Le phosphore blanc : une arme chimique « autorisée » ?

F. Ceppa, A. Gollion, H. Delacour, P. Burnat.

Service de biochimie, toxicologie et pharmacologie cliniques, HIA Bégin, 69 avenue de Paris – 94163 Saint-Mandé Cedex.

Article reçu le 11 mai 2010, accepté le 3 mars 2011.

Résumé

L'usage du phosphore blanc est ancien, mais son emploi par les militaires a toujours été controversé, comme ce fut le cas début 2009 dans la Bande de Gaza. Quelques mois plus tard, répondant aux accusations américaines, les talibans afghans ont démenti en mai 2009 l'utilisation de munitions au phosphore blanc, un composant chimique qui provoque une combustion puissante. Ce travail, après un bref rappel historique, rappelle les principales caractéristiques du phosphore blanc (aussi appelé *Willie Pete*), tant dans son mode d'action et la symptomatologie qu'il développe, que dans les modalités de sa prise en charge.

Mots-clés : Agent incendiaire. Arme chimique. Brûlure. Phosphore blanc.

Abstract

WHITE PHOSPHORUS : AN « AUTHORIZED » CHEMICAL WEAPON ?

White phosphorus has been used for quite an old time, but by military personnel this has always been much debated, as it was the case early 2009 in the Gaza strip. A few months later in May 2009 Afghan Talibans denied using white phosphorus ammunitions, a chemical compound that provokes a strong combustion. After a short historical reminder, we present in this work the main characteristics of white phosphorus how its works symptoms that are observed and patients care.

Keywords: Fire agent, Chemical weapon, Burnings, White phosphorus.

Historique.

L'utilisation d'agents incendiaires n'est pas récente car l'arsenal romain comptait des arbalètes et des catapultes capables de lancer des flèches, des pierres et des bombes incendiaires par-dessus les murs des camps ennemis. L'usage militaire du phosphore a toujours été controversé. Dans la nuit du 13 au 14 février 1945, la *Royal Air Force* (RAF) a massivement bombardé la ville de Dresde en Allemagne avec cet agent appelé *Willie Pete*, liquéfiant des dizaines de milliers de civils dans une mer de flammes… Winston Churchill entendait ainsi terroriser les Allemands afin de les détourner du nazisme (fig. 1).

F. CEPPA, pharmacien en chef, professeur agrégé du Val-de-Grâce. A. GOLLION, aspirant pharmacien. H. DELACOUR, pharmacien principal, praticien certifié. P. BURNAT, pharmacien chef des services, professeur agrégé du Val-de-Grâce.

Correspondance : F. CEPPA, Service de biochimie, toxicologie et pharmacologie cliniques, HIA Bégin, 69 avenue de Paris – 94163 Saint-Mandé Cedex.

E-mail : franck.ceppa@santarm.fr

Les bombes au phosphore blanc sont essentiellement des engins incendiaires qui peuvent être utilisés dans un but offensif contre des concentrations de troupes. Elles sont également employées pour la signalisation, le marquage des cibles et pour créer des écrans de fumée comme l'a fait l'*US Army* lors de la Seconde Guerre mondiale et de la guerre de Corée en utilisant fréquemment des obus au phosphore blanc dans des mortiers chimiques de 4,2 pouces (1). Le phosphore blanc fut largement crédité par les Alliés d'avoir empêché de nombreuses attaques de l'infanterie allemande et d'avoir créé de lourdes pertes dans les troupes ennemies lors de la dernière partie de la Seconde Guerre mondiale. L'impact psychologique du phosphore blanc sur l'ennemi a été noté par de nombreux chefs de troupes, et les tireurs de tels mortiers furent parfois exécutés de façon sommaire par les Allemands, en représailles. Les côtes Nord de l'Allemagne ont fait l'objet d'opérations militaires stratégiques, telles que les bombardements aériens du centre de recherche Peenemunde, le plus grand centre de recherche mondial sur les fusées et les armes secrètes. Après la Seconde



Figure 1. L'USS Alabama touché par une bombe incendiaire au phosphore, septembre 1921 (source: http://www.history.navy.mil/photos/images/h57000/h57483.jpg).

Guerre mondiale, des résidus contenant du phosphore blanc ont été largués en mer baltique. Les blessés pris en charge à l'époque provenaient tous de la côte proche de ce centre de recherche. Le fait que des résidus de phosphore ressemblant à de l'ambre ont été souvent retrouvés le long des côtes de la mer baltique au nord de l'Allemagne en est la preuve. C'est en particulier après des conditions météorologiques orageuses que des débris d'ambre issus des fonds marins sont ramenés par les vagues sur les plages. Les résidus de phosphore sont ramenés sur les rives par le même mécanisme. Dans la majorité des cas rapportés, les morceaux de phosphore ramassés par les victimes avaient séché dans les poches de pantalon et s'étaient enflammés lorsqu'ils avaient atteint la température du corps. Le 6 décembre 1991 la ville croate de Dubrovnik a également été touchée par des bombes incendiaires lors du conflit yougoslave.

Utilisation récente du phosphore à la guerre.

Récemment, le phosphore aurait été employé en Irak contre la ville insurgée sunnite de Fallujah en novembre 2004, au Sud-Liban en 2006 et dans la Bande de Gaza en 2009. Selon des sources militaires, deux types d'obus contenant du phosphore auraient été utilisés : des obus d'artillerie fumigènes de 155 mm contenant une faible quantité de phosphore, et des obus de mortier de 120 mm à forte concentration de phosphore. Une vingtaine d'obus de ce second type, qui causent des brûlures très graves, auraient été tirés sur des quartiers de la localité de Beit Lahiya. Dans la Bande de Gaza, l'impact des munitions au phosphore était encore plus grave, la densité de la population étant très importante (fig. 2). Des dizaines de personnes sont arrivées à l'hôpital Nasser asphyxiées par un gaz inconnu, mais elles souffraient de symptômes classiquement retrouvés avec le phosphore blanc : hystéries, difficultés de respiration, contractions musculaires. Les secouristes dépêchés sur place ont présenté les mêmes symptômes. En Afghanistan l'armée américaine a affirmé qu'elle avait enregistré quarante-quatre cas d'utilisation ou de possession de phosphore blanc par les talibans en mai 2009 (2). Les forces américaines et de l'OTAN reconnaissent avoir recours au phosphore blanc, qui s'enflamme au contact de l'air, pour éclairer la zone de combats, créer un écran de fumée ou détruire des bâtiments vides, mais assurent ne pas l'utiliser contre des personnes. L'agence Reuters a rapporté que des médecins de l'armée américaine avaient confirmé avoir soigné une fillette de 8 ans souffrant de brûlures dues au phosphore. Il s'agit de la première victime connue du phosphore en Afghanistan. Les forces alliées ont comptabilisé seulement onze cas de tirs d'obus au phosphore blanc. Huit incidents concernent du phosphore retrouvé sur des bombes artisanales. Le phosphore blanc est courant dans les arsenaux militaires, et les Soviétiques en possédaient lorsqu'ils ont combattu en Afghanistan dans les années 80. La Croix-Rouge et d'autres organisations humanitaires ont pourtant réclamé une interdiction de ces munitions en faisant valoir qu'elles causent des brûlures chimiques et des souffrances inutiles. Selon le droit international, l'usage de munitions au phosphore est autorisé et l'armée française se conforme à la réglementation et aux normes internationales. Les munitions au phosphore blanc, qui s'enflamme au contact de l'oxygène contenu dans l'air et brûle à des températures très élevées, ne sont interdites par aucun traité international. Mais leur emploi est réglementé par le protocole III de la Convention sur les armes classiques de 1980 « sur l'interdiction ou la limitation des armes incendiaires », entré en vigueur en 1983. Ce texte prohibe leur utilisation dans les zones peuplées de civils, où elles peuvent provoquer des incendies difficiles à éteindre et des blessures graves car le phosphore blanc peut se consumer pendant des jours. Pour mieux appréhender la dangerosité du phosphore blanc, il est nécessaire de revenir sur ses principales caractéristiques physico-chimiques.



Figure 2. Fumées engendrées par l'explosion d'obus au phosphore blanc, Gaza, janvier 2009 (source : http://34thfloor.wordpress.com/tag/gaza/).

Aspects physico-chimiques.

Comme l'ambre, les blocs de phosphore sont translucides et d'aspect cireux. Cet élément chimique

symbolisé par la lettre P (nombre atomique : 15) est de masse moléculaire 123,9. Bien qu'étant un composé connu pour entrer dans la composition des munitions, il est aussi retrouvé dans l'industrie civile dans les fertilisants, insecticides, rodenticides et les feux d'artifice. Le phosphore blanc possède une température de fusion basse et passe de l'état solide à l'état liquide à 44 °C (3). Sa température d'inflammation spontanée est de seulement 30 °C. Au dessus de cette température, les particules de phosphore s'oxydent au contact de l'air, formant du pentoxyde de phosphore. Le phosphore possède plusieurs formes allotropiques, dont la blanche, la rouge et la noire, la forme jaunâtre correspondant à la forme blanche contenant des impuretés (4).

Symptomatologie de l'intoxication au phosphore blanc.

Le phosphore blanc est un agent incendiaire utilisé au sein de munitions de type particulier. L'exposition à des composés contenant du phosphore peut être à l'origine de brûlures sévères. Ses effets systémiques peuvent être fatals pour le blessé même si la surface atteinte est faible (5). Une hypocalcémie et/ou une hyperphosphatémie menaçant le pronostic vital peuvent en effet survenir très tôt chez certains individus, quelquefois une heure après la brûlure. Une mort subite peut être observée à partir d'une étendue de brûlure correspondante de 10 à 15 % de la surface totale du corps (6). Il n'existe pas de valeur prédictive établie pour déterminer quelles seront les perturbations électrolytiques (4). Aussi les patients atteints de blessures au phosphore blanc doivent-ils être suivis sur le plan électrocardiographique tant que ces perturbations sont observées. L'hypocalcémie peut causer un élargissement de l'espace QT, une dépression du segment ST, une modification des ondes T, et une bradycardie progressive (7). La calcémie et la phosphorémie doivent être surveillées pendant 24 à 72 heures (7, 8). Cette substance est fortement soluble dans les graisses et son absorption peut être à l'origine d'une nécrose hépatique ou rénale (9, 10). Les dommages tissulaires sont représentés à la fois par une brûlure thermique et chimique. Les dégâts tissulaires sont engendrés par les effets corrosifs des acides phosphoriques, après dégagement de chaleur résultant de la formation de pentoxyde de phosphore, et de l'action hygroscopique du pentoxyde de phosphore lui même (3-8). Ces effets ont été bien décrits par l'équipe de Mc Lean à l'occasion de la prise en charge d'une femme, âgée de 69 ans, ayant ramassé sur une côte de la mer baltique quelques morceaux pris pour de l'ambre (11). Les blessures apparaissaient comme nécrotiques, jaunâtres et dégageaient une odeur alliacée. Elles étaient partiellement recouvertes par des croûtes fermes. Les fumées de phosphore blanc peuvent également causer une irritation sévère de l'œil avec blépharospasme et photophobie. Des lésions malignes ont été décrites à long terme (12).

Prise en charge des agressions par le phosphore blanc.

Au sein des plaies, les particules de phosphore continuent de s'oxyder tant qu'il n'y a pas eu de débridement, de neutralisation ou qu'elles ne se sont pas consumées. En cas d'exposition à l'air, son ignition est spontanée et il brûle à une température pouvant atteindre 1 300 °C. Les particules produisent alors une flamme jaune accompagnée d'une fumée blanche. Mendelson a indiqué que la présence de cette fumée blanche s'échappant d'une plaie n'indique pas nécessairement une inflammation, mais assure que de l'acide phosphorique est en train de se former, ce qu'il faut impérativement stopper car ce dernier entretient la combustion et irrite particulièrement les muqueuses (13). En raison de son faible point de fusion, l'irrigation de la blessure avec de l'eau chaude facilite la conversion du phosphore solide en phosphore liquide ce qui augmente le risque d'auto-inflammation lorsque la température d'ignition est atteinte (13, 14). La peau brûlée doit être mise en contact avec des serviettes trempées d'eau froide lors du transport vers un service d'urgences dont le rôle sera d'assurer une décontamination suffisante (15). La forme liquide est délicate à repérer et à éliminer. Rappelons que l'inflammation peut être évitée par l'absence d'oxygène. Lorsque les particules de phosphore sont contenues dans une plaie, il convient de stopper la combustion par une irrigation massive des plaies par du soluté physiologique puis une couverture par des compresses imprégnées de sérum physiologique. La réhydratation doit être pratiquée par des apports minimum au stade de choc post-brûlure (16). Les particules de phosphore visibles doivent être ôtées et placées dans l'eau pour éviter toute inflammation. Un débridement chirurgical immédiat est souvent nécessaire jusqu'à ce que toutes les particules soient éliminées. Les plaies traitées doivent être inspectées deux fois par jour à la recherche de nouvelles particules ou de fumées, indiquant la nécessité d'une nouvelle intervention (8). Elles peuvent être recouvertes de solution aqueuse de sulfadiazine argentique à 0,5 % entre chaque intervention pour faciliter l'examen. La fermeture définitive de la blessure peut être envisagée lorsqu'un débridement efficace a été réalisé, une greffe de peau est alors souvent nécessaire. Par ailleurs une fibroscopie bronchique doit être pratiquée à distance s'il y a eu notion d'exposition à des fumées et risque d'inhalation. Une confusion considérable règne encore aujourd'hui autour de l'intérêt de traiter ces patients par des solutions de sulfate de cuivre qui forme avec le phosphore du phosphate de cuivre ($CuPO_3$). Cette pratique a évolué au cours des 100 dernières années et fut notamment retrouvée à l'occasion de la guerre du Vietnam car elle permettait d'identifier les particules de phosphore dans la plaie (10). Le sulfate de cuivre ne constitue en effet ni une antidote, ni un agent neutralisant mais semble plutôt faciliter le débridement en conférant aux particules de phosphore une coloration noire (3). Malheureusement, cette solution est facilement absorbée par la plaie, or l'absorption du cuivre peut être à l'origine d'une hémolyse massive, d'une hématurie, d'une insuffisance rénale aiguë avec oligurie ou d'un

collapsus cardiovasculaire entraînant le décès (8). L'utilisation de solution de sulfate de cuivre à 3, 1, ou 0,5 % a été défendue pour des raisons de sécurité, de même que l'addition d'hydroxyethyl cellulose ou de lauryl sulfate à 1 % ou le rinçage à l'eau ou au soluté physiologique juste après l'application (7-10, 17). Ces changements n'ont jamais été approuvés. Le nitrate d'argent à 1 à 3 % a également été préconisé pour la recherche plus facile des particules dans les plaies (3). Celles ci sont plus facilement identifiables à l'aide d'une lampe de Wood qui les fait fluorescer (5, 8, 18). Bien que des recommandations aient été formulées pour la prise en charge de tels patients par des non spécialistes, l'avis d'une unité spécialisée est souhaitable après les premiers soins (18).

Contexte particulier de l'usage du phosphore blanc en milieu militaire.

Au cours du siècle dernier, la menace de brûlure s'est déplacée des armes nucléaires vers les missiles portatifs (à l'épaule). Des agents tels que le napalm ou le phosphore blanc représentaient un risque à part entière. La menace d'atteinte par brûlure est appelée à s'intensifier, des recherches étant menées pour développer des armes exploitant la vulnérabilité des militaires aux brûlures. Les vêtements peuvent constituer une barrière vis-à-vis d'un certain nombre de brûlures, à la fois par les propriétés des matériaux portés, mais également par l'emprisonnement de l'air à travers les couches de vêtements. À l'inverse, l'enflammement d'un tissu peut aggraver une brûlure. Il est ainsi admis qu'un morceau de vêtement brûlé contenu dans une blessure peut compliquer la prise en charge de la victime, et que le port de matières pouvant fondre telles que les matières thermoplastiques est à proscrire si une menace de brûlure est présente. Les parties les plus vulnérables du corps sont les parties découvertes (visage et mains). Les vêtements comportant plusieurs couches offrent une protection valable, évitant l'engouffrement des flammes.

Depuis la Première Guerre mondiale, les brûlures causées par le phosphore blanc sont craintes en raison de leurs conséquences dévastatrices. En cas de brûlures chimiques, la réduction du temps d'exposition à l'agent chimique et la détection d'une toxicité systémique sont nécessaires pour diminuer la sévérité de la blessure et la morbidité. Au cours d'une période de 17 ans (1969 à 1985), 87 (soit 2,1 %) des 4 212 patients brûlés admis à l'Institut de recherche chirurgicale de l'armée américaine étaient des blessés chimiques (19). Douze d'entre eux (14 %) n'ont pas survécu. Le phosphore blanc, agent le plus communément rencontré, était à l'origine de lésions cutanées chez 49 patients. Le traitement débutait par un lavage à l'eau puis se poursuivait par des topiques antibiotiques, une excision voire une greffe si nécessaire. Au cours de la préparation à l'affrontement en Irak, des modules complémentaires au cours général sur le sauvetage des grands brûlés destiné aux médecins militaires à Houston portaient sur les traitements des brûlures causées par le phosphore blanc et l'ypérite, le transport aérien de ces patients et leur prise en charge (20). Cet enseignement destiné aux militaires est également applicable aux actions terroristes et à toutes celles engendrant un grand nombre de victimes. La complexité des blessures observées lors de brûlures au phosphore blanc s'étend au-delà des dégâts causés par l'explosion des grenades dans les mains des soldats. En effet ce sont à la fois les particules de phosphore et les fragments de grenade qui s'incrustent dans les plaies. La dose létale chez l'homme est de l'ordre de 50 à 100 mg.

Conclusion.

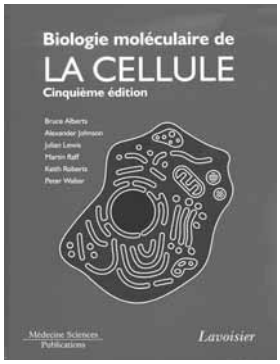
Bien que son emploi ait été réglementé par le protocole III de la Convention sur les armes classiques « sur l'interdiction ou la limitation des armes incendiaires », le phosphore blanc a été employé encore récemment. Des événements récents en Afghanistan soulignent que nos troupes peuvent être confrontées à ces armes. Il est donc important que nos professionnels de santé soient informés sur la présentation clinique et les conditions de prise en charge de ces blessés. Les blessures que le phosphore provoque, peuvent menacer le pronostic vital après inflammation spontanée, comme en témoignent le cas de patients ayant confondu cette substance avec de l'ambre. La conduite à tenir en cas d'exposition consiste à recouvrir les plaies d'eau froide, et à opérer un débridement chirurgical si nécessaire. La vigilance doit redoubler lors de la prise en charge de militaires, régulièrement exposés aux tirs de munitions et pour lesquels les débris de phosphore peuvent rester piégés et se consumer à l'intérieur des effets vestimentaires.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Poitevin C. L'utilisation de bombes au phosphore blanc par l'armée américaine en Irak (archive). Note d'analyse du GRIP, 1er décembre 2005.
2. http://www.france24.com/fr/20090512-taliban-dementi-utilisation-armes-phosphore-blanc-afghanistan-liste-armee-americaine. Mai 2009.
3. Zong-yue S, Yao-ping L, Xue-qi G. Treatment of yellow phosphorus skin burns with silver nitrate instead of copper sulfate. Scand J Work Environ Health 1985;11:33.
4. Bellamy RF. Willie Peter. Mil Med 1988;153:76-9.
5. Franka M, Schmuckera U, Nowotnya T, Axel Ekkernkampa A, Hinza P. Not all that glistens is gold: civilian white phosphorus burn injuries. Am J Emerg Med 2008 26:974.
6. Davis KG. Acute management of white phosphorus burns. Mil Med 2002;167:83-4.
7. Chou TD, Lee TW, Chen SL, Tung YM, Dai NT, Chen SG, et al. The management of white phosphorus burns. Burns 2001;27:492-7.

8. Kaufman T, Ullman Y, Har-Shai Y. Phosphorus burns: a practical approach to local treatment. JBCR 1988;9:474-5.
9. Konjoyan TR. White phosphorus burns: case report and literature review. Mil Med 1983;148:881-4.
10. Summerlin WT, Walder AL, Moncrief JA. White phosphorus burns and massive hemolysis. J Trauma 1967;7:476-84.
11. McLean AD. Burns and military clothing. J R army Med Corps 2001;147:97-106.
12. Schmidt I, Friedel R, Schmitz H, Marx F, Markgraf E. The Marjolin's ulcer: a malignant and rarely complication after burn trauma of the upper extremity – a case report. Unfallchirurg 2000;103:68-72.
13. Mendelson JA. Some principles of protection against burns from flame and incendiary munitions. J Trauma 1971;11:286-94.
14. Curreri PW, Asch MJ, Pruitt BA. The treatment of chemical burns: specialized diagnostic, therapeutic, and prognostic considerations. J Trauma 1970;10:634-41.
15. Koenig KL, Boatright CJ, Hancock JA, Denny FJ, Teeter DS, Kahn CA, et al. Health care facility-based decontamination of victims exposed to chemical, biological, and radiological materials. Am J Emerg Med 2008;26:71-80.
16. Dai NT, Chen TM, Cheng TY, Chen SL, Chen SG, Chou GH, et al. The comparison of early fluid therapy in extensive flame burns between inhalation and noninhalation injuries. Burns 1998;24:671-5.
17. Stewart CE. Chemical skin burns. Am Fam Physician 1985;31:149-57.
18. Alsbjorn B, Gilbert P, Hartmann B, Ka_mierski M, Monstrey S, Palao R, et al. Guidelines for the management of partial-thickness burns in a general hospital or community setting – recommendations of a European working party. Burns 2007;33:155-60.
19. Mozingo DW, Smith AA, McManus WF, Pruitt BA, Mason AD. Chemical burns. Trauma 1988;28:642-7.
20. Barillo DJ, Cancio LC, Hutton BG, Mittelsteadt PJ, Gueller GE, Holcomb JB. Combat burn life support: a military burn-education program. J Burn Care Rehabil 2005;26:162-5.

VIENT DE PARAÎTRE



BIOLOGIE MOLÉCULAIRE DE LA CELLULE

5e édition

Bruce ALBERTS - Alexandre JOHNSON - Julian LEWIS - Martin RAFF - Keith ROBERTS - Peter WALTER

On ne présente plus LE Alberts, bible de biologie moléculaire et cellulaire, dont la 1re édition est parue il y a 25 ans. Ouvrage de référence en biologie, cette 5e édition a été actualisée et enrichie.
Elle est divisée en cinq parties réunissant 25 chapitres. La Partie I « La cellule : introduction » couvre les principes élémentaires de biologie cellulaire et la biochimie fondamentale. La Partie II « Mécanismes génétiques de base » forme le cœur de la biologie cellulaire et s'intéresse aux propriétés communes à la plupart des cellules eucaryotes, traitant de l'expression et de la transmission des informations génétiques. La Partie III expose les principales méthodes expérimentales d'étude des cellules. La Partie IV traite de l'organisation interne des cellules. La Partie V « Les cellules dans leur contexte social » est consacrée au comportement des cellules dans les organismes multicellulaires, depuis les fonctions intercellulaires et la matrice extracellulaire, jusqu'aux réactions cellulaires à l'infection et au système immunitaire.
Un important glossaire de plus de 1 400 définitions constitue un précieux outil pour le lecteur souhaitant contrôler ou compléter ses connaissances. L'ouvrage se termine par un index très détaillé de 12 000 entrées.
Cette 5e édition intègre toutes les avancées récentes réalisées dans le domaine de la biologie cellulaire et moléculaire, de la génétique, de l'épigénétique, de la génomique, ainsi que les nouvelles données concernant la thérapeutique, notamment le traitement du cancer.
Afin de tester les connaissances du lecteur, les chapitres se terminent par une série de problèmes dont les solutions sont données dans le livre « compagnon », *Biologie moléculaire de la cellule. Cinquième édition. Livre d'exercices*, rédigé par John WILSON et Tim HUNT.

La richesse des illustrations en couleurs, les résumés récapitulatifs en fin de chaque section, la rédaction très didactique, l'utilisation tout au long du livre de termes en caractères gras pour mettre en valeur les mots importants là où ils sont le plus développés, les problèmes en fin de chapitre et le glossaire en fin d'ouvrage ajoutent à l'extraordinaire accessibilité du livre.
Ce livre est destiné aux étudiants en médecine, sciences, pharmacie, aux enseignants, aux chercheurs, et tous les scientifiques soucieux d'actualiser leurs connaissances en biologie cellulaire.

Les auteurs :
Bruce ALBERTS a reçu son Ph.D. à l'Université de Harvard et est Professeur de Biochimie et Biophysique il l'Université de Californie, San Francisco. Pendant 12 ans il a été Président la US National Academy or Sciences (1993-2005). I1 est rédacteur en chef du magazine Science.
Alexander JOHNSON a reçu son Ph.D. à l'Université de Harvard et est Professeur de Microbiologie et Immunologie, et Directeur du Biochemistry, Cell Biology. Genetics, and Developmental Biology Graduate Program de l'Université de Californie, San Francisco.
Julian LEWIS a reçu son D. Phil. à l'Université d'Oxford et est Directeur scientifique au London Research Institute of Cancer Research, Royaume-Uni.
Martin RAFF a reçu son Ph.D. à l'Université McGi11 et travaille au Medical Research Council Laboratory for Molecular Cell Biology et au Département de Biologie de l'University College de Londres.
Keith ROBERTS a reçu son Ph.D. à l'Université de Cambridge et est Professeur émérite au John Innes Center, Norwich.
Peter WALTER a reçu son Ph.D. à l'Université Rockefeller de New York et est Professeur et Directeur du Département de Biochimie et Biophysique de l'Université de Californie, San Francisco, et Chercheur au Howard Hughes Medical Institute.

ISBN 978-2-257-00096-5 – Format 21,5x27,5 cm – Pages : 1728 – Prix : 159,50 € – Éditeur : ***Médecine Sciences Publications*** *- Lavoisier – 11 rue Lavoisier – 75008 Paris – Tél. : 33(0)1 42 65 39 95 – Fax : 33(0)1 42 65 02 46 – www.Lavoisier.fr*