

# REVUE DE LA LITTÉRATURE SUR LES BRÛLURES AU PHOSPHORE

## A REVIEW OF LITERATURE ON PHOSPHORUS BURNS

Lacroix G.,<sup>1</sup>✉ Martinot-Duquennoy V.,<sup>1</sup> Ngo B.,<sup>1</sup> Knipper P.,<sup>2</sup> Pasquesoone L.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Centre de Traitement des Brûlés, CHRU Lille, Université Lille 2, France

<sup>2</sup>Service de Chirurgie Plastique Ambulatoire, Hôpital Cochin - Port Royal, Assistance Publique - Hôpitaux de Paris, Université de Paris, France

**RÉSUMÉ.** Entre septembre et novembre 2020, l'Arménie et l'Azerbaïdjan se sont affrontés dans le Haut-Karabagh. Plusieurs missions chirurgicales ont été organisées par l'Assistance Publique – Hôpitaux de Paris pour aider à la prise en charge des blessés de guerre arméniens. Ces missions avaient notamment pour objectif l'évaluation de soldats victimes de brûlures suspectes d'être causées par du phosphore. Confrontés lors de ces missions à cette étiologie peu fréquente de brûlures, nous nous sommes intéressés à leur physiopathologie, leur prise en charge et leurs complications. Des actualisations itératives sont nécessaires pour guider de la meilleure façon la prise en charge des brûlures au phosphore. Dans ce but, nous avons réalisé une revue de la littérature en recherchant dans Pubmed les mots-clés «phosphorus», «burns» en Mesh Terms sans limite de date de parution des articles. Il ressort de cette revue que les brûlures au phosphore sont profondes, extensives et peuvent être responsables d'une toxicité systémique avec notamment une hypocalcémie pouvant être responsable de troubles du rythme cardiaque et de mort subite. En aigu, les brûlures doivent être lavées abondamment au sérum physiologique ou à l'eau stérile puis bénéficier d'une décontamination mécanique de l'ensemble des particules de phosphore blanc. Il ne faut pas effectuer de pansement gras en raison du caractère liposoluble du phosphore blanc. Par la suite, un ou plusieurs parages sont nécessaires avant de commencer la couverture des pertes de substance induites. Cette couverture fait appel à l'ensemble des techniques de chirurgie plastique. Les brûlures au phosphore sont rares mais graves. Elles sont surtout rencontrées sur des théâtres de guerre et doivent ainsi être connues de tous les soignants qui interviennent dans ces circonstances.

**Mots-clés:** phosphore, brûlure, évaluation, prise en charge, revue

**SUMMARY** Armenia and Azerbaijan fought between September and November 2020 in Nagorno-Karabagh. Several surgical missions were scheduled by Assistance Publique- Hôpitaux de Paris to help care for the war-injured Armenians. These missions included the evaluation of Armenian soldiers suspected of having been injured by phosphorus. Facing, during these missions, such infrequent burns, we were interested in their pathophysiology, care and complications. Repeated up-to-date information is necessary in order to better take care of phosphorus burns. Therefore, we conducted a literature review, using PubMed and the Mesh Terms “phosphorus” and “burns”, without setting any date limit. The review acknowledges that phosphorus burns are deep, tend to spread and may be the cause of systemic toxicity including hypocalcaemia, which can lead to heart rate disturbance and even death. In the acute phase, burns should be extensively washed with normal saline or water before a mechanical decontamination. One should not use oily dressings, given the liposolubility of phosphorus. Subsequently, one or many debridements are necessary before starting wound coverage, for which any kind of plastic surgery may be used. Phosphorus burns are infrequent but serious. They mainly occur in warfare and should be known by any caregiver acting in this context.

**Keywords:** burns, phosphorus, assessment, care, review

✉ Auteur correspondant : Guillaume Lacroix, Centre de Traitement des Brûlés, CHRU Lille 2, avenue Oscar Lambret, 59037 Lille CEDEX, France. Tél.: +33 320445659; email: guillaume.lacroix2.etu@univ-lille.fr  
Manuscrit: soumis le 07/08/2021, accepté le 10/10/2021

## Introduction

Les brûlures au phosphore blanc, rares en pratique civile, se rencontrent plus fréquemment sur des théâtres de guerre ou dans le cadre d'accidents industriels. Elles sont le plus souvent profondes, de cicatrisation longue et de morbidité conséquente. Elles peuvent en outre déclencher une toxicité systémique potentiellement létale, même pour une petite surface cutanée brûlée. Leur prise en charge n'a pas été validée par des études, en raison du faible nombre de cas rapportés dans la littérature, mais de grands principes de prise en charge font consensus. Ils sont à connaître afin de permettre une prise en charge adaptée et prévenir les complications de ces brûlures. À travers une revue de la littérature, cet article a pour but de faire un état des lieux des connaissances actuelles sur les brûlures au phosphore blanc.

## Physiopathologie

Il existe 3 formes allotropiques du phosphore<sup>1</sup>: rouge (ou violette) qui est obtenue par transformation du phosphore blanc sous l'action de la chaleur (à environ 280°C), utilisée pour la fabrication des batteries et pour l'ignifugation de matériaux et de textiles;<sup>2,3</sup> noire qui est obtenue par transformation du phosphore blanc sous l'action combinée de la chaleur (supérieure à 200°C) et de fortes pressions ( $P > 1\,200\,10^5$  Pa), elle est la forme la plus stable et est utilisée notamment dans la fabrication de nanotechnologies;<sup>4</sup> blanche (ou jaune) utilisée dans le domaine de l'armement (bombes incendiaires, grenades fumigènes par exemple), pour la fabrication d'engrais ou de rodenticides.<sup>5,6</sup>

Le phosphore blanc se présente sous la forme d'un solide, d'une consistance s'approchant de celle de la cire lorsqu'il est à température ambiante.<sup>1,7</sup> Le phosphore blanc s'auto-enflamme au-delà de 30°C en présence d'oxygène.<sup>1,8,9</sup> Cette réaction exothermique entraîne un dégagement de chaleur pouvant atteindre 1 300°C, associé à des flammes et à des fumées denses, jaunes.<sup>1,5,7,10,11</sup> Le phosphore reste enflammé jusqu'à ce qu'il soit totalement consumé ou qu'il soit privé d'oxygène.<sup>12</sup> Le phosphore est aussi responsable de brûlures chimiques. En effet, la réaction

entre le phosphore blanc et l'oxygène produit des pentoxydes de phosphore ( $P_2O_3$  et  $P_2O_5$ ).<sup>1,13</sup> En présence d'eau, ces pentoxydes de phosphore sont hydrolysés en acide phosphorique qui a une action corrosive très forte.<sup>5,9,11,13</sup> Par ailleurs, le phosphore blanc est une substance lipophile qui pénètre profondément dans les tissus, en saponifiant les graisses.<sup>12,14,15</sup> La destruction locale continue donc tant que les particules de phosphore sont exposées à l'oxygène.<sup>11</sup>

Le phosphore, solide ou gazeux (fumées de combustion) est facilement absorbé par la peau et les poumons et est responsable d'une toxicité systémique avec notamment des nécroses hépatique et rénale.<sup>5,7</sup> Sur des modèles animaux, on observe, quelle que soit la voie d'exposition, une cytolysse hépatique, une hypertriglycéridémie et une nécrose péri-portale associée à une dégénérescence graisseuse. Après inhalation pendant 1h chez le rat et la souris, ces effets apparaissent à forte concentration (1 615 mg/m<sup>3</sup> et 649 mg/m<sup>3</sup> respectivement). Par voie cutanée chez le rat, la dose toxique est de 29 mg/kg. Sur le plan rénal, les modifications consistent en une dilatation des voies urinaires après inhalation de fortes concentrations chez le rat et la souris et à des modifications histologiques sévères après brûlure cutanée chez le rat (nécrose et dégénérescence vasculaire du tubule proximal associées à des modifications ischémiques dans le glomérule) responsables cliniquement et biologiquement d'une insuffisance rénale.<sup>6</sup> À l'heure actuelle, la dose létale n'est pas précisément connue; elle serait comprise entre 50 et 100 mg.<sup>7</sup>

## Historique et épidémiologie

Le phosphore est l'élément chimique de numéro atomique 15 et de symbole P. Son nom dérive du grec *phosphoros* signifiant «porteur de lumière» et tient au fait que le phosphore blanc émet, au contact de l'air, de la lumière blanche. La découverte du phosphore est attribuée à l'alchimiste allemand Hennig Brandt (1630–1692) en 1669 (*Fig. 1*). C'est lors de ses recherches de la pierre philosophale que le phosphore fut découvert accidentellement. Brandt, frappé par la couleur dorée de l'urine, était persuadé de pouvoir ainsi l'utiliser et d'arriver à son but. En concentrant et en évaporant de l'urine, Brandt obtint



Fig. 1 - The alchemist discovering phosphorus. Joseph Wright of Derby, 1771. Derby Museum and Art Gallery, UK

un extrait noir qu'il mit dans un flacon avec un métal ordinaire pour le transformer en or. Il fit chauffer ce mélange pendant plusieurs heures, sans résultat. Cependant, après avoir distillé une importante quantité d'urine et l'avoir fait réagir avec un métal, il fut surpris de la formation d'une substance lumineuse inconnue dans le flacon. Il recommença les opérations et obtint une quantité notable de cette substance pâteuse blanchâtre et lumineuse. Il en étudia les propriétés et retrouva une extrême inflammabilité spontanée dans l'air dégageant des vapeurs suffoquantes dès qu'on la sortait du flacon.

La première utilisation du phosphore blanc à des fins militaires est rapportée au XIX<sup>ème</sup> siècle, par les nationalistes irlandais. Le phosphore blanc était associé à une solution de disulfure de carbone. Ce mélange était connu sous le nom de «feu de Fenian». <sup>16</sup> Lors de la première guerre mondiale, l'utilisation militaire du phosphore blanc s'est généralisée, rentrant dans la composition de grenades et bombes incendiaires. Le phosphore blanc (surnommé «Willie Pete» ou «Willie Peter», provenant des initiales WP

pour *White Phosphorus* en anglais) était redouté pour ses effets dévastateurs. <sup>17</sup> Son utilisation a été plus intense pendant la seconde guerre mondiale, entrant dans la composition de grenades fumigènes, fusées éclairantes, balles traçantes, bombes incendiaires (Fig. 2). <sup>10</sup> Durant la seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle, le phosphore blanc a été utilisé durant de nombreux conflits (guerres de Corée, du Vietnam, 1<sup>ère</sup> guerre d'Afghanistan, guerre d'Irak). Plus récemment, l'utilisation de bombes au phosphore a été fortement suspectée lors de la guerre du Haut-Karabagh entre l'Arménie et l'Azerbaïdjan. <sup>18,19</sup>

Pourtant, en raison des lésions sévères générées par le phosphore blanc, son utilisation contre des



Fig. 2 - Largage d'une bombe au phosphore au Vietnam. National Museum of the US Air Force

populations civiles ou contre des cibles militaires situées à l'intérieur de concentrations civiles est interdite par le protocole III de la Convention des Nations Unies sur certaines armes classiques (ou *Convention sur l'interdiction ou la limitation de l'emploi de certaines armes classiques qui peuvent être considérées comme produisant des effets traumatiques excessifs ou comme frappant sans discrimination*). <sup>20</sup> Ce texte ne couvre que les armes utilisées dans un objectif incendiaire et non celles pouvant enflammer de manière collatérale. Ainsi, les grenades fumigènes ou éclairantes utilisant du phosphore blanc peuvent être utilisées.

En dehors du contexte de guerre, le phosphore blanc est utilisé dans l'industrie agricole, pour la fabrication d'engrais ou d'insecticides. <sup>12,21,22</sup> Il entre

aussi dans la fabrication de feux d'artifice.<sup>22</sup> Enfin, le phosphore blanc peut se retrouver, dans la nature, sur certaines plages où il peut être confondu avec de l'ambre en raison d'un aspect jaune translucide et générer des brûlures accidentelles.<sup>1,10,22</sup> Ces résidus de phosphore blanc proviennent probablement, dans les cas rapportés dans la littérature, de munitions ou bombes de la seconde guerre mondiale contenant du phosphore s'étant rompues dans la mer et ayant relargué des particules de phosphore blanc.<sup>1</sup> Ainsi, les brûlures au phosphore peuvent aussi, rarement, se rencontrer dans le milieu civil et intéresser toutes les catégories d'âges y compris les enfants.<sup>1,10,14,15,22</sup>

### Aspects cliniques

Les brûlures par phosphore sont classiquement des brûlures profondes, volontiers au 3<sup>ème</sup> degré, nécrotiques et très douloureuses.<sup>11-13,22</sup> Cette profondeur s'explique par le mécanisme lésionnel mixte thermique (réaction exothermique intense) et chimique (avec le caractère lipophile du phosphore). Associées à ces brûlures, des lésions vasculo-nerveuses, tendineuses ou des fractures ouvertes ainsi que des lésions de blast doivent être recherchées s'il s'agit d'un mécanisme lésionnel par explosion (*Fig. 3*).<sup>13,19</sup> Les brûlures au



**Fig. 3** - Particules phosphorescentes à la lampe ultraviolet de Wood<sup>19</sup>

phosphore dégagent par ailleurs une odeur particulière d'ail.<sup>12,22</sup> De plus, l'examen à la lampe de Wood objective des particules jaunes fluorescentes qui sont caractéristiques du phosphore blanc (*Fig. 4*).<sup>12,19</sup>

Le phosphore blanc peut par ailleurs être responsable de symptômes généraux en raison d'une toxicité systémique, qui se manifeste en trois phases.<sup>23</sup> *La 1<sup>ère</sup> phase*



**Fig. 4** - Blessures par éclat d'obus associées à des brûlures au phosphore<sup>19</sup>

(8 premières heures) associe des symptômes digestifs à type de douleurs abdominales, de nausées, de vomissements et/ou de diarrhées pouvant avoir une odeur d'ail et être phosphorescents dans l'obscurité et des symptômes oculaires (blépharospasme, photophobie, larmoiement), pouvant être très sévères.<sup>6</sup> La 2<sup>ème</sup> phase (entre la 8<sup>ème</sup> heure et le 3<sup>ème</sup> jour) peut comprendre une période asymptomatique faussement rassurante (régression temporaire des symptômes dans 50% des cas) et être ainsi ignorée. Les symptômes peuvent aussi réapparaître et s'accompagner de défaillance(s) d'organe(s): neurologique jusqu'au coma, cardiaque jusqu'au choc cardiogénique, rénale avec une insuffisance rénale, troubles hémorragiques sévères etc.<sup>6</sup> La 3<sup>ème</sup> phase (entre les 4<sup>ème</sup> et 8<sup>ème</sup> jours) est une défaillance multiviscérale pouvant conduire à un décès. Ainsi, une surveillance clinique et biologique rapprochée est nécessaire pendant une dizaine de jours.

Les fumées de phosphore blanc causent des irritations respiratoires (en particulier en cas d'exposition à au moins 400 mg/m<sup>3</sup> pendant 10 à 15 minutes), avec au maximum un œdème pulmonaire toxique pouvant nécessiter intubation trachéale et ventilation mécanique.<sup>6,13,14</sup>

Sur le plan électrolytique, les brûlures au phosphore, même touchant une petite surface, peuvent provoquer une hyperphosphorémie et une hypocalcémie responsables de troubles du rythme cardiaque et de mort subite.<sup>23,24</sup> Les brûlures au phosphore peuvent aussi entraîner des hypoprotidémies, une insuffisance rénale, une insuffisance hépatique d'origine nécrotique, une élévation consécutive de la CRP.<sup>5,13,22</sup>

Ainsi, un diagnostic rapide est nécessaire pour éviter un approfondissement des lésions, prévenir les complications générales et commencer une prise en charge adéquate.<sup>14</sup> Néanmoins, le diagnostic en aigu n'est pas toujours évident. Dans ce cas, il est possible d'utiliser une lampe de Wood ou du sulfate de cuivre (à la concentration de 1 à 5%) qui permet de colorer les particules de phosphore en noir.<sup>7,13,14,23</sup> Ce dernier n'est cependant pas recommandé en raison de ses effets indésirables graves (hémolyse, insuffisance rénale aiguë, défaillance cardio-vasculaire.)<sup>1,25</sup> Lorsque le diagnostic de brûlure au phosphore est évoqué à distance de l'accident, il est possible d'analyser les vêtements que le patient portait au moment de l'accident par spectrométrie de masse après chromatographie en

phase gazeuse ou par spectroscopie Raman.<sup>1,26</sup> Une fois le diagnostic établi, il est nécessaire d'entreprendre en urgence un traitement adéquat.

## Traitement

Il n'existe pas dans la littérature d'études évaluant le traitement optimal des brûlures au phosphore. Néanmoins, il se dégage de la littérature un consensus concernant certaines modalités de la prise en charge.<sup>21</sup> En premier lieu, il faut enlever tout vêtement potentiellement contaminé.<sup>12</sup> Pendant le transport primaire, les brûlures doivent être recouvertes de compresses imbibées de sérum physiologique froid, d'eau froide ou de n'importe quel moyen permettant d'isoler les brûlures de l'air.<sup>10,13,22</sup> À l'hôpital, il faut poursuivre l'irrigation des brûlures avec du sérum physiologique froid ou de l'eau stérile froide (toujours à une température inférieure à 44°C, température de fusion du phosphore, qui pénétrerait alors en profondeur).<sup>10,12,15,22,27</sup> Pendant cette phase d'irrigation, il faut surveiller la température corporelle du patient pour prévenir toute hypothermie.<sup>21</sup> Sur le plan chirurgical, il faut procéder en urgence au retrait des particules de phosphore ainsi qu'au parage des zones nécrosées. La détection des particules peut être facilitée par l'utilisation d'une lampe de Wood.<sup>21</sup> Il faut veiller par ailleurs à retirer d'éventuels débris d'obus ou de grenades associés.<sup>5,7,12,21,22</sup> Durant ces gestes chirurgicaux, il est important que les intervenants soient protégés du contact et des potentielles projections de particules de phosphore blanc qui peuvent être responsables de brûlures.<sup>5,7,12</sup> Les particules de phosphore extraites doivent être placées immédiatement dans de l'eau froide afin de prévenir leur inflammation spontanée.<sup>15,21</sup> Le phosphore blanc étant liposoluble, les pansements gras sont à proscrire.<sup>28</sup> Un remplissage adéquat doit être entrepris.<sup>12</sup> Un monitoring continu permet de dépister d'éventuels troubles du rythme cardiaque. Pour prévenir ces troubles rythmiques, un dosage au moins quotidien de la calcémie et de la phosphorémie est réalisé, à la recherche d'une hypocalcémie et d'une hyperphosphorémie. En cas d'hypocalcémie, un traitement intraveineux par du gluconate de calcium est initié (1 à 2 ampoules de 10 mL de glu-

conate de calcium à 10% dilué dans 50 à 100 mL de dextrose à 5% en intraveineuse lente puis perfusion de 0,5 à 2 mg/kg/h de calcium pendant 6 à 8 heures).<sup>29,30</sup> Les patients doivent aussi recevoir des suppléments de calcium par voie orale.<sup>30</sup> Il n'existe pas à l'heure actuelle d'antidote spécifique pour la toxicité systémique du phosphore. Il faut donc surveiller de manière quotidienne le bilan hépatique, la coagulation et la numération globulaire. Durant les premières 48 heures de la prise en charge, tous les fluides corporels doivent être considérés comme contaminés et bénéficier d'un tri spécifique parmi les déchets biologiques.<sup>6,7</sup> Par la suite, plusieurs de temps de parage sont souvent nécessaires, jusqu'à détersion complète de la zone atteinte, le phosphore ayant un pouvoir pénétrant fort important et prolongé.<sup>27,31</sup> La couverture des pertes de substances fait appel à l'ensemble de l'arsenal thérapeutique de chirurgie reconstructrice à savoir cicatrisation dirigée, thérapie à pression négative si elle est disponible, autogreffes, allogreffes, lambeaux, voire amputations dans les cas les plus graves.<sup>5,10,13</sup> La prise en charge peut nécessiter une hospitalisation prolongée<sup>24</sup> car le temps de cicatrisation est le plus souvent long.<sup>12,32</sup>

### Complications

Les brûlures au phosphore sont associées à une morbidité significative et à une mortalité élevée allant de 5 à 13,8% selon Barillo, même si la surface cutanée brûlée est faible.<sup>10,13,15,32</sup> Selon l'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), la mortalité dépend des symptômes initiaux et du délai de mise en route du traitement. Ainsi, 25% des sujets ayant présenté de façon précoce des nausées ou des vomissements décéderont, 50% s'ils ont présenté une symptomatologie digestive et neurologique et près de 75% d'entre eux s'ils ont présenté des signes neurologiques (agitation, irritabilité, troubles de conscience). La dose toxique est de 0,2 mg/kg (à 15 mg/kg, des intoxications sévères sont constatées).<sup>6</sup> En aigu, cette mortalité, notamment due aux troubles du rythme cardiaque générés par l'hypocalcémie, est connue depuis plusieurs décennies.<sup>10,13,23,24</sup> Ces morts subites peuvent se produire dès les premières heures qui suivent la brûlure, et ne sont pas prévenues par

une excision hyper-précoce des brûlures.<sup>24</sup> En plus des troubles hydro-électrolytiques, les brûlures au phosphore peuvent être responsables d'un syndrome de défaillance multiviscérale avec insuffisances rénale, hépatocellulaire et cardiaque.<sup>11,12,23,32</sup> Des cas d'hémolyse massive ont été aussi rapportés.<sup>7</sup> Du fait de la profondeur des brûlures, des lésions des structures nobles sont possibles et sont à dépister au plus vite.<sup>14</sup> Par ailleurs, dans le cadre des blessures de guerre, les patients brûlés polytraumatisés ne sont pas rares, ce qui est moins fréquent dans le milieu civil. Il n'existe pas de consensus sur la prise en charge des fractures associées à des brûlures. Dans les années 1960, Grisolia montra de manière expérimentale chez des rats que le risque de sepsis augmentait avec le temps écoulé après la brûlure.<sup>33</sup> La stratégie chirurgicale actuellement retenue est une ostéosynthèse interne dès les premières heures, associée à un débridement des brûlures afin de permettre une cicatrisation cutanée rapide en limitant ainsi le risque de surinfection osseuse.<sup>34,35</sup> Au-delà de 12 heures, il est préférable d'avoir recours à une fixation externe avec une ostéosynthèse interne éventuelle à distance. Il faut par ailleurs distinguer les fractures associées à une brûlure en regard de celles associées à une ou des brûlures à distance. Dans les deux cas, il existe un risque accru d'infection, qui serait supérieur dans le cas de brûlures en regard de la fracture.<sup>36,37</sup> Dans les cas des fractures associées à des brûlures en regard, il y aurait aussi un risque augmenté de fasciotomies et d'amputations.<sup>36</sup> Dans le contexte de polytraumatisme avec brûlures, le risque d'infection osseuse est corrélé à la gravité du polytraumatisme (évaluée notamment par le score ISS), au recours à la ventilation mécanique, à la transfusion sanguine et à l'admission en soins intensifs, ces derniers éléments reflétant aussi la gravité du traumatisme.<sup>36</sup>

À plus long terme, la cicatrisation des brûlures au phosphore peut être marquée par une évolution hypertrophique ou être instable et se compliquer, plusieurs années plus tard, d'une évolution cancéreuse.<sup>22,38</sup> Un suivi à long terme est donc nécessaire pour traiter d'éventuelles brides cicatricielles et dépister d'éventuels carcinomes cutanés. De plus, en cas d'atteinte oculaire par des fumées, une opacité cornéenne et des épisodes inflamma-

toires récurrents des yeux sur plusieurs années sont possibles. Enfin, le phosphore n'aurait pas d'effet cancérigène spécifique ni d'effet reprotoxique.<sup>6</sup>

## Conclusion

Les brûlures au phosphore blanc sont rares mais graves. Elles sont surtout rencontrées dans un contexte de guerre mais peuvent se voir en milieu civil. Elles sont le plus souvent profondes, de cicatrisation difficile et peuvent s'accompagner de manifestations générales dont des troubles du rythme cardiaque, même pour des surfaces cutanées brûlées

faibles. Une prise en charge urgente est nécessaire et consiste en premier lieu en une irrigation abondante au sérum physiologique et un isolement des brûlures de l'air, au moyen d'un ligne humide notamment. Les pansements gras sont proscrits. Il faut ensuite réaliser un débridement avec retrait des particules de phosphore et des parages multiples jusqu'à obtenir un sous-sol viable. La couverture cutanée fait appel à l'ensemble des techniques de chirurgie plastique. Notre expérience lors du conflit au Haut-Karabagh, nous amène à proposer d'évoquer systématiquement ces brûlures au phosphore blanc dans les conflits armés et d'enseigner leur prise en charge aux soignants intervenant en zone de guerre.

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 Muller D, Avissar Y, Sarit Kimchi S: An analytical method to identify traces of white phosphorus on burned victim clothes. *Forensic Sci Int*, 280: 224-7, 2017.
- 2 Mihajlović I: Recent development of phosphorus flame retardants in thermoplastic blends and nanocomposites. In: Visakh PM, Arao Y, éditeurs. « Flame Retardants », p. 79-114, Springer International Publishing, 2015.
- 3 Sun J, Lee H-W, Pasta M et coll: Carbothermic reduction synthesis of red phosphorus-filled 3D carbon material as a high-capacity anode for sodium ion batteries. *Energy Storage Materials*, 4: 130-6, 2016.
- 4 Island J, Castellanos-Gomez A: Black phosphorus-based nanodevices. *Semiconductors and Semimetals*, 95: 279-303, 2016.
- 5 Berndtson A, Fagin A, Sen S et coll: White phosphorus burns and arsenic inhalation: a toxic combination. *J Burn Care Res*, 35: e128-31, 2014.
- 6 Institut national de recherche et de sécurité. Fiche toxicologique n°100 Phosphore, 2018. Téléchargeable depuis: [https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX\\_100](https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_100)
- 7 Summerlin W, Walder A, Moncrief J: White phosphorus burns and massive hemolysis. *J Trauma*, 7: 476-84, 1967.
- 8 Quincy M: "Fire protection guide to hazardous materials", National Fire Protection Association Ed, 1991.
- 9 Patnaik P: "A comprehensive guide to the hazardous properties of chemical substances", Wiley Ed, 2007.
- 10 Frank M, Schmucker U, Nowotny T et coll: Not all that glistens is gold: civilian white phosphorus burn injuries. *Am J Emerg Med*, 26: 974.e3-e5, 2008.
- 11 Eldad A, Simon G: The phosphorous burn - a preliminary comparative experimental study of various forms of treatment. *Burns*, 17: 198-200, 1991.
- 12 Barqouni L, Skaik S, Shaban N et coll: White phosphorus burn. *Lancet*, 376: 68, 2010.
- 13 Chou T, Lee T, Chen S et coll: The management of white phosphorus burns. *Burns*, 27: 492-7, 2001.
- 14 Saracoglu K, Acar A, Kuzucuoglu T et coll: Delayed diagnosis of white phosphorus burn. *Burns*, 39: 825-6, 2013.
- 15 Barillo D, Cancio L, Goodwin C: Treatment of white phosphorus and other chemical burn injuries at one burn center over a 51-year period. *Burns*, 30: 448-52, 2004.
- 16 Whelehan N: "The Dynamiters: Irish nationalism and political violence in the wider world, 1867-1900", Cambridge University Ed, 2012.
- 17 Bellamy R: Willie Peter. *Mil Med*, 153: 76-9, 1988.
- 18 Bader G: Haut-Karabakh : la vidéo qui prouve l'utilisation d'armes au phosphore, 2020. Disponible sur: [https://www.lepoint.fr/monde/exclusif-haut-karabakh-la-video-qui-prouve-l-utilisation-d-armes-au-phosphore-09-11-2020-2400171\\_24.php#](https://www.lepoint.fr/monde/exclusif-haut-karabakh-la-video-qui-prouve-l-utilisation-d-armes-au-phosphore-09-11-2020-2400171_24.php#)
- 19 Son B, Karine B, Nazi B et coll: Evidence for chemical burns by white phosphorus in Armenian soldiers during the 2020 Nagorno-Karabakh war. *Injury*, 52: 1100-1, 2021.
- 20 Sandoz PY: Convention du 10 octobre 1980 sur l'interdiction ou la limitation de l'emploi de certaines armes classiques qui peuvent être considérées comme produisant des effets traumatiques excessifs ou comme frappant sans discrimination (convention du 10 octobre 1980). Téléchargeable depuis: [https://legal.un.org/avl/pdf/ha/cprccc/cprccc\\_f.pdf](https://legal.un.org/avl/pdf/ha/cprccc/cprccc_f.pdf)
- 21 Boon Ng N, Abdullah A, Milner S: A phosphorus burn. *Eplasty*, 15: ic15, 2015.
- 22 Aviv U, Kornhaber R, Harats M et coll: The burning issue of white phosphorus: a case report and review of the literature. *Disaster Mil Med*, 3: 6, 2017.
- 23 Eldad A, Wisoki M, Cohen H et coll: Phosphorus burns: evaluation of various modalities for primary treatment. *J Burn Care Rehabil*, 16: 49-55, 1995.
- 24 Bowen T, Whelan T, Nelson T: Sudden death after phosphorus burns. *Ann Surg*, 174(5): 779-84, 1971.
- 25 Barqouni L, Abu Shaaban N, Elessi K: Interventions for treating phosphorus burns. *Cochrane Wounds Group*, éditeur. *Cochrane Database Syst Rev*, 2014. Disponible sur: <http://doi.wiley.com/10.1002/14651858.CD008805.pub3>
- 26 Thomsen J, Worm-Leonhard M: The detection of phosphorus in the tissue of bomb victims in Gaza. *Torture*, 20: 1-3, 2010.
- 27 Karunadasa KP, Abeywickrama Y, Perera C: White phosphorus burns managed without copper sulfate: lessons from war. *J Burn Care Res*, 31: 503, 2010.
- 28 Le Floch R, Laguerre J, Perrot P : Compte-rendu de la table ronde du 36<sup>ème</sup> congrès de la SFB à Cassis (1-3 juin 2016), première partie : brûlures chimiques, brûlures électriques. *Ann Burns Fire Disasters*, 29: 300-6, 2016.
- 29 Murphy E, Williams GR: Hypocalcemia. *Medicine (Baltimore)*, 37: 465-8, 2009.

- 30 Cooper M, Gittoes N: Diagnosis and management of hypocalcaemia. *BMJ*, 336: 1298-302, 2008.
- 31 Devinck F, Deveaux C, Bennis Y et coll: Les brûlures profondes par agents basiques : évaluation d'une stratégie chirurgicale en deux temps. *Ann Chir Plast Esthet*, 63: 191-6, 2018.
- 32 Davis K: Acute management of white phosphorus burn. *Mil Med*, 167: 83-4, 2002.
- 33 Grisolia A, Forrest WJ, Peltier L: The treatment of fractures complicated by burns : an experimental study. *J Trauma*, 3: 259-67, 1963.
- 34 Saffle J, Schnelby A, Hofmann A et coll: The management of fractures in thermally injured patients. *J Trauma*, 23: 902-10, 1983.
- 35 Dossett A, Hunt J, Purdue G et coll: Early orthopedic intervention in burn patients with major fractures. *J Trauma*, 31: 888-92, 1991.
- 36 Bui D, Sivakumar B, Ellis A: Collocated burn and fracture injuries in major trauma: a 10 year experience. *Ann R Coll Surg Engl*, 102: 256-62, 2020.
- 37 Bradshaw L, Wasiak J, Cleland H: Is operative management of fractures safe in the collocated burn and fracture injury? *Injury*, 46: 1145-9, 2015.
- 38 Kim J: Contralateral botulinum toxin injection to improve facial asymmetry after acute facial paralysis. *Otol Neurotol*, 34: 319-24, 2013.



**IAHM**

**International Association for Humanitarian Medicine  
Chisholm - Gunn**

On the INTERNET <http://www.iahm.org>

for:

Notice board – Mission – Journal – Search engine – Links to related sites