

Du trébuchet au propulseur

À la lecture de la rubrique *Idées de physique* sur *Le trébuchet du footballeur* (voir *Pour la Science* n° 344, juin 2006), je me demandais si le propulseur (utilisé chez nous pendant la Préhistoire et par les Aztèques, les Inuits et les aborigènes australiens) est considéré comme un levier composé ou un simple prolongateur du bras ? Je pratique régulièrement cet engin et la question me tracasse, d'autant que le sujet ne fait pas l'unanimité parmi les archéologues et les sportifs.

Christian Lepers, par courriel

Réponse de Jean-Michel Courty et Édouard Kierlik

Le film du jet d'une lance par un propulseur (Woomera ou Atlatl) montre qu'au cours du mouvement, le bras du lanceur se déplie, et que le propulseur tourne dans sa main. Le résultat est que la lance atteint une vitesse (de l'ordre de 100 km/h) bien supérieure à celle de la main. L'articulation de l'ensemble bras-propulseur est donc tout à fait cruciale et dépasse le simple effet de levier. Néanmoins, l'histoire ne s'arrête pas là : le propulseur et la lance fléchissent tous deux durant le jet. Le stockage d'énergie élastique, puis sa restitution à la lance ajoutent aux performances de l'engin. Pour cela, tout comme un arc et une flèche, l'élasticité du propulseur et celle de la lance doivent être adaptées l'une à l'autre.

Du sang fabriqué par l'industrie

En ce qui concerne *Le sang fabriqué en laboratoire* de Luc Douay (voir *Pour la Science* n° 345, juillet 2006), peut-on produire des globules rouges à partir des cellules d'une étape intermédiaire du protocole de multiplication et de différenciation, sans nécessairement partir des cellules souches ? En d'autres termes, est-ce que le processus s'autoentretient sans dégradation biologique ?

Julien Berthaud, par courriel

Réponse de Luc Douay

Les cellules intermédiaires de notre protocole de maturation érythroïde sont notamment les érythroblastes. Il est en effet possible d'appliquer notre protocole aux érythroblastes naturellement présents dans la moelle osseuse. Cela a été démontré in vivo en injectant à une souris qui tolère des cellules étrangères une population d'érythroblastes après dix jours de culture ; ces cellules ont continué leur maturation in vivo jusqu'au stade de globule rouge. Il est également possible d'amener à maturation, in vitro, des érythroblastes de la moelle osseuse.

Toutefois, dans une optique de production à grande échelle, cela n'est pas concevable, car on ne peut pas imposer à ces cellules un rythme de multiplication important. Plus généralement, notre protocole d'amplification et de multiplication s'applique seulement à des cellules souches hématopoïétiques de diverses origines, ainsi qu'à tous les précurseurs érythroïdes.

Un nouvel ancêtre du sudoku

En complément à l'article *Les ancêtres français du Sudoku* (voir *Pour la Science* n° 344, juin 2006), je signale un article paru dans la revue *La Nature* du 26 décembre 1885. Il s'agit, dans un carré 4x4, de « placer les As, Rois, Dames, Valets d'un jeu de cartes tel que dans chaque ligne, colonne et diagonale, il n'y ait qu'une carte et une seule de même valeur, et une carte et une seule de même couleur ». C'est à rapprocher du problème des 81 officiers, puisque chaque élément possède deux attributs. Est-il possible de faire un sudoku de 16x16 avec 16 carrés de 4x4 avec ces cartes et avec les règles ci-dessus pour chaque carré 4x4, mais chaque ligne ou colonne de 16 cases contenant les 16 cartes, soit les quatre figures (As, Rois, Dames, Valets) dans les quatre couleurs (trèfle, carreau, cœur, pique) ?

Michel Feuillée, Franconville la Garenne

Réponse de Christian Boyer

Votre problème de 1885 confirme bien l'intérêt des Français de cette époque pour ces questions. Sa solution peut passer par un carré magique eulérien. En voici une des nombreuses possibilités. Vous remarquerez que c'est aussi une superposition de deux sudokus 4x4, chaque sous-carré 2x2 contenant aussi toutes les cartes :

Carré magique eulérien				
1	7	16	10	34
14	12	3	5	34
11	13	6	4	34
8	2	9	15	34
34	34	34	34	



Enlever 1 et écrire en base 4				
0.0	1.2	3.3	2.1	
3.1	2.3	0.2	1.0	
2.2	3.0	1.1	0.3	
1.3	0.1	2.0	3.2	

Équivalence des cartes	
0.	Valet
1.	Dame
2.	Roi
3.	As
.0	Cœur
.1	Carreau
.2	Pique
.3	Trèfle

Solution			
			
			
			
			

Le problème que vous avez ajouté est bien plus difficile. Alors que des sudoku 16x16 sont connus, publiés dans des revues de jeux, et alors que les carrés eulériens 4x4 sont bien connus, votre superposition des deux questions semble nouvelle. En voici une solution :

1	7	16	10	12	14	5	3	13	11	4	6	8	2	9	15
14	12	3	5	7	1	10	16	2	8	15	9	11	13	6	4
11	13	6	4	2	8	15	9	7	1	10	16	14	12	3	5
8	2	9	15	13	11	4	6	12	14	5	3	1	7	16	10
5	3	12	14	16	10	1	7	9	15	8	2	4	6	13	11
10	16	7	1	3	5	14	12	6	4	11	13	15	9	2	8
15	9	2	8	6	4	11	13	3	5	14	12	10	16	7	1
4	6	13	11	9	15	8	2	16	10	1	7	5	3	12	14
2	8	15	9	11	13	6	4	14	12	3	5	7	1	10	16
13	11	4	6	8	2	9	15	1	7	16	10	12	14	5	3
12	14	5	3	1	7	16	10	8	2	9	15	13	11	4	6
7	1	10	16	14	12	3	5	11	13	6	4	2	8	15	9
6	4	11	13	15	9	2	8	10	16	7	1	3	5	14	12
9	15	8	2	4	6	13	11	5	3	12	14	16	10	1	7
16	10	1	7	5	3	12	14	4	6	13	11	9	15	8	2
3	5	14	12	10	16	7	1	15	9	2	8	6	4	11	13

Le plus difficile a été d'obtenir toutes les diagonales des sous-carrés 4x4 correctes (comportant bien les quatre figures et les quatre couleurs de cartes). Vous retrouverez dans le coin haut gauche la solution au problème de 1885. Je vous laisse le soin de le convertir en base 4 et en cartes à jouer, selon les mêmes règles.

Pour nous écrire : tribune@pouirlascience.fr

Le mal des profondeurs



À mesure qu'il descend, un plongeur éprouve parfois d'étranges sensations : il se sent euphorique, puis désorienté et les poissons lui apparaissent monstrueux. C'est la narcose à l'azote. Les neurobiologistes précisent les mécanismes de ces troubles comportementaux.

Jean-Claude Rostain

Plonger pour admirer les poissons de la mer Méditerranée est un loisir que vous pratiquez peut-être cet été. Cependant, à partir de 30 mètres de profondeur, vous pourriez perdre tout contrôle de vous-même; vous vous sentiriez d'abord bien, confiant, puis euphorique; vos mouvements seraient plus lents, et vous pourriez même ôter votre masque afin d'embrasser un poisson qui passe à proximité. Certains plongeurs se sentent invulnérables, ont des vertiges, d'autres ont les lèvres, la bouche et les doigts engourdis. Ces symptômes sont caractéristiques de la narcose à l'azote, que le commandant Jacques-Yves Cousteau nomma l'« ivresse des profondeurs » dans les années 1950, quand la plongée de loisir en scaphandre autonome se développa. Aujourd'hui, la plongée sous marine en bouteille est un sport à la mode : en France, la Fédération française d'étude et de sports sous-marins (FFESSM) compte environ 50 000 licenciés, qui, parce qu'ils sont bien entraînés, peuvent descendre jusqu'à 50 ou 60 mètres avec des bouteilles d'air comprimé. Pourtant chaque plongeur doit

savoir que plus il descend, plus les troubles comportementaux risquent d'être importants. Mais qu'est-ce qui provoque de tels symptômes ? Nous examinerons à quoi sont dus ces troubles, pourquoi la profondeur entraîne une narcose à l'azote et quelles sont les hypothèses neurobiologiques proposées pour expliquer ces troubles. Un coupable : l'azote constituant majoritaire de l'air.

À mesure que l'on descend dans l'eau, la pression augmente. À la surface, nous subissons une pression égale à une atmosphère ou un bar soit 10^5 pascals (l'unité de pression est le pascal, mais, par commodité, nous utiliserons le bar soit un kilogramme par centimètre carré). Plus on s'éloigne de la surface, plus le poids de l'eau augmente. À dix mètres de profondeur, un centimètre carré de l'organisme subit une pression correspondant au poids d'une colonne d'eau de dix mètres de hauteur sur un centimètre carré de surface, ce qui représente un kilogramme. À dix mètres, la pression due à l'eau est donc égale à un bar et elle augmente progressivement de un bar tous les dix mètres. À cette pression hydrostatique due à la hauteur

Gauche : océanographie/Yann Lerauc



d'eau, s'ajoute la valeur de la pression atmosphérique, soit un bar : à dix mètres, le plongeur subit une pression absolue de deux bars ; à 60 mètres, la profondeur maximale atteinte lors des plongées en bouteille, la pression est de sept bars. Par conséquent, en profondeur, on respire l'air ou les mélanges gazeux utilisés dans les bouteilles à une pression élevée. À la pression atmosphérique, la composition de l'air étant de 79 pour cent d'azote et de 21 pour cent d'oxygène, la pression partielle d'azote respiré est de 0,79 bar et celle de l'oxygène de 0,21 bar. À dix mètres, la pression partielle d'azote est égale 1,58 bar et celle de l'oxygène de 0,42 bar. Or, selon la loi de Henry, la quantité de gaz dissous dans le sang augmente avec sa pression partielle. En profondeur, la quantité d'oxygène, et surtout d'azote, dans le sang et dans les tissus (et dans le cerveau) augmente jusqu'à atteindre la saturation, c'est-à-dire jusqu'à ce que la pression en gaz dans les organes soit égale à celle du milieu environnant. Cette élévation de la pression d'azote est responsable des symptômes du plongeur...

En 1935, un médecin de la marine américaine, Albert Behnke, a relié les symptômes observés en profondeur au pouvoir narcotique de l'azote sous pression, c'est-à-dire à sa capacité de déclencher les symptômes associés à la narcose. À partir de 30 mètres de profondeur (soit quatre bars), le plongeur se sent détendu, un peu perdu au milieu des poissons et il a quelques difficultés à nager. Plus il descend, plus les troubles s'accroissent : il a des vertiges, des nausées, des hallucinations et est de plus en plus désorienté. C'est la narcose à l'azote. Les plongeurs sont plus ou moins sensibles au pouvoir narcotique de l'azote, et les symptômes disparaissent dès que l'on remonte. Comment expliquer de tels troubles ? Depuis plusieurs années, on étudie, en laboratoire, les effets de l'azote sous pression grâce à des caissons hyperbares, où l'on peut élever progressivement la pression, reproduisant les conditions d'une descente sous l'eau. On a ainsi constaté que plus la pression augmente plus la personne présente des modifications de son humeur, un ralentissement de ses mouvements et même une diminution de ses performances intellectuelles. Ces symptômes sont ceux de la narcose aux

gaz inertes, regroupant l'azote, le xénon, le krypton, l'hydrogène, le néon ou encore l'hélium.

Contrairement à l'oxygène, un gaz inerte n'est pas métabolisé par l'organisme, c'est-à-dire qu'il n'entre dans aucune réaction biochimique. L'azote se dissout dans les tissus de l'organisme en fonction de sa pression partielle. A. Behnke a étudié la solubilité des gaz inertes dans les graisses – les lipides – qui constituent les membranes des cellules, afin de relier leur pouvoir narcotique à leurs propriétés physiques. Trois gaz inertes, plus solubles dans les lipides que l'azote, sont aussi plus narcotiques : le xénon, très narcotique à la pression atmosphérique, le krypton, qui entraîne des vertiges, et l'argon. Trois autres gaz inertes sont moins solubles dans les lipides que l'azote : l'hydrogène, deux à trois fois moins narcotique, le néon, trois fois moins narcotique, et enfin l'hélium qui n'a presque pas de pouvoir narcotique.

La narcose aux gaz inertes

Donc plus un gaz est soluble dans les lipides, plus il est narcotique. Pour éviter la narcose, l'azote des mélanges respiratoires des plongeurs a été remplacé par de l'hélium, le gaz inerte le moins narcotique. Grâce à ces mélanges hélium-oxygène où la pression partielle d'oxygène est maintenue à des valeurs acceptables (0,4 bar en général), des pressions correspondant à des profondeurs supérieures à 100 mètres sont atteintes en caisson hyperbare, sans signe de narcose.

Qui plus est, les plongeurs professionnels, travaillant sur des plates-formes pétrolières par exemple, reçoivent de la surface les mélanges hélium-oxygène dans leur tourelle de plongée, car ils travaillent à 100, voire 200 mètres de profondeur. Mais, sous ces fortes pressions et malgré l'absence de gaz narcotique dans les mélanges respiratoires, des troubles comportementaux apparaissent : le plongeur tremble, ne contrôle plus ses gestes, a des contractions musculaires involontaires et peut même somnoler. Ces troubles sont

1. Quand un plongeur subit une narcose à l'azote, il perd le sens de la réalité et du danger. Il a parfois des hallucinations visuelles, voyant les poissons changer de couleurs et de formes, tel ce poisson-perroquet.

