

# Fumées chirurgicales

## Risques et mesures de prévention

Le Comité pour la prévention des risques professionnels dans le secteur santé de l'AISS (Association internationale de la sécurité sociale) a récemment publié un document de travail sur les fumées chirurgicales. Ses auteurs présentent ici un article permettant de faire le point des connaissances sur les risques potentiels liés à ces fumées et de présenter les mesures de prévention protégeant la santé des personnels exposés.

### En résumé

Les techniques chirurgicales utilisant la chaleur (appareils électrochirurgicaux, lasers) ou les ultrasons pour certaines phases opératoires exposent les opérateurs aux produits de pyrolyse. Ces fumées chirurgicales contiennent un mélange de substances diverses (gaz, vapeurs, aérosols liquides ou solides), dans lesquelles peuvent être retrouvés des éléments biologiquement actifs (cellules, bactéries, virus) et des substances cancérogènes, mutagènes ou reprotoxiques. La composition de ces produits de pyrolyse dépend de la technique de traitement utilisée et du type de tissu traité.

Les signes d'intoxication aiguë sont connus et à type de céphalées, asthénie, nausées, irritation des yeux et des voies respiratoires. La gêne olfactive est fréquente. Par contre, hormis quelques cas rapportés de papillome de la sphère ORL, il n'existe pas d'étude épidémiologique de grande échelle sur les dangers pour la santé des opérateurs de ces fumées chirurgicales.

Les mesures de prévention reposent sur des aspects techniques (captage des fumées, ventilation mécanique de la zone de travail), organisationnels (information et formation du personnel) et, en cas de nécessité, au port d'équipements de protection individuelle.

aux appareils électrochirurgicaux [1, 2], aux lasers [3, 4] ou au bistouri à ultrasons, ou encore aux dispositifs utilisés pour des interventions spécifiques comme le retrait de ciment osseux au moyen d'ultrasons lors de réinterventions sur endoprothèse [5].

Ces techniques produisent des fumées qui, d'après les résultats d'études *in vitro* et de quelques essais sur l'animal, peuvent présenter des dangers pour la santé du personnel exposé au bloc opératoire. Dans les établissements de soins, cependant, ces dangers sont insuffisamment pris en compte, et les recommandations de prévention ne sont pas appliquées comme il le faudrait. En s'appuyant sur les données de la littérature, un groupe de travail du Comité secteur santé de l'Association internationale de la sécurité sociale (AISS) a donc procédé à une analyse des risques liés aux activités donnant lieu au dégagement de fumées chirurgicales, afin d'élaborer sur ces bases des recommandations communes relatives aux mesures de prévention applicables.

### Composition des fumées chirurgicales

Les fumées générées lors d'une incision chirurgicale ou d'une intervention au laser sont un mélange complexe de constituants biologiques, cellulaires, d'aérosols liquides ou solides, de gaz et de vapeurs. Elles constituent, aux dires des opérateurs, une gêne olfactive certaine [6, 7].

EICKMANN U <sup>(1)</sup>,  
FALCY M <sup>(2)</sup>,  
FOKUHL I <sup>(1)</sup>,  
RÜEGGER M <sup>(3)</sup>,  
BLOCH M <sup>(3)</sup>

(1) Caisse allemande d'assurance accident du secteur santé (BGW), Hamburg

(2) Institut national de recherche et de sécurité (INRS), Paris

(3) Caisse nationale suisse d'assurance en cas d'accident (Suva), Lucerne

Depuis de nombreuses années, des techniques chirurgicales peu invasives, mettant en œuvre l'action de la chaleur ou des ultrasons, sont utilisées pour la résection ou la cautérisation de tissus, ou pour stopper des hémorragies. Elles font appel notamment

La composition quantitative des fumées varie notablement selon la technique utilisée et le tissu sur lequel on intervient [8]. Une idée peut cependant être donnée de leur composition qualitative.

Pour des raisons physiologiques, la vapeur d'eau est le composant principal (jusqu'à 95 % des fumées et aérosols émis). Elle sert de véhicule aux autres composants [8].

### COMPOSITION PARTICULAIRE

La taille des particules formées varie entre plus de 200 micromètres et moins de 10 nanomètres. Le diamètre moyen des particules dépend notamment de l'intensité d'action de l'énergie sur les tissus. Alp et al. [9] indiquent les valeurs suivantes :

→ Électrocoagulation	diamètre moyen < 0,1 µm
→ Laser (résection de tissu)	diamètre moyen de l'ordre de 0,3 µm
→ Scalpel à ultrasons	diamètre moyen de l'ordre de 0,35 – 6,5 µm

Cela signifie qu'une part très importante des fumées est susceptible d'être inhalée et de se déposer dans les alvéoles pulmonaires. Andréasson [1] a mesuré l'émission particulaire lors d'interventions sur carcinose péritonéale ou d'interventions digestives d'autre nature, en distinguant les particules « classiques » et les particules « nanométriques »\*. Les résultats indiquent une pollution plus importante lors des cautérisations à fort voltage sur carcinoses péritonéales que lors de l'emploi de techniques classiques (ici sur résection de cancer colique). Ces résultats sont confirmés par Brüske-Hohfeld [10].

### POLLUANTS ORGANIQUES

De nombreux produits organiques de pyrolyse ont été retrouvés dans ces fumées, en particulier des hydrocarbures aromatiques (benzène, toluène, éthylbenzène et xylènes), de l'acide cyanhydrique (HCN), de l'aldéhyde formique et, naturellement, des hydrocarbures polycycliques aromatiques [1, 8, 9].

Al Sahaf [8] a réalisé des analyses dans diverses conditions d'utilisation et a pu ainsi constater des différences quantitatives dans la composition des fumées. Il indique cependant la présence constante d'hydrocarbures, de nitriles, d'acides gras et de phénols.

### POLLUANTS INORGANIQUES

Comme au cours de toute combustion, sont émis lors des interventions électrochirurgicales des oxydes de carbone (CO et CO<sub>2</sub>), des oxydes de soufre et d'azote et de l'ammoniac. Ces substances provoquent des irritations des voies respiratoires ou des phénomènes d'hypoxie tissulaire.

### POLLUANTS BIOLOGIQUES

La vaporisation des tissus par les lasers ou l'électrochirurgie génère des fumées et aérosols qui peuvent contenir de grandes quantités de particules. Il peut s'agir de cellules intactes, de fragments de cellule, de cellules sanguines ou de fragments d'ADN viral.

Des bactéries viables provenant de fumées de laser ont pu être cultivées, il s'agissait de *Bacillus subtilis*, de *Staphylococcus aureus*, mais également de mycobactéries, dont *Mycobacterium tuberculosis* [11, 12].

Des virus infectants tels que le VIH (virus de l'immunodéficience humaine), l'HBV (virus de l'hépatite B), le BPV (virus du papillome bovin) et le HPV (virus du papillome humain) ont également pu être mis en évidence dans ces fumées. Les études les plus nombreuses concernent l'HPV ; l'ADN de ce virus est retrouvé dans un grand nombre d'échantillons de fumées produites lors de l'électrocoagulation de verrues au laser [13 à 16]. Une papillomatose laryngée a même été reconnue comme maladie professionnelle chez une infirmière qui exerçait la fonction d'assistante lors du traitement de papillomatoses [17].

En 1988, Garden a étudié la présence d'ADN de BPV et de HPV dans la fumée de laser CO<sub>2</sub>, sans pouvoir établir que cet ADN restait infectant. Il a complété cette étude en inoculant à trois moutons la fumée recueillie lors de l'excision de lésions de condylome bovin par laser CO<sub>2</sub>. Sur les trois animaux, deux ont présenté une tumeur caractéristique au point d'inoculation [13,18].

Au cours d'un essai *in vitro*, Johnson [19] a inoculé du VIH dans des cultures cellulaires. Il a soumis ces cultures à différents appareillages à usage médical produisant des aérosols. Seuls les appareils générant des aérosols « froids » pouvaient transmettre des virus viables. Les fumées générées par des appareils d'électrocoagulation ou lors de résection ne contenaient pas de virus viable. En 1991 toutefois, Baggish [20] a détecté de l'ADN viral du VIH dans de la fumée produite par un laser CO<sub>2</sub> utilisé sur une culture cellulaire infectée. Fletcher [21] a mis en évidence la présence de cellules viables de mélanome dans des fumées obtenues par électrocautérisation d'un mélanome.

\* la limite entre les deux types de particules correspond, dans la littérature, à un diamètre de 0,1 µm.

## Effets toxiques

Les fumées chirurgicales peuvent être responsables de signes d'intoxication aiguë à type de céphalées, d'asthénie, de nausées, de faiblesse musculaire et d'irritations des yeux et des voies respiratoires ; ces effets sont dose-dépendants. Les asthmatiques, en particulier, sont souvent très sensibles à l'inhalation de particules. De plus, ces fumées peuvent être responsables d'une odeur désagréable souvent décrite comme incommode par le personnel.

Leur toxicité résulte de la multitude d'effets spécifiques des substances ou catégories de substances émises, toutefois la présence d'un mélange de substances se traduit par une situation complexe dans laquelle la toxicité globale ne correspond pas simplement à la somme des effets toxiques des différents composants répertoriés. Le document de travail sur les fumées chirurgicales publié par le Comité AISS Secteur santé [22] comporte une présentation différenciée des effets possibles.

### EFFETS GÉNÉRAUX

Les effets et/ou symptômes généraux ont été répertoriés par Alp [9] en se basant sur les composants habituels des fumées laser. Cet inventaire, qui comprend des effets aigus (irritation) et chroniques (cancers), n'est donc pas fondé sur des données épidémiologiques. Il s'agit d'une liste de dangers théoriquement envisageables du fait des composants habituellement présents, allant de l'irritation oculaire et des éternuements aux infections par le VIH ou aux carcinomes.

La possibilité d'un effet irritant pour les voies respiratoires est mise en évidence dans deux études expérimentales menées par Baggish et ses collaborateurs [23, 24]. Dans l'une d'elles, l'instillation dans les alvéoles des particules issues de la vaporisation d'un tissu par un laser CO<sub>2</sub> provoque chez le rat une pneumonie congestive interstitielle, une bronchiolite et de l'emphysème. Lors de l'autre essai, des fumées produites par un laser CO<sub>2</sub> induisent chez le rat des effets irritants sur le poumon.

Freitag [25] met également en évidence un effet irritant respiratoire des fumées produites par un laser. Dans cette étude réalisée chez le mouton, la concentration utilisée pour l'exposition est de 0,92 mg de particules.l<sup>-1</sup>, le diamètre moyen des particules est de 0,54 µm. L'effet irritatif est dans ce cas évalué par analyse des cellules recueillies par lavage bronchoalvéolaire.

### EFFETS SPÉCIFIQUES

Seules la génotoxicité et le cytotoxicité ont été évaluées jusqu'ici de façon spécifique dans le cas des fumées chirurgicales, mais le nombre d'études reste restreint et ne permet pas de conclusion définitive.

#### Génotoxicité

Seule la mutagénicité par le test d'Ames a été évaluée. Tomita [26] évalue le potentiel mutagène de fumée produite par un laser au CO<sub>2</sub> opérant sur de la muqueuse de langue de chien. Gatti [27] a réalisé une étude similaire mais en prélevant l'atmosphère générée par un bistouri électrique au cours d'une réduction mammaire.

#### Cytotoxicité

La fumée, produite dans des conditions expérimentales à partir d'entailles répétitives réalisées par un bistouri électrique à haute fréquence sur du foie de porc, a été appliquée à une culture de cellules de carcinome du sein (MCF-7). La culture cellulaire ainsi traitée a vu sa viabilité réduite d'au moins 30 %, ce qui témoigne de la cytotoxicité des fumées. Cet essai effectué dans des conditions particulières (sous atmosphère d'hélium) n'est pas nécessairement représentatif des fumées générées dans les salles d'opération [28].

## Données chez l'homme

L'identification des dangers pour la santé que peuvent provoquer les fumées et particules en salle d'opération repose principalement sur des études *in vitro* et sur un petit nombre d'études sur l'animal. Les conclusions tirées de ces sources en ce qui concerne les risques pour le personnel exposé semblent plausibles et sont corroborées par des données issues de la médecine environnementale. Cela vaut tant pour les effets des particules (par comparaison avec les poussières fines) et leur infectiosité potentielle, que pour les propriétés toxicologiques des différentes substances nocives dont la présence a pu être établie dans les fumées de salle d'opération.

Il existe relativement peu de données, en revanche, sur l'impact réel, en pratique, de ces dangers pour le personnel exposé. En dehors de cas isolés de papillomes laryngés probablement contractés en milieu de travail

chez le personnel exposé aux fumées de laser, il n'existe guère d'études épidémiologiques ayant permis de reconnaître à une échelle plus large si les dangers établis sur la base des données de laboratoire se manifestent effectivement dans des proportions détectables chez les personnes concernées. Divers auteurs soulignent l'insuffisance des connaissances en la matière [8, 29 à 31] ; Ulmer [29] estime que le lien spécifique entre l'exposition aux fumées chirurgicales et les effets néfastes pour la santé n'est, pour l'instant, pas établi.

D'autres auteurs ont tenté de pallier le manque de données en procédant à une évaluation de risques [32, 33]. À partir des connaissances toxicologiques théoriques sur les substances, d'une part, et de la nature et de l'importance des expositions, d'autre part, ils ont procédé à une évaluation quantitative des risques pour la santé du personnel. Les auteurs concluaient à l'époque que les niveaux d'exposition en salle d'opération ne nécessitaient pas la mise en place systématique de moyens de captage local des fumées ni de moyen de protection individuel complémentaire.

Les études rapportées ci-après se sont attachées, sur le terrain, à valider les connaissances théoriques des risques, en recherchant la présence effective de gênes ou de pathologies liées aux fumées de salle d'opération, chez le personnel. Il s'agit notamment d'études comportant des descriptions de cas et des données épidémiologiques.

Hallmo [34] a décrit le cas d'un chirurgien présentant un papillome pharyngé, exposé régulièrement et de façon prolongée à des fumées de laser lors de l'exercice de verrues anogénitales et pour lequel aucune autre possibilité de contact avec le virus n'a pu être établie. Une papillomatose laryngée a également été reconnue comme maladie professionnelle chez une infirmière qui assistait les opérateurs lors du traitement de papillomatoses [17]. Dans ce cas également, aucune autre possibilité de contact n'a pu être identifiée.

Dans une enquête par questionnaire adressé à 4 200 membres de la société américaine de médecine laser et de la société américaine de chirurgie dermatologique, Gloster et Roenigk [16] notent que, comparés à la population de la région d'Olmsted (Minnesota) et aux patients traités pour des verrues entre 1988 et 1992 à la Mayo Clinic, les 570 médecins ayant répondu à l'enquête ne présentent pas un taux notablement accru de modifications cutanées de ce type (5,4 % contre 4,9 %,  $p = 0,569$ ). Selon des sources plus anciennes, en effet, les valeurs indiquées pour la fréquence des verrues dans la population vont de 2,8 à 5 % [35]. Elles ne diffèrent donc pas notablement des données fournies par Gloster. Toutefois, chez les dermatologues ayant une activité chirurgicale, 58 % des verrues se situaient aux mains, 26 % au visage et 13 % dans la sphère

nasopharyngée. Or chez les patients traités à la Mayo Clinic, la répartition observée était différente, les verrues touchant principalement la plante des pieds ou la sphère anogénitale.

Une enquête par questionnaire plus simple et plus restreinte a été menée par le *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) en 2001 [36]. Elle portait sur une clinique de 687 lits à Dunedin (Floride) ; 48 questionnaires (80 % des questionnaires distribués) ont été renvoyés, 43,7 % des participants ont fait état d'au moins un symptôme qu'ils mettaient en relation avec l'exposition à des fumées en salle d'opération dans les quatre semaines précédentes. Par ordre de fréquence décroissante, il s'agissait des symptômes suivants (plusieurs réponses possibles) : maux de tête (16,7 %), sensation de brûlure au niveau du nez et du pharynx (12,5 %), rhinites (12,5 %), irritations oculaires (10,4 %), toux (10,4 %) et autres troubles touchant principalement les voies respiratoires (8,4 %). Ving-huit personnes au total (58,3 %) indiquaient être gênées par l'odeur des fumées. De plus, les personnes passant 50 % ou plus de leur temps à proximité immédiate de la salle d'opération signalaient plus de symptômes que les autres.

La seule étude prospective publiée à ce jour sur la question des atteintes à la santé liées aux fumées de salle d'opération est celle de Gates et al. [37]. Les auteurs ont étudié une population de 121 700 infirmières (*Nurse Health Study*) recrutées à partir de 1976 et ayant fait l'objet d'exams périodiques, en recherchant une association éventuelle entre l'exposition aux fumées de salle d'opération et la survenue d'un carcinome bronchique. Le nombre d'années d'activité en salle d'opération avant 1984 était pris en compte comme élément d'appréciation de l'exposition aux fumées chirurgicales. Tous les cas de carcinome bronchique survenus avant la clôture de l'étude en 2000 ont été comptabilisés. L'utilisation de différents modèles épidémiologiques n'a pas mis en évidence de relation significative entre la durée de l'exposition aux fumées en salle d'opération et la survenue de carcinomes bronchiques, ni même de tendance allant dans le sens d'une relation dose-effet dans les groupes les plus exposés. Le groupe le plus longtemps exposé présentait au contraire un risque relatif significativement plus faible de carcinome bronchique, pour lequel les auteurs n'avaient d'ailleurs pas d'explication convaincante.

Les données présentées montrent qu'il existe indubitablement des connaissances toxicologiques sur les dangers liés aux fumées de salles d'opération, fondées sur des études *in vitro* et des essais sur l'animal, ainsi que sur la toxicité de leurs composants principaux, mais leurs effets sur le personnel exposé n'ont pas encore été correctement évalués. De ce fait, les personnes exposées sont peu enclines à tenir compte des données disponibles et à mettre en œuvre des mesures

de prévention [38, 39]. Cette attitude attentiste est favorisée dans bien des cas par l'absence de consignes précises émanant des institutions de prévention.

En dépit des résultats actuels de la littérature, l'exposition aux fumées au bloc opératoire peut comporter des risques sérieux pour la santé. Ce qui suit montre quelles sont les mesures applicables pour réduire ces risques.

## Paramètres influant sur l'exposition aux fumées

L'intensité du dégagement de substances et la composition des phases gazeuse et solide dépendent de la nature de la source d'énergie, de la nature du tissu traité et de la durée et de l'ampleur de l'intervention.

La littérature rapporte, lors de l'utilisation du laser, des valeurs types pour les émissions de particules qui peuvent atteindre quelque  $120 \text{ mg} \cdot \text{min}^{-1}$  pour une densité de puissance du laser de  $7,2 \text{ kW} \cdot \text{cm}^{-2}$ , les interventions sur des tissus adipeux étant celles qui provoquent les émissions les plus importantes, suivies par les interventions sur tissu hépatique. C'est, selon les auteurs, lors des interventions sur les tissus cutanés que les émissions de particules sont les plus faibles [40].

Le taux de vaporisation global, incluant également l'émission de composants gazeux, est encore plus élevé ( $200$  à  $600 \text{ mg} \cdot \text{min}^{-1}$ ) lors de l'utilisation du laser [41].

Ce qui suit présente les déterminants pouvant agir sur l'exposition des salariés aux fumées chirurgicales.

### INSTRUMENTS CHIRURGICAUX

Les fumées chirurgicales résultent de l'énergie thermique agissant sur divers types de tissus et pouvant provoquer des brunissements des tissus, incisions et coagulations, brûlures et vaporisations [42].

### Lasers

Les procédés laser utilisés en médecine dépendent d'une part des indications médicales (énergie/intensité à utiliser selon le type de tissu, notamment) et d'autre part de facteurs techniques tels que les propriétés optiques du tissu à traiter, c'est-à-dire de ses propriétés de réflexion, absorption, dispersion, transmission... Ainsi divers types de lasers sont utilisés (excimère, hélium - néon, dioxyde de carbone, néodyme-YAG, par exemple [43]).

L'action du laser sur les tissus dépend de la **nature** du laser, de sa **puissance** énergétique (puissance/surface) et de son **mode** d'utilisation (pulsé ou continu). En Europe, les lasers sont classés, en fonction de leurs effets nocifs sur l'homme, de la classe 1 (sans danger) à la classe 4 (très dangereux pour les yeux et dangereux pour la peau, y compris en cas de rayonnement diffusé, à quoi s'ajoute un risque d'incendie et d'explosion). Les lasers médicaux correspondent dans la plupart des applications à la classe 4 (pour la définition des classes de lasers, cf. [44, 45]).

### Appareils électrochirurgicaux (ESU)

Les interventions électrochirurgicales utilisent des appareils à courant haute fréquence ( $>300 \text{ kHz}$ ) dont la puissance va de quelques watts à plusieurs centaines de watts. L'énergie passe par des électrodes monopolaires, une électrode neutre de grande surface étant placée au contact du patient pour permettre l'écoulement du courant. Dans le cas des électrodes bipolaires, le courant ne passe qu'entre les deux pôles, disposés à proximité l'un de l'autre. L'énergie thermique aux points où la densité de l'énergie électrique est élevée a divers effets en fonction de l'intensité du courant, de la tension choisie et de la fréquence du courant, ainsi que de la forme de l'électrode employée : dessèchement du tissu, coagulation, éventuellement carbonisation superficielle liée à la décharge d'étincelles par l'électrode positionnée juste au-dessus du tissu, ou incision obtenue au moyen d'électrodes de petite taille permettant, par vaporisation explosive des liquides de la cellule, une exérèse du tissu et une coagulation des bords de l'incision.

### DISPOSITIFS DE CAPTAGE DES FUMÉES

L'un des principaux facteurs influant sur le dégagement de fumées est le captage des émissions à la source. Grâce à cette mesure, une grande partie des vapeurs, gaz ou particules ne parvient pas dans la zone respiratoire de l'opérateur. Il existe différents types de dispositifs de captage localisé : captage intégré aux pièces à main des lasers ou ESU, dispositifs de captage muraux, stationnaires, dispositifs de captage indépendants.

Les principaux facteurs influant sur le dégagement de gaz et, donc, sur l'exposition des opérateurs sont les suivants, dans le cas des dispositifs d'aspiration localisés : le débit d'aspiration ( $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$ ), la vitesse d'air à l'orifice de captage de la buse ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), la distance entre l'orifice d'aspiration et la source d'émission, la capacité

de filtration spécifique pour les substances à filtrer, le mode et taux de recyclage de l'air.

Les facteurs influant sur l'efficacité du captage (vitesse d'air, débit d'aspiration et diamètre de la buse de captage, par exemple) ne sont donc pas indépendants les uns des autres et chacun d'eux doit être optimisé en fonction des contraintes d'utilisation propres à chaque cas.

---

## VENTILATION GÉNÉRALE

Les gaz qui ne sont pas captés à la source lors d'une intervention se répartissent dans l'air du local. La ventilation du local dilue les polluants et les transporte hors de la zone respiratoire des opérateurs. Les paramètres suivants influent sur le niveau d'exposition du personnel :

- Type de système de ventilation (naturelle ou mécanique) et apport d'air frais dans la zone de travail.
- Type de flux d'air (flux laminaire en partie haute, orifices de ventilation en partie basse, par exemple), orientation des flux (ventilation descendante ou ascendante).
- Taux de réintroduction de l'air dans la zone de travail.
- Nature et efficacité des filtres à air.

□ Les particules et les gaz/vapeurs contenus dans les fumées exigent des méthodes de filtration différentes. L'efficacité des éléments de filtration doit être adaptée. Pour filtrer les substances/particules en suspension, des filtres HEPA (*High Efficiency Particulate Air Filter*) sont généralement utilisés. Ils se caractérisent par un pouvoir de rétention pouvant atteindre 99,995 %, y compris dans le cas de particules de taille critique (0,1-0,3  $\mu\text{m}$ ) (cf. norme NF EN 1822-1 [46]).

□ Les considérations relatives aux effets de particules encore plus fines (particules ultrafines ou nanoparticules) ont conduit à utiliser des filtres encore plus performants, les filtres ULPA (*Ultra Low Penetration Air Filter*), dont le pouvoir de rétention est 1 000 fois supérieur à celui des filtres HEPA.

□ L'élimination des gaz et/ou vapeurs contenus dans l'air nécessite l'utilisation de filtres au charbon actif capables d'adsorber les molécules de gaz ou de vapeurs. C'est le seul moyen d'éliminer les gaz très odorants, en particulier lorsque l'air extrait est réintroduit en partie ou totalement dans la zone de travail.

---

## ACTIVITÉS

La nature et l'importance des interventions, ainsi que les parties du corps ou tissus concernés, sont des para-

mètres importants de l'exposition aux fumées chirurgicales. La durée de l'intervention a une incidence sur la durée totale de l'exposition, et la durée de fonctionnement de l'appareil responsable des émissions détermine la quantité totale de fumées émises. Le mode de fonctionnement de l'appareil (pulsé ou continu) a une forte incidence sur la quantité de fumées dégagées, de même que le type d'intervention : les interventions endoscopiques n'ont pas les mêmes conséquences en termes d'exposition que les interventions sur des parties externes du corps. Enfin, une personne se tenant à proximité immédiate de la source d'émission sera plus exposée qu'une personne se tenant à distance dans le local.

---

## AUTRES ASPECTS

En plus des paramètres déjà cités, doivent être pris en compte dans l'évaluation de l'exposition :

- les aspects relatifs à l'organisation du travail (nombre d'interventions par unité de temps),
- les facteurs individuels (la qualification de l'opérateur pour l'intervention, certains facteurs spécifiques liés au patient...),
- les mesures d'assurance qualité (mesures de contrôle et de maintenance périodiques des appareils).

---

# Description de l'exposition

Les fumées chirurgicales forment un mélange difficile à mesurer, constitué de produits présents sous des formes diverses. Il n'est donc pas surprenant de ne disposer que de très peu d'informations quantitatives sur les expositions aux fumées chirurgicales.

---

## DONNÉES MÉTROLOGIQUES PUBLIÉES

### Lasers

Les premières données sur les expositions par inhalation lors des applications médicales du laser datent des années 1970. Dans leur étude sur l'identification d'ADN de HPV dans les fumées de lasers au  $\text{CO}_2$ , Kashima et al. [15] citent les travaux de Mihashi et al. [47], qui ont pu établir la présence de fragments de cellules et de produits de combustion dans les fumées de lasers. Dans le cas de patients présentant une « *recurrent respiratory la-*

«*laryngeal papillomatosis* » (RRP, papillomatose laryngée récurrente) traitée par laser au CO<sub>2</sub>, Kashima et al. ont montré que 17 des 22 échantillons d'air prélevés dans l'air expiré par les patients contenaient de l'ADN d'HPV, alors que pour les témoins (patients sans RRP), les échantillons ne contenaient pas d'ADN d'HPV. Ils confirmaient ainsi des études de Garden et al. [13] qui ont établi la présence d'ADN de BPV et HPV dans les fumées de laser lors du traitement de verrues. Les auteurs n'ont cependant pas pu quantifier l'exposition biologique, ni évaluer les risques.

Dans d'autres applications laser se produit un dégagement de particules inhalables dont l'activité biologique n'est pas connue. Taravella et al. [48] ont pu le vérifier lors de l'utilisation de lasers à excimère en ophtalmologie. Ils ont trouvé dans les échantillons d'air quelques rares particules ayant un diamètre géométrique moyen de 0,22 µm +/- 0,056 µm. Ils n'ont pas pu quantifier et évaluer l'exposition.

Wäsche et al. [41] ont étudié les phénomènes en jeu et les produits de pyrolyse lors du traitement laser de tissus humains. Lors de l'utilisation de laser au CO<sub>2</sub>, ils ont établi que la vaporisation des tissus hépatique, musculaire et adipeux se situait, pour des densités de puissance de 0,1 à 10 kW.cm<sup>2</sup> environ, autour de 17,5 mg.min<sup>-1</sup>.W<sup>-1</sup> (puissance du laser). La puissance du laser était de 10, 20 ou 40 watts. La répartition des diamètres des particules dans les fumées a également été enregistrée, ce qui a permis de montrer que la majeure partie des particules avaient un diamètre inférieur à 1 µm et, pour une part non négligeable d'entre elles, inférieur à 100 nm.

Binding et Wäsche [49] ont réalisé des mesures lors d'une simulation de l'utilisation de lasers au bloc opératoire. Il s'agissait d'une intervention sur le foie avec un laser au CO<sub>2</sub> (puissance = 20 W, diamètre du rayon 0,6-1,2 mm, temps d'activité du laser = 5 min), d'une durée de 30 minutes. Les résultats ont montré des concentrations d'aérosols alvéolaires de 3 à 8 mg.m<sup>-3</sup> dans la zone respiratoire du chirurgien.

## Appareils électrochirurgicaux

Barrett et Garber [31] signalent, dans une revue de la littérature, des expositions élevées à l'acrylonitrile (1,0 – 1,6 ppm) et à l'acide cyanhydrique (10 ppm environ) lors d'interventions laparoscopiques [50]. Ils font également état de concentrations extrêmement élevées de benzène (jusqu'à 7,4 mg.m<sup>-3</sup> dans l'air du bloc opératoire). Mais il n'est pas précisé s'il s'agit d'expositions de courte ou très courte durée ou de valeurs pondérées sur la durée d'un poste, qui pourraient être comparées aux valeurs limites d'exposition au poste de travail.

Les auteurs signalaient également une exposition à des polluants particulaires (0,4 à 9,4 mg.m<sup>-3</sup> dans l'air

du bloc opératoire) lors d'une intervention électrochirurgicale de réduction mammaire.

Le NIOSH a mené dans divers établissements hospitaliers des États-Unis des études de l'exposition lors d'interventions électrochirurgicales [6, 7, 36]. L'activité des intervenants était documentée pendant plusieurs jours de même qu'étaient mesurés les composés volatils et les polluants particulaires. Les résultats étaient similaires dans tous les établissements :

→ pour les composés volatils, seuls le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et le toluène ont été trouvés à des concentrations significatives,

→ les concentrations de ces composés étaient cependant toujours largement inférieures aux valeurs limites d'exposition professionnelle en vigueur aux États-Unis.

Les travaux du NIOSH sont bien documentés, mais ne comportent aucune précision sur les facteurs déterminant l'exposition, si bien que les concentrations atmosphériques indiquées ne peuvent pas être mises en relation avec les mesures de protection mises en œuvre (captage, ventilation des locaux).

Hollmann et al. [51] ont effectué des mesures à proximité immédiate (à 2 cm environ) des points d'intervention par un appareil électrochirurgical et ont pu établir la présence de différents polluants (*tableau 1*). Les valeurs ainsi mesurées représentent les concentrations d'exposition maximales possibles (correspondant au cas le plus défavorable), car les polluants captés à ce niveau ne se sont pas encore dilués dans l'air ambiant.

Moot et al. [52] ont étudié, eux aussi, les composés organiques volatils dans les fumées lors d'interventions électrochirurgicales et ont trouvé, directement au point d'émission, de l'acide cyanhydrique (3-51 ppm), de l'acétylène (2-8 ppm) et du 1,3-butadiène (0,15-0,69 ppm).

Barrett et Garber [3] ont constaté que le monoxyde de carbone était l'un des principaux composants des fumées chirurgicales, pouvant atteindre des concentrations de plusieurs centaines de ppm lors d'interventions dans des cavités péritonéales.

Brüske-Hohlfeld et al. [10] ont constaté, lors d'opérations au laser et au scalpel à ultrasons, la formation de nanoparticules et de particules plus grosses (< 1 µm) résultant de l'apport d'énergie. Les pics de concentration dépassaient 100 000 particules.cm<sup>-3</sup>.

## Évaluation des expositions

Comme indiqué, les informations sur l'exposition individuelle aux fumées chirurgicales sont, dans l'ensemble, incomplètes. Elles permettent néanmoins de formuler ci-après quelques remarques générales.

TABLEAU I

**Constituants des fumées émises lors de l'utilisation de bistouris électriques, concentrations de ces constituants (établies par calcul) et valeurs limites d'exposition (lorsqu'elles existent) [51].**

N° CAS	Substance	Formule	Limite de détection [ppm <sub>v</sub> *]	Concentration [ppm <sub>v</sub> ]	Valeur limite d'exposition [ppm <sub>v</sub> ] Suisse 2001
100-80-1	1-Méthyl-3-vinylbenzène	C <sub>9</sub> H <sub>10</sub>	0,3	12	nd
106-99-0	1,3-Butadiène	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub>	0,016	1,5	5,0
107-12-0	Propionitrile	C <sub>3</sub> H <sub>5</sub> N	1,1	18	nd
108-88-3	Toluène	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	0,2	17	50
556-64-9	Thiocyanate de méthyle	CH <sub>3</sub> SCN	0,4	22	nd
592-76-7	1-Heptène	C <sub>7</sub> H <sub>14</sub>	0,1	8,5	nd
74-85-1	Éthylène	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0,00007	0,065	10 000
7664-41-7	Ammoniac	NH <sub>3</sub>	0,00007	0,12	20
872-05-9	1-Décène	C <sub>10</sub> H <sub>20</sub>	0,8	190	nd
98-01-1	2-Furaldéhyde	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>	0,2	24	2
115-11-7	Méthylpropène	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	0,02	7,2	nd

nd : non disponible

CAS = n° du Chemical Abstracts Service

\* ppm<sub>v</sub> : partie par million en volume.

#### ÉVALUATION DES COMPOSANTS GAZEUX

L'exposition à des gaz ou vapeurs est relativement faible lors de l'utilisation de méthodes laser ou électrochirurgicales dans des salles d'opération modernes. Si une gêne olfactive peut être ressentie, les valeurs limites d'exposition à des substances comme le toluène, la butanone ou l'éthylbenzène sont loin d'être atteintes (*tableau II*). Les fumées contiennent cependant des substances volatiles cancérigènes, mutagènes ou reprotoxiques – CMR (benzène, par exemple). Comme pour les produits de pyrolyse comparables (fumée de tabac, par exemple), la règle générale de maintien de l'exposition à un niveau aussi faible que possible doit être respectée.

#### ÉVALUATION DES COMPOSANTS PARTICULAIRES

Le personnel est exposé principalement à des particules très fines (nanoparticules). Les concentrations atmosphériques sont de quelques mg.m<sup>-3</sup>, pour les processus décrits ici, ce qui pose, d'un simple point de vue quantitatif, un problème d'exposition des voies respiratoires (valeur limite d'exposition aux poussières totales en Allemagne : fraction alvéolaire = 3 mg.m<sup>-3</sup>, fraction inhalable = 10 mg.m<sup>-3</sup>. Valeur limite européenne pour les poussières ultrafines = 40 µg.m<sup>-3</sup>). Des mesures de protection adéquates doivent donc être prises.

#### ÉVALUATION DES NANOPARTICULES

Il n'est pas possible, actuellement, d'évaluer l'exposition aux particules ultrafines. Elles peuvent notamment pénétrer dans l'organisme par toute la surface du corps, en plus des voies d'absorption habituelles des substances (on parle de « translocation »), ce qui signifie que même une exposition à de très petites quantités de substances ne peut pas, à l'heure actuelle, être considérée comme inoffensive.

#### ÉVALUATION DES COMPOSANTS BIOLOGIQUES

Il paraît certain que des cellules ou des éléments de cellules biologiquement actifs sont diffusés dans l'air au cours des interventions électrochirurgicales ou laser. Il n'est cependant pas possible de se prononcer sur l'aspect quantitatif de l'exposition correspondante. Il convient donc d'éviter le dégagement de fumées.

#### ÉVALUATION DE LA GÊNE OLFACTIVE

Les produits de pyrolyse des tissus humains dégagent des odeurs très désagréables, souvent ressenties comme écœurantes.

Valeurs limites de concentration de certains composants des fumées chirurgicales [53].

TABLEAU II

Pays	Valeur moyenne par poste/valeur pour une exposition de courte durée en [mg.m <sup>-3</sup> ]		
	TOLUÈNE	BUTANONE	ÉTHYLBENZÈNE
Allemagne	190/760	600/600	440/880
France	192/384	600/900	88,4/442
Suisse	190/760	590/590	435/435
USA/NIOSH	375/560	590/ 885	435/ 545

## Mesures de prévention

Pour éviter l'exposition aux fumées chirurgicales, il convient de recourir aux mesures classiques de prévention mises en œuvre par exemple dans l'industrie pour prévenir ou réduire l'exposition. Bon nombre de ces mesures ont déjà été décrites dans le paragraphe relatif aux paramètres déterminant l'exposition (cf. p. 387). En milieu de soins comme dans les autres secteurs, la hiérarchie des mesures fixée par la directive européenne sur la prévention des risques professionnels doit être respectée pour le choix des mesures de prévention. Aux termes de la directive, il convient d'accorder la priorité aux mesures d'élimination du danger (substitution), puis aux mesures de prévention collective (capotage de la source de risques, aspiration localisée), puis aux mesures de prévention organisationnelles (maintien à distance de la source de risque) et, en dernier recours, au port d'équipements de protection individuelle (masques...).

Cependant, bien que les techniques d'intervention décrites ici aient de nombreuses applications, les possibilités de recours à des procédés moins polluants (substitution) sont limitées.

Ce qui suit résume les recommandations de divers groupes d'experts en matière de réduction de l'exposition aux fumées chirurgicales, et présente les recommandations de l'INRS, de la Suva et de la BGW [2, 31, 54 à 57].

### MESURES DE PRÉVENTION TECHNIQUE

Techniquement, le captage à la source des fumées chirurgicales est la mesure de prévention la plus efficace. À ce jour, les normes techniques ([58] par exemple) ne comportent que des objectifs généraux de

prévention, et non des exigences précises en matière de captage des fumées. Les recommandations suivantes peuvent toutefois être formulées.

### Systèmes de captage des fumées chirurgicales

Si la quantité de fumée est faible, il est possible d'utiliser un appareil d'aspiration adapté, en y ajoutant un filtre à usage unique, pour éliminer la fumée du champ opératoire [2, 59]. Le filtre ajouté doit être de nature à empêcher la contamination et la corrosion des conduits du système de captage. Les systèmes de captage mural classiques ne sont généralement pas assez puissants pour aspirer de grandes quantités de fumées. Il est conseillé de préférer les dispositifs de captage mobiles, qui peuvent avoir une puissance d'aspiration plus de vingt fois supérieure. Alors que la puissance de captage des systèmes d'aspiration chirurgicaux ne dépasse pas 100 l.min<sup>-1</sup>, celle des systèmes autonomes est de l'ordre du m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup> (cf. paragraphe suivant « Dispositifs mobiles de captage des fumées »).

### Dispositifs mobiles de captage des fumées

Des dispositifs de captage individuels sont proposés par les fabricants de matériels laser ou électrochirurgicaux. Ils sont généralement constitués des éléments suivants : l'appareil d'aspiration proprement dit, le système de filtre pour polluants particulaires et gaz/vapeurs, le flexible relié à la pièce à main ou à un conduit d'aspiration, la pièce à main ou tube d'aspiration.

L'appareil de captage doit offrir une puissance d'aspiration suffisante en service. On considère que 0,5 à 0,75 m.s<sup>-1</sup> est une vitesse d'aspiration suffisante à l'entrée de la buse [56]. Comme pour un aspirateur, la puissance d'aspiration est assurée grâce à une turbine

en rotation et dépend de la résistance à l'écoulement du conduit d'aspiration et du système de filtrage. En cas de colmatage du conduit, la puissance d'aspiration peut être fortement diminuée. Lors du choix de l'appareil, il est conseillé de tenir compte du niveau sonore de l'appareil, qui peut être lié au moteur lui-même, mais aussi au processus d'aspiration.

Dans les systèmes de captage classique avec recyclage d'air, le système de filtration doit permettre de réduire la concentration de particules, mais aussi de gaz et de vapeurs. Or si la littérature recommande des dispositifs de captage équipés de filtres à charbon actif et de filtres ULPA [2], ces recommandations ne se sont pas encore imposées dans les normes. La publication du NIOSH [56] recommande des filtres HEPA mais n'impose pas de filtre au charbon actif. Le document [58] recommande des filtres ULPA, qui offrent un coefficient de rétention d'au moins 99,999 % pour des tailles de particules d'au moins 0,1 µm. Cette exigence correspond à l'évaluation de l'exposition (*cf. p. 390*), selon laquelle le risque provient notamment des polluants particulaires. Toutefois, les recommandations du NIOSH [56] ne tiennent pas compte de l'exposition aux particules ultrafines, de dimensions nanométriques. Une évaluation définitive des risques liés à l'exposition à cette fraction de particules est aujourd'hui encore impossible, en l'absence de connaissances toxicologiques suffisantes dans ce domaine.

Cependant, si des fumées chirurgicales se dégagent fréquemment dans des locaux mal ventilés, comme les cabinets de ville ou les salles de consultation ambulatoire, qui ne disposent que d'une ventilation naturelle, il est recommandé, compte tenu de la gêne olfactive et du dégagement de produits de pyrolyse sous forme de gaz et de vapeurs, d'utiliser des filtres au charbon actif au niveau du système d'aspiration.

Le flexible et la buse d'aspiration, ainsi que la pièce à main, augmentent la résistance et réduisent la puissance d'aspiration. Leur longueur et leur forme doivent donc être adaptées à l'usage prévu. L'efficacité de captage d'un dispositif d'aspiration des fumées est d'autant plus grande que la buse peut être proche (à moins de 5 cm) du point de formation de la fumée. Cela plaide pour l'utilisation d'une pièce à main à captage intégré.

### Systèmes de ventilation mécanique

Les salles de traitement médical disposent généralement d'une ventilation mécanique conforme à la réglementation nationale et répondant aux exigences d'hygiène applicables à ces locaux [60]. Ce type de système fait appel à d'importants volumes d'air, de l'ordre de 1 000 à 2 000 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup> d'air neuf, ce qui correspond à 10 à 20 renouvellements d'air par heure.

Un tel débit élimine rapidement du local de faibles quantités de fumées et on n'observe pas d'accumulation notable de fumées dans les zones de travail.

Les performances des systèmes de ventilation utilisés au bloc opératoire sont de 20 à 40 fois supérieures à celles des dispositifs de captage mobiles, compte tenu des volumes d'air neuf indiqués ci-dessus. Les dispositifs mobiles ne peuvent donc avoir une incidence notable sur le système de ventilation générale du local.

### Captage des fumées lors d'interventions sous endoscopie

Le captage des fumées des cavités corporelles lors d'interventions sous endoscopie, par exemple, présente des difficultés techniques. Ces fumées ne constituent pas un problème de santé du travail pour la personne pratiquant l'intervention, mais ont surtout pour inconvénient de constituer une gêne visuelle pour le chirurgien ; ce point ne sera pas traité plus avant ici.

---

#### MESURES ORGANISATIONNELLES

Il convient, par des mesures d'organisation du travail telles que l'établissement de plannings de travail optimisés, de permettre à la plus grande partie des employés d'être séparés de manière aussi efficace que possible des fumées émanant des instruments chirurgicaux. Le personnel du bloc opératoire est plus enclin à se protéger des fumées chirurgicales s'il est informé des mécanismes de formation des fumées, des dangers qu'elles présentent et des mesures de prévention applicables. Lors de formations régulières à la prévention, ces thèmes doivent donc être traités en précisant l'incidence des différents déterminants de l'exposition.

Les formations à la prévention doivent être assurées avant la prise de poste, en cas de modification importante des modes opératoires et à intervalles réguliers (une fois par an par exemple). Elles doivent naturellement respecter la réglementation nationale, qui peut notamment exiger la tenue d'un registre des formations.

---

#### MESURES DE PROTECTION INDIVIDUELLE

Lorsque le captage et la ventilation du local sont satisfaisants, il n'est pas nécessaire de recourir à des équipements de protection individuelle (EPI) spécifiques. Ce sont, dans ce cas, les exigences en matière d'hygiène lors des gestes chirurgicaux qui déterminent les mesures de protection individuelle nécessaires pour le personnel.

Le masque chirurgical est une mesure d'hygiène qui n'assure pas une protection adéquate contre les gaz ou vapeurs. Il ne retient pas non plus les particules les plus fines qui peuvent se former lors de processus de pyrolyse, ni les agents biologiques (virus, fragments de cellules).

Les mesures de protection individuelle contre les agents chimiques et/ou biologiques doivent être conformes, en Europe, à la directive EPI et à ses exigences, y compris en ce qui concerne l'établissement de la preuve du respect de la norme technique [61].

Les masques de classe FFP2 au minimum offrent une protection adaptée contre les composants particulaires des fumées chirurgicales. Les gaz et vapeurs ne peuvent être retenus que par des filtres au charbon actif adaptés.

---

## SURVEILLANCE MÉDICALE PRÉVENTIVE

La médecine du travail ne dispose à l'heure actuelle que de très peu de critères applicables à la surveillance médicale préventive lors des activités présentées ici.

Cependant, des examens périodiques de médecine du travail existent dans de nombreux pays, et il semble judicieux d'en profiter pour assurer une surveillance du personnel exposé aux fumées et dépister d'éventuels problèmes. Lors de ces examens, il faudra s'attacher à évaluer la fréquence d'utilisation des lasers ainsi que le type de laser employé et les interventions réalisées, de rechercher la présence de signes d'intolérance et de gêne notamment respiratoire. En fonction de ces éléments des examens pourront être réalisés comme des épreuves fonctionnelles respiratoires.

## Remerciements

Le groupe de travail remercie le **Dr Brigitte Merz, Suva, Lucerne**, pour sa contribution à la réflexion et aux échanges sur le manuscrit.

## Points à retenir

**Les fumées chirurgicales sont constituées par un mélange complexe de constituants biologiques, cellulaires, d'aérosols liquides ou solides, de gaz et de vapeurs.**

**Une part très importante des fumées est susceptible d'être inhalée et de se déposer dans les alvéoles pulmonaires.**

**Parmi les polluants organiques et inorganiques, peuvent être retrouvés : des hydrocarbures aromatiques (benzène, toluène, éthylbenzènes et xylènes), de l'acide cyanhydrique, de l'aldéhyde formique, des hydrocarbures polycycliques aromatiques, des oxydes de carbone, des oxydes de soufre et d'azote, et de l'ammoniac.**

**Parmi les polluants biologiques, peuvent être retrouvés : des cellules intactes, des fragments de cellule, des bactéries, des fragments d'ADN viral (dont VIH, HBV, HPV et BPV).**

**Deux situations sont fortement émettrices de fumées chirurgicales : cautérisation à fort voltage sur carcinose péritonéale, intervention laser sur tissu adipeux.**

**Des cas de papillome de la sphère ORL ont été rapportés chez des opérateurs.**

**La mesure de prévention technique la plus efficace est le captage à la source des fumées chirurgicales.**

## Bibliographie

- [1] ANDRÉASSON SN, ANUNDI H, SAHLBERG B, ERICSSON CG ET AL. - Peritonectomy with high voltage electrocautery generates higher levels of ultrafine smoke particles. *Eur J Surg Oncol*. 2008 ; 35 (7) : 780-84.
- [2] BALL K - Controlling Surgical Smoke: a Team Approach. Information Booklet. IC Medical Inc, 2004 ([www.icmedical.com/informationalbooklet.pdf](http://www.icmedical.com/informationalbooklet.pdf)).
- [3] Controls to reduce exposure to laser plume. In: American Society of Ophthalmic Registered Nurses (ASORN) - Recommended Practices for Laser Refractive Surgery. Dubuque : Kendall/Hunt Publishing Company ; 2002 : 23-25, 72 p.
- [4] Respiratory protection from laser contaminants. In: American Society of Ophthalmic Registered Nurses (ASORN) - Recommended Practices for Laser Refractive Surgery. Dubuque : Kendall/Hunt Publishing Company ; 2002 : 25-26, 72 p.
- [5] ALDINGER PR, KLEINE H, GOEBEL A, EICKMANN U ET AL. - Schadstoffemissionen bei der Entfernung von Knochenzement mit Ultraschallgeräten in der Revisionsendoprothetik. *Biomed Tech*. 2001 ; 46 (10) : 287-89.
- [6] KING B, McCULLOUGH J - NIOSH Health Hazard Evaluation Report. HETA #2000-0402-3021. CDC, 2006 ([www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2000-0402-3021.pdf](http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2000-0402-3021.pdf)).
- [7] KING B, McCULLOUGH J - NIOSH Health Hazard Evaluation Report. HETA #2001-0030-3020. CDC, 2006 ([www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2001-0030-3020.pdf](http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2001-0030-3020.pdf)).
- [8] AL SAHAF OS, VEGA-CARRASCAL I, CUNNINGHAM FO, McGRATH JP ET AL. - Chemical composition of smoke produced by high-frequency electrosurgery. *Ir J Med Sci*. 2007 ; 176 (3) : 229-32.
- [9] ALP E, BIJL D, BLEICHRODT RP, HANSSON B ET AL. - Surgical smoke and infection control. *J Hosp Infect*. 2006 ; 62 (1) : 1-5.
- [10] BRÜSKE-HOHLFELD I, PRESSLER G, JAUCH KW, PITZ M ET AL. - Surgical smoke and ultrafine particles. *J Occup Med Toxicol*. 2008 ; 3 : 31.
- [11] WALKER B - High efficiency filtration removes hazards from laser surgery. *Br J Theatre Nurs*. 1990 ; 27 (6) : 10-12.
- [12] BYRNE PO, SISSON PR, OLIVER PD, INGHAM R - Carbon dioxide laser irradiation of bacterial targets in vitro. *J Hosp Infect*. 1987 ; 9 (3) : 265-73.
- [13] GARDEN JM, O'BANNION MK, SHELNITZ LS, PINSKI KS ET AL. - Papillomavirus in the vapor of carbon dioxide laser-treated verrucae. *JAMA*. 1988 ; 259 (8) : 1199-1202.
- [14] SAWCHUK WS, WEBER PJ, LOWY DR, DZUBOW LM - Infectious papillomavirus in the vapor of warts treated with carbon dioxide laser or electrocoagulation: detection and protection. *J Am Acad Dermatol*. 1989 ; 21 (1) : 41-49.
- [15] KASHIMA HK, KESSIS T, MOUNTS P, SHAH K - Polymerase chain reaction identification of human papillomavirus DNA in CO<sub>2</sub> laser plume from recurrent respiratory papillomatosis. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 1991 ; 104 (2) : 191-95.
- [16] GLOSTER HM JR, ROENIGK RK - Risk of acquiring human papillomavirus from the plume produced by the carbon dioxide laser in the treatment of warts. *J Am Acad Dermatol*. 1995 ; 32 (3) : 436-41.
- [17] CALERO L, BRUSIS T - Larynxpapillomatose. Erstmalige Anerkennung als Berufskrankheit bei einer OP-Schwester. *Laryngorhinootologie*. 2003 ; 82 (11) : 790-93.
- [18] GARDEN JM, O'BANNION MK, BAKUS AD, OLSON C - Viral disease transmitted by laser-generated plume (aerosol). *Arch Dermatol*. 2002 ; 138 (10) : 1303-07.
- [19] JOHNSON GK, ROBINSON WS - Human immunodeficiency virus-1 (HIV-1) in the vapors of surgical power instruments. *J Med Virol*. 1991 ; 33 (1) : 47-50.
- [20] BAGGISH MS, POIESZ BJ, JORET D, WILLIAMSON P ET AL. - Presence of human immunodeficiency virus DNA in laser smoke. *Lasers Surg Med*. 1991 ; 11 (3) : 197-203.
- [21] FLETCHER JN, MEW D, DESCÔTEAUX JG - Dissemination of melanoma cells within electrocautery plume. *Am J Surg*. 1999 ; 178 (1) : 57-59.
- [22] EICKMANN U, FALCY M, FOKUHL I, RÜEGGER M ET AL. - Fumées chirurgicales. Risques et mesures de prévention. ISSA Prevention Series 2058. Hambourg : Comité international de l'AISS pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles dans le secteur santé ; 2011 : 48 p.
- [23] BAGGISH MS, ELBAKRY M - The effects of laser smoke on the lungs of rats. *Am J Obstet Gynecol*. 1987 ; 156 (5) : 1260-65.
- [24] BAGGISH M, BALTOYANNIS P, SZE E - Protection of the rat lung from the harmful effects of laser smoke. *Lasers Surg Med*. 1988 ; 8 (3) : 248-53.
- [25] FREITAG L, CHARMAN GA, SIELCZAK M, AHMED A ET AL. - Laser smoke effect on the bronchial system. *Lasers Surg Med*. 1987 ; 7 (3) : 283-88.
- [26] TOMITA Y, MIHASHI S, NAGATA K, UEDA S ET AL. - Mutagenicity of smoke condensates induced by CO<sub>2</sub>-laser irradiation and electrocauterization. *Mutat Res*. 1981 ; 89 (2) : 145-49.
- [27] GATTI JE, BRYANT CJ, NOONE RB, MURPHY JB - The mutagenicity of electrocautery smoke. *Plast Reconstr Surg*. 1992 ; 89 (5) : 781-84; discussion 785-86.
- [28] HENSMAN C, NEWMAN EL, SHIMI SM, CUSCHIERI A - Cytotoxicity of electro-surgical smoke produced in an anoxic environment. *Am J Surg*. 1998 ; 175 (3) : 240-41.
- [29] BEUTNER KR, BECKER TM, STONE KM - Epidemiology of human papillomavirus infections. *Dermatol Clin*. 1991 ; 9 (2) : 211-18.
- [30] BIGONY L - Risks associated with exposure to surgical smoke plume: a review of the literature. *AORN J*. 2007 ; 86 (6) : 1013-20, quiz 1021-24.
- [31] BARRET WL, GARBER SM - Surgical smoke: a review of the literature. Is this just a lot of hot air? *Surg Endosc*. 2003 ; 17 (6) : 979-87.
- [32] SCOTT E, BESWICK A, WAKEFIELD K - The Hazards of diathermy plume. Part 1. The literature search. *Br J Perioper Nurs*. 2004 ; 14 (9) : 409-14.
- [33] SCOTT E, BESWICK A, WAKEFIELD K - The Hazards of diathermy plume. Part 2. Producing quantified data. *Br J Perioper Nurs*. 2004 ; 14 (10) : 452, 454-56.
- [34] HALLMO P, NAESS O - Laryngeal papillomatosis with human papillomavirus DNA contracted by a laser surgeon. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 1991 ; 248 (7) : 425-27.
- [35] ULMER BC - The hazards of surgical smoke. *AORN J*. 2008 ; 87 (4) : 721-34, quiz 735-38.
- [36] KING B, McCULLOUGH J - NIOSH Health Hazard Evaluation Report. HETA #2001-0066-3019. CDC, 2006 ([www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2001-0066-3019.pdf](http://www.cdc.gov/niosh/hhe/reports/pdfs/2001-0066-3019.pdf)).
- [37] GATES MA, FESKANICH D, SPEIZER FE, HANKINSON SE - Operating room nursing and lung cancer risk in a cohort of female registered nurses. *Scand J Work Environ Health*. 2007 ; 33 (2) : 140-47.
- [38] SPEARMANN J, TSAVELLAS G, NICHOLS P - Current attitudes and practices towards diathermy smoke. *Ann R Coll Surg Engl*. 2007 ; 89 (2) : 162-65.
- [39] EDWARDS BE, REIMAN RE - Results of a survey on current surgical smoke control practices. *AORN J*. 2008 ; 87 (4) : 739-49.
- [40] WÄSCHE W, WAGNER G, ALBRECHT H, MÜLLER G - Analyse der luftgetragenen Abbrandprodukte bei der Laser und Hochfrequenz-Chirurgie. In: *Minimale Invasive Medizin*. Landsberg : Ecomed ; 1993 : S 35-39.
- [41] WÄSCHE W, ALBRECHT HJ, MÜLLER G - Assessment of the risk potential of pyrolysis products in plume produced during laser treatment under OR conditions. In: *Laser Interaction with Hard and Soft Tissue II*. Proceedings of SPIE Volume 2323. Bellingham : SPIE ; 1995 : 455-63, 562 p.

[42] **VDI-SONDERBAND** - Bewertung von Abbrandprodukten bei der medizinischen Laseranwendung. Sonderband. Laser in der Materialbearbeitung. Düsseldorf:VDI-Technologiezentrum Physikalische Technologien ; 1998.

[43] **HEE G, MÉREAU P, DORNIER G, SERVENT JP ET AL.** - Les lasers. 2<sup>e</sup> édition. Le point des connaissances sur... Édition INRS ED 5009. Paris : INRS ; 2004 : 4 p.

[44] Sécurité des appareils à laser: Partie 1 : Classification des matériels et exigences. Norme française homologuée NF EN 60825-1. Janvier 2008. Indice de classement C 43-805. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2008 : 103 p.

[45] Sécurité des appareils à laser: Partie 1 : Classification des matériels, prescriptions et guide de l'utilisateur: Norme française homologuée NF EN 60825-1. Juillet 1994. Indice de classement C 43-805. + Amendement A1. Mai 2005. + Amendement A2. Janvier 2006. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 1994, 2005, 2006, 114 p., 14 p., 72 p.

[46] Filtres à air à haute efficacité (EPA, HEPA et ULPA). Partie 1 : Classification, essais de performance et marquage. Norme française homologuée NF EN 1822-1. Janvier 2010. Indice de classement X 44-014-1. La Plaine Saint-Denis : AFNOR ; 2010 : 20 p.

[47] **MIHASHI S, JAKO GJ, INCZE J, STRONG MS ET AL.** - Laser surgery in otolaryngology. Interaction of CO<sub>2</sub> laser and soft tissue. *Ann NY Acad Sci.* 1975 ; 267 : 263-94.

[48] **TARAVELLA MJ, VIEGA J, LUISZER F, DREXLER J ET AL.** - Respirable particles in the excimer laser plume. *J Cataract Refract Surg.* 2001 ; 27 (4) : 604-07.

[49] **BINDING U, WÄSCHE W** - Sicherheits und Schutzmaßnahmen gegen Abbrandprodukte beim Einsatz medizinischer Laser: Angewandte Lasermedizin 15. Erg. Lfg. 12: 1-14. II-4.10. Berlin : Springer ; 1998 :

[50] **WU JS, LUTTMAN DR, MEININGER TA, SOPER NJ ET AL.** - Production and systemic absorption of toxic byproducts of tissue combustion during laparoscopic surgery. *Surg Endosc.* 1997 ; 11 (11) : 1075-79.

[51] **HOLLMANN R, HORT CE, KAMMER E, NAEGELE M ET AL.** - Smoke in the operating theater: An unregarded source of danger. *Plast Reconstr Surg.* 2004 ; 114 (2) : 458-63.

[52] **MOOT AR, LEDINGHAM KM, WILSON PF, SENTHILMOHAN ST ET AL.** - Composition of volatile organic compounds in diathermy plume as detected by selected ion flow tube mass spectrometry. *ANZ J Surg.* 2007 ; 77 (1-2) : 20-23.

[53] Banque de données GESTIS. International limits values for chemical agents. Occupational exposure limits (OELs) ([www.dguv.de/lifa/en/gestis/limit\\_values/index.jsp](http://www.dguv.de/lifa/en/gestis/limit_values/index.jsp)).

[54] **BALL K** - Update for nurse anesthetists. Part 1. The hazards of surgical smoke. *AANA J.* 2001 ; 69 (2) : 125-132, quiz 133-42.

[55] **FRENETTE Y.** - Les fumées chirurgicales, connaissez-vous les risques? *Trav Santé.* 2003 ; 19 (4) : 34-39. 0

[56] Control of smoke from laser/electrical surgical procedures. NIOSH Hazard Controls. DHHS (NIOSH) Publication 96-128. CDC, 1998 ([www.cdc.gov/niosh/hc11.html](http://www.cdc.gov/niosh/hc11.html)).

[57] Umgang mit Gefahrstoffen in Einrichtungen zur humanmedizinischen Versorgung. Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 525. BAUA, 1998 ([www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS-525\\_content.html](http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS-525_content.html)).

[58] Safety of laser products - Part 8 : guidelines for the safe use of laser beams on humans. International standard IEC TR 60825-8. Genève : International Electrotechnical Commission ; 2006 : 6 p.

[59] Appareils électromédicaux. Partie 2 : Règles particulières de sécurité pour les appareils thérapeutiques et de diagnostic à laser. Norme française homologuée NF EN 60601-2-22. Avril 1996. Indice de classement C 74-341. Paris-La Défense : AFNOR ; 1996 : 30 p.

[60] Raumluftechnik. Teil 4: Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens. DIN 1946-4. Berlin : Beuth-Verlag GmbH ; 2008 : 66 p.

[61] Directive 89/686/CEE du Conseil, du 21 décembre 1989 concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux équipements de protection individuelle. *J Off Communauté Eur.* 1989 ; L399, 30 décembre 1989 : 18-38.