Hypoxie, mon amour



Le Mont-Blanc (4810 m)



Il faut savoir épisodiquement faire don de son corps à la science et c'est avec ce principe que n'ont pas renié nombre de chercheurs expérimentateurs, que je décidai de me lancer dans l'aventure de l'hypoxie.

Les martyrs de la science

Je ne vais pas tenter d'imiter mes illustres prédécesseurs qui, comme Gaston Tissandier, Joseph Crocé-Spinelli et Théodore Sivel, partirent le beau matin du 15 avril 1875 à bord du ballon le *Zénith*, pour tenter de battre le record d'altitude (le précédent record avait emmené Crocé-Spinelli et Sivel à 7 300 m). Malheureusement, à plus de 8000 m, l'aventure pris mauvaise tournure car les aéronautes s'évanouirent. Seul Tissandier se réveilla et parvint à échapper à la mort, mais il en conservera des séquelles. Les deux autres aéronautes furent les premières victimes répertoriées de l'hypoxie.

La malchance avait voulut qu'ils ne reçoivent pas à temps une lettre de Paul Bert, le célèbre physiologiste, qui leur conseillait de prendre plus d'oxygène.

Alors que Marie-Philippe Rousseaux-Blanchi, ma doctoresse du sport favorite soignait une de mes nombreuses afflictions tendineuses, nous en vînmes à parler d'hypoxie. Elle m'apprit alors que Paul Bert était son arrière grand-oncle. Comme le monde est petit ! Voilà de nombreuses années que je cherche un « oxymètre de pouls » ou « *saturomètre* » (appareil qui mesure la saturation en oxygène) qui s'adapte au doigt. En effet, lors de mes survols en montagne qui m'emmènent autour du Mont-Blanc, je me demande toujours à quel point mes

facultés intellectuelles sont détériorées. Des mauvaises langues affirment qu'elles sont déjà passablement délabrées à Albertville à 1 000 pieds au-dessus de la mer ! J'avais lu que l'on pouvait se tester en vol en s'obligeant à faire des opérations simples du genre (24-7) x 2 – 10. Le fait de les résoudre et d'arriver au bon résultat est un signe positif mais n'implique pas nécessairement une capacité de réflexion et d'action idéale. Nous verrons plus tard pourquoi.

Le médecin m'apprit qu'elle possédait un *AltiTrainer*, appareil qui permet de créer artificiellement l'hypoxie en mélangeant de l'azote à l'air. Nous convînmes d'élever au moins mon corps, à défaut de mon esprit, à 4 800 mètres et d'analyser les résultats.

De l'Homme de Neandertal à...

Je me retrouvai donc un autre beau matin dans la salle d'exercices de la doctoresse. Habituellement, des sportifs de très haut niveau viennent fréquenter les lieux soit pour se faire soigner, soit pour mesurer leurs capacités physiques. Avec un peu de chance, on peut croiser un futur champion olympique ou alors le vainqueur de la 6 000 D (la6000d.com), une course qui allie dénivelé et altitude.

Me voilà donc face à la doctoresse qui commence par me poser une série de questions indiscrètes : avez-vous des antécédents cardiaques, diabète, problèmes respiratoires, etc. Bref toutes ces pathologies qui font trembler le pilote avant sa visite aéronautique. Elle m'explique que le test d'hypoxie va se dérouler en deux parties. « *Un bilan préliminaire de VO_2 maximum permet de déceler si le patient n'a pas de pathologie à l'effort. On ne le pratique que si le sujet est un sportif entraîné. Il me permet de calibrer le niveau de travail à 30 % de la VO_2 max pour le test d'hypoxie* ». Je me présente donc devant Fred l'infirmière qui me demande de retirer mon T-shirt. A son exclamation, je vois qu'elle se rend compte qu'elle a devant elle le dernier spécimen vivant de l'homme du Neandertal. La voilà projetée au milieu du paléolithique moyen, il y a environ 100 000 ans. Elle sort le rasoir. Après une tentative de transformation en homo sapiens, elle me demande de m'asseoir sur une bicyclette et commence à me barder d'une dizaine d'électrodes. On m'affuble aussi d'un masque à oxygène. Après toutes les vérifications informatiques, je me mets à pédaler. Globalement, le principe est simple. Le test débute à 90 Watts de puissance et je dois pédaler au moins à 70 tours par minute. Au bout d'1 minute 30, Fred augmente la puissance à 120 W et ainsi de suite jusqu'à 270 W. A partir de ce seuil, l'augmentation de 30 W se fait toutes les minutes. Arrivé à 360 W après 30 secondes, le médecin décide d'arrêter l'expérience pour m'éviter d'exploser. Pendant cet effort, tension et prise de sang au doigt permettent à la doctoresse de contrôler ma fabrication d'acide lactique et l'état de mon cœur. Les premières minutes, je



Paul Bert dans son caisson

Dr. Paul Bert and the first altitude chamber (circa 1874)



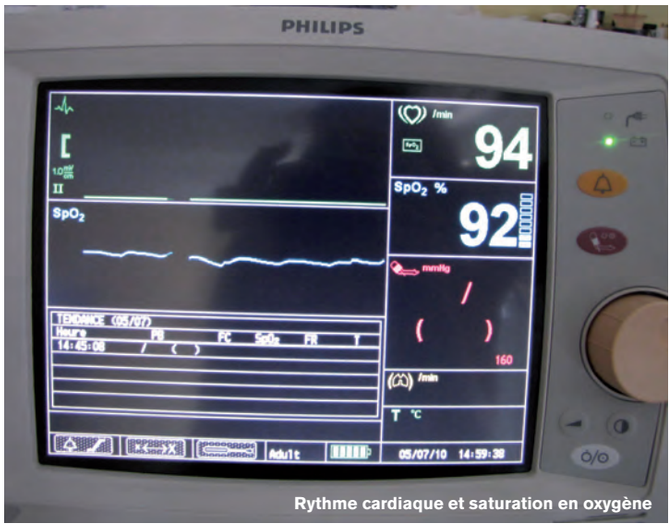
Les instruments de torture



Darth Vader

EXALT

EXALT (Centre d'expertise sur l'altitude) est une association née sous l'impulsion des scientifiques et des chercheurs du CHU de Grenoble. Elle a été créée à partir du constat que le nombreux public qui fréquente les montagnes comprend mal les effets soit positifs soit négatifs de l'altitude, de l'effort et du froid sur notre organisme. Elle regroupe les professionnels de la santé, les fédérations de pratiquants et les partenaires industriels de la région Rhône-Alpes intéressés par les problématiques engendrées par les activités se déroulant en montagne et en altitude. Cette association propose une harmonisation des consultations médicales spécifiques « montagne ». Elle conseille les aventuriers qui souhaitent mettre sur pied des expéditions et offre des formations médicales adaptées à différents publics, ainsi qu'un pôle de recherche scientifique et médicale. La doctoresse Rousseaux-Blanchi est un membre très actif de cette association. Vous pouvez la contacter au 04 79 37 85 42. Son cabinet se trouve 88 bis rue de la république à Albertville.



Rythme cardiaque et saturation en oxygène

faisais le malin, puis au fur et à mesure que l'intensité devenait plus intense, je transpirais, je maudissais, je souffrais. Après cet effort surhumain, je je fais mienne la citation d'Henri Guillaumet à Antoine de Saint Exupéry venu le rechercher dans les Andes après son accident avec son Potez 25 (F-AJDZ) : « *Ce que j'ai fait, je te le jure, jamais aucune bête ne l'aurait fait* ». Marie-Philippe demande maintenant toute mon attention pour un debriefing sur le test, ce qui fatigue encore plus mon pauvre cerveau momentanément privé d'oxygène. Elle me dit que tout va bien et qu'aucun paramètre n'est anormal. Je lui demande à combien montent les sportifs de haut niveau en VO_2 max : 80-85 me répond-elle. Tandis que moi, je plafonne à 55,7. Je vais mettre ce petit niveau sur le compte de la chaleur ! J'apprends que les athlètes viennent passer des tests pour établir leur programme de travail et tenter d'augmenter leurs performances. Il va falloir que j'y songe. Je retourne chez moi me reposer avant la séance de l'après-midi.

... Darth Vader

Après un plat de pâtes pour tenter de reconstituer le bonhomme, je me retrouve quelques heures plus tard sur la bicyclette. Cette fois-ci, le programme comporte quatre phases. Tout d'abord, 5 mn de repos en normoxie, puis 5 mn en hypoxie, ensuite pendant 5 mn je pédale en hypoxie pour terminer par 5 mn d'effort en normoxie. Au repos, à Albertville, tout va bien. Mon pouls bat à 80 environ et ma saturation en oxygène culmine à 100. Tout d'un coup, Fred me branche un tuyau et me transforme en Sith qui parle d'une voix caverneuse comme Darth Vader et je me retrouve à 4800 m, au sommet du Mont-Blanc. Je ne sens aucun effet, mais je note que ma saturation en oxygène descend en moyenne à 92. Quand je me mets à pédaler, ma saturation baisse à 77 et je ventile beaucoup plus pour compenser le manque d'air. Je suis passé du côté obscur de l'oxygène. En effet, la quantité de ce précieux gaz a diminué de 21,0% à 11,5 %. Fred maintient la résistance du vélo à un rythme cardiaque de 119 pulsations par minute. Pourtant, il ne me semble pas que je fonctionne anormalement. Puis finalement, je retrouve le *Jedi* qui sommeille en moi quand j'atterris dans ma ville d'adoption. Ma saturation en oxygène en 30 secondes atteint son apogée et ma fréquence cardiaque baisse.


Le pic montre le passage à l'hypoxie

J'ai donc noté que l'hypoxie comme prévu est un mal insidieux. Toutes les indications des écrans montraient que mon cerveau n'était plus alimenté correctement en oxygène et donc que j'avais obligatoirement perdu de mes facultés intellectuelles. Pourtant, je me sentais comme au niveau de la mer. Il me semblait que je pouvais fonctionner absolument normalement. Je ne souffrais pas à l'effort et je décodais tout ce qui se passait autour de moi. Je me suis quand même rappelé des recommandations du Professeur Marotte et de son seuil de tolérance de 87 %. C'est à ce moment-là que j'ai fait le lien entre théorie et pratique et que j'ai saisi l'aspect particulièrement sournois de ce mal. D'autant plus que je me trouvais dans des conditions idéales : pas de bruit de moteur, pas d'instruments à gérer, pas de turbulences, pas de relief à éviter. Quelle serait vraiment ma saturation en oxygène en situation réelle ? Je pense que ce test pourrait convaincre tout pilote qu'il risque de se trouver dans une situation délicate s'il n'a pas vraiment conscience du danger auquel il fait face. Il serait maintenant utile de pouvoir monter plus haut et de voir d'une manière dramatique les effets sur le cerveau. Il va falloir voyager un tout petit peu. Les Américains

ont mis en place un programme sur le sujet qui fonctionne depuis les années 1950 et qui attire de nombreux postulants.

The American connexion

La version moderne de l'ascension en ballon se fait dans un environnement parfaitement sécurisé avec l'apport d'oxygène nécessaire. Le centre d'Oklahoma (cf. encadré) vous invite à venir participer à une des quatre ou cinq sessions par mois. Si vous ne pouvez pas vous rendre dans cette ville, l'armée propose les mêmes expériences mais pour un coût de 50 $ dans onze centres répartis sur le territoire américain. Par contre, Rogers Shaw de la FAA précise : « *Our jokes are better, nos plaisanteries sont meilleures* » et il rajoute « *but they are classified so you have to come to Oklahoma to hear them, elles sont classées secrètes et il faut venir à Oklahoma pour les entendre* ». Après un cours théorique de physiologie, les participants sont invités à s'asseoir dans le caisson d'altitude et effectuent une première montée en 2 minutes jusqu'à 6000 pieds pour vérifier qu'ils n'ont pas de problèmes particuliers, et tout le monde redescend au niveau de la mer. Puis commence, sans oxygène, la montée vers les hauteurs. Premièrement à 8000 pieds au rythme de 3000 pieds/mn et brutalement (entre 8 et 10 secondes) jusqu'à 18000 pieds pour que les postulants expérimentent une décompression rapide. La nature du test exige tout de même que les candidats possèdent un certificat médical de classe 1, 2 ou 3. A ce moment-là, tout le monde met son masque et on monte jusqu'à 25000 pieds. Pendant 3 à 5 minutes, la moitié des scientifiques en herbe enlèvent leur masque, notent leurs symptômes et on leur donne de simples taches à accomplir (tout d'abord essayer de siffler – ce qui est virtuellement impossible à cette altitude- puis du calcul mental, etc.). On mesure aussi leur saturation en oxygène. De cette manière, ils peuvent sentir quels sont les effets de l'hypoxie sur leur corps. L'autre moitié des participants observent les symptômes. Il faut savoir que normalement les réactions à l'hypoxie sont fixes dans le temps chez un individu. Elles peuvent aller de l'hystérie, au mal de tête ou bien à l'irritation. Rogers Shaw se rappelle avec humour : « *Un des gars était très en colère et refusait de mettre son masque à oxygène, on a attendu un peu et il est devenu très coopératif !* ». Ensuite, on redescend à 18000 pieds, l'opérateur baisse les lumières et les participants reçoivent un panneau de couleur à identifier. Ils s'aperçoivent à quel point le manque d'oxygène affecte leur vision. Finalement, après une heure de test, tout le monde retrouve le plancher des vaches pour une analyse de l'expérience.

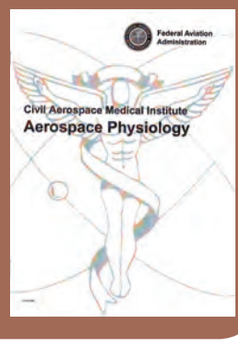
Rogers Shaw insiste sur le fait que cette expérience est conduite dans un milieu idéal, sans le stress du pilotage. Dans la réalité, les conditions sont bien différentes et il faut savoir que l'hypoxie est un mal insidieux. Il est bien entendu influencé par la santé physique et mentale de l'individu ainsi que par la prise de boissons alcoolisées ou une tabagie importante. Il insiste sur deux notions importantes : le temps de conscience utile (*Time of useful consciousness* – TUC)

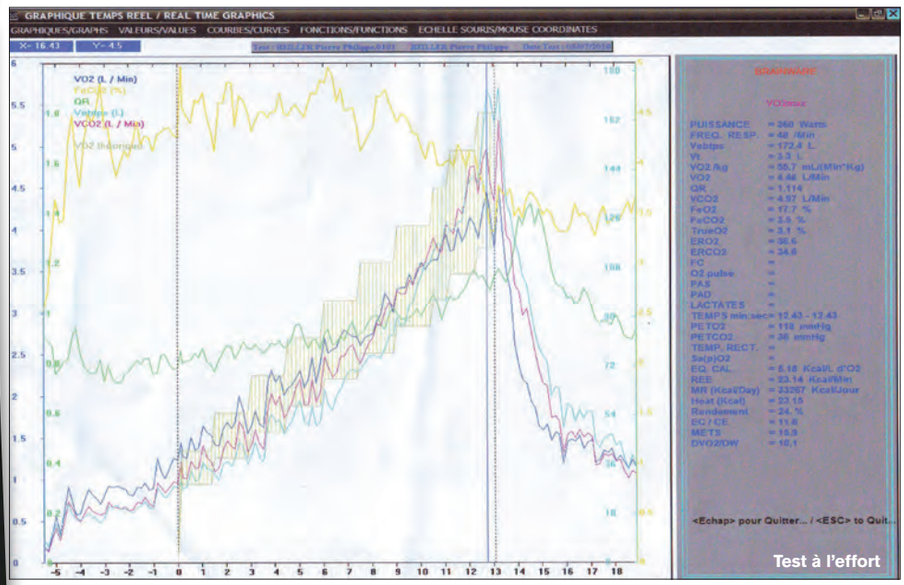

Fred vérifie l'état du garçon


Machine à distribuer de l'azote (pour diminuer la quantité d'oxygène)

Et si on allait à Oklahoma...

Le site de la FAA (faa.gov/pilots/training/airman_education) présente des vidéos et des articles sur l'hypoxie et sur de nombreux autres sujets (survie en milieu inhospitalier, stress dans le milieu de l'aviation, etc.). CAMI (*Civil Aerospace Medical Institude*) édite ces documents qui méritent qu'on leur consacre un peu de temps. Vous trouverez les informations pour vous inscrire à une session en cliquant sur le lien (faa.gov/pilots/training/airman_education/aerospace_physiology) si le cœur ou plus exactement si votre cerveau vous en dit. Vous pouvez aussi appeler ce numéro (405) 954-4837 ou envoyer un mail par l'intermédiaire du site de la FAA. L'inscription est gratuite, il faut simplement acheter un billet d'avion pour Oklahoma !

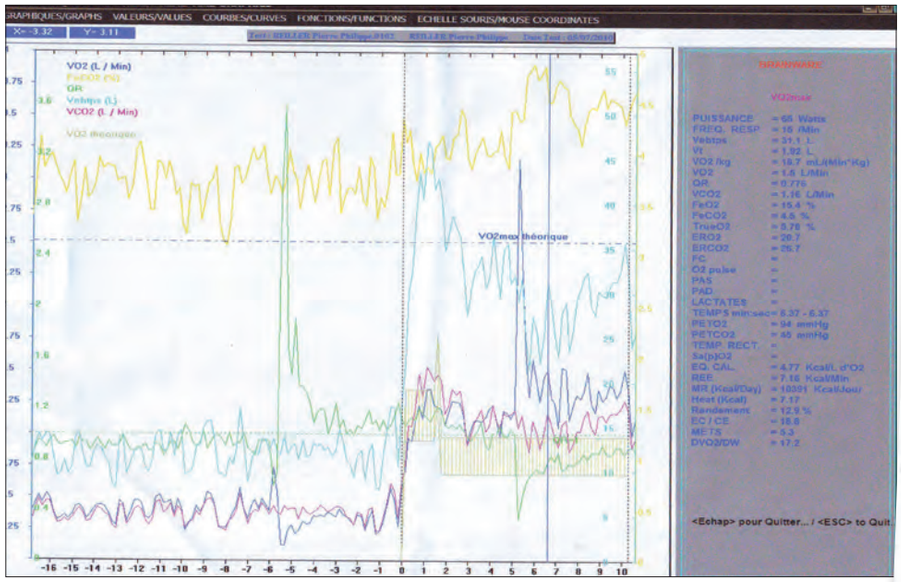




Test à l'effort

Réglementations

En France les règlements spécifient qu'un pilote ne peut pas voler au-dessus du FL125 sans disposer d'un système d'inhalation et d'une réserve d'oxygène suffisante pour l'alimenter pendant la durée du vol à ce niveau. Chaque personne à bord doit avoir une réserve au-delà du FL145. Les règlements américains exigent que leurs pilotes utilisent de l'oxygène pour les vols qui durent plus de 30 minutes entre 12 500 pieds MSL et 14 000 pieds MSL inclus. A plus de 14 000 pieds MSL, l'équipage doit impérativement utiliser de l'oxygène pour la durée entière du vol à cette altitude. Par contre, il est fortement recommandé que l'oxygène soit utilisé à plus de 10 000 pieds de jour et 5 000 pieds de nuit.



Graphique de l'exercice en hypoxie. La courbe verte montre l'évolution du quotient respiratoire.



et le temps de performance effective (Effective performance time – EPT). « *Je préfère la deuxième notion, dit-il, car elle permet de mieux déterminer la capacité du pilote à gérer le problème de l'hypoxie* ». Il faut savoir qu'en moyenne à 25 000 pieds, ce temps est de 3 à 5 minutes, mais peut varier énormément suivant les circonstances. Cette expérience permet à chacun de connaître son comportement dans ce type de situation et de se rendre compte que le cerveau est le premier organe à souffrir du manque d'oxygène.

L'entraînement

Mais est-il possible de s'acclimater pour mieux gérer des vols en altitude ? Une des théories en vigueur actuellement pour les sportifs est le « *live high, train low* ». Les résultats ont démontré que des sportifs qui vivaient à 2 500 m et qui venaient s'entraîner au niveau de la mer augmenteraient leurs performances. Il faut cependant savoir que l'organisme a besoin de temps pour atteindre un niveau maximal de performance. La meilleure période se situe entre 15 et 28 jours après le retour au niveau de la mer et les pires performances entre le premier et le onzième jour. Je peux attester de la validité de ces résultats car après un séjour de trois semaines au Pérou à des altitudes entre 3 300 et 5 200 m, je suis revenu en France et j'ai ressemblé à un légume qui ne pensait qu'à dormir pendant une dizaine de jours (mais était-ce un banal problème de récupération ?). Ensuite, j'ai découvert en moi des ressources inconnues et ma forme éblouissante m'a fait monter à 3 600 m sans aucun effort, en fait comme un chamois. Bon, cette apogée sportive ne dura qu'un temps et maintenant, j'ahane abominablement quand je monte à plus de 3 000 m. Est-ce que cependant un entraînement à l'hypoxie chronique (séjour dans les Andes) convient pour mieux tolérer l'hypoxie aiguë (quelques dizaines de minutes en avion) ? Si ce genre de programme est efficace, il n'est pas vraiment disponible pour les pilotes. Envisager un voyage en Amérique du sud avant un vol dans le massif du Mont-Blanc est une expérience fort dispendieuse. Un supplément d'oxygène serait plus adapté.

Le professeur Henri Marotte, directeur de la capacité aérospatiale de Paris, est plus catégorique : « *Pour lutter contre l'hypoxie d'altitude en aéronautique, l'entraînement est un leurre. Nous fonctionnons comme des machines aérobies. Si on supprime l'oxygène, nos neurones, qui sont des structures extrêmement dépendantes de ce comburant, cessent de fonctionner puis meurent. Par exemple, une accélération brutale appliquée pendant plus de 5 secondes peut priver le cerveau d'oxygène et l'individu tombe dans l'inconscience. Les neurones les plus fragiles tolèrent 3 minutes de cette privation avant de mourir. Il existe une zone grise entre 2 000 et 6 000 m où des améliorations de performance seraient possibles, mais il faut rester très prudent* ». Il explique qu'un cerveau est constitué à près de 98 % de neurones régulateurs ou associatifs (associer les différentes fonctions entre elles et les réguler pour obtenir mouvements ou comportements adaptés). Si on prive ces cellules d'un apport d'oxygène, elles se comportent très bizarrement. Lors de ses expérimentations au laboratoire de Médecine aérospatiale du Centre d'essais en vol de Brétigny, il a observé tous les phénomènes possibles : apathie, folie, ivresse éthylique, agressivité, etc. Dans ces cas, les sujets étaient montés à des altitudes que fréquentent rarement les pilotes de l'aviation générale (sauf les pilotes de planeurs). Il insiste sur le caractère insidieux de la dégradation des fonctions cognitives, raisonnement et mémoire immédiate de l'hypoxie à plus basse altitude. Il décrit *ce phénomène d'une manière assez élégante*

mais néanmoins inquiétante : « à partir de quand est-ce que je considère que j'ai mis trop de temps pour faire une opération dont je ne me rends pas compte qu'elle est fausse » ? Le professeur ajoute qu'à l'étape suivante, le sujet perd toute attitude rationnelle et ne se bat même plus pour sa survie. Il intitule ce syndrome l'EPM (*Et Puis M…*). La personne sait qu'elle va mourir, mais la réaction salvatrice lui coûte trop cher en énergie. J'ai personnellement vu un montagnard en perdition en altitude qui avait cette réaction : « *Laissez-moi mourir au bord du chemin* ». Lorsqu'il donne des cours, le professeur cite le cas de l'accident du B-737 d'Hélios le 14 août 2005. Après un décollage dans un avion non pressurisé (mauvaise position d'une vanne non détectée au cours de la *check-list* avant départ), l'équipage ne s'est pas rendu compte du problème malgré les nombreuses alarmes qui sonnaient et s'éclairaient. A 10000 pieds, première alarme et ensuite à 14000 pieds, les masques à oxygène des passagers se sont déployés. Les pilotes n'ont pas interprété correctement les avertissements. Comme l'avion était en pilote automatique il a continué à monter jusqu'à 34000 pieds. 121 personnes ont trouvé la mort dans ce cas classique d'hypoxie.

Précautions

Mais que faire ? Rester au sol et ne plus apprécier la beauté de nos montagnes ? Cette suggestion sera probablement jugée irrecevable par la grande majorité des pilotes. Heureusement, pour ne pas risquer de sombrer dans les ténèbres de l'hypoxie, le professeur Marotte offre d'excellents conseils (voir encadré). Il appartient à chacun d'entre nous de les respecter et de limiter ainsi les risques que nous prenons quand nous volons au-dessus de 2000 m. Il existe aussi un instrument [bien connu dans le vol à voile – NDLR] qui s'appelle EDS pour *Electronic Oxygen Delivery System*. Mountain High E&S Co le propose à la vente via son site (mhoxygen.com). Ce système envoie de l'oxygène uniquement sur demande et non pas en un flot continu. Il semble très adapté à l'aviation. Il est possible que d'autres entreprises vendent des modèles similaires. Par contre, vous noterez lors de votre visite sur le site, que les prix ne sont pas particulièrement abordables. Mais quel est le prix d'une vie ? Comme je dis toujours, sous un mètre de neige, 650 € pour un *Avalanche airbag system* (ABS) – un sac à dos avec deux « *air-bags* » à l'azote qui vous ramène à la surface quand vous être pris dans une avalanche – devient un coût dérisoire. Fort de toutes ces connaissances nouvellement acquises, je prépare et j'envisage mes vols en altitude avec plus de sérénité. Après réflexion, je me suis aussi rendu compte que ma contribution à la science ne fut pas un petit pas pour l'humanité, mais assurément un grand pas pour le pilote que je prétends être. Je suis dorénavant convaincu que, comme l'amour rend aveugle, l'hypoxie peut provoquer une cécité partielle aux risques que nous encourons quand nous montons au septième ciel !

Pierre-Philippe REILLER,
photos auteur, Cécile Authier et CAMI,
dessins de Patrice Guigue



Le caisson hyperbare de la FAA

Les conseils du Professeur Marotte



Voler avec un passager éclairé – pour une surveillance réciproque. Un individu en situation d'hypoxie n'a pas la capacité de juger de son état. Cela évite de se trouver dans la situation : « *Je vois que je suis en train de rater ce que je fais et que ce ratage va me conduire à la mort, mais bof…* ».
Il est important d'avoir un « réveil matin » sous la forme d'un oxymètre de pouls ou saturomètre. Cet instrument mesure la saturation en oxygène. Au sol, un individu est à environ 98 %. Il faut se fixer une limite, disons 87 % qui est le standard pour 3 500 mètres. En dessous de ce chiffre, le pilote devra impérativement redescendre. Il est important de ne pas transgresser cette consigne.
Avoir une bonne hygiène de vie et éviter notamment les cigarettes et le manque de sommeil.
Le professeur a publié un excellent livre sur le sujet : *Physiologie aéronautique* aux éditions SEES (Tél : 01 64 62 05 06).

