calculs des paliers - Stress* : bien connu : Les risques de paralysies ne sont donc pas à craindre.

*Critique* : Aucune critique cohérente ; ils sont entièrement confiants envers leurs moniteurs.

### CONCLUSION

Le contrôle fut pour eux une nécessité avant le grand saut (droit !) vers les fonds sous-marins.

Il leur permettait de faire un bilan de leurs acquis et d'avoir plus confiance en eux-mêmes avant les plongées en mer.

Il leur permettait aussi d'être sûr « de ne pas pratiquer une technique (la plongée) sans comprendre le pourquoi des gestes à accomplir » *dixit* : M<sup>lle</sup> Emmanuelle DEVOS, élève de Première B (émission de France Inter).

Dans l'ensemble :

\* nos élèves littéraires ont vécu avec joie ce module ; ils ont reçu et non subi la physique et ont été amenés à effectuer des raisonnements qu'ils n'auraient certainement pas formulés dans un autre contexte ;

\* le pourcentage de réussite au Brevet élémentaire de Plongée sous-marine, qui comporte une épreuve écrite de physique, a été de 80 % ;

\* ils ont demandé la création d'une option physique en Terminale B ;

\* et surtout ils ont motivé leurs camarades de Seconde pour l'enseignement des Sciences physiques ;

\* d'autre part, ils ont été confrontés à un monde d'adultes (moniteurs de plongée, professeurs du lycée, industriels, etc.) ; ils ont développé leur volonté, leur sens de la responsabilité en se prouvant qu'ils devenaient eux-mêmes des adultes.

---