

Fabrication additive ou impression 3D

EN RÉSUMÉ

La fabrication additive, ou impression 3D, consiste à ajouter de la matière pour former une pièce. Ce procédé se développe considérablement. Outre les risques classiques de toute activité industrielle, il expose à des risques spécifiques liés aux produits utilisés, mais aussi à ceux émis par ce procédé. Après avoir décrit succinctement les différentes technologies de fabrication additive, cet article présente les risques spécifiques à chacune d'elles et les moyens d'en prévenir les effets sur la santé.

AUTEURS :

M. Ricaud¹, C. Pastrascu¹, S. Malard², F.X. Keller³

1. Département Expertise et conseil technique, INRS

2. Département Études et assistance médicales, INRS

3. Département Ingénierie des procédés, INRS

MOTS CLÉS

Fabrication additive / Évaluation des risques / Organisation du travail / Équipement de protection individuelle / EPI / Risque chimique

Initée au début des années 1980 par des travaux en laboratoire et le dépôt de quelques brevets en 1984, dont certains sont français, la fabrication additive consiste à ajouter de la matière pour former une pièce, plutôt que d'en enlever comme c'est le cas dans les procédés de fabrication traditionnels (fraisage, tournage).

Le développement des machines de fabrication additive (ou impression 3D) est en progression constante dans de nombreux secteurs de l'industrie : aéronautique, automobile, médical (prothèses dentaires et auditives), équipements sportifs, outillage... Les principaux avantages de la fabrication additive sont la réduction du prix de revient des pièces à géométrie complexe, la réduction des délais de fabrication, la construction de prototypes fonctionnels, l'augmentation du rendement matière (la quantité de matière nécessaire pour produire une pièce est calculée au plus juste), la réduction des frais fixes liés à la fabrication des moules et des outillages ainsi que la limitation de l'utilisation des fluides de coupe et de la génération des copeaux seulement aux étapes de finition. Dans la littérature, les études menées sur les risques professionnels

liés à l'utilisation de la fabrication additive sont peu nombreuses. Or, ces risques peuvent être multiples et variés compte tenu des différentes technologies présentes sur le marché. Il est donc indispensable d'évaluer ces risques afin de mettre en place des mesures de protection des salariés adaptées.

LES DIFFÉRENTES TECHNOLOGIES

La norme NF EN ISO 17296 - 2 définit sept procédés de fabrication additive. Ce domaine étant en plein essor, d'autres procédés de fabrication peuvent enrichir ceux définis par la norme.

De nombreuses matières sont mises en œuvre dans cette technologie. Les plus fréquemment rencontrées sont les matières plastiques, les métaux et les céramiques.

Les matières plastiques mises en œuvre sont des polymères sous forme de fils, de poudres ou de résines liquides, alors que les métaux se retrouvent généralement sous forme de poudres ou de fils.

Les différentes techniques existantes selon la norme NF EN

Fabrication additive ou impression 3D

ISO 17296 - 2 sont détaillées dans le **tableau I** avec les matières premières les plus utilisées. Ce secteur étant en constante évolution, il n'est pas possible de proposer une

liste exhaustive des matières premières mises en œuvre. Les principaux procédés de fabrication additive mis en œuvre actuellement en France sont, pour la trans-

formation des matériaux plastiques, l'extrusion de matière (appelée aussi dépôt de fil fondu) suivi de la photopolymérisation. Concernant la transformation des métaux, les

➤ **TABLEAU I : LES PRINCIPAUX PROCÉDÉS DE FABRICATION ADDITIVE ET LES MATÉRIAUX ASSOCIÉS (d'après [1])**

Nom et description succincte du procédé		Matières utilisées *
Extrusion de matière (FDM – Fused Deposition Modeling) Le matériau est distribué de manière sélective par une buse en couches successives. Généralement la buse est dotée d'un système pour chauffer et faire fondre la matière.		Fils plastiques : ABS, PLA, PET, PC, PEEK...
Photopolymérisation en cuve (stéréolithographie – SLA) Un photopolymère liquide est durci de manière sélective par un rayonnement spécifique (LED ou laser généralement).		Photopolymères liquides : acryliques, polyuréthanes, résines epoxy, polyéthylène glycol, glycérol...
Fusion sur lit de poudre (Laser Bed Melting) L'énergie thermique (rayon laser, faisceau d'électrons...) fait fondre de manière sélective le matériau présent sous forme de poudre.		Poudres plastiques : polyamides (PA11, PA12, PA6), TPU... Poudres métalliques : titane, nickel, aluminium, inox...
Projection de liant Un produit liquide (une colle) est déposé de manière sélective pour lier le matériau qui est sous forme de poudre. Cette technologie nécessite généralement une deuxième étape, de cuisson pour stabiliser la forme finale de l'objet.		Poly(acide acrylique), polyuréthanes, copolymères styrène acrylate, cyanoacrylate de méthyle, polyamides... Poudres métalliques : titane, nickel, aluminium, inox...
Stratification en couches Les couches de matériau sont découpées de manière sélective puis liées pour former l'objet à fabriquer.		Feuilles papier ou plastique
Projection de matière Des gouttelettes de matériau sont déposées de manière sélective et solidifiées sous l'action d'une lumière UV.		Photopolymères liquides : acryliques, polyuréthanes, résines époxy, polyéthylène glycol, glycérol, silicones, élastomères, cires...
Dépôt de matière sous énergie concentrée La matière est déposée de manière sélective puis est fondue progressivement par un apport d'énergie thermique (rayon laser, faisceau d'électrons...).		Poudres plastiques : polyamides (PA11, PA12, PA6), TPU... Poudres ou fils métalliques : titane, nickel, aluminium, inox...

* **Glossaire des matériaux utilisés** : ABS : acrylonitrile butadiène styrène ; PLA : acide polylactique ; PET : poly(téréphtalate d'éthylène) ; PC : polycarbonate ; PEEK : poly(étheréthercétone) ; PA11 : polyamide 11, polyundécanamide, nylon ; PA12 : polyamide 12, polyaolactame ; PA6 : polyamide 6, polycaprolactame ; TPU : polyuréthane thermoplastique.

➤ **TABEAU II : TAILLE DES ENTREPRISES AYANT RÉPONDU À L'ENQUÊTE (d'après [2])**

Taille de l'entreprise	Nombre d'entreprises ayant répondu à l'enquête N= 84, n (%)
1 à 9 salariés	60 (71 %)
10 à 249 salariés	14 (17 %)
250 à 4 999 salariés	6 (7 %)
Plus de 5 000 salariés	4 (5 %)

techniques les plus répandues sont la fusion sur lit de poudre, le dépôt de matière sous énergie concentrée et la projection de matière.

LES SECTEURS D'ACTIVITÉS EN FRANCE

Deux enquêtes de filières ont été menées par l'INRS en 2017 [2] : la première sur la fabrication additive métallique et la seconde concernant la fabrication additive non-métallique, incluant les matières plastiques et les céramiques. L'objectif était de recenser les différentes techniques de fabrication additive implantées et utilisées en France et de réaliser un état des lieux du parc de machines.

La méthodologie mise en place pour ces enquêtes de filière était composée de trois étapes. La première consistait à identifier les acteurs utilisateurs de machines industrielles. La deuxième portait sur le recueil des informations relatives aux conditions d'utilisation de ces machines. Enfin, une dernière étape s'est focalisée sur l'analyse et la synthèse des informations recueillies.

Une quarantaine d'entretiens avec des acteurs du secteur a été effectuée. À ces entretiens, s'est ajoutée une enquête en ligne qui a permis de compléter la base des réponses.

POUR LA TECHNOLOGIE NON MÉTALLIQUE

Ces enquêtes de filière ont permis de constater que la fabrication additive non métallique était utilisée dans de nombreux secteurs tels que aéronautiques, automobile, pièces de machines, biens de consommation, secteur médicale et dentaire, architecture... Près de 90 % des entreprises sont des TPE-PME (tableau II).

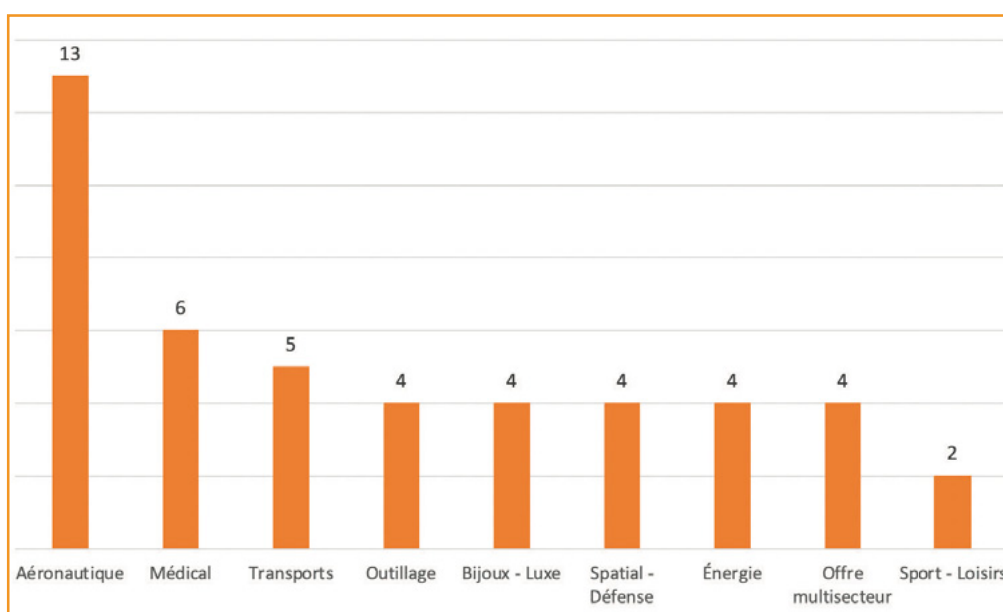
Concernant l'évolution du parc machines, elle devrait être rapide. En effet, dans un premier temps, les ventes de machines (en unité) de fabrication additive ont augmenté à l'échelle mondiale de 91 % entre 2013 et 2014, de 103 % entre 2014 et 2015 et de 108 % entre 2015 et 2016. Si l'on estime une croissance similaire entre 2016 et 2017, il devrait s'être vendues environ 7 000 machines de fabrication additive non-métallique en France. En 2019, la France est classée 4^e sur le marché mondial de la fabrication additive avec un chiffre d'affaire de 490 millions d'euros, le secteur des matières plastiques représentant 87 % de ce chiffre.

Par ailleurs, parmi les répondants à l'enquête, 64 envisagent d'acquérir au moins une nouvelle machine d'ici 3 ans alors que 9 n'envisagent pas cette acquisition. Quarante-sept répondants optent plutôt pour une machine de fabrication additive avec des matières plastiques : extrusion de matière pour 70 % des répondants et photopolymérisation pour 40 % d'entre eux. Vingt-quatre répondants optent pour une machine de fabrication additive avec des matières métalliques, 10 ne savent pas et 5 optent pour une machine de fabrication additive avec des céramiques.

POUR LA TECHNOLOGIE MÉTALLIQUE

Au sujet de la fabrication additive avec des matières métalliques, les secteurs d'application sont multiples. Dans la figure 1 sont indiqués les secteurs concernés suivant les réponses des entreprises qui ont accepté de participer à l'enquête. Il est à noter que le secteur aéronau-

Figure 1 : Secteurs d'activité ayant recours à la fabrication additive métallique [2]



Fabrication additive ou impression 3D

tique et spatial-défense est prédominant avec un tiers de réponses.

Il a été possible de recenser, en fonction des réponses aux questionnaires, le nombre de machines par type de procédés ainsi que les marques des machines présentes dans les entreprises. Il est à noter que la technologie fusion sur lit de poudre (*Laser Bed Melting*) est nettement prédominante (tableau III).

LES RISQUES SPÉCIFIQUES DE LA FABRICATION ADDITIVE

La fabrication additive présente des risques multiples communs à toute activité industrielle comme les risques électriques, les risques organisationnels...

La fabrication additive expose également à des risques spécifiques. Il s'agit principalement des risques chimiques et du risque d'incendie et d'explosion ainsi que des risques propres à certaines technologies comme le risque de brûlures, celui de chutes de hauteur, les troubles musculosquelettiques, les risques dus aux rayonnements... (encadré 1). L'ensemble des risques doit faire l'objet d'une évaluation formalisée dans le document unique, conduisant à la mise en place de mesures tant techniques qu'organisationnelles afin de les supprimer ou de les réduire.

Au sein des entreprises mettant en œuvre la fabrication additive, les risques dépendent de la technologie utilisée et des matériaux employés (matières premières). Ainsi, chaque couple technologie/matière première présente des risques différents. Afin d'identifier et d'évaluer ceux-ci, il convient d'analyser chaque situation de travail.

Les produits qui participent aux risques chimiques et aux risques d'incendie et d'explosion sont les matières premières comme les fils

Tableau III : Répartition, selon le procédé utilisé, du parc machines en fabrication additive métallique [2]

LBM	67
3D systems ®	28
EOS ®	15
SLM Solutions ®	10
Renishaw ®	7
Realizer ®	2
Add-Up ®	1
Concept laser ®	1
Non communiqué	3
DMD	3
Trumpf ®	2
BeAM ®	1
EBM	1
Arcam ®	1

LBM - Laser Bed Melting.

DMD - Direct Metal Deposition.

EBM - Electron Beam Melting.

plastiques, les poudres plastiques, les photopolymères, les poudres métalliques, les encres... Aux matières premières utilisées s'ajoutent les produits émis et les produits annexes comme les solvants, les colles, les gaz, les poussières (dont certaines ont une taille nanométrique), les vapeurs, les déchets, les matières premières recyclées...

Les tableaux IV et V mentionnent une liste non exhaustive des produits utilisés et émis lors de la mise en œuvre de procédés de fabrication additive avec leurs principaux effets sur la santé. L'isopropanol, le méthacrylate de méthyle, l'hydro-

↓ Encadré 1

> LES AUTRES RISQUES LIÉS À LA FABRICATION ADDITIVE

Au-delà du risque chimique, qui est une évidence pour certaines technologies de fabrication additive mais qui demeure difficile à quantifier pour d'autres, il existe des risques supplémentaires tels que le risque d'incendie et d'explosion. Il est dû à la présence de produits inflammables ou extrêmement inflammables, sous forme de gaz, de liquides ou de poudres. À ces produits s'ajoutent les matières plastiques qui, même si elles ne sont pas classées comme produits inflammables, sont combustibles et peuvent participer à l'alimentation d'un incendie. Une attention particulière doit être portée aux poudres métalliques qui peuvent, sous certaines conditions de pression et concentration, former une atmosphère explosive, même si elles ne sont pas classées inflammables. D'autres risques existent comme, par exemple, celui de brûlures inhérent à l'extrusion de matières utilisant des fils plastiques. Des interventions humaines sont nécessaires à l'intérieur des machines et les températures de la tête d'extrusion sont suffisamment élevées pour provoquer des brûlures (supérieures à 200 °C).

La modification des machines d'extrusion de matières plastiques ou la construction de ces machines à partir de kits engendre la perte de la certification CE ainsi que le non-respect de la directive Machines 2006/42/CE [3]. Ces modifications sont responsables de nouveaux risques électriques, d'incendie... Les gestes répétitifs et surtout la manipulation de charges lourdes représentées par les récipients de poudres métalliques (matériaux denses) peuvent être responsables de l'apparition de troubles musculosquelettiques. L'accès au chargement de matières premières de certaines machines se fait à une hauteur de 1 à 2 m. Ces situations peuvent être responsables de chutes de hauteur. Lors de la manutention des machines utilisant comme source d'énergie un laser, l'exposition aux rayonnements s'ajoute à la liste des risques à prendre en compte. Le travail sur des longues durées avec des équipements de protection individuelle (cagoule, combinaison étanche...) peut être responsable de l'apparition d'irritations ou d'un inconfort thermique.

➤ **TABLEAU IV : PRODUITS UTILISÉS LORS DE LA MISE EN ŒUVRE DE PROCÉDÉS DE FABRICATION ADDITIVE AVEC LEURS PRINCIPAUX EFFETS SUR LA SANTÉ**

Produits utilisés	Principaux effets sur la santé
Isopropanol	Irritant pour les yeux, vertiges et somnolence
Méthacrylate de méthyle	Allergie cutanée, irritant pour la peau et les voies respiratoires
Cyanoacrylate de méthyle	Irritant pour la peau, les yeux et les voies respiratoires
Nickel	Allergie cutanée, susceptible de provoquer le cancer (agent cancérigène de catégorie 2 selon le règlement CLP*)
Cuivre	Irritant pour les yeux, la peau et les voies respiratoires
Cadmium	Atteintes digestives, respiratoires, osseuses et cardio-vasculaires, susceptible de provoquer le cancer, effets mutagène et toxique pour la reproduction suspectés (agent cancérigène de catégorie 1B et mutagène et toxique pour la reproduction de catégorie 2 selon le règlement CLP)
Cobalt	Allergies cutanée et respiratoire, peut provoquer le cancer, effet mutagène suspecté, toxique pour la reproduction (agent cancérigène et toxique pour la reproduction de catégorie 1B et mutagène de catégorie 2 selon le règlement CLP)
Azote	Anoxie

* Règlement européen sur la classification, l'étiquetage et l'emballage des produits chimiques

➤ **TABLEAU V : PRODUITS ÉMIS LORS DE LA MISE EN ŒUVRE DE PROCÉDÉS DE FABRICATION ADDITIVE AVEC LEURS PRINCIPAUX EFFETS SUR LA SANTÉ**

Produits émis	Principaux effets sur la santé
Poussières ultrafines	Effets respiratoires et cardiovasculaires, voire cancérigènes (en fonction des particules)
Oxydes de nickel	Allergie cutanée, peut provoquer le cancer (agents classés cancérigènes de catégorie 1A selon le règlement CLP*)
Oxydes de cobalt	Allergies cutanée et respiratoire, cancérigénicité et toxicité pour la reproduction présumées
Oxydes de cuivre	Irritant pour les yeux, la peau et les voies respiratoires
Oxyde de chrome (trioxyde de chrome)	Irritant pour les yeux, la peau et les voies respiratoires, atteintes des voies aériennes, peut provoquer le cancer, mutagène, toxique pour la reproduction suspecté (agent cancérigène de catégorie 1A, mutagène de catégorie 1B et toxique pour la reproduction de catégorie 2 selon le règlement CLP)
Oxydes de cadmium	Atteintes digestives, respiratoires, osseuses et cardiovasculaires, susceptible de provoquer le cancer, effets mutagène et toxique pour la reproduction suspectés (agent cancérigène de catégorie 1B et mutagène et toxique pour la reproduction de catégorie 2 selon le règlement CLP)
Styrène	Nocif par inhalation, effets ototoxiques, et toxicité pour la reproduction suspectée, irritant pour la peau et les yeux
Acétone	Irritant pour les yeux, vertiges et somnolence
Isopropanol	Irritant pour les yeux, vertiges et somnolence

* Règlement européen sur la classification, l'étiquetage et l'emballage des produits chimiques

gène, le styrène, l'acétone et certaines particules ultrafines sont par ailleurs inflammables. Tout comme les effets sur la santé des produits utilisés ou émis, les niveaux d'exposition sont également dépendants des technologies employées.

POUR LA TECHNOLOGIE NON MÉTALLIQUE

Les matériaux non métalliques utilisés sont principalement des matières plastiques. Elles représentent plus de 80 % des matériaux employés. Les matières premières plastiques les plus rencontrées

sont l'ABS (acrylonitrile-butadiène-styrène), le PLA (acide polylactique) et les polyamides. Les céramiques, mises en œuvre principalement pour la fabrication de prothèses (dentaires ou autres), représentent 1 % des matériaux utilisés. Les procédés les plus courants sont l'extrusion de matière, la photopolymérisation et la projection de liant.

EXTRUSION DE MATIÈRE

Pour la fabrication additive par extrusion de matières plastiques (dépôt de fil fondu), les salariés sont exposés aux produits de dégradation thermique comme le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂), les aldéhydes, le styrène... et les particules ultrafines (la majorité des particules émises ont un diamètre inférieur à 100 nm [4]). Les taux d'émission de particules générées par des machines d'impression 3D par dépôt de fil alimentées avec de l'ABS sont de l'ordre de 10⁹ à 10¹¹ particules.min⁻¹ (#.min⁻¹) environ et de l'ordre de 10⁸ à 10¹⁰ #.min⁻¹ pour du PLA [5]. Pour ces deux matériaux, les machines peuvent être catégorisées comme étant émettrices en particules ultrafines. En général, l'ABS émet plus de particules que le PLA et les additifs pourraient avoir un effet important sur les émissions [6].

Les composés organiques volatiles (COV) émis par des imprimantes par extrusion de matière (dépôt de fil fondu) sont principalement des vapeurs issues de la dégradation des thermoplastiques. La concentration émise en styrène – qui est un des produits émis par des imprimantes 3D par dépôt de fil ABS – est de l'ordre de 150 à 250 µg.m⁻³ [7], des niveaux largement inférieurs à la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) française (100 mg.m⁻³). À titre de

1. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp.asp?id=421&tid=74>

comparaison, ces niveaux correspondent à 20 fois la concentration en styrène mesurée dans des bureaux « classiques » au cours de la campagne US EPA BASE¹. Les émissions en COV totaux générées par les imprimantes 3D à dépôt de fil en fonction de différents matériaux (ABS, PLA) ont pu être mesurées et peuvent atteindre 3 500 µg.h⁻¹. Il n'y a pas de seuil réglementaire pour les niveaux d'émission en particules ou en COV totaux. Pour comparaison, le niveau d'émission en COV d'une imprimante laser évolue entre 5 782 et 7 735 µg.h⁻¹.

PHOTOPOLYMÉRISATION

La photopolymérisation utilise des résines liquides et des solvants. Les niveaux de concentration des substances chimiques employées et émises, analysées une à une, sont faibles. À titre d'exemple, la concentration mesurée en acétone est de 26 ppm, la valeur limite étant de 250 ppm ; alors que la concentration en COV totaux varie entre 14 300 et 23 700 µg.h⁻¹ [8]. Cette technologie émet 4 à 7 fois plus de vapeurs que l'extrusion de matières plastiques.

PROJECTION DE LIANT

Lors de l'utilisation des imprimantes à projection de liant sur lit de poudre plastique, la concentration dans les lieux de travail en COV peut atteindre 1 725 µg.m⁻³. Le taux d'émission des particules générées par cette technologie est d'environ 10⁴ #.min⁻¹, les particules ayant majoritairement un diamètre compris entre 200 et 400 nm [9]. Les concentrations mesurées, autant en COV qu'en particules, ramenées à 24 heures, sont plusieurs fois supérieures aux valeurs guides issues de la qualité de l'air intérieur [10]. En conclusion, pour les procédés de fabrication additive utilisant des matières plastiques, les concen-

trations des produits chimiques utilisés ou émis par les machines ou relevées dans l'atmosphère des lieux de travail demeurent faibles (et généralement en deçà des VLEP), à l'exception des particules ultrafines. Il importe néanmoins de demeurer vigilant sur le fait que la fabrication additive utilisant des matières plastiques induit l'utilisation et l'émission de divers produits qui peuvent interagir entre eux. L'évaluation des risques associés à cette situation de polyexposition peut s'avérer complexe. Par ailleurs, pour certains produits émis tels que les particules ultrafines, il n'existe pas de VLEP réglementaire. Seules quelques valeurs seuils ont été recommandées pour certains nanomatériaux. Il peut s'avérer pertinent de comparer les concentrations obtenues à celles mesurées dans des industries (soudage, projection thermique) où des particules ultrafines sont émises ainsi que dans des entreprises où des polyexpositions existent.

POUR LA TECHNOLOGIE MÉTALLIQUE

En ce qui concerne les fils et poudres métalliques utilisés dans la fabrication additive, ils peuvent contenir de l'aluminium, du titane, du manganèse, du zinc, du tungstène, du niobium, du nickel, du cobalt, du fer, du cadmium... La majorité des poudres métalliques présente des risques pour la santé lors de l'exposition par inhalation ou par contact cutané. Les poudres contenant du nickel, cobalt, cadmium (au-dessus d'un certain seuil) peuvent avoir des effets cancérogènes (d'après le CLP – *Classification, labelling, packaging* – classement en catégorie 2 pour le nickel et catégorie 1B pour le cobalt et le cadmium). Le nickel et le cobalt sont susceptibles d'entraîner des phénomènes de sensibili-

sation respiratoire et/ou cutanée. De plus, même si le métal n'a pas d'effet spécifique sur la santé, la taille de la poudre peut être suffisamment fine pour être inhalée et provoquer une irritation des voies respiratoires. La taille initiale des particules est comprise entre 10 µm et 50 µm. En revanche, lors du recyclage, des particules nanométriques ont été identifiées.

Les techniques utilisant de la poudre métallique sont, aujourd'hui, la fusion de poudres par laser, la projection de liant et le dépôt de matière sous énergie concentrée.

Les risques sont principalement liés à l'exposition des opérateurs aux poudres métalliques utilisées et à leurs produits d'oxydation et de dégradation (cobalt, cuivre, nickel, [11]), aux particules ultrafines émises à la source de la fabrication ainsi qu'au risque potentiel d'incendie et d'explosion.

FUSION SUR LIT DE POUDRES MÉTALLIQUES

Les concentrations en nickel mesurées se situent entre 12 et 99 µg.m⁻³. Ces valeurs sont bien en deçà de la VLEP française, à savoir 1 mg.m⁻³. En revanche, si elles sont comparées à la valeur limite proposée par l'Allemagne, qui est de 5 µg.m⁻³, elles sont bien supérieures. De la même manière, les valeurs mesurées pour le cuivre sont d'environ 200 µg.m⁻³, du même ordre de grandeur que la VLEP française, mais largement supérieures à la valeur limite proposée par l'Allemagne, qui est fixée à 10 µg.m⁻³. La situation est encore plus préoccupante avec le cobalt, produit cancérogène et toxique pour la reproduction (catégorie 1B). Des concentrations voisines de 50 µg.m⁻³ ont été mesurées. Il n'existe pas de VLEP française pour ce produit alors que la valeur limite américaine est de

20 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Le nombre de particules ultrafines enregistré sur opérateur est de $1,6.10^4 \text{ \#.cm}^{-3}$, cette valeur peut être comparée aux niveaux observés dans le soudage qui sont d'environ $4,8.10^5 \text{ \#.cm}^{-3}$. La concentration en particules ultrafines mesurée oscille entre 0,12 et 0,33 mg.m^{-3} [12].

Outre les étapes de fabrication, les phases transitoires comme l'ouverture de la porte de la machine, le chargement de la poudre (alimentation de la machine), la récupération de la pièce, le parachèvement et la finition de la pièce sont particulièrement exposantes.

En conclusion, pour les procédés de fabrication additive utilisant des poudres métalliques, la comparaison des concentrations des produits utilisés et émis relevées dans l'atmosphère des lieux de travail aux VLEP préconisées en France mais également à l'étranger permet d'évaluer les risques pour chaque situation. Comme déjà évoqué dans le cas des technologies non métalliques, pour certains produits émis tels que les particules ultrafines, il n'existe pas de VLEP réglementaire. Seules quelques valeurs seuils ont été recommandées pour certains nanomatériaux. Concernant les particules ultrafines pour lesquelles il n'existe que quelques valeurs seuils pertinentes recommandées [13 à 15], il convient de demeurer vigilant et de rechercher les niveaux d'exposition les plus bas possibles.

DÉPÔT DE MATIÈRE SOUS ÉNERGIE CONCENTRÉE

Les émissions produites pour ce procédé ont été mesurées pour différents cycles d'usinage. Une approche multimétrique a été adoptée. Des mesures ont été faites pour deux compositions de poudre métallique différentes. À la source, dans l'enceinte de la machine, un

grand nombre de particules ultrafines ($10^6 \text{ \#.cm}^{-3}$, 0,3 à 1,3 mg.m^{-3}) a été mesuré, ce qui confirme le besoin d'une enceinte étanche. Les analyses des différents échantillons de particules métalliques ont confirmé la présence de chrome VI à la source (0,2 à 6 mg.m^{-3}). Les résultats ont révélé de faibles niveaux d'exposition au chrome VI, sous forme d'échantillons individuels prélevés sur l'opérateur où des concentrations inférieures à la limite de quantification de 0,098 $\mu\text{g.m}^{-3}$ ont été mesurées pour les deux alliages étudiés.

Le dépôt de matière sous énergie concentrée utilisant du fil métallique est une technologie qui a été peu étudiée, non pas parce qu'elle n'est pas développée mais parce qu'elle est très proche du soudage laser en termes de matières premières et d'émissions. L'évaluation des risques dans le cas de cette technologie se rapproche donc du soudage laser.

Malheureusement le nombre d'études et de mesures demeure limité et ne permet pas d'évaluer avec précision les risques liés à l'ensemble des technologies et des matières premières associées. Pour les cas qui se rapprochent des technologies déjà investiguées, un parallèle peut être effectué concernant les émissions et donc les risques. Pour les autres, il convient de limiter les expositions des opérateurs au niveau le plus bas possible.

LA PRÉVENTION DES RISQUES SPÉCIFIQUES

Les risques mécanique, électrique et liés aux rayonnements doivent être pris en compte lors de la conception de la machine en respectant les règles techniques prévues par la Directive Machine

2006/42 CE [3] transposées dans le Code du travail à l'Annexe I de l'article R. 4312-1. Les risques chimiques et le risque d'incendie et d'explosion sont quant à eux partiellement pris en compte dans ce cadre.

La démarche de prévention des risques chimiques s'applique de la même manière que pour toute autre activité industrielle en suivant les principes généraux de prévention.

LA SUBSTITUTION

Il s'agit de substituer, si c'est technologiquement possible, les produits les plus dangereux par des alternatives moins dangereuses. Dans le cas de l'extrusion de matière utilisant des fils plastiques, privilégier un polymère moins émissif comme le PLA ou l'ABS. Dans le cas de la fusion sur lit de poudres métalliques, utiliser préférentiellement les alliages à faible teneur notamment en nickel, cobalt et chrome. Pour les opérations annexes, quelle que soit la technologie, il est nécessaire de remplacer un solvant de nettoyage inflammable par un qui ne l'est pas.

LE TRAVAIL EN CIRCUIT FERMÉ

Il s'agit de travailler autant que possible en vase clos sur l'ensemble des étapes :

- utiliser des systèmes en vase clos pour l'alimentation et la récupération de la matière première dans le cas des machines utilisant une poudre ou un liquide ;
- effectuer les étapes de finition dans des boîtes à gants dès que le contexte le permet ;
- utiliser des machines déjà équipées d'une boîte à gants pour effectuer le maximum d'opérations avant l'ouverture.

Pour les machines étanches, il faut laisser un temps de temporisation après la fin de la production

pour éliminer tous les polluants par le système de filtration. Basé sur des mesures à lecture directe effectuées sur l'opérateur, la phase transitoire d'ouverture de la porte a pu être évaluée. Pour éviter une exposition de l'opérateur aux aérosols émis pendant la production, un délai d'une dizaine de minutes entre la fin du processus de fabrication et l'ouverture de la porte de l'enceinte, en association avec la présence d'un système de ventilation sur la machine, est recommandé. Les résultats soulignent également la nécessité de porter des équipements de protection individuelle notamment lorsqu'un opérateur doit accéder à l'enceinte de la machine [16].

LE CAPTAGE À LA SOURCE DES POLLUANTS

Dans les situations où le travail en vase clos n'est pas techniquement possible, l'emploi d'un dispositif d'aspiration avec captage au plus près de la source d'émission est nécessaire. Les vitesses d'air de transport dans les conduits doivent être adaptées aux polluants transportés. Pour les poudres, un minimum de 20 m.s^{-1} est requis afin d'éviter les dépôts dans les canalisations. L'air pollué doit être rejeté à l'extérieur, après traitement le cas échéant. Il est recommandé d'effectuer toutes les étapes de finition non réalisées en circuit fermé, dans une enceinte ventilée (cabine ventilée ou dosseret aspirant). Pour la fabrication additive par photopolymérisation, il convient d'aspirer les vapeurs émises par les bacs de solvants. Pour la fabrication additive par extrusion de matières plastiques, il est nécessaire de capoter les machines puis ventiler et filtrer les émissions.

Par exemple, pour rappel, un des résultats d'une enquête réalisée lors d'une étude INRS conduite

entre 2016 et 2018 [2] indique que la proportion de machines qui ne possèdent pas de système d'aspiration raccordé à un système d'extraction est de 25 % dans le secteur des institutionnels de recherche, de 50 % dans celui des services et de 40 % dans le secteur industriel.

LA VENTILATION GÉNÉRALE ET L'APPORT D'AIR NEUF

En complément des systèmes de captage localisés, une ventilation générale doit être installée afin de fournir aux locaux de l'air neuf et de diluer les polluants résiduels. Le débit de compensation en air neuf doit prendre en compte le débit de la ventilation générale ainsi que les débits des différents systèmes de captage. L'air neuf ne doit, en aucun cas, provenir d'un local à pollution spécifique. De surcroît, la maîtrise des flux d'air permet d'aménager des locaux en dépression par rapport aux locaux contigus afin d'éviter aux polluants de diffuser dans les différentes pièces à proximité.

LES MESURES ORGANISATIONNELLES

Lors de l'acquisition d'une nouvelle machine, la possibilité de travailler au maximum en vase clos au niveau de la machine (boîte à gants intégrée, systèmes et outils de nettoyage intérieur intégrés...) doit être ajoutée au cahier des charges. L'objectif est de séparer les activités polluantes des activités moins exposantes. Les tâches polluantes doivent être effectuées sur des postes de travail aménagés pour diminuer l'exposition (captage, travail en enceinte fermée ou semi-fermée). En complément, l'accès aux locaux de fabrication additive doit être limité aux personnes habilitées. Une maintenance préventive sur les machines de fabrication additive (remplace-

ment des éléments d'étanchéité, des tuyaux souples...) permet de garantir l'efficacité des systèmes de protection mis en place.

LES ÉQUIPEMENTS DE PROTECTION INDIVIDUELLE (EPI)

En complément des mesures de protection collective qui doivent être privilégiées, des EPI peuvent être utilisés. Il s'agit principalement de gants étanches aux poudres et aux solvants utilisés (gants en nitrile par exemple), d'appareils de protection respiratoire équipés de filtres anti-aérosols de type P2 ou P3 (selon la nature des poudres) combinés le cas échéant à des filtres anti-gaz (des appareils à ventilation assistée sont conseillés pour des durées de port supérieures à une heure), de vêtements de protection contre le risque chimique antistatiques étanches aux poudres (type 5) ainsi que des chaussures de sécurité antistatiques. En raison du risque d'incendie et d'explosion de certaines poudres, des EPI et vêtements de travail composés de tissu difficilement inflammable sont à privilégier.

LA FORMATION ET L'INFORMATION

Les salariés seront informés sur les risques inhérents aux procédés de fabrication additive mis en œuvre au sein de l'entreprise et plus particulièrement sur les dangers associés aux machines et aux produits utilisés et émis. Ils doivent être formés à l'utilisation des moyens de protection collective et individuelle et à celle des moyens d'extinction des incendies (extincteurs notamment) mis en place ainsi que sur la démarche à adopter en cas de survenue d'un sinistre (urgence médicale, incendie...).

LE RÔLE DES SERVICES DE SANTÉ AU TRAVAIL

Le service de santé au travail a un rôle important à jouer dans le cadre de la prévention des risques liés aux nouvelles technologies, en particulier celle de la fabrication additive. Dans ce contexte de technologies émergentes, son action est fondamentale, tant du point de vue de l'information et du conseil des employeurs, des salariés et de leurs représentants sur les risques et les mesures de prévention nécessaires, que du suivi de l'état de santé des salariés intervenant lors des différentes phases des procédés.

Les particularités de la fabrication additive doivent être prises en compte, afin d'adapter l'information et les préconisations en fonction de chaque procédé, des matières premières utilisées, des émissions potentielles et des autres risques associés. En effet, la problématique ne doit pas être considérée uniquement sous l'angle des seules expositions chimiques, certains autres risques tels que la manutention manuelle ou le risque d'incendie/explosion pouvant être importants, notamment lors de la manipulation de poudres métalliques.

Concernant le suivi médico-professionnel des salariés, la réglementation ne prévoit pas de disposition spécifique dans le secteur de la fabrication additive. D'une façon générale, les modalités du suivi sont déterminées au cas par cas par le médecin du travail en fonction de l'état de santé des salariés, de la nature des nuisances et des données permettant d'apprécier les niveaux d'exposition, notamment la métrologie et la surveillance biologique des expositions si celle-ci s'avère pertinente. La base de données

Biotox (www.inrs.fr/biotox) permet, le cas échéant, d'accéder à l'ensemble des informations (indicateurs biologiques d'exposition, valeurs guides, données des laboratoires, facteurs à prendre en compte lors de l'interprétation des résultats...) nécessaires pour la mise en place d'une campagne de biométrie.

Un suivi individuel renforcé doit être mis en place pour les salariés exposés à des agents cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction de catégorie 1A ou 1B, qui peuvent se rencontrer en particulier dans les procédés de fabrication additive métallique (notamment certains composés du cobalt, du cadmium, du chrome et du nickel). L'inventaire des classifications de l'Agence européenne des produits chimiques (<https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals>) permet de repérer les agents entrant dans ces catégories.

La prévention des allergies professionnelles cutanées et/ou respiratoires nécessite une attention particulière. Les antécédents d'allergies et les sensibilisations connues à certains composés manipulés ou générés dans le cadre des procédés de fabrication additive métallique ou non métallique doivent être recherchés lors des visites médicales. Par précaution, il est souhaitable d'éviter d'affecter les salariés présentant des allergies connues au nickel, au cobalt ou au méthacrylate de méthyle à des postes les exposant à de telles substances. Plusieurs fiches d'allergologie professionnelle publiées par l'INRS (<https://www.rst-sante-travail.fr/rst/outils-reperes/allergologie.html>) concernent des agents manipulés ou émis dans le cadre de la fabrication additive, en particulier les métaux et les matières plastiques.

Le cas particulier des salarié(e)s souhaitant avoir des enfants et des femmes enceintes constitue également un enjeu en termes de prévention et doit être considéré dans le cadre d'une approche multirisque (chimiques, charge physique, contraintes organisationnelles...). Le médecin du travail rappellera à l'employeur la nécessité d'anticiper et d'intégrer ces questions à l'évaluation des risques formalisée dans le document unique. Hommes et femmes doivent être encouragé(e)s à contacter leur médecin du travail en cas de projet de procréation. L'intérêt d'une déclaration précoce de l'état de grossesse à l'employeur doit être rappelé aux femmes en âge de procréer, en insistant sur le fait que les mesures réglementaires visant à protéger la femme enceinte ne s'appliquent qu'une fois la grossesse déclarée. Ces recommandations prennent tout leur sens pour les salariés intervenant sur des procédés de fabrication additive où des expositions à des agents mutagènes et/ou toxiques pour la reproduction ne peuvent être exclues (oxyde de nickel, cadmium, styrène...). Les fiches toxicologiques de l'INRS (www.inrs.fr/fichetox) et les fiches Demeter (www.inrs.fr/demeter) apportent des informations détaillées sur la toxicité des substances et, en particulier, sur les dangers pour la reproduction ainsi que des conduites à tenir en fonction des différents contextes d'exposition (fertilité, grossesse, allaitement). Idéalement, l'impact éventuel de certaines situations de polyexpositions devrait être considéré. Dans ce cadre, l'outil MiXie France (<https://www.inrs.fr/publications/outils/mixie.html>) constitue une aide intéressante permettant de repérer les effets additifs potentiels d'un mélange de subs-

tances, et ce, que l'on dispose ou non de mesures de concentrations atmosphériques.

S'agissant de technologies nouvelles, exposant à des nuisances comme les particules ultrafines, dont les effets sur la santé sont encore à ce jour imparfaitement connus, la traçabilité des informations est particulièrement importante. Les données permettant de documenter les expositions doivent être consignées dans le dossier médical, en vue d'une éventuelle exploitation ultérieure, ce d'autant que des effets différés, notamment cancérogènes, ne peuvent être exclus, en particulier dans le cadre de certains procédés de fabrication additive métallique.

Enfin, les salariés doivent être informés de l'intérêt et des modalités de la mise en œuvre d'un suivi médical post-exposition, en cas d'exposition documentée à certains agents chimiques. Dans ce cadre, le médecin du travail peut notamment se référer aux recommandations de bonne pratique publiées en 2015 concernant la surveillance médico-professionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à des agents cancérogènes pulmonaires [17].

CONCLUSION

Sans oublier que l'ensemble des risques doit être évalué, cet article a pour objectif d'informer sur ceux spécifiques associés à la fabrication additive qui – comme cela a été mentionné – ne sont pas communs à tous les procédés rencontrés dans l'industrie et dépendent de la technologie et des matières premières mises en œuvres. Les risques chimiques sont ainsi particulièrement détaillés et il est important de noter qu'ils peuvent provenir des produits utilisés mais également des produits émis lors des différentes étapes de fabrication. Certains procédés semblent peu émissifs sauf pour les particules nanométriques.

Il convient de mettre en place des mesures de prévention adaptées, notamment un captage à la source des polluants utilisés et émis avec une filtration associée.

Le suivi médical des salariés doit intégrer des éléments relatifs à l'information sur les risques et les mesures de prévention nécessaires, au suivi clinique et paraclinique, ainsi qu'à la traçabilité des expositions. Certaines expositions à des agents chimiques CMR peuvent faire l'objet de recommandations spécifiques et justifier d'un suivi individuel renforcé.

BIBLIOGRAPHIE

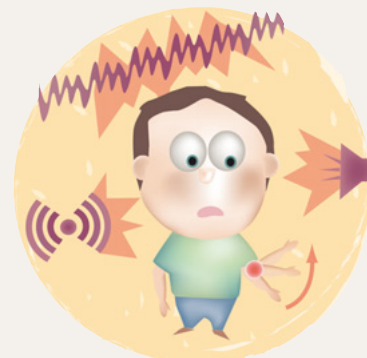
- 1 | KELLER FX, RICAUD M, PATRASCU C - Fabrication additive ou impression 3D utilisant des matières plastiques. Fiche pratique de sécurité ED 148. Paris : INRS ; 2020 : 6 p.
- 2 | KELLER FX, BAU S, ROUSSET D - Caractérisation des émissions des machines de fabrication additive. Etude d'instruction EL2017-002. INRS, 2017 (<https://www.inrs.fr/inrs/recherche/etudes-publications-communications/doc/etude.html?refINRS=EL2017-002>).
- 3 | Directive 2006/42/CE du Parlement européen et du Conseil relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE (refonte) (Texte présentant de l'intérêt pour l'EEE). In: EUR-Lex. Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2006 (<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32006L0042&qid=1614779942408>).
- 4 | STEPHENS B, AZIMI P, EL ORCH Z, RAMOS T - Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. *Atmos Environ*. 2013 ; 79 : 334-39.
- 5 | STEINLE P - Characterization of emissions from a desktop 3D printer and indoor air measurements in office settings. *J Occup Environ Hyg*. 2016 ; 13 (2) : 121-32.
- 6 | WEBER R - Characterization of Chemical and Particle Emissions from Consumer FDM 3D Printers. In: Proceedings of the Safety Science of 3D Printing Summit. February 22-23, 2017. Atlanta, GA. Georgia Tech, Emory University, 2017 (https://chemicalinsights.org/wp-content/uploads/2017/06/3DP_Proceedings_Final.pdf).
- 7 | STEFANIAK A - Chemical Emissions from a Desktop 3D Printer. In: Proceedings of the Safety Science of 3D Printing Summit. February 22-23, 2017. Atlanta, GA. Georgia Tech, Emory University, 2017 (https://chemicalinsights.org/wp-content/uploads/2017/06/3DP_Proceedings_Final.pdf).
- 8 | STEFANIAK AB, JOHNSON AR, DU PREEZ S, HAMMOND DR ET AL. - Evaluation of emissions and exposures at workplaces using desktop 3-dimensional printer. *J Chem Health Saf*. 2019 ; 26 (2) : 19-30.
- 9 | AFSHAR-MOHAJER N, WU CY, LADUN T, RAJON DA ET AL. - Characterization of particulate matters and total VOC emissions from a binder jetting 3D printer. *Build Environ*. 2015 ; 93 (Part 2) : 293-301.
- 10 | Valeurs Guides de qualité d'Air Intérieur (VGAI). Présentation et travaux de l'Agence. ANSES, 2020 (<https://www.anses.fr/fr/content/valeurs-guides-de-qualite-C3%Ag-d%E2%80%99air-int%C3%Agrieur-vgai>).
- 11 | BEISSER R, BUXTUP M, FENDLER D, HOHENBERGER L ET AL. - Inhalative Exposition gegenüber Metallen bei additiven Verfahren (3D-Druck). *Gefahrst Reinhalt Luft*. 2017 ; 77 (11/12) : 487-96.
- 12 | GRAFF P, STÄHLBOM B, NORDENBERG E, GRAICHEN A ET AL. - Evaluating Measuring Techniques for Occupational Exposure during Additive Manufacturing of Metals: A Pilot Study. *J Ind Ecol*. 2016 ; 21 (S1) : S120-S29.
- 13 | BINET S, BELUT E, CHAZELET S, GATÉ L ET AL. - Noir de carbone nanostructuré : vers une valeur limite d'exposition professionnelle. Grand angle TC 168. *Réf Santé Trav*. 2020 ; 161 : 19-38.
- 14 | CHAZELET S, FONTAINE JR, BINET S, GATÉ L ET AL. - Dioxyde de titane nanométrique : de la nécessité d'une valeur limite d'exposition professionnelle. Notes techniques NT 36. *Hyg Sécur Trav*. 2016 ; 242 : 46-51.
- 15 | RICAUD M (Ed) - Nanomatériaux : définition, identification et caractérisation des matériaux et des expositions professionnelles associées. Dossier DO 26. *Hyg Sécur Trav*. 2019 ; 256 : 26-68.
- 16 | BAU S, ROUSSET D, PAYET R, KELLER FX - Characterizing particle emissions from a direct energy deposition additive manufacturing process and associated occupational exposure to airborne particles. *J Occup Environ Hyg*. 2020 ; 17 (2-3) : 59-72.
- 17 | Surveillance médico-professionnelle des travailleurs exposés ou ayant été exposés à des agents cancérogènes pulmonaires. Octobre 2015. Pratiques et métiers TM 36. *Réf Santé Trav*. 2016 ; 145 : 65-110.

OUTILS REPÈRES

P.143 VOS QUESTIONS/NOS RÉPONSES

Vos questions / nos réponses

Travail en 3x8 : peut-on limiter les effets sur la santé ?



La réponse de Laurence Weibel, département Études et assistance médicales de l'INRS

Annule et remplace la QR 50 parue en 2011.

Quels sont les effets sur la santé du travail posté en 3x8 ? Afin de limiter ces derniers, la luminothérapie peut-elle aider à « recaler » les rythmes ?

Impact sanitaire du travail posté/nuît

Le travail de nuit quel qu'il soit (3x8, 4x8, 5x8, 2x12, travail de nuit permanent...) bouleverse les mécanismes biologiques (rythmes de veille et de sommeil, de repas, de sécrétions hormonales...) et l'organisation temporelle de la vie sociale et familiale. Sur un plan biologique, les salariés travaillant la nuit (posté ou fixe) vont cumuler les effets néfastes liés à la désorganisation circadienne et à une dette chronique de sommeil. Les effets sur la santé du travail posté/de nuit sont de mieux en mieux connus. Ce sont des troubles du sommeil et de la vigilance, un accroissement du nombre d'accidents, des risques cancérogènes, des troubles cardiovasculaires, des troubles digestifs et métaboliques et des troubles de la santé psychique [1].

Donc quelle que soit son organisation, le travail posté et/ou de nuit aura des répercussions sur la santé des individus qui le pratiquent. Cependant il y a des organisations de travail posté plus pathogènes que d'autres [2], et le cycle en 3x8 n'est pas le cycle à privilégier.

Impact biologique du 3x8

Les effets du travail de nuit et du travail posté sur les sécrétions hormonales ont été largement étudiés [3 à 9]. L'ensemble des études montrent que les travailleurs de nuit, même permanents, n'adaptent que rarement totalement leur système circadien à leur travail nocturne. La grande variabilité d'adaptation est la règle (tableau I), avec des dissociations de certains marqueurs endocriniens et des rythmes qui se trouvent désynchronisés les uns des autres. C'est ce qu'on appelle les désynchronisations internes, mécanismes aujourd'hui suspectés comme étant à l'origine des troubles et pathologies des travailleurs de nuit [1,10].

TABLEAU I : Résumé des principales études investiguant l'adaptation du rythme de mélatonine chez des travailleurs de nuit permanents (d'après [4])

		Nombre de participants		Nombre de travailleurs de nuit permanents montrant une adaptation	
Études	Conditions d'éclairement	Hommes	Femmes	partielle	complète
Waldhauser et al. (1986)	Normales	2	0	1	0
Sack et al. (1992)	Diminuées	2	8	3	0
Roden et al. (1993)	Normales	9	0	1	0
Koller et al. (1994)	Normales	14	0	2	1
Weibel et al. (1997)	Diminuées	11	0	4	0
Dumont et al. (2001)	Diminuées	3	27	5	1
Total		41	35	16	2

Concernant l'application en prévention, les études expérimentales enseignent qu'il faut un minimum de 3 nuits de travail consécutives avant d'altérer la phase du système circadien : c'est en effet à partir de la 3^e nuit consécutive que des états de désynchronisation sont observés [5, 6, 9].

C'est pour viser ces absences de désynchronisations que la préconisation de rotations très courtes (2 jours/nuits max) est proposée plutôt que l'instauration d'un travail type 3x8 qui oblige le système circadien à des rephasages tous les 5 jours/nuits et expose périodiquement l'organisme à des états de désynchronisation interne. D'un point de vue biologique, le travail posté en 3x8 est donc extrêmement péjoratif.

Impact social du 3x8

Si les effets du travail de nuit et/ou du travail posté sur la santé ont été relativement documentés dans la littérature scientifique, il n'en va pas de même pour ce qui est de leurs effets sur la vie hors travail des salariés.

Les quelques études analysées dans le cadre de l'expertise de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) montrent que le travail posté/de nuit crée une limitation de la vie sociale en raison de la discordance temporelle entre le rythme de vie du travailleur posté/de nuit et le rythme de l'ensemble de la société (limitation des loisirs, activités sportives ou culturelles effectuées en solitaire, réduction du réseau relationnel et amical). Des conséquences sur la vie de couple peuvent également surgir : un temps limité de rencontre et de partage, une altération des relations conjugales, l'émergence de conflits de rôle encore plus vivement ressentis par les conjoints que par les salariés eux-mêmes. Les recherches relatives aux répercussions des horaires postés sur les relations

entre les travailleurs et leurs enfants font apparaître une diminution de la fréquence et de la durée des interactions familiales, de la qualité perçue de la parentalité et une détérioration de la nature et de la qualité des fonctions parentales. Par contre, le 3x8, puisqu'il n'inclut pas de week-end aura un impact plus limité sur la vie sociale (en comparaison au 4x8, 5x8...).

Luminothérapie pour resynchroniser

La lumière est le synchroniseur principal de l'horloge biologique. L'exposition à la lumière est anarchique chez les travailleurs de nuit, ce qui a des impacts sur leur système circadien et sur la santé/sécurité.

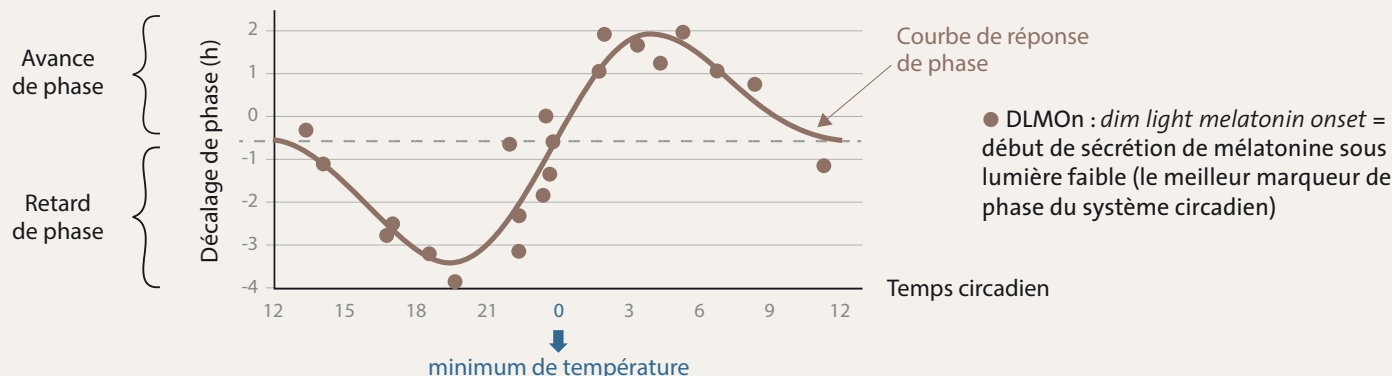
La luminothérapie ou photothérapie est un traitement des troubles circadiens veille-sommeil dont les bases physiologiques sont aujourd'hui bien décrites. La luminothérapie se fait avec des lampes de haute intensité. Cette technique est potentiellement indiquée dans les syndromes d'avance et de retard de phase, les rythmes différents de 24 heures, et les décalages horaires (*jet-lag*, niveau de preuve limité pour le travail posté) [11, 12].

Les effets (et donc l'efficacité) de la luminothérapie dépendent de 5 paramètres : le *timing* (à quelle heure ?), l'intensité (combien de lux ?), la durée (pendant combien de temps ?), le spectre (quelle longueur d'onde ?) et l'historique lumineux (la réponse à la lumière est modifiée par l'exposition préalable à la lumière).

Le paramètre qui va principalement poser problème dans l'utilisation de la lumière pour « recaler » le système circadien chez les travailleurs de nuit est le *timing*. En effet la lumière n'a pas le même effet sur l'horloge biologique selon le moment des 24h où elle est appliquée : on parle de courbe de réponse de phase (figure 1).

Basées sur cette courbe de réponse de phase, des stratégies théoriques préconisées pour « recaler »

Figure 1 : Timing de la luminothérapie et décalage de phase induit (d'après [13])



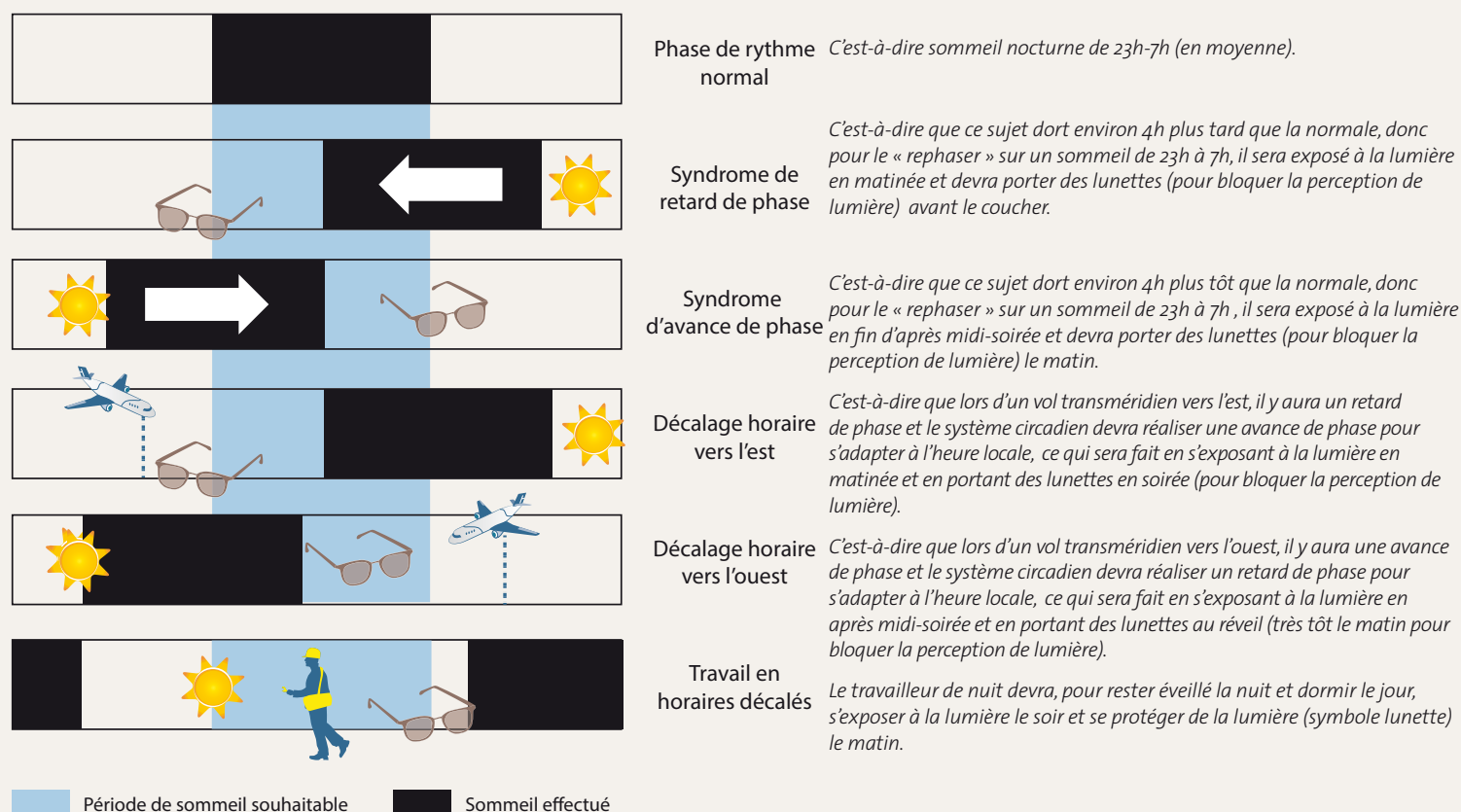
L'exposition à la lumière avant le minimum de température va retarder la phase du système circadien et, inversement, l'exposition à la lumière après le minimum de température va l'avancer.

le système circadien en fonction du trouble ont été élaborées (**figure 2**, travailleurs postés en bas de graphe). Il est à noter que ce schéma théorique part du principe que le travailleur posté est adapté à son travail nocturne, ce qui, comme expliqué plus haut, est rarement le cas.

En laboratoire (c'est-à-dire en situation très contrôlée), de nombreuses études ont validé l'utilisation de la lumière pour « manipuler » la phase de l'horloge circadienne lors d'expérimentations extrêmement contrôlées de simulation d'un travail de nuit [15, 16]. Dans la vie réelle, on ne peut pas maîtriser l'ensemble des expositions lumineuses, ce qui explique sans doute, en partie, comme mentionné plus haut, que l'adaptation complète du système circadien n'est que très rarement obtenue chez les travailleurs de nuit. C'est plutôt la grande variabilité d'adaptation qui prime [3, 7, 8, 17, 18]. Ce qui, concrètement, veut dire qu'utiliser la luminothérapie comme stratégie pour « recaler » des travailleurs postés présupposerait une identification préalable de la phase du système circadien pour chaque individu et à chaque changement potentiel de phase (soit tous les 3 jours environ dans un 3x8 comme expliqué précédemment). Il est aisément compréhensible qu'une telle stratégie est peu pertinente/applicable en entreprise.

En fait, la seule stratégie pour atténuer les effets d'un 3x8, c'est d'accompagner l'entreprise vers un changement de rythme : 2x8 et équipe de nuit permanente ou instauration d'un cycle de rotation rapide (avec un maximum de 2 nuits consécutives) [2]. Cet accompagnement devra bien évidemment associer les salariés et le Comité social et économique (CSE) ou la Commission santé sécurité et conditions de travail (CSST). En effet, les préférences des salariés pour l'une ou l'autre des fréquences d'alternance intégreront des aspects de conciliation avec leur vie sociale et familiale. Ces aspects sont à intégrer car ils participent à la tolérance des salariés au travail en horaires atypiques [1]. L'enquête Conditions de travail 2013 met en évidence que l'information, la consultation et surtout la prise en compte de l'avis des salariés lors de changements organisationnels réduisent très significativement les risques d'atteintes à la santé [19]. Cette règle protectrice s'applique également dans le cadre du choix des horaires et des rythmes de travail des salariés en horaires atypiques : plus on associe les salariés au choix et plus on tient compte de leur avis, meilleure sera la tolérance au travail posté [20 à 22].

Figure 2 : Les principes de resynchronisation par la lumière des troubles du rythme veille-sommeil (d'après [14])



BIBLIOGRAPHIE

- 1 | Évaluation des risques sanitaires liés au travail de nuit. Avis de l'Anses. Rapport d'expertise collective. ANSES, 2016 (www.anses.fr/fr/content/l%E2%80%9999anses-confirme-les-risques-pour-la-sant%C3%A9-li%C3%A9s-au-travail-de-nuit).
- 2 | Le travail de nuit et le travail posté. Quels effets ? Quelle prévention ? Édition INRS ED 6305. Paris : INRS ; 2018 : 6 p.
- 3 | WEIBEL L - Effets de décalages du cycle veille-sommeil sur les rythmes biologiques chez l'homme. Thèse de doctorat en Neurosciences. Strasbourg : Université de Strasbourg ; 1996 : 229 p.
- 4 | FOLKARD S - Do permanent night workers show circadian adjustment? A review based on the endogenous melatonin rhythm. *Chronobiol Int.* 2008 ; 25 (2) : 215-24.
- 5 | JENSEN MA, ÅSE MH, KRISTIANSEN J, NABE-NIELSEN K ET AL. - Changes in the diurnal rhythms of cortisol, melatonin, and testosterone after 2, 4, and 7 consecutive night shifts in male police officers. *Chronobiol Int.* 2016(a) ; 33 (9) : 1280-92.
- 6 | JENSEN MA, GARDE AH, KRISTIANSEN J, NABE-NIELSEN K ET AL. - The effect of the number of consecutive night shifts on diurnal rhythms in cortisol, melatonin and heart rate variability (HRV): a systematic review of field studies. *Int Arch Occup Environ Health.* 2016(b) ; 89 (4) : 531-45.
- 7 | WEIBEL L, SPIEGEL K, FOLLENIUS M, EHRHART J ET AL. - Internal dissociation of the circadian markers of the cortisol rhythm in night workers. *Am J Physiol.* 1996 ; 270 (4 Pt 1) : E608-13.
- 8 | WEIBEL L, SPIEGEL K, GRONFIER C, FOLLENIUS M ET AL. - Twenty-four-hour melatonin and core body temperature rhythms: their adaptation in night workers. *Am J Physiol.* 1997 ; 272 (3 Pt 2) : R948-54.
- 9 | WEIBEL L, GABRION I, AUSSEDT M, KREUTZ G - Impact of a fast rotating work schedule on biological rhythms in nurses: results from a field study. 8th Meeting Society for Research on Biological Rhythms, Jacksonville, USA, 20-26 Mai, 2002.
- 10 | STRAIF K, BAAN R, GROSSE Y, SECRETAN B ET AL. - Carcinogenicity of shift-work, painting, and fire-fighting. *Lancet Oncol.* 2007 ; 8 (12) : 1065-66.
- 11 | GRONFIER C - Le rôle et les effets physiologiques de la lumière : sommeil et horloge biologique dans le travail de nuit et posté. *Arch Mal Prof Environ.* 2009 ; 70 (3) : 253-61.
- 12 | LÉGER D, DUFOREZ F, GRONFIER C - Le traitement par la lumière des troubles circadiens du rythme veille-sommeil. *Presse Méd.* 2018 ; 47 (11-12 Pt 1) : 1003-09.
- 13 | KHALSA SBS, JEWETT ME, CAJOCHEN C, CZEISLER CA - A phase response curve to single bright light pulses in human subjects. *J Physiol.* 2003 ; 549 (Pt 3) : 945-52.
- 14 | Les principes de traitement des troubles du rythme circadien veille-sommeil-résumé. Diapositive 134. In: Schröder CM - D.U. Insomnie. Les troubles du rythme circadien veille-sommeil. Hôpitaux Universitaires de Strasbourg, Université de Strasbourg, CNRS (<https://fr.slideshare.net/RESEAU-MORPHEE/cs-du-insomnie-rythmes-circadiens-050122014>).
- 15 | BOIVIN DB, JAMES FO - Circadian adaptation to night-shift work by judicious light and darkness exposure. *J Biol Rhythms.* 2002 ; 17 (6) : 556-67.
- 16 | CUESTA M, BOUDREAU P, CERMAKIAN N, BOIVIN DB - Rapid resetting of human peripheral clocks by phototherapy during simulated night shift work. *Sci Rep.* 2017 ; 7 (1) : 16310.
- 17 | RODEN M, KOLLER M, PIRICH K, VIERHAPPER H ET AL. - The circadian melatonin and cortisol secretion pattern in permanent night shift workers. *Am J Physiol.* 1993 ; 265 (1 Pt 2) : R261-67.
- 18 | SACK RL, BLOOD ML, LEWY AJ - Melatonin rhythms in night shift workers. *Sleep.* 1992 ; 15 (5) : 434-41.
- 19 | COUTROT T - Changements organisationnels : la participation des salariés protège-t-elle du risque dépressif ? *Dares Anal.* 2017 ; 061 : 1-7.
- 20 | BARTON J - Choosing to work at night: a moderating influence on individual tolerance to shift work. *J Appl Psychol.* 1994 ; 79 (3) : 449-54.
- 21 | COSTA G, SARTORI S, AKERSTEDT T - Influence of flexibility and variability of working hours on health and well-being. *Chronobiol Int.* 2006 ; 23 (6) : 1125-37.
- 22 | TUCKER P, BEJEROT E, KECKLUND G, ARONSSON G ET AL. - The impact of work time control on physicians' sleep and well-being. *Appl Ergon.* 2015 ; 47 : 109-16.

Vos questions / nos réponses

Typhoïde : y a-t-il une obligation vaccinale ?

La réponse du Dr Dominique Abiteboul, département
Études et assistance médicales de l'INRS



Une technicienne de laboratoire va être embauchée en laboratoire d'analyses médicales. Y a-t-il toujours une obligation de vaccination contre la typhoïde pour ce type d'activité ?

La vaccination contre la typhoïde n'est plus obligatoire pour les professionnels des laboratoires d'analyses de biologie médicale. En effet, cette obligation prévue par le Code de la Santé publique (art L. 3111-4) pour les personnels exposés des laboratoires d'analyses médicales a été suspendue par le décret du 4 janvier 2020 [1] après avis de la Haute Autorité de santé [2].

Cette décision repose sur plusieurs arguments :

- la fièvre typhoïde, maladie à transmission digestive endémique dans les pays à faible niveau d'hygiène, est devenue rare en France métropolitaine (une centaine de cas par an), où elle est le plus souvent importée [3], d'où la faible probabilité de manipuler un échantillon biologique (selles) contenant *Salmonella typhi* ;
- les cas de typhoïdes liés à une transmission professionnelle en laboratoires étaient historiquement fréquents, mais sont devenus exceptionnels [3]. Aucun cas n'a été reconnu en maladie professionnelle depuis 2012. Cette évolution est liée aux bonnes pratiques de laboratoires et aux mesures de confinement adaptées mises en place, notamment pour les manipulations des cultures sous poste de sécurité microbiologique (PSM) [4].

Le vaccin (Typhim Vi®), qui s'administre en une dose, a une efficacité incomplète (entre 55 et 70 %) et doit être renouvelé tous les 3 ans [5]. Une évaluation du risque au poste de travail est néanmoins essentielle. *Salmonella typhi* est un agent biologique pathogène du groupe 3*, l'astérisque signifiant qu'il n'est normalement pas transmissible par l'air [6]. Seuls les professionnels qui manipulent des selles peuvent être exposés au risque. Les transmissions par voie digestive sont potentiellement possibles : ingestion accidentelle par l'intermédiaire de mains souillées

ou par projection de produit biologique contaminé au niveau de la bouche. Comme souligné plus haut, ces situations sont devenues exceptionnelles dans les conditions actuelles de manipulation. Il faut néanmoins rappeler l'importance du respect scrupuleux des bonnes pratiques de laboratoires tels que ne pas fumer ni manger dans les pièces de techniques, ne pas pipeter à la bouche ni renifler les cultures, avoir une hygiène rigoureuse des mains, porter des gants et une tenue de protection... (voir détails en **annexe**). Tous les ensemencements et les manipulations de cultures doivent être faits sous poste de sécurité microbiologique (PSM).

Une conduite à tenir en cas d'exposition accidentelle doit être élaborée [3, 7]. Une procédure en cas de déversement accidentel en laboratoire doit également être prévue et affichée. Toutes ces mesures doivent faire l'objet d'une formation initiale et d'informations régulières des personnels exposés en lien avec le Service de santé au travail et le Comité social économique.

BIBLIOGRAPHIE

- 1 | Décret n° 2020-28 du 14 janvier 2020 relatif à l'obligation vaccinale contre la fièvre typhoïde des personnes exerçant une activité professionnelle dans un laboratoire de biologie médicale. In: Légifrance. Ministère chargé de la Santé, 2020 (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041405845/>).
- 2 | Décret n° 2020-28 du 14 janvier 2020 relatif à l'obligation vaccinale contre la fièvre typhoïde des personnes exerçant une activité professionnelle dans un laboratoire de biologie médicale. In: Légifrance. Ministère chargé de la Santé, 2020 (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000041405845/>).
- 3 | Avis n° 2019.0062/AC/SEESP du 4 décembre 2019 du collège de la Haute Autorité de santé portant sur le projet de décret relatif à l'obligation vaccinale contre la fièvre typhoïde des personnes exerçant dans un laboratoire de biologie médicale.

Haute Autorité de santé (HAS), 2019 (https://www.has-sante.fr/jcms/p_3136015/fr/avis-n2019-0062/ac/seesp-du-4-decembre-2019-du-college-de-la-haute-autorite-de-sante-portant-sur-le-projet-de-decret-relatif-a-l-obligation-vaccinale-contre-la-fievre-typhoide-des-personnes-exercant-dans-un-laboratoire-de-biologie-medicale).

3 | Fièvre typhoïde. In: EFICATT. INRS, 2014 (<https://www.inrs.fr/eficatt>).

4 | Arrêté du 16 juillet 2007 fixant les mesures techniques de prévention, notamment de confinement, à mettre en œuvre dans les laboratoires de recherche, d'enseignement, d'analyses, d'anatomie et cytologie pathologiques, les salles d'autopsie et les établissements industriels et agricoles où les travailleurs sont susceptibles d'être exposés à des agents biologiques pathogènes. In: Légifrance. Ministère chargé de l'Agriculture, du Travail et de la Santé, 2007 (<https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000000465273/>).

5 | JAKSON BR, IQBAL S, MAHON B - Updated recommendations for the use of typhoid vaccine. Advisory Committee on Immunization Practices, United States, 2015. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep.* 2015 ; 64 (11) : 305-08.

6 | Classement des agents biologiques. Texte officiel TO 28. *Réf Santé Trav.* 2018 ; 154 : 19-26.

7 | BAYEUX-DUNGLAS MC., ABITEBOUL D - Que faire en cas de maladie contagieuse en milieu de travail ? Pratiques et métiers TM 51. *Réf Santé Trav.* 2019 ; 158 : 95-101.

ANNEXE : MESURES TECHNIQUES GÉNÉRALES DE PRÉVENTION, NOTAMMENT DANS LES LABORATOIRES D'ANALYSES DE BIOLOGIE MÉDICALE* [4]

a) Conception

1. Aménagement pour le rangement des vêtements de protection et des équipements de protection individuelle, séparé de celui réservé aux effets personnels des travailleurs. Le vestiaire destiné aux effets personnels est localisé en dehors de la salle dédiée aux activités techniques.

2. Signalisation par le pictogramme « danger biologique ».

3. Accès limité aux seuls travailleurs autorisés.

4. Salle dédiée aux activités techniques séparée des autres locaux par au moins une porte verrouillable.

5. Ventilation des salles dédiées aux activités techniques assurée par un dispositif de ventilation mécanique, conformément à l'article R. 4222-11 du Code du travail.

6. Présence d'une fenêtre d'observation ou d'un système équivalent permettant de voir les occupants.

7. Moyens de communication avec l'extérieur (ex. : téléphone).

b) Aménagements internes des salles dédiées aux activités techniques

1. Surfaces de paillasse imperméables à l'eau, résistantes aux acides, bases, solvants, désinfectants.

2. Lave-mains à déclenchement non manuel.

3. Moyens de lutte efficaces contre les vecteurs, par exemple rongeurs et insectes.

c) Pratiques opératoires dans les salles dédiées aux activités techniques

1. Organisation du travail et procédures

● Mise en œuvre de techniques réduisant au niveau aussi bas que

possible la formation d'aérosols et de gouttelettes.

● Existence de zones distinctes, sécurisées, dédiées et clairement indiquées pour la conservation des échantillons, des milieux contenant des agents pathogènes, des corps et des cadavres d'animaux.

● Décontamination du matériel et des équipements susceptibles d'être contaminés (centrifugeuse, fermenteur, poste de sécurité microbiologique, dispositif de ventilation et de climatisation...) avant toute autre intervention de maintenance pouvant entraîner un risque biologique pour l'opérateur. Communication aux intervenants de maintenance d'un document attestant de la décontamination.

● Mise en place de système de confinement approprié et validé pour le transport des échantillons à l'intérieur de l'établissement.

Modalités de transport des échantillons à l'extérieur de l'établissement en conformité avec la réglementation.

● Marquage avant enlèvement des cadavres d'animaux suspects d'être contaminés par des agents biologiques des groupes 3 ou 4, ou de leur contenant (mention de la maladie présumée).

● En vue de l'élimination et conformément à la réglementation, utilisation de conteneurs spécifiques :

- pour les aiguilles contaminées, les objets piquants ou tranchants souillés ;

- pour les déchets d'activité de soins à risques infectieux et assimilés.

● Utilisation chaque fois qu'il est possible de matériel à usage unique.

● Présence d'un équipement de base spécifique à la salle dédiée aux activités techniques (matériel identifié).

● Mise en place de procédures écrites décrivant les méthodes de travail et les mesures de protection et de prévention visant à protéger les travailleurs contre les risques biologiques, incluant la liste des opérations devant être effectuées sous poste de sécurité microbiologique.

● Mise en place de procédures écrites définissant des moyens et méthodes de nettoyage et de désinfection appropriés.

● Information et formation pour toute personne intervenant dans les salles dédiées aux activités techniques, y compris le personnel chargé du nettoyage et de la maintenance, conformément aux dispositions des articles R. 4424-3 à R. 4424-6 et R. 4512-2 à R. 4512-5 du Code du travail.

2. Protections individuelles

● Port de vêtements de protection et de chaussures différents des vêtements de ville et réservés aux salles dédiées aux activités techniques.

● Port d'équipements de protection individuelle (gants à usage unique, gants anticoupures, sur-chaussures, lunettes de protection, appareil de protection respiratoire...) en fonction des résultats de l'évaluation des risques.

3. Règles d'hygiène

● Interdiction de manger, de boire, de fumer, de se maquiller et de manipuler des lentilles de contact.

● Interdiction de pipeter à la bouche et de procéder à un examen olfactif des cultures.

* Pour les laboratoires d'analyses de biologie médicale, ces dispositions s'appliquent sans préjudice des dispositions prévues par l'arrêté du 26 novembre 1999.

Agenda

À noter que les dates sont susceptibles d'être modifiées en raison de la crise sanitaire. Pour plus d'informations, il est conseillé de consulter régulièrement les sites Internet.

25-28 MAI 2021

PARIS (France)

16^e Congrès francophone d'allergologie

Thème :

→ Le tour du monde des allergies !

RENSEIGNEMENTS

<https://register.congres-allergologie.com/>

24-25 JUIN 2021

LAUSANNE (Suisse)

Colloque de l'Association pour le développement des études et recherches épidémiologiques en santé au travail (ADEREST)

RENSEIGNEMENTS

<https://www.aderest.org/>

6-9 JUILLET 2021

PARIS (France)

XXI^e congrès international de psychologie du travail (Association internationale de psychologie du travail en langue française – AIPTLF) : Changements et innovations au travail,

quels enjeux pour les personnes et les organisations ?

Parmi les thèmes :

- Changements organisationnels et technologiques, digitalisation, transformations sociotechniques du travail
- Sens, valeurs, efficacité au travail
- Émotions et activités de travail
- Sécurité, risques professionnels, pénibilité et santé au travail
- Environnement de travail, espace de travail, poste de travail

RENSEIGNEMENTS

<https://www.aiptlf2020.fr/inscription/>

19-22 SEPTEMBRE 2021

EN LIGNE

22^e Congrès mondial sur la sécurité et la santé au travail : la prévention dans le cadre de l'ère de la connectivité

Parmi les thèmes :

- Innovations visant à relever des défis de longue date liés à la sécurité et à la santé
- Conséquences de l'évolution du monde du travail au niveau de la sécurité et de la santé au travail
- Promotion d'une culture de prévention

RENSEIGNEMENTS

XXII World Congress on Safety and Health at Work 2021
<https://www.safety2021canada.com/fr/home-fr/>

7-8 OCTOBRE 2021

PARIS (France)

XI^e Colloque international de psychodynamique et psychopathologie du travail

Thème :

→ Plaisir au travail

RENSEIGNEMENTS

<https://www.ipdt.fr/index.php/component/content/article/8-actualites/46-xieme-colloque-international-de-psychodynamique-et-psychopathologie-du-travail?Itemid=101>

12-13 OCTOBRE 2021

PARIS (France)

Journées santé-travail de Présanse

Thème :

→ Sens et enjeux des données en santé au travail

Appel à communications jusqu'au 23 avril 2021

RENSEIGNEMENTS

<https://www.presanse.fr/actualites/jst-2021-appel-a-communications-ouvert/>

21-22 OCTOBRE 2021

ANGERS (France)

Journée de la Société de médecine et de santé au travail de l'Ouest (SMSTO)

Thème :

→ Crise sanitaire en milieu de travail, Covid-19 : avant, pendant, après

RENSEIGNEMENTS

www.smsto.fr



- Allergies professionnelles - immunotoxicité - interactions gènes-environnement - épigénétique et travail
- Maintien dans l'emploi et santé au travail : recommandations, expériences et bonnes pratiques
- Nouvelles pratiques en santé au travail pour une meilleure prévention : retours d'expériences, nouvelles modalités d'exercice en pluridisciplinarité, nouveaux outils
- Une organisation du travail peut-elle être bienveillante ? : implications pour le travailleur, l'entreprise et la société
- Œil et travail : évolutions des affections de l'œil et de leur prise en charge, œil et étiologies professionnelles, impact sur le travail et suivi médical
- Secteur des transports et de la logistique : évolution du travail et des risques, impact sur la santé et prévention

RENSEIGNEMENTS

www.medecine-sante-travail.com

14-17 JUIN 2022

STRASBOURG (France)

36^e Congrès national de médecine et santé au travail

Thèmes :

- Enjeux de la révolution numérique et de l'innovation technologique : impact sur le travail, les risques professionnels et la santé au travail
- Préserver la santé des soignants et des médecins : de l'hôpital au domicile, en passant par le secteur médico-social

Formation

en santé et sécurité au travail

Stage de l'INRS : Médecin du travail et radioprotection

PUBLIC

→ Médecins du travail assurant le suivi de travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

PRÉREQUIS

→ Connaissances de base en physique et sur les effets biologiques des rayonnements ionisants : différents types de rayonnements ionisants (particules, rayons X...), effets sanitaires (déterministes, stochastiques), modalités d'exposition (externe, interne).

OBJECTIF DE FORMATION

→ Mettre à jour ses connaissances pour assurer le suivi de travailleurs exposés aux rayonnements ionisants.

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

→ Intégrer les nouveautés réglementaires en radioprotection dans le suivi des travailleurs exposés aux rayonnements ionisants (radon, cristallin).

CONTENU

- Évolutions réglementaires.
- Expositions et risques liés aux rayonnements ionisants (notion risque/dose, épidémiologie des faibles doses).
- Analyser une étude de poste.
- Bilan de l'exposition des travailleurs et SISERI.
- Cas d'incidents et d'accidents (évaluation dosimétrique, prise en charge, REX).

MÉTHODES PÉDAGOGIQUES

→ Exposés, études de cas et échanges avec les participants.

VALIDATION

→ À l'issue de la formation, l'INRS délivre aux stagiaires une attestation de fin de formation.

DATES ET LIEU

→ Durée 1,5 jours le 27 mai (9h à 16h30) et le 31 mai (9h à 12h) 2021 en distanciel.

RENSEIGNEMENTS ET INSCRIPTIONS

*Programme complet et inscriptions sur www.inrs.fr -> taper BB1331
Farah Adkhir
INRS, département Formation
secretariat.forp@inrs.fr*

RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL EST AUSSI SUR INTERNET



RETROUVEZ SUR LE SITE
rst-sante-travail.fr

TOUS LES ARTICLES PUBLIÉS DANS LA REVUE
RÉFÉRENCES EN SANTÉ AU TRAVAIL