



2. Le scaphandre autonome a été mis au point par Auguste Denayrouze et Paul Bert qui développèrent le premier régulateur de gaz. La plongée de loisir apparaîtra un siècle plus tard quand des détendeurs de mélanges respiratoires plus maniables, fondés sur ce premier modèle, seront fabriqués.

expérimentale. Son maître lui enseigne les règles des sciences expérimentales : poser des hypothèses et les valider par l'expérience. Il passe son doctorat de médecine en 1864 sur un sujet saugrenu à l'époque, la greffe animale, démontrant la possibilité de réaliser des transplants d'un animal à l'autre. En 1865, il obtient le prix de physiologie de l'Académie des sciences pour ses travaux. En 1866, sa thèse de science traite de la vitalité des tissus : ses travaux sur les gaz du sang – il s'intéresse à la respiration tissulaire et au transport de l'oxygène et du dioxyde de carbone par le sang – et sur la pression barométrique commencent.

Physiologiste et médecin

À 34 ans, muni de trois doctorats, il est le plus jeune professeur nommé par une Faculté des sciences – celle de Bordeaux. En 1867, il succède au physiologiste Jean-Pierre Flourens (1794-1867) au Muséum national d'histoire naturelle puis, en 1869, Claude Bernard obtient qu'il le remplace à la chaire de physiologie de la Sorbonne. Paul Bert se consacre alors à la physiologie de la respiration. Toute sa vie, il manifestera une admiration sans faille pour ses maîtres, et en particulier pour Claude Bernard.

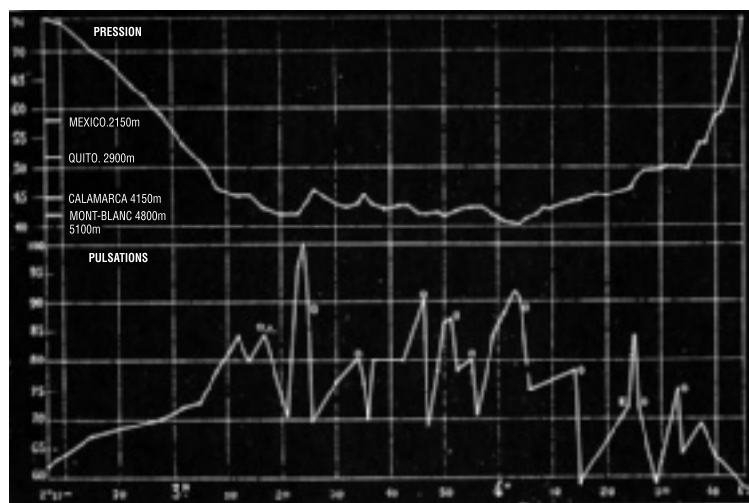


3. La nacelle du Zénith emporta les aéronautes Sivel, Croce-Spinelli et Tissandier à plus de 7 300 mètres d'altitude. Mais les explorateurs ne reçurent pas à temps la lettre de Paul Bert qui avait calculé qu'ils n'emportaient pas assez d'oxygène à bord. Ils s'écrasèrent après avoir perdu connaissance en vol.

Qui plus est, grâce à Paul Bert, Claude Bernard sera le premier homme de science à recevoir des funérailles nationales en 1878.

Dans son ouvrage *La pression barométrique*, publié en 1878, Paul Bert rassemble toutes les données connues à cette époque sur les grimpeurs, les habitants de régions situées en altitude et sur les plongeurs – ceux qui, participant à la construction de ponts, doivent plonger pour installer des piliers de soutènement. Il décrit, dans les moindres détails, 670 expériences concernant l'étude des variations de la pression sur la respiration. Il y expose des conclusions prémonitoires pour l'époque et qui, pour la plupart, seront confirmées ultérieurement.

Quels ont été ses travaux sur la pression barométrique ? Il a d'abord travaillé sur l'animal grâce à un dispositif de cloches en verre où il modifiait à volonté la pression, afin d'examiner les conséquences sur l'animal. L'air est formé de 79 pour cent d'azote (N_2) et de 21 pour cent d'oxygène (O_2). Souvent, on dit que l'oxygène se raréfie en altitude, mais c'est une erreur de langage. Paul Bert montre que ce n'est pas la quantité, mais la pression partielle d'oxygène qui diminue avec l'altitude, en raison d'une diminution de la pression barométrique. Plus la pression est faible, plus



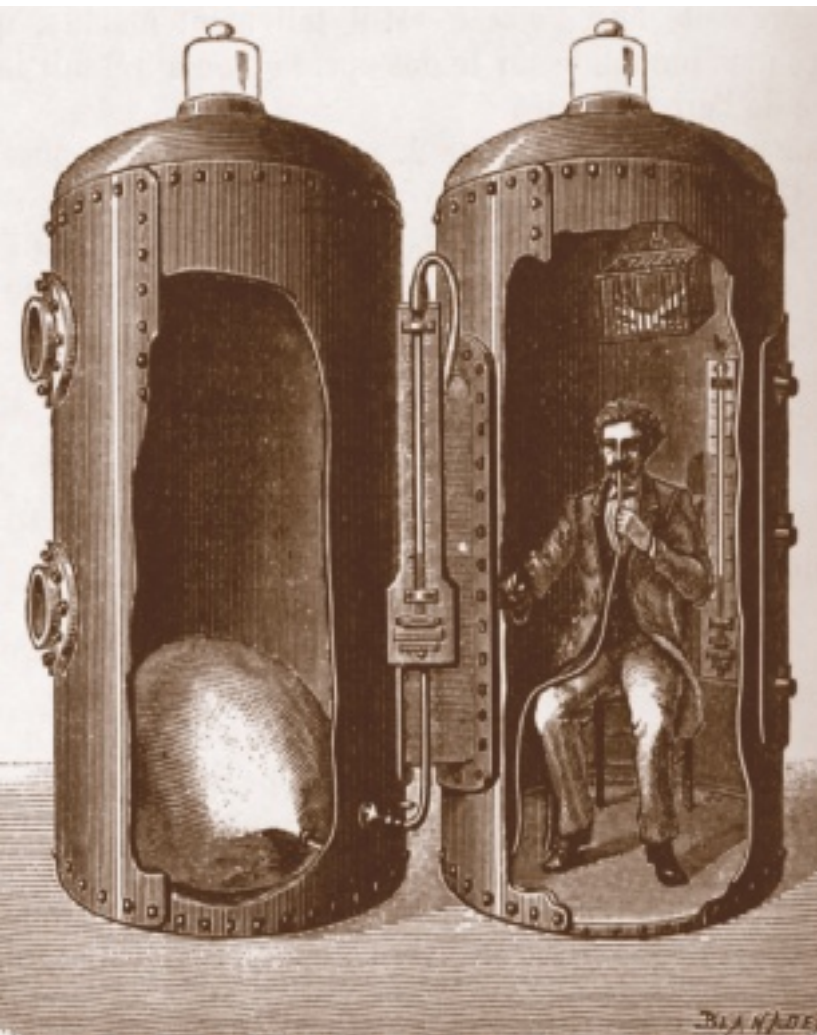
4. Les modifications du nombre de pulsations cardiaques (*tracé du bas*) en fonction de la pression en oxygène (*tracé du haut*) ont été estimées par Paul Bert. Quand la pression diminue, la quantité d'oxygène dissous dans le sang baisse également : la respiration et l'activité cardiaque sont perturbées.

la quantité d'oxygène qui arrive dans les poumons et dans les organes diminue. Il remarque que des modifications de la pression d'oxygène se manifestent notamment par des troubles de l'activité cérébrale, et en déduit que le cerveau n'a pas de réserves d'oxygène. En outre, quand l'apport d'oxygène diminue, la proportion de dioxyde de carbone dans le sang – produit par les cellules et rejeté au niveau des poumons – augmente, provoquant l'hyperventilation imposée par l'altitude. À l'inverse, en plongée, la pression d'oxygène augmente : c'est l'effet hyperbare. L'air entrant dans les poumons se dissout d'autant plus dans le sang que la pression augmente. Il propose la première explication des accidents de décompression : quand un plongeur remonte trop vite à la surface, des bulles d'air (notamment d'azote) se forment dans les vaisseaux à mesure que la pression diminue. Quand des bulles de gaz bouchent les capillaires et bloquent la circulation du sang, une embolie pulmonaire survient (voire une embolie cérébrale grave quand le vaisseau bouché est dans le cerveau). Il faut donc remonter doucement pour limiter l'apparition des bulles de gaz dans le sang. Ces hypothèses de Paul Bert sont aujourd'hui confirmées.

Quelques heures sous les mers et dans les airs

Avec l'aide du médecin Denis Jourdanet, Paul Bert passe de l'expérimentation animale à l'application clinique. Il installe, dans son laboratoire à la Sorbonne, deux cylindres de tôle boulonnée où une pompe à vapeur modifie la pression et la composition des gaz et où un homme peut tenir debout. Il teste sur lui-même et sur ses collègues les effets de l'augmentation ou de la diminution de la pression d'oxygène, et évalue les limites de ces paramètres compatibles avec la vie. Ainsi, il décrit les effets de l'hypoxie (un manque d'oxygène responsable d'une augmentation du rythme cardiaque, de maux de tête, de nausées, de troubles visuels, psychiques et moteurs), de l'hyperoxie – l'effet toxique de l'oxygène sous pression sur le métabolisme cellulaire – et de l'hypercapnie – l'intoxication par le dioxyde de carbone.

En outre, en 1874, il prépare les aéronautes Joseph Croce-Spinelli et Théodore Sivel à une ascension de leur ballon à plus de 7 300 mètres. L'année suivante, accompagnés de Gaston Tissandier, les aéronautes tentent de monter plus haut à bord du *Zénith*... Mais ils ne reçoivent pas à temps la lettre de Paul Bert qui, grâce à ses calculs, les informe qu'ils emportent des réserves d'oxygène insuffisantes pour trois personnes. Pour économiser l'oxygène, les aéronautes choisissent de ne l'utiliser qu'en cas d'extrême nécessité. Paralysés par les différents symptômes de l'hypoxie, les aéronautes ne peuvent saisir les tubes à oxygène et perdent connaissance. Parti de Paris, le *Zénith* s'écrase dans le Cher quelques heures plus tard. Croce-Spinelli et Sivel meurent en altitude. Seul Tissandier reprend conscience à la descente. Simultanément, avec le fabricant Auguste Denayrouze, Paul Bert développe un nouveau scaphandre muni d'un régulateur de pression : les scaphandriers des grands fonds et les ouvriers travaillant



5. Paul Bert dans un caisson en tôle où il expérimenta, sur lui-même, les effets des variations de pression des gaz. Il décrit tous les symptômes liés à un manque ou à un excès d'oxygène ou de gaz carbonique.

à la construction des ponts restent désormais sous l'eau sans danger pendant plusieurs heures.

Dans les années 1870, parce qu'il est médecin et que la France est en guerre, Paul Bert s'intéresse aux anesthésiques et en particulier au protoxyde d'azote, le gaz dit hilarant. Comme l'oxygène, ce gaz est dangereux quand il est respiré longtemps à forte dose. Au Muséum, Flourens découvre les propriétés anesthésiques du chloroforme, mais son utilisation chirurgicale « à la compresse » n'est pas aisée. Après quelques expérimentations chez l'animal, Paul Bert met au point un gaz anesthésique comprenant du protoxyde d'azote et de l'oxygène ; ce gaz est l'« ancêtre » des gaz anesthésiques que l'on utilise encore aujourd'hui en chirurgie. En outre, sa curiosité l'amène à étudier différents aspects de la zoologie et de la botanique ; il montre, par exemple, que la chlorophylle capte préférentiellement certains rayonnements lumineux.

Scientifique... mais aussi politique

Paul Bert a mené une autre carrière qui lui vaut d'avoir son nom sur de nombreux édifices publics. L'humiliation de la défaite de 1870 le conduit en effet vers la politique, ce qui ne l'empêche pas de poursuivre ses activités scientifiques. La République des savants entreprend diverses réformes de l'enseignement scientifique et médical, et tente de mettre en place des instituts de recherche capables de rivaliser avec ceux de l'Angleterre et de l'Allemagne.

Il mène, en tant que député de l'Yonne, une campagne très agressive contre l'enseignement dispensé par l'Église qui réfute les sciences. On lui doit les textes de lois sur la laïcité (lois Jules Ferry), ainsi que l'accession des jeunes filles à l'éducation supérieure (lois Camille Sée). Luttant pour que tous les Français aient un même niveau d'éducation, il crée le certificat d'études. Sous Gambetta, il est nommé ministre de l'Instruction publique et des cultes (novembre 1881 – janvier 1882). Avec Jules Ferry, il est le père fondateur de l'école gratuite, laïque et obligatoire. Ami du chimiste Marcelin Berthelot (1827-1907) et du microbiologiste Louis Pasteur (1822-1895) et enseignant lui-même, il rédige les premiers manuels scolaires destinés à l'enseignement scientifique. En 1886, il est nommé résident général dans deux colonies françaises, l'Annam et le Tonkin. Travailleur infatigable, il souhaite y instaurer une société nouvelle, fondée sur les acquis scientifiques de la fin de ce siècle. Mais il meurt de dysenterie à Hanoï le 11 novembre 1886, huit mois seulement après son arrivée. Ses funérailles nationales seront célébrées à Auxerre le 15 janvier 1887.

Le tribun, l'homme politique engagé, parfois détesté pour son arrogance et sa fougue, soulevant tant de passions politico-religieuses pour son combat anticlérical, a sans doute masqué l'homme de science. L'enthousiasme et la haine conjugués ont effacé la gloire de ce savant singulier. Pourtant, c'est pendant les heures les plus noires de notre pays, en 1942, que le commandant Jacques-Yves Cousteau (1910-1997) et les Américains exhumant l'œuvre



6. Une des premières anesthésies au masque avec un mélange gazeux composé de protoxyde d'azote et d'oxygène.

scientifique de Paul Bert ; pour construire des avions volant à haute altitude et des sous-marins performants, il faut faire face aux problèmes de la vie dans des conditions anormales de pression et de l'immersion. Aujourd'hui, l'effet Paul Bert (ou crise hyperoxique, l'oxygène en trop forte concentration étant mortel) est connu par tous les adeptes de la plongée sous-marine ; l'Agence spatiale américaine et la Société américaine de physiologie et de médecine hyperbares décernent chaque année un prix Paul Bert pour des recherches en physiologie dans l'espace. Enseignants, scientifiques, politiques, plongeurs, aviateurs, cosmonautes, tunneliers, médecins réanimateurs et anesthésistes, sportifs des airs et des mers, tous se réfèrent – en le sachant ou non – à Paul Bert.

William ROSTÈNE est directeur de recherche en neuroendocrinologie dans l'unité INSERM 732, à l'Hôpital Saint-Antoine à Paris.

J.C. LE PÉCHON, *Risques liés à la respiration des mélanges gazeux hyperoxiques*, in *INRS Hygiène et sécurité du travail*, pp. 89-94, 2004.

S. KOTOVTCHIKHINE, *Paul Bert et l'instruction publique*, Éditions Universitaires de Dijon, 2002.

P.L. SERVETTAZ, *Paul Bert, un génie de caractère*, in *Océans*, vol. 156, pp. 98-99, 1986.

M. CHABEUF, *La vie ardente de Paul Bert*, Éditions Barre-Dayez, Paris, 1982.

J. COLIN, *Paul Bert*, in *Pour la Science*, n° 12, octobre 1978.

Intervention de Paul Bert à la Chambre des députés, le 4 décembre 1880, en qualité de rapporteur du projet de loi sur le principe de laïcité appliqué à l'enseignement primaire obligatoire : <http://www.assemblee-nationale.fr/histoire/7eb.asp>