

HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL

La revue technique de l'INRS
octobre • novembre • décembre 2025

N° 281

/ Décryptage /

Les substances per-
et polyfluoroalkylées
(Pfas) : enjeux en santé
au travail

/ Note technique /

Enquête sur les Pfas
dans les établissements
français : les points clés
à retenir

/ Étude de cas /

Risque d'exposition
aux poussières organiques
dans les meuneries
d'Île-de-France

/ Base de données /

Exposition professionnelle
dans la filière française
du cuir (2010-2024)



Dossier

L'éclairage des lieux de travail

L'INRS

L'Institut national de recherche et de sécurité (INRS) pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée sous l'égide de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam). L'Institut est géré par un conseil d'administration paritaire composé, à parts égales, d'un collège représentant les employeurs et d'un collège représentant les salariés, présidé alternativement par un représentant d'un de ces collèges. Financé en quasi-totalité par l'Assurance maladie – Risques professionnels, à qui il apporte son concours, l'INRS inscrit son action dans le cadre des orientations de la branche Accidents du travail – maladies professionnelles (AT-MP). Ses domaines de compétences couvrent les risques physiques (bruit, vibrations, champs électromagnétiques, machines...), chimiques, liés aux substances comme aux procédés (solvants, poussières...), biologiques (infectieux, immunoallergiques...), électriques, incendie / explosion, psychosociaux et organisationnels... Sa mission est de contribuer à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, et plus précisément:

- d'identifier les risques professionnels;
- d'analyser leurs conséquences sur la santé de l'homme au travail;
- de concevoir, de diffuser et de promouvoir des solutions de prévention auprès de tous les acteurs de la prévention: spécialistes des risques professionnels en entreprise ([Q]HSE, IPRP, cadres et fonctionnels en charge de la sécurité et de la santé au travail, animateurs de sécurité, personnes compétentes...), experts – conseil, dirigeants d'entreprise ou d'établissement et (D)RH, élus aux CSE/CSSCT/CHSCT/RP et représentants syndicaux, salariés, agents du réseau Assurance maladie – Risques professionnels (AM-RP), services de prévention et de santé au travail (interentreprises ou autonomes)...

Les activités de l'INRS s'organisent selon quatre axes (en plus des métiers supports): études et recherche, assistance, formation et information / communication.

> Notre métier, rendre le vôtre plus sûr



Retrouvez-nous
sur le Web:

Ou abonnez-vous
en ligne sur:

hst.fr 

ÉQUIPE DE RÉDACTION

Antoine Bondéelle
Rédacteur en chef, INRS
Patrícia Bernard
Rédactrice en chef adjointe, INRS
Sandrine Pierrat
Secrétaire de rédaction, INRS
Taina Grastilleur, Maud Foutieau
Corrections, secrétariat de rédaction
Amélie Lemaire,
Valérie Latchague-Causse
Maquettes et infographies, INRS
Nadia Bouda
Iconographe, INRS
Sandrine Voulyzé
Chargée de fabrication, INRS
Nadège Marmignon
Assistante, INRS

COMITÉ ÉDITORIAL

Patrícia Bernard, Antoine Bondéelle,
Sandrine Pierrat
Équipe de rédaction, INRS
Benoît Courrier
Direction des Études et recherches,
INRS
Patrick Laine
Chef du département Expertise
et conseil technique, INRS
Fahima Lekhchine
Chef du département Information
et communication, INRS
Lionel Limousy
Chef du département Ingénierie
des équipements de travail, INRS
Jean Theurel
Chef du département Sciences
appliquées au travail et aux
organisations, INRS
Jérôme Triolet
Direction des Applications, INRS
Delphine Vaudoux
Responsable du pôle
Publications périodiques, INRS

ONT PARTICIPÉ À CE NUMÉRO :

Dina Attia, Sébastien Bau,
Maxime Berget, Laetitia Claveau,
Jean-Marc Deniel, Andrea Emili,
Brigitte Facon, Nicolas Fauvel,
Audrey Humbert,
Sébastien Jacquinot, Agnès Janes,
Éric Lainet, Carole Morneau,
Bernard Paule, Alexandra Pedros,
Bastien Pellegrin, Aurélie Périsset,
Valérie Renevot, Myriam Ricaud,
Barbara Savary, Jennifer Shettle,
Lionel Simonot, Joséphine Steck,
Yannick Sutter, Maxime Van Der Ham,
Maëlis Vayssie, Anja Vomberg,
Iscia Vos, Günther Weise,
les relecteurs internes de la revue,
les pôles Information juridique
et Traductions de l'INRS,
ainsi que les photographes cités.

Photo de couverture :

© Gaël Kerbaol/INRS/2024

L'édito de...

LIONEL SIMONOT, enseignant-chercheur à l'université Claude-Bernard – Lyon 1,
Institut lumière matière, UMR CNRS 5306¹



© Lionel Simonot

Bien éclairer un lieu de travail ne consiste pas seulement à installer des luminaires performants ou à réduire la consommation d'énergie. Il s'agit avant tout d'assurer un environnement visuel sûr, confortable et adapté aux besoins réels des salariés. Un bon éclairage contribue à prévenir la fatigue visuelle, limite les postures contraignantes liées à l'éblouissement, améliore la perception des reliefs et réduit les risques d'accident.

Progressivement, les led ont remplacé les anciennes technologies d'éclairage grâce à leur efficacité, leur longévité et leur flexibilité d'usage. Les pouvoirs publics ont accéléré ce basculement, en programmant la disparition progressive des lampes à incandescence dès 2008, des tubes fluorescents – longtemps omniprésents dans les bureaux – en 2023, et des

lampes à décharge haute pression, encore utilisées en extérieur, d'ici 2027.

Une révolution quasi invisible, qui ne doit pas faire oublier que les enjeux de confort et de sécurité liés à l'éclairage sont inchangés : garantir un niveau d'éclairement suffisant et uniforme, éviter les contrastes de luminance trop marqués, limiter l'éblouissement et tirer le meilleur parti possible de la lumière naturelle. À ces principes s'ajoute désormais une exigence croissante de qualité lumineuse, qui englobe le rendu fidèle des couleurs, l'absence de papillotement et la possibilité de moduler le flux lumineux et la température de couleur selon les moments de la journée ou les tâches effectuées.

Sur ce terrain aussi, la technologie led ouvre de nouvelles perspectives. Plus facilement pilotables que les technologies traditionnelles, ces sources permettent d'envisager à terme un éclairage adaptatif, ajusté aux besoins et au confort de chaque utilisateur. Les fabricants explorent également la possibilité de façonner le spectre lumineux, afin d'obtenir des rendus de couleur toujours plus fidèles et des ambiances respectant

« L'éclairage ne doit pas être perçu comme un simple paramètre technique ou un supplément de confort, mais comme une composante essentielle de la démarche de prévention. »

davantage nos rythmes circadiens, notre vigilance et notre bien-être, en particulier dans les locaux sans accès à la lumière naturelle ou pour les activités nocturnes. Afin de mieux accompagner les acteurs de la prévention, l'INRS consacre ce dossier à l'éclairage des lieux de travail. Il s'adresse notamment aux employeurs, aux

concepteurs, aux personnels des organismes de prévention (ingénieurs-conseils et contrôleurs de sécurité des Carsat, services de prévention et de santé au travail, autres organismes ou fonctions : ergonomes, intervenants en prévention des risques professionnels...). Son objectif est d'apporter des repères clairs, actualisés et opérationnels pour évaluer, concevoir et améliorer les conditions d'éclairage, qu'il soit naturel ou artificiel, en intégrant à la fois les dimensions réglementaires, techniques et humaines. À travers ce dossier, l'INRS rappelle que l'éclairage ne doit pas être perçu comme un simple paramètre technique ou un supplément de confort, mais comme une composante essentielle de la démarche de prévention. Pensé dès la conception des locaux et suivi tout au long de leur utilisation, il contribue à la protection des salariés, à leur bien-être et à la qualité des environnements de travail.

1. Également directeur adjoint du GDR CNRS Appamat sur l'apparence des matériaux, président du Centre français de la couleur et contributeur du portail de la lumière et de l'éclairage (www.lightzoomlumiere.fr).

SOMMAIRE



Savoirs & actualités

Décryptage

Les substances per-
et polyfluoroalkylées (Pfas) :
enjeux en santé au travail
P. 05

Actualité juridique

Les contours de l'obligation
de sécurité du salarié
P. 20

Poste à risque
et consommation d'alcool
P. 23

Dossier

L'éclairage des lieux de travail

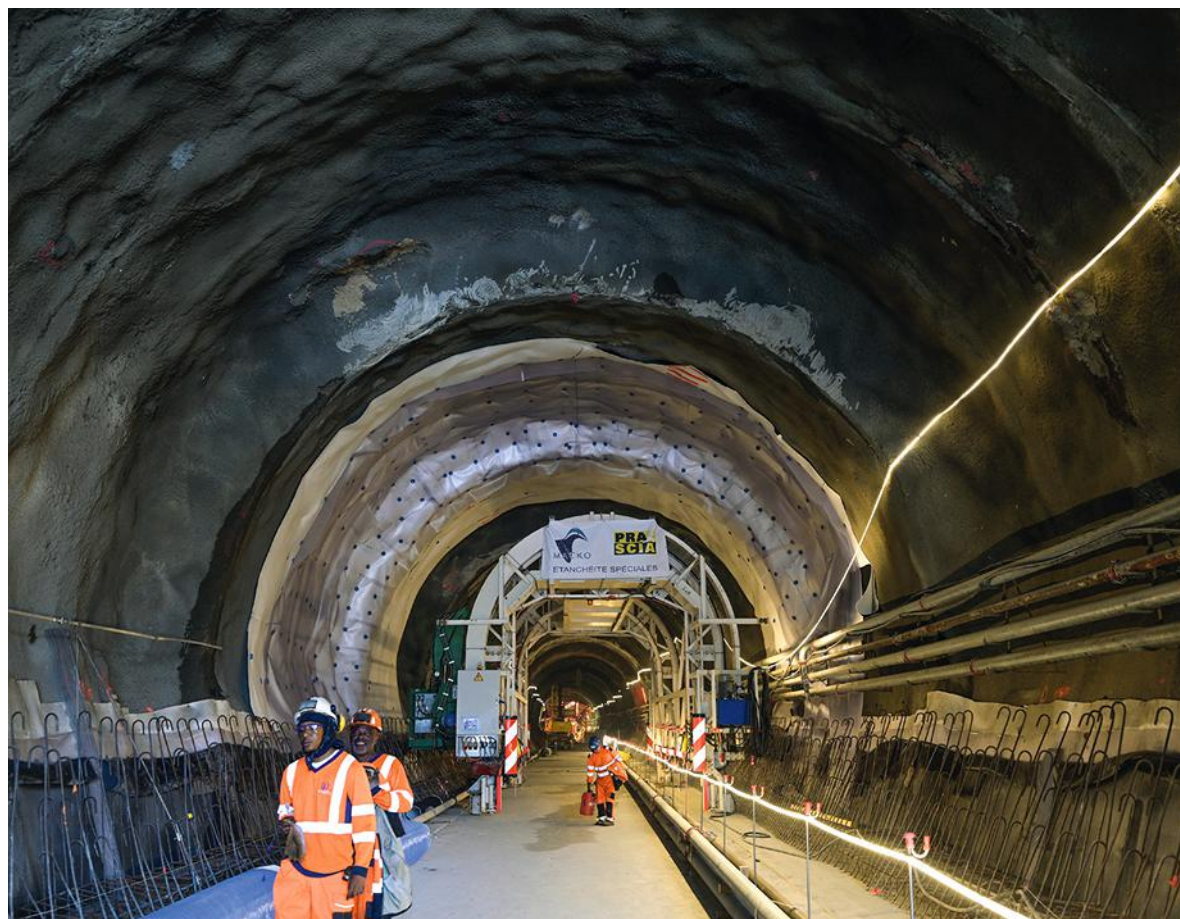
- Lumière et éclairage :
définitions, grandeurs
et concepts de base
P. 30

- Éclairage des lieux de travail :
normes et réglementation
P. 40

- Éclairage naturel dans
les locaux professionnels
P. 49

- Éclairage artificiel
dans les locaux professionnels
P. 59

- Effets non visuels
de la lumière
P. 72



L'éclairage des
lieux de travail
(lire le dossier
p. 28).



Études & solutions

Note technique

- Enquête sur les Pfas dans les établissements français : les points clés à retenir

P. 77

Étude de cas

- Caractérisation du risque d'exposition aux poussières organiques dans les meuneries

P. 90

Base de données Colchic

- Exposition professionnelle dans la filière française du travail du cuir (2010-2024)

P. 102

À ce jour, la base de données Colchic compte plus d'un million de résultats pour 745 agents chimiques et biologiques, et représente un outil d'aide pour l'identification des axes prioritaires de prévention du risque chimique.



Étude de filière : les Pfas dans les établissements français (lire la note technique p. 77).

© Fabrice Dimier pour l'INRS/2023



Risques d'exposition aux poussières organiques dans les meuneries en Île-de-France (lire l'étude de cas p. 90).

© Gaël Kerbaol/INRS/2017



Agenda & services

Formation

Une autoformation pour s'initier à la prévention des risques professionnels

P. 111

Agenda/Formations

P. 114


Agenda/Événements

P. 116

Sélection bibliographique

À lire, à voir

P. 118



Savoirs & actualités

Décryptage

Les substances per- et polyfluoroalkylées (Pfas) :
enjeux en santé au travail

P.05

Actualité juridique

Les contours de l'obligation
de sécurité du salarié

P.20

Poste à risque
et consommation d'alcool

P.23

Dossier

L'éclairage des lieux de travail

P.28

Décryptage

LES SUBSTANCES PER- ET POLYFLUOROALKYLÉES (PFAS) : ENJEUX EN SANTÉ AU TRAVAIL

Les substances per- et polyfluoroalkylées, connues sous l'acronyme Pfas, sont fabriquées et utilisées depuis la fin des années 1940 notamment pour leurs propriétés antiadhésives, ignifuges, antitaches, etc., dans une myriade de secteurs d'activité (la chimie, la cosmétique, le textile, l'emballage...). De nombreux salariés sont ainsi exposés à ces composés chimiques fluorés de synthèse tout au long de leur cycle de vie, depuis leur production jusqu'à leur élimination. Or, plusieurs Pfas sont susceptibles d'induire des effets néfastes sur la santé. Il convient donc de mettre en œuvre, dans toutes les entreprises concernées par les Pfas, une démarche de prévention visant à supprimer les risques ou, à défaut, à limiter l'exposition des travailleurs, notamment celle des femmes et hommes en âge de procréer, à un niveau aussi bas que techniquement possible.

PER- AND POLYFLUOROAKYL SUBSTANCES (PFAS): OCCUPATIONAL HEALTH CHALLENGES -Per- and polyfluoroalkyl substances, known by their acronym Pfas, have been manufactured and used since the end of the 1940s, for their anti-adhesive, fire- and stain-repellent properties, across a wide range of activity sectors (chemistry, cosmetics, textile, packaging, etc.). Consequently, large numbers of workers are exposed to these synthetic fluorinated chemical compounds throughout their life-cycle, from their production to their disposal. However, several Pfas can induce negative effects on health. It is therefore relevant, in all companies where Pfas are used or manufactured, to implement a prevention approach aiming to eliminate risks, or if that is not possible, to limit worker exposure to these substances to levels that are as low as possible. Risk minimisation is particularly important for women and men of reproductive age.

MYRIAM
RICAUD
INRS,
département
Expertise
et conseil
technique

Bref historique de la problématique

La découverte des substances per- et polyfluoroalkylées, connues sous l'acronyme Pfas (*per- and polyfluoroalkyl substances*), remonte à la fin des années 1940. En 1938, Roy Plunket, un chimiste américain de l'entreprise DuPont de Nemours, synthétise par hasard le polytétrafluoroéthylène (PTFE, secondairement commercialisé sous la marque Teflon). Cette découverte fortuite, qui marque le début de l'essor des composés organofluorés de synthèse, se poursuit avec le développement par l'entreprise 3M, dans les années 1960, d'une mousse filmogène aqueuse utilisée pour l'extinction des incendies.

La liaison chimique carbone-fluor, qui caractérise ces substances, compte parmi les plus stables

chimiquement et thermiquement. Elle confère aux Pfas des caractéristiques très recherchées par l'industrie. L'utilisation des Pfas s'accroît ainsi fortement entre 1950 et 1970 et s'étend à de très nombreux produits de consommation, tels que les emballages alimentaires, les produits phytopharmaceutiques et cosmétiques, les lubrifiants ou encore les textiles.

La fin des années 1960 voit apparaître les premières études et inquiétudes concernant des effets des Pfas sur l'environnement et sur la santé humaine. Néanmoins, l'utilisation large et variée de ces substances chimiques se poursuit, et combinée à leur caractère très stable et donc persistant, conduit à une contamination de tous les compartiments environnementaux (les eaux, l'air, les sols





© Gaël Kerbaol / INRS / 2014

Application de peinture contenant des Pfas (tels que du PFHxA).

et les sédiments). Cette pollution est constatée autour des sites industriels producteurs ou utilisateurs de Pfas ou de produits en contenant (Cf. Focus pp. 16-18), mais également au-delà, ces substances étant par ailleurs très mobiles (contamination sur de longues distances). Les Pfas peuvent ainsi diffuser, puis rester dans l'environnement pendant des décennies, voire des siècles, ce qui fait que ces substances sont parfois qualifiées de « polluants éternels ». Une fois dans l'environnement, les Pfas ont par ailleurs tendance à s'accumuler dans les végétaux. Cette bioaccumulation est également

retrouvée chez les animaux et les humains. À partir des années 2000, plusieurs pays commencent à réglementer, voire à interdire certains Pfas.

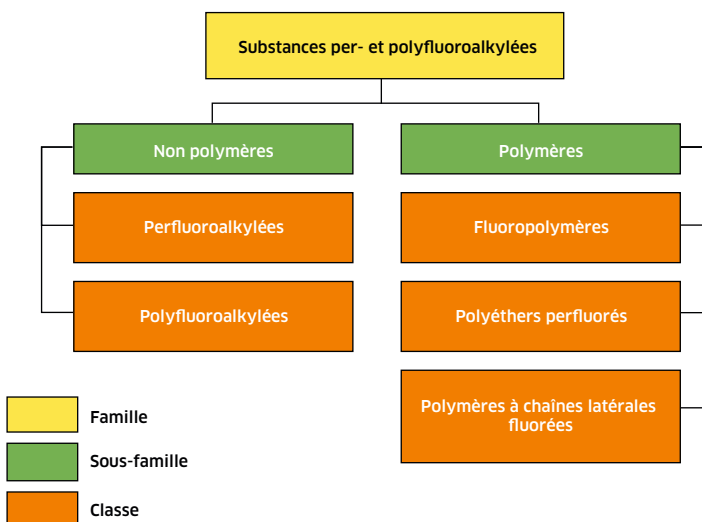
Les substances per- et polyfluoroalkylées

Les Pfas forment une vaste famille de composés chimiques organiques fluorés de synthèse (plusieurs milliers de substances). Leur formule chimique générale est $C_nF_{2n+1}-R$. Le nombre de Pfas répertoriés varie en fonction de la définition retenue. Il n'existe pas, dans la littérature, de définition harmonisée des Pfas; les débats se poursuivent entre les différentes parties prenantes (scientifiques, industriels, politiques, ONG...). En 2021, l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) a publié un rapport axé sur la terminologie des Pfas [1]. Elle propose, en se basant sur des travaux antérieurs [2-3], une définition qui mentionne que les Pfas sont « des substances fluorées qui contiennent au moins un groupe méthyle ou méthylène entièrement fluoré (sans atome H, Cl, Br, I attaché) c'est-à-dire à quelques exceptions près, toute substance chimique contenant au moins un groupe méthyle perfluoré ($-CF_3$) ou un groupe méthylène perfluoré ($-CF_2-$) » [1].

Les Pfas sont ainsi constitués d'une chaîne d'atomes de carbone plus ou moins longue, linéaire, ramifiée ou cyclique, contenant au moins un groupe méthyle perfluoré ($-CF_3$) ou un groupe méthylène perfluoré ($-CF_2-$). À ce squelette fluorocarboné, peuvent s'ajouter différents groupes fonctionnels tels que des acides carboxyliques ($-COOH$), des carboxylates ($-COO-$), des acides sulfoniques ($-SO_3H$) ou des sulfonates ($-SO_3-$).

Les Pfas présentent donc des structures et des propriétés physiques, chimiques et toxicologiques associées variées. Compte tenu de leurs grandes diversité et complexité, il s'avère utile de les caractériser et de les classer d'une manière cohérente et homogène. L'OCDE propose ainsi des éléments pour identifier et catégoriser les Pfas [1]. Une première distinction (mentionnée également dans d'autres publications [2]) est proposée entre deux grandes sous-familles : les Pfas non polymères et les Pfas polymères (cf. Figure 1).

↓ FIGURE 1
La famille des substances per- et polyfluoroalkylées (Pfas).



Les Pfas non polymères

Les Pfas non polymères se composent de deux classes: les substances perfluoroalkylées et les substances polyfluoroalkylées. Les substances perfluoroalkylées ont une chaîne carbonée entièrement fluorée, alors que les substances polyfluoroalkylées ont une chaîne carbonée partiellement fluorée (au moins un atome de carbone est lié à un atome d'hydrogène).

Parmi les substances perfluoroalkylées, la catégorie des acides perfluoroalkylés (PFAA) est la plus étendue, et deux sous-classes peuvent être identifiées

Pfas - PFAA	NUMÉRO CAS	NOMBRE D'ATOMES DE CARBONE
Acides perfluoroalkylés carboxyliques (PFCA)		
Acide perfluorobutanoïque (PFBA)	375-22-4	4
Acide perfluoropentanoïque (PFPeA)	2706-90-3	5
Acide perfluorohexanoïque (PFHxA)	307-24-4	6
Acide perfluoroheptanoïque (PFHpA)	375-85-9	7
Acide perfluorooctanoïque (PFOA*)	335-67-1	8
Acide perfluorononanoïque (PFNA*)	375-95-1	9
Acide perfluorodécanoïque (PFDA)	335-76-2	10
Acide perfluoroundécanoïque (PFUnA/PFUnDA)	2058-94-8	11
Acide perfluorododécanoïque (PFDoDA)	307-55-1	12
Acide perfluorotridécanoïque (PFTrDA)	72629-94-8	13
Acide perfluorotétradécanoïque (PFTeDA)	376-06-7	14
Acides perfluoroalkylés sulfoniques (PFSA)		
Acide perfluorobutane sulfonique (PFBS)	375-73-5	4
Acide perfluoropentane sulfonique (PFPeS)	2706-91-4	5
Acide perfluorohexane sulfonique (PFHxS)	355-46-4	6
Acide perfluoroheptane sulfonique (PFHpS)	375-92-8	7
Acide perfluorooctane sulfonique (PFOS*)	1763-23-1	8
Acide perfluorononane sulfonique (PFNS)	68259-12-1	9
Acide perfluorodécane sulfonique (PFDS)	335-77-3	10
Acide perfluoroundécane sulfonique (PFUnS/PFUnDS)	749786-16-1	11
Acide perfluorododécane sulfonique (PFDoDS)	79780-39-5	12
Acide perfluorotridécane sulfonique (PFTrDS)	91563-89-8	13
Acide perfluorotétradécane sulfonique (PFTeDS)	1379460-39-5	14

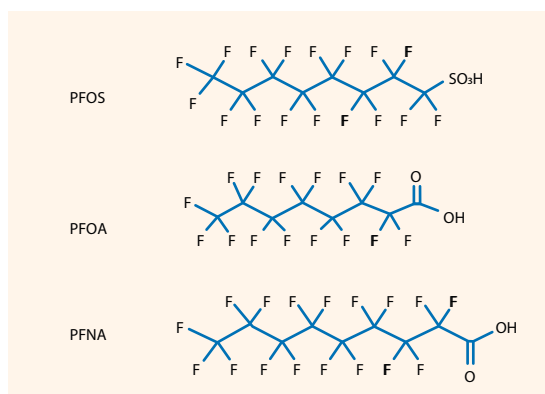
← **TABLEAU 1**
Les Pfas non polymères : les principaux acides perfluoroalkylés (PFAA).

*Le PFOA, le PFOS et le PFNA sont les Pfas les plus historiquement utilisés et donc ceux les plus retrouvés dans l'environnement.

en fonction du groupe fonctionnel lié (Cf. *Tableau 1* et *Figure 2*) : les acides perfluoroalkylés carboxyliques (PFCA) et les acides perfluoroalkylés sulfoniques (PFSA). L'acide perfluorooctanoïque (PFOA) et l'acide perfluorooctane sulfonique (PFOS), qui sont les Pfas non polymères les plus utilisés historiquement (et les plus étudiés), font partie de la catégorie des PFAA. Le premier appartient à la sous-classe des PFCA, le second à celle des PFSA.

Au sein de la catégorie des PFAA, les substances sont également discernées en fonction de la longueur de leur chaîne carbonée. Un PFSA est considéré « à chaîne courte » s'il contient jusqu'à cinq atomes de carbone, alors qu'un PFCA est dit « à chaîne courte » s'il comporte jusqu'à sept atomes de carbone. Les Pfas à chaîne courte ont été développés plus récemment, pour remplacer ceux à chaînes longues (comprenant jusqu'à 14 atomes de carbone).

Les substances polyfluoroalkylées sont également divisées en plusieurs catégories, telles que les fluorotélomères. Ces substances peuvent se dégrader ou se transformer en substances perfluoroalkylées et sont notamment des « précurseurs » de PFCA et de PFSA.



← **FIGURE 2**
Les principaux PFCA et PFSA : les formules chimiques (semi)-développées.

Les Pfas polymères

Les polymères composés de monomères perfluorés (c'est-à-dire les polymères qui possèdent une structure C_nF_{2n+1}) appartiennent tous à la famille des Pfas ; mais tous les Pfas polymères ne sont pas constitués à partir de monomères appartenant à la famille des Pfas. Des auxiliaires de polymérisation utilisés lors de la fabrication des Pfas polymères peuvent également être des Pfas non polymères. Trois classes de Pfas polymères peuvent être distinguées :

- les fluoropolymères parmi lesquels le polytétrafluoroéthylène (PTFE), le polyfluorure de vinylidène (PVDF) et le polyfluorure de vinyle (PVF) ;
- les polymères à chaînes latérales fluorées ;
- les polyéthers perfluorés.

La dégradation des Pfas polymères (notamment des polymères à chaînes latérales fluorées) en Pfas non polymères lors de leur fabrication, de leur utilisation ou de leur fin de vie, a été démontrée, mais nécessite encore des études.

Les expositions professionnelles

Les expositions professionnelles aux Pfas peuvent survenir au cours des différentes étapes de leur cycle de vie (Cf. Figure 3) que sont :

- la production des Pfas ;
- la fabrication de produits ou de matériaux contenant des Pfas ;
- l'utilisation de produits ou de matériaux contenant des Pfas ;
- le traitement des déchets et des eaux usées contenant des Pfas ;
- la dépollution de sites et de sols contaminés par des Pfas.

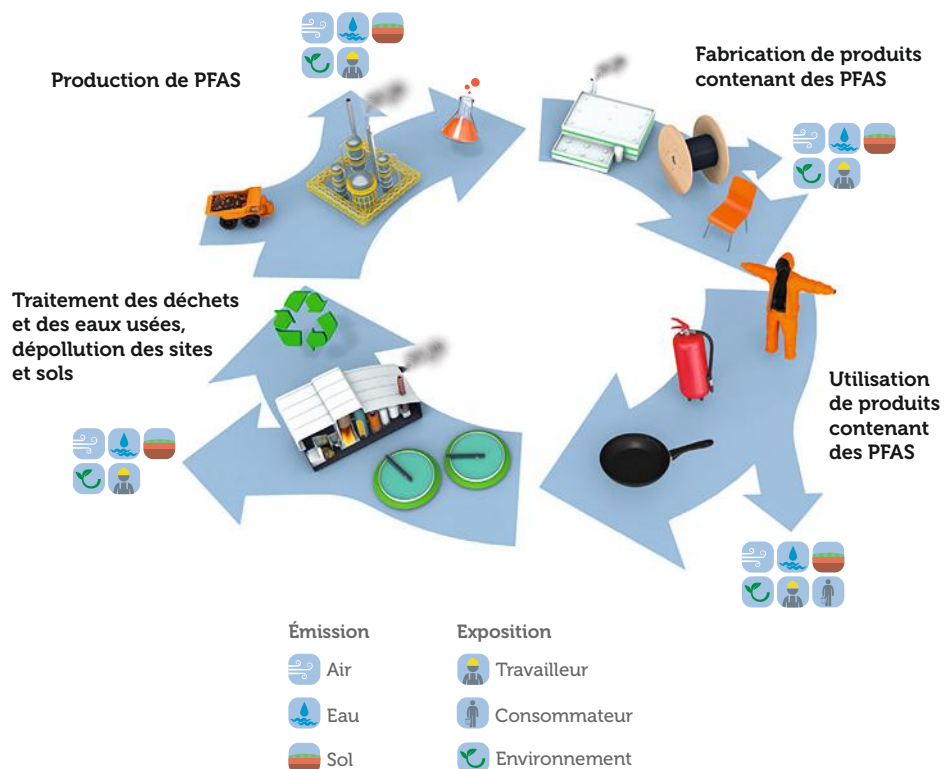
De nombreux secteurs d'activité sont ainsi concernés par les Pfas : la chimie, qui produit ces substances ; mais également ceux qui fabriquent et/ou utilisent des produits et des matériaux qui en contiennent : la cosmétique, le textile et l'ameublement, la fabrication de dispositifs médicaux, l'emballage, l'aéronautique, l'automobile, l'électronique,

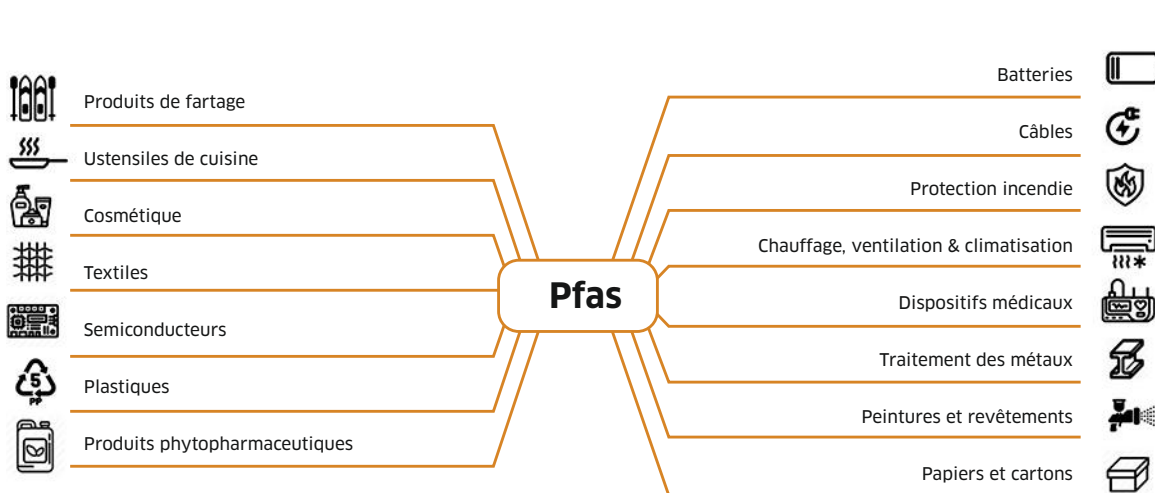
ENCADRÉ LES PROPRIÉTÉS ET LES APPLICATIONS DES PFAS

Les propriétés des Pfas sont multiples : antiadhésives, ignifuges, antitaches, imperméabilisantes, résistantes aux fortes températures, émulsifiantes, tensioactives, etc., ces substances sont donc mises en œuvre dans des applications variées (Cf. Figure 4) [5] :

- les textiles et l'ameublement,
- les emballages alimentaires,
- les mousses anti-incendie,
- les produits de fartage pour les skis,
- les revêtements anti-adhésifs,
- les cosmétiques et produits de soin,
- les dispositifs médicaux,
- les produits phytopharmaceutiques,
- les produits de nettoyage,
- les matériaux de construction,
- les peintures, vernis et encres,
- les gaz fluorés,
- les huiles moteur,
- les lubrifiants,
- les papiers,
- les joints et isolants,
- les piles et batteries,
- etc.

FIGURE 3 →
Les sources
d'exposition
professionnelle
aux Pfas [4].





← FIGURE 4
Quelques
exemples
d'applications
des Pfas.

la pharmacie, l'énergie, le nettoyage, l'entretien des espaces verts, le bâtiment et les travaux publics, la fabrication de biens d'équipements de la maison, la lutte contre les incendies, la métallurgie, etc.

Les secteurs de la gestion des déchets et des eaux usées, ainsi que celui du traitement des sites et sols pollués, sont également particulièrement concernés par les Pfas, du fait de leur diffusion et de leur persistance (Cf. Focus pp. 16-18).

En milieu professionnel, la fréquence et le niveau des expositions aux Pfas sont potentiellement plus élevés que dans la population générale. Par ailleurs, les scénarios d'exposition divergent. En entreprise, les salariés sont principalement exposés par inhalation de poussières, de gaz et de vapeurs. Ils peuvent également, dans une moindre mesure, être exposés par ingestion (en portant les mains ou des objets souillés à la bouche) et par voie cutanée, suite à la présence de Pfas sur la peau. La population générale est, quant à elle, principalement exposée par ingestion via des aliments et de l'eau contaminés. Enfin, sur les lieux de travail, les expositions sont possibles à plusieurs Pfas, ainsi qu'à d'autres substances chimiques : ces mélanges peuvent induire des effets additifs sur la santé, voire synergiques. Il convient également d'être vigilant lors de l'utilisation ou de la fin de vie des Pfas polymères (par exemple lors de leur élimination ou de leur recyclage), ils peuvent se dégrader et émettre des Pfas non polymères. De même, les substances polyfluoroalkylées peuvent se dégrader ou se transformer en substances perfluoroalkylées au cours de leur cycle de vie (de la fabrication à l'élimination).

Néanmoins, à ce jour, peu de données atmosphériques ou biométriologiques relatives à l'exposition de salariés aux Pfas ont été publiées. Elles concernent quelques métiers, notamment les plus

exposés comme les pompiers, les salariés de la chimie produisant ou utilisant des Pfas (en particulier les fluoropolymères), de la métallurgie et du textile, ainsi que les agents d'entretien et de maintenance, les techniciens de fartage de skis, ou encore les travailleurs impliqués dans le recyclage des déchets (dont les déchets d'équipements électriques et électroniques ou DEEE) [6,7,8]. En effet, les méthodes de prélèvement et d'analyse, notamment dans l'air, sont rares ; elles portent sur un nombre limité de Pfas et les résultats associés sont difficilement exploitables. De même, les méthodes d'analyse dans le sang et l'urine sont peu nombreuses et ne concernent que quelques substances telles que le PFOA ou le PFOS [9]. Il n'existe pas, par ailleurs, en France de valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) ou de valeur limite biologique (VLB) pour les Pfas. L'Allemagne propose des VLB pour le PFOS et le PFOA, ainsi qu'une VLEP-8h de 0,01 mg/m³ pour le PFOS (fraction inhalable), mais les modalités de mesurage ne sont pas précisées.

Les effets sur la santé

La diversité de la famille des Pfas rend l'évaluation de leurs effets sur la santé complexe. Les données actuellement disponibles proviennent ainsi d'études portant sur un nombre restreint de substances : il s'agit principalement du PFOA, du PFOS, du PFNA, du PFHxS et du PFHxA [10,11]. Une attention particulière a en effet été portée à certains Pfas non polymères, historiquement utilisés et donc, plus abondants dans l'environnement.

Les études épidémiologiques sur les Pfas non polymères à longue chaîne, tels que le PFOA et le PFOS, ont ainsi débuté aux alentours des années 2000 et concernent principalement la population générale. Elles corroborent certaines observations relevées *via* des études toxicologiques menées chez l'animal



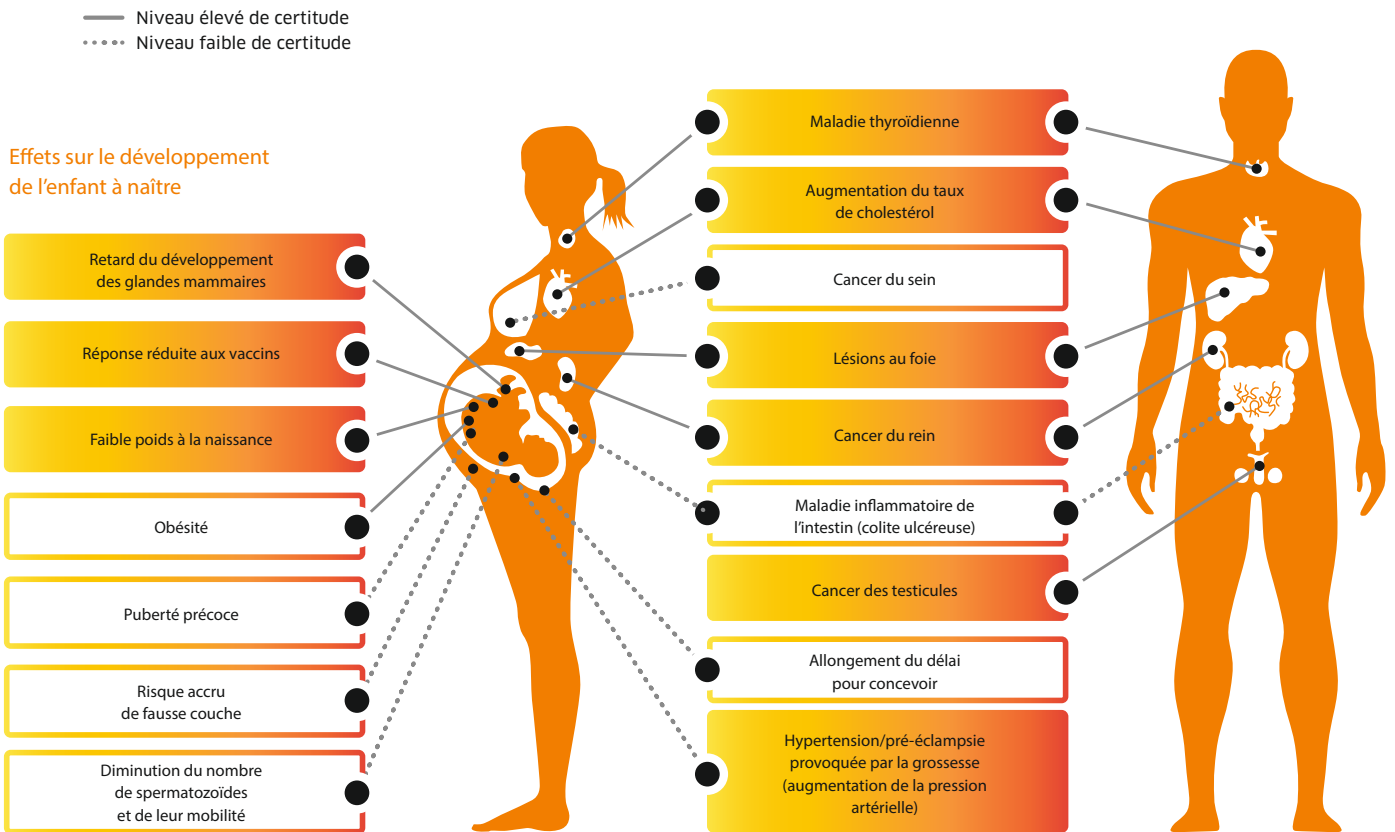


FIGURE 5 ↑
 Les effets avérés ou potentiels des Pfas sur la santé [14].

telles que des lésions hépatiques ou la diminution de la croissance foétale.

Les données disponibles révèlent que les Pfas sont majoritairement éliminés par voies rénale et digestive. Si leur demi-vie longue dans l'environnement est liée à la stabilité de la liaison carbone-fluor, elle semble être, dans l'organisme humain, principalement associée à leur réabsorption rénale et à leur cycle entéro-hépatique.

Du fait de leurs longues demi-vies, de leur distribution dans l'organisme et de leurs interactions avec différents organes cibles (tels que le foie, les reins, etc.), de nombreux effets ont été rapportés chez des organismes exposés à des Pfas, dont certains ont été observés chez leur descendance (cf. Figure 5) :

- des lésions hépatiques ;
- une augmentation du taux de cholestérol ;
- des pathologies cardiovasculaires ;
- une hausse de certains cancers : du rein, des testicules et du sein ;
- une diminution de la réponse du système immunitaire à la vaccination (chez l'adulte et chez l'enfant d'une mère exposée) ;
- des désordres thyroïdiens (hypothyroïdie, hyperthyroïdie) ;
- de l'hypertension artérielle chez la femme enceinte ;

- des troubles de la reproduction et de la fertilité (baisse de la qualité des gamètes, troubles du cycle menstruel, etc.) ;
- des maladies inflammatoires de l'intestin ;
- des troubles neurodégénératifs chez l'adulte ;
- des troubles du développement chez l'enfant d'une mère exposée : un retard de croissance (faible poids de naissance), des troubles du neurodéveloppement (langage, troubles de l'attention) et des anomalies métaboliques (obésité, etc.).

De nombreux Pfas sont ainsi susceptibles d'induire des effets immunotoxiques, hépatiques, métaboliques, et certains d'entre eux peuvent favoriser la survenue de cancers [10,11,12]. Plusieurs Pfas sont par ailleurs des perturbateurs endocriniens avérés ou potentiels [13].

Les niveaux et les durées d'exposition à partir desquels des effets sur la santé humaine surviennent n'ont cependant pas été établis. De même, les potentiels effets d'une polyexposition à plusieurs Pfas, ou avec d'autres substances chimiques, sont peu documentés.

Enfin, la toxicité des Pfas à chaîne courte a, quant à elle, été peu étudiée (par exemple, celle de l'acide trifluoroacétique : TFA), de même que celle des Pfas polymères, de leurs substituts (nouveaux Pfas) et de leurs produits de dégradation.

Le contexte réglementaire

La réglementation sur les Pfas suit deux axes, aux niveaux national et international :

- le premier consiste en une réduction à la source, par des mesures de restriction ou d'interdiction d'importation, de fabrication et d'utilisation de certains Pfas. Cette réglementation cible des substances, des usages et des milieux particuliers ;
- le second axe est la surveillance de la présence de Pfas dans différentes matrices de l'environnement (eau de consommation humaine, aliments, milieux aquatiques, etc.) et de l'exposition aux Pfas, et de ses impacts sur la santé et l'environnement. Cette surveillance s'accompagne de la fixation de « critères de qualité » ou de « limites », comme pour l'eau de consommation humaine.

À l'échelle communautaire

La convention de Stockholm a pour objectif d'encadrer certains polluants organiques persistants (POP). Elle est mise en œuvre au sein de l'Union européenne *via* le Règlement « POP » (UE) 2019/1021 modifié. Ce règlement vise plusieurs Pfas qui font l'objet d'une interdiction de production, de mise sur le marché et d'utilisation depuis 2009 pour le PFOS (sauf exceptions), depuis 2020 pour le PFOA (sauf exceptions) et depuis 2022 pour le PFHxS.

Par ailleurs, dans le cadre du règlement européen Reach, qui porte sur l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques mises sur le marché (règlement (CE) 1907/2006 modifié), certains Pfas font partie de la liste des substances extrêmement préoccupantes (SVHC), candidates à l'autorisation : le PFOA, les PFCA en C9 à C14, le PFHxS, le PFDA, le HPFO-DA¹, le PFBS et le PFHpA. Le règlement européen Reach prévoit également des restrictions de fabrication et d'utilisation des PFCA en C9 à C14, leurs sels et composés (avec quelques dérogations) depuis février 2023, et d'utilisation du PFHxA, ses sels et composés, à partir d'octobre 2026. Par ailleurs, une restriction concernant tous les Pfas utilisés dans les mousses anti-incendie a été récemment introduite. C'est la première fois que la famille entière des Pfas est visée par une restriction dans le cadre du règlement Reach pour un usage particulier. Enfin, en 2023, cinq pays européens (Allemagne, Danemark, Pays-Bas, Suède et Norvège) ont proposé une approche plus globale, qui consiste, plutôt que de travailler substance par substance, à limiter la fabrication, la mise sur le marché et l'utilisation de tous les Pfas (famille entière) aux seuls usages essentiels pour la société. Cette proposition de restriction, soutenue par la France, est en cours d'évaluation au niveau de l'Union européenne.

Au niveau du règlement européen CLP, qui porte sur la classification, l'étiquetage et l'emballage des

substances et mélanges chimiques (règlement (CE) 1272/2008 modifié), plusieurs Pfas font l'objet d'une classification harmonisée :

- le PFOA qui est notamment classé cancérogène de catégorie 2 (cancérogène suspecté) ; H351, toxique pour la reproduction de catégorie 1B (reprotoxique présumé) ; H360D et toxique pour la reproduction, catégorie supplémentaire : effets sur ou *via* l'allaitement ; H362.

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a également classé le PFOA comme cancérogène du groupe 1 : agent cancérogène pour l'homme [15].

- le PFOS qui est notamment classé cancérogène de catégorie 2 (cancérogène suspecté) ; H351, toxique pour la reproduction de catégorie 1B (reprotoxique présumé) ; H360D et toxique pour la reproduction, catégorie supplémentaire : effets sur ou *via* l'allaitement ; H362.

Le CIRC a classé le PFOS comme cancérogène du groupe 2B, agent pouvant être cancérogène pour l'homme [15].

Par ailleurs, d'autres Pfas sont classés toxiques pour la reproduction de catégorie 1B, tels que le PFHpA ou le PFDA (classé également cancérogène de catégorie 2).

Des règles de classification et d'étiquetage pour les perturbateurs endocriniens, les produits chimiques

Nettoyage industriel utilisant des détergents contenant des Pfas (tels que du PFBS).



© Gael Kerbaol / INRS / 2014





Traitement de déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) pouvant contenir des Pfas.

© Gaoi Kerbaol / INRS / 2013

PBT/vPvB² et PMT/vPvM³ ont dernièrement été introduites dans le règlement CLP *via* le règlement délégué (UE) 2023/707. Ces règles applicables, de façon obligatoire aux substances concernées depuis le 1^{er} mai 2025 et aux mélanges à partir du 1^{er} mai 2026 (sauf dérogations), concourent à faciliter le repérage des Pfas *via* les informations disponibles dans les fiches de données de sécurité (FDS).

À l'échelle française

En entreprise, la prévention des risques associés aux Pfas repose sur les principes généraux de prévention édictés dans le Code du travail (articles L. 4121-1 et suivants) et plus spécifiquement, sur les règles particulières applicables aux agents chimiques dangereux définis réglementairement comme cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR – articles R. 4412-59 à R. 4412-93).

Par ailleurs, des dispositions spécifiques existent pour les femmes enceintes ou allaitantes. Il est interdit de les affecter ou de les maintenir à des postes de travail les exposant à des Pfas classés toxiques pour la reproduction de catégorie 1A ou 1B ou de catégorie supplémentaire de danger des effets sur ou *via* l'allaitement – mention de danger H362 au sens du règlement CLP (article D. 4152-10).

Un plan d'actions interministériel consacré aux Pfas a été lancé en France en 2024 [16]. Il vise à réduire les risques à la source, à poursuivre la surveillance des milieux, à accélérer la production des connaissances et à faciliter l'accès à l'information pour les citoyens. Une action (numérotée 20) porte spécifiquement sur la prise en compte des enjeux de santé au travail pour les professions susceptibles d'être particulièrement exposées.

Au niveau du Code de l'environnement, plusieurs textes réglementaires récents visent à surveiller les Pfas dans les rejets aqueux des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et dans les effluents et les émissions atmosphériques des installations de traitement des déchets [17,18,19]. Des Pfas ou des listes de Pfas à analyser sont mentionnés dans ces arrêtés.

Enfin, à compter du 1^{er} janvier 2026, seront interdits à la fabrication, à l'importation, à l'exportation et à la mise sur le marché (à titre onéreux ou gratuit) les produits suivants contenant des Pfas : les cosmétiques, les farts ainsi que les vêtements, chaussures et leurs imperméabilisants (excepté les vêtements et chaussures de protection, comme ceux des pompiers ou des militaires) [20]. Cette interdiction sera étendue au 1^{er} janvier 2030 à tous les textiles (d'ameublement, par exemple), sauf exceptions, comme les textiles techniques à usage

industriel qui seront listés par décret. Ces interdictions ne s'appliqueront pas aux produits contenant des Pfas présents en concentration inférieure ou égale à une valeur résiduelle qui sera définie par décret.

La prévention des risques professionnels

Les Pfas doivent être intégrés dans une approche globale d'évaluation et de prévention des risques chimiques en entreprise [21]. Les résultats de cette approche doivent être consignés dans le document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP). La démarche de prévention des risques qu'il convient de mettre en œuvre pour tous les Pfas est analogue à celle déployée pour les agents chimiques cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR) [12]. Elle consiste à :

- éviter les risques, si possible en les supprimant ;
- évaluer les risques et les combattre à la source ;
- remplacer ce qui est dangereux par ce qui ne l'est pas ou ce qui l'est moins : substitution des produits dangereux par des produits moins dangereux ;
- privilégier les mesures de protection collective (ventilation et assainissement de l'air, mécanisation, encoffrement...) par rapport aux mesures de protection individuelle ;
- former et informer les salariés.

Le repérage et l'inventaire des Pfas et des matériaux et produits qui en contiennent est un préalable indispensable à l'élaboration d'une démarche de prévention des risques adaptée. Ils doivent prendre en compte les matières premières, les produits de dégradation, les produits finis, les produits de nettoyage ou d'entretien, les déchets, etc.

Il n'existe pas de liste exhaustive de Pfas. Le repérage des Pfas est facilité par les données figurant dans les FDS relatives aux substances extrêmement préoccupantes (SVHC) et aux éléments de classification et d'étiquetage des substances et des mélanges présentant des effets « perturbateur endocrinien », ainsi que des propriétés PBT, vPvB, PMT et vPvM (Cf. Notes 2 et 3).

En l'absence d'information dans les FDS, il est possible de contacter les fournisseurs ou de se référer à certaines bases de données, telles que Chemsec Pfas guide⁴. Des sources d'informations par secteur existent également, telles que l'IMDS⁵ pour la filière automobile ou les MDF⁶ pour le secteur de l'électronique. L'INRS a également élaboré un outil d'aide au repérage des perturbateurs endocriniens en entreprise, dans lequel figurent quelques Pfas [22]. Pour chaque substance, les principaux secteurs d'activité et usages (passés et actuels) concernés sont recensés. Sont également renseignés pour chaque Pfas, le numéro CAS, la catégorie au regard des effets de perturbation endocrinienne sur la santé et, le cas échéant, la classification CMR (règlement CLP), le ou les tableaux de maladies

professionnelles (régime général) ainsi que la fiche toxicologique associée.

Dans le Code de l'environnement, des listes de Pfas à analyser dans les émissions atmosphériques et dans les rejets aqueux de certaines installations industrielles ont été établies. Ces listes, qui contiennent quelques dizaines de substances, se basent généralement sur les Pfas les plus connus et présents dans l'environnement [18,19]. Or, les produits et procédés évoluent rapidement (en fonction notamment de la réglementation) et les Pfas mis en œuvre dans les entreprises peuvent différer de ceux répertoriés dans ces listes.

Des incertitudes subsistent quant aux effets des Pfas sur la santé. Dans l'attente de nouvelles données scientifiques, il est conseillé de privilégier la suppression des Pfas inventoriés ou leur substitution par des substances présentant un danger moindre. Lors de la substitution, il importe d'être vigilant quant au choix du produit de remplacement et de veiller à ne pas déplacer le danger.

Compte tenu de la grande variété d'utilisations des Pfas, et en l'absence d'alternative générique, il convient d'appréhender les possibilités de substitution application par application [23,24]. Au cours des dernières décennies, les PFAA à chaîne courte ont été mis en œuvre notamment comme alternatives au PFOS et au PFOA (qui font l'objet d'une interdiction de production, de mise sur le marché et d'utilisation sauf dérogations). Les PFAA à chaîne courte sont, à l'instar des PFAA à chaîne longue, persistants et peuvent présenter un niveau équivalent de préoccupation pour la santé. Des composés basés sur des fluorotélomères ou des acides perfluoroalcanes-éther carboxyliques, comme le HPFO-DA dont la toxicité demeure méconnue, ont également été utilisés comme substituts. Il apparaît donc essentiel de demeurer vigilant lors de la mise en place d'une démarche de substitution des Pfas, souvent concomitante à l'évolution de la réglementation, afin de ne pas produire ou utiliser des alternatives dont les effets sur la santé sont peu renseignés.

Si la suppression ou la substitution des Pfas se révèle impossible, des mesures de protection doivent être prises pour réduire l'exposition des salariés au niveau le plus bas techniquement possible. La priorité est la mise en œuvre de moyens de protection collective, tels que :

- le travail en vase clos, à défaut l'encoffrement, la mécanisation ou l'automatisation des procédés de travail ;
- la mise en place d'une ventilation locale c'est-à-dire de dispositifs de captage à la source des Pfas. La ventilation locale nécessite de respecter certains principes :
 - capter au plus près de la zone d'émission des Pfas ;
 - maintenir une vitesse de captage adéquate et continue au point d'émission ;





© Vincent Nguyen pour l'INRS / 2018

Atelier de fabrication de circuits imprimés, où peuvent être utilisés des Pfas.

- envelopper au maximum la zone d'émission ;
- induire des vitesses d'air suffisantes et homogènes, mais sans sur vitesse ;
- rejeter l'air à l'extérieur des bâtiments après filtration (le recyclage est à proscrire).

En complément de la ventilation locale, il importe de mettre en œuvre une ventilation générale.

Des mesures organisationnelles doivent également être instaurées, telles que l'établissement de procédures de travail (notices de poste), l'interdiction d'accès à certaines zones au personnel non habilité, l'organisation des flux, le stockage des produits, le nettoyage et l'entretien des installations, la gestion des incidents et des accidents, etc.

Si ces mesures sont insuffisantes, l'employeur doit mettre à disposition des salariés des équipements de protection individuelle (EPI) : gants étanches, appareil de protection respiratoire, vêtement de protection contre le risque chimique, lunettes... Le choix des EPI va dépendre de la forme physique

des Pfas produits, utilisés ou générés (poussières, vapeurs, etc.), de la durée et de la fréquence des opérations effectuées, du niveau d'émission attendu, etc.

Enfin, des mesures d'hygiène doivent être établies et respectées. Il convient également de former et d'informer les salariés sur les risques et leur prévention, en l'état actuel des connaissances, en particulier celles et ceux en âge de procréer. Pour les femmes enceintes, ou ayant un projet de grossesse, potentiellement exposées à des Pfas, il importe de les encourager à contacter leur service de prévention et de santé au travail.

Conclusion et perspectives

La prise de conscience de la problématique des Pfas a été progressive. Elle s'est faite à plusieurs niveaux (industriels, ONG, politiques...) et s'est affinée pendant une vingtaine d'années, à la faveur des études menées sur leurs sources (rejet industriel, utilisation de produits en contenant, etc.), leurs devenir (diffusion et accumulation dans l'environnement et les organismes vivants) et leurs effets, ainsi que des réglementations qui en ont découlé. Enjeux de santé publique et environnementale, les Pfas concernent également la santé au travail. De nombreux secteurs d'activité produisent et/ou utilisent des Pfas ou des produits qui en contiennent, certains depuis les années 1960. Par ailleurs, la fin de vie (sous formes de déchets, d'effluents...) de ces composés très mobiles et persistants induit également l'exposition de salariés impliqués dans le traitement des déchets et des eaux usées, ainsi que dans la dépollution des sites et des sols contaminés. Du fait de la multiplicité et de la complexité de ces substances chimiques et de leurs caractéristiques physicochimiques variées, il est difficile de les analyser. Des méthodes existent notamment pour quantifier les Pfas dans l'eau, mais peu dans l'air ou les milieux biologiques. Les données (atmosphériques et biométriologiques) d'exposition en milieu professionnel sont donc peu nombreuses. Des travaux visant à développer et à valider des méthodes de prélèvement et d'analyse *ad hoc* sont en cours. Compte tenu de l'imprégnation de la population à ces substances, la mise en œuvre de ces méthodes en entreprise impliquera une caractérisation rigoureuse des postes de travail concernés et des tâches associées.

De même, les travaux menés sur les effets sur la santé portent sur un nombre limité de Pfas, notamment les PFAA à chaînes carbonées longues tels que le PFOA et le PFOS. Et l'évolution de la réglementation conduit les industriels à les remplacer en développant ou en utilisant de nouveaux Pfas pour pallier les interdictions ou restrictions de fabrication et d'usage. La diversité de ces substances place par ailleurs la communauté scientifique face

à l'immense défi d'évaluer la toxicité de chaque composé de cette famille. Les études toxicologiques et épidémiologiques publiées tendent toutefois à montrer des conséquences néfastes, tant chez les individus exposés que sur leur descendance. Il convient de poursuivre les travaux visant notamment à établir des liens de causes à effets, ainsi que les conséquences de l'exposition cumulée à plusieurs Pfas ou à d'autres substances chimiques dont les Pfas.

Au regard de ce constat, il importe de mettre en place, dans toutes les entreprises concernées par les Pfas, une démarche de prévention visant à supprimer les risques ou, à défaut, à limiter l'exposition des travailleurs, et particulièrement celle des

femmes ou des hommes en âge de procréer, à un niveau aussi bas que techniquement possible.

La suppression ou la substitution des Pfas demeure la mesure prioritaire, en demeurant vigilant sur le choix de l'alternative afin de ne pas « déplacer le danger ». ●

1. HPFO-DA : acide 2,3,3,3-tétrafluoro-2-(heptafluoropropoxy)propionique.
2. PBT/vPuB : persistants, bioaccumulables et toxiques/très persistants et très bioaccumulables.
3. PMT/ vPuM : persistants, mobiles et toxiques/très persistants et très mobiles.
4. Voir : Pfas Guide – Find Pfas chemicals in your products. Accessible sur : <https://pfas.chemsec.org>
5. Système international de collecte de données matières.
6. Formulaire de déclaration des matériaux.

BIBLIOGRAPHIE

[1] OCDE – *Reconciling terminology of the universe of per- and polyfluoroalkyl substances: recommendations and practical guidance*. 2021.

[2] BUCK R.C. ET AL. – Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integrated environmental assessment and management*, 2011, 7 (4), pp. 513-541.

[3] OCDE – *Toward a new comprehensive global database of per-and polyfluoroalkyl substances (PFAS): summary report on updating the OCDE 2007 list of per-and polyfluoroalkyl substances*. 2018.

[4] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY – *Fluorinated polymers in a low carbon, circular and toxic-free economy*. Technical report, 2021.

[5] GLÜGE J. ET AL. – An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas). *Environnemental science: processes & impacts*, 2020, 22, pp. 2345-2373.

[6] PARIS-DAVILA T. ET AL. – Occupational exposures to airborne per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas): a review. *American journal of industrial medicine*, 2023, 66, pp. 393-410.

[7] LUCAS K. ET AL. – Occupational exposure and serum levels of per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas): a review. *American journal of industrial medicine*, 2023, 66, pp. 379-392.

[8] MOORE S.M. ET AL. – Effective coordination, collaboration, communication, and partnering are needed to close the gaps for occupational Pfas exposure. *American journal of industrial medicine*, 2023, 66, pp. 351-352.

[9] INRS – *Base de données Biotox*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox.html>

[10] INRS – *Acide perfluorooctanoïque et ses sels (PFOA et ses sels)*. Fiche toxicologique n° 300. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_300

[11] INRS – *Acide perfluorooctanesulfonique et ses sels (PFOS et ses sels)*. Fiche toxicologique n° 298. Accessible sur : https://www.inrs.fr/publications/bdd/fichetox/fiche.html?refINRS=FICHETOX_298

[12] INRS – *Agents chimiques CMR (cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction)*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/cmr-agents-chimiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>

[13] INRS – *Perturbateurs endocriniens*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/perturbateurs-endocriniens/ce-qu-il-faut-retenir.html>

[14] EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (2019) – *d'après US National Toxicology Program (2016) ; C8 Health Project Reports (2012); WHO IARC (2017); Barry et al. (2013); Fenton et al. (2009); White et al. (2011)*.

[15] CENTRE INTERNATIONAL DE RECHERCHE SUR LE CANCER – *Acide perfluorooctanoïque (PFOA) et acide perfluorooctanesulfonique (PFOS)*. Circ/IARC, 2024, Monographie n° 135.

[16] MINISTÈRE EN CHARGE DE L'ÉCOLOGIE – *Plan d'actions interministériel sur les Pfas, 2023-2027*. Accessible sur : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/documents/2024.04.05_Plan_PFAS.pdf

[17] ARRÊTÉ DU 17 DÉCEMBRE 2019 relatif aux meilleures techniques disponibles (MTD) applicables à certaines installations de traitement de déchets relevant du régime de l'autorisation et de la directive IED. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

[18] ARRÊTÉ DU 20 JUIN 2023 relatif à l'analyse des substances per- et polyfluoroalkylées dans les rejets aqueux des installations classées pour la protection de l'environnement relevant du régime de l'autorisation. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

[19] ARRÊTÉ DU 31 OCTOBRE 2024 relatif à l'analyse des substances per- et polyfluoroalkylées dans les émissions atmosphériques des installations d'incinération, de co-incinération et d'autres traitements thermiques de déchets. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

[20] LOI N° 2025-188 DU 27 FÉVRIER 2025 visant à protéger la population des risques liés aux substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

[21] INRS – *Risques chimiques*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/chimiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>

[22] INRS – *Repérage des perturbateurs endocriniens en entreprise. Outil d'aide à l'évaluation du risque chimique*. Outil n° 16. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil16>

[23] INRS – *Acide perfluorooctanesulfonique (PFOS). Chromage électrolytique des métaux*. Fiche d'aide à la substitution FAS 36. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=FAS%2036>

[24] INERIS – *Substitution des composés per- et polyfluoroalkylés (Pfas) et des substances persistantes, mobiles et toxiques (PMT)*. Accessible sur : <https://substitution-perfluores.ineris.fr/fr>



FOCUS SUR... Les Pfas en sites et sols pollués

Anita Romero-Hariot, INRS, département Expertise et conseil technique

La présence de Pfas dans les milieux naturels relève obligatoirement d'une origine anthropique car ces substances n'existent pas naturellement, contrairement à d'autres éléments chimiques comme, par exemple, les métaux dans la croûte terrestre. Synthétisés par l'homme, les Pfas dans l'environnement proviennent de résidus de production et de rejets industriels, d'utilisation des mousses anti-incendie, de retombées de panaches d'incinérateurs, d'épandage de certains produits phytopharmaceutiques ou de boues de station d'épuration contaminées, des filières de gestion des déchets... Les études sur le comportement des Pfas dans les sols établissent que plus leur chaîne carbonée est longue, plus leur sorption¹ est élevée ; et plus le pH du milieu diminue, plus leur sorption augmente [1]. Leur transfert dans les différents milieux va s'opérer sur de plus ou moins longues distances et est dépendant de facteurs comme la nature même des Pfas (classe, spéciation, propriétés physico-chimiques, caractère amphiphile [comprenant à la fois des caractéristiques hydrophile et lipophile], longueur de la chaîne carbonée...), leur concentration, les milieux récepteurs et de transfert (air, sol, sous-sol, eaux de surface, eaux souterraines), la saturation du milieu et son activité biologique, la présence de co-polluants, l'ancienneté et la fréquence des événements ayant conduit à la pollution, le type de source (primaire, correspondant au premier point d'émission du polluant comme les rejets industriels ; secondaire, dus à la répercussion sur les milieux de la diffusion d'une source de pollution primaire ; diffuse ou localisée)...

Il est donc nécessaire, le plus en amont possible d'un projet de réhabilitation de sites et sols pollués (SSP), et notamment dans l'objectif de prévenir l'exposition des travailleurs à ces substances, de vérifier, en s'appuyant par exemple sur l'étude d'interprétation de l'état des milieux (IEM)², si la concentration de Pfas dans les sols dépasse les valeurs de fond³ les plus représentatives des milieux naturels⁴. L'état des lieux réalisé par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) [2] sur la méthodologie de fixation des valeurs de fond dans les sols des différents pays de l'Union européenne montre des variations sur les stratégies adoptées, notamment le choix des Pfas, des sites de prélèvement du sol (urbain, agricole, naturel...), des stratégies d'échantillonnage, des méthodes d'analyse et de calcul... Cependant et malgré les incertitudes qui en découlent, le BRGM a pu retenir des valeurs de fond de Pfas en Europe et aux États-Unis comprises entre 0,3 et 11 µg/kg pour les sols urbains et entre < 0,03 µg/kg et 6 µg/kg pour les sols non urbains.

Sur le plan opérationnel, la recherche et l'identification dans les sols des Pfas les plus abondants et les plus dangereux pour la santé humaine⁵ devraient être systématiques avant d'entreprendre des travaux en SSP. La recherche des Pfas dits « précurseurs » devrait également être effectuée, en raison de leur tendance à se biodégrader en acides perfluoroalkylés dans l'environnement ; ces formes générées sont plus courtes, non dégradables (dans les conditions environnementales « normales »), plus solubles, plus mobilisables dans les milieux et suspectées d'être plus toxiques. L'information préalable sur la présence des Pfas peut être obtenue sur la base des recherches documentaires et historiques concernant les sites [3], et prenant en compte les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) en activité soumises au contrôle des Pfas dans les rejets aqueux et les installations de traitement thermique des déchets soumises à leur contrôle dans les émissions atmosphériques, ou encore en consultant les résultats des études de filières⁶.

Si les recherches documentaires ne permettent pas de connaître la nature des Pfas susceptibles d'avoir contaminé les sols, une recherche avec une méthode analytique quantitative semi-globale peut être adoptée dans un premier temps (par exemple la méthode « TOP-Assay » - *Total Oxidizable Precursor*, dans les matrices « eaux » ou dans les éluats issus de lixiviation de sol) pour qualifier la présence de Pfas « précurseurs » et estimer leur quantité. Par ailleurs, pour éviter les contaminations croisées lors des investigations, une attention particulière doit être portée sur le choix du matériel de prélèvement et d'analyse, les vêtements du préleveur ou encore l'utilisation de cosmétiques, car ces matériels, équipements et produits d'usage quotidien sont susceptibles de contenir des Pfas.

Les techniques de traitement en SSP contaminés aux Pfas consistent généralement à séparer dans un premier temps les Pfas de la matrice dans laquelle ils se trouvent (eau ou sol) et donc à les concentrer. Dans un second temps, un traitement du concentrat visant à les détruire est appliqué (par exemple, un traitement thermique à très haute température – supérieure à 1000°C). Des techniques de confinement avec stabilisation des sols sont également mises en œuvre, mais elles ne détruisent pas les Pfas, elles les « immobilisent » dans une matrice solide.

En SSP, l'exposition aux Pfas peut survenir par inhalation de poussières ou d'aérosols aqueux contenant des Pfas, ou par l'inhalation sous forme de



© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS / 2016

vapeurs des Pfas les plus volatils comme les fluorotélomères d'alcools (FTOHs) et les fluorotélomères acrylates (FTACs). Elle peut également résulter de contacts de la peau ou des muqueuses avec les sols ou les eaux ou avoir lieu par ingestion, en cas de mesures de prévention et d'hygiène inappropriées. Les moyens de prévenir ces expositions sont principalement :

- la mise en œuvre de procédés de travail ne générant pas de poussière, à défaut l'utilisation d'outils raccordés à des dispositifs d'aspiration des poussières, ou l'arrosage des sols (selon la nature des sols, cela peut néanmoins entraîner une migration des Pfas aux chaînes les plus courtes dans le sous-sol et vers les nappes ; des mesures complémentaires adaptées doivent alors être mises en œuvre pour éviter ces transferts) ;
- l'utilisation d'engins de terrassement dotés de cabines en surpression avec filtration de l'air, et utilisés portes et fenêtres fermées ;
- le port de gants étanches aux poussières et à l'eau. Selon le composé, la nature du matériau des gants est plus ou moins adaptée. La base de données

ProtecPo [4] peut aider dans le choix des gants en effectuant une recherche par n°CAS de l'agent chimique. À titre d'exemple, pour le PFOS, le résultat indique :

- une forte résistance à la perméation du matériau butyle,
- une résistance moyenne des matériaux nitrile, néoprène et fluoroélastomère,
- une faible résistance du latex ;
- le port de vêtements de travail à manches et jambes longues, éventuellement le port d'une combinaison de type 5 à usage unique (étanche aux poussières) ;
- le port de lunettes de protection ou d'une visière ;
- le cas échéant, le port d'un appareil de protection respiratoire (APR) anti-poussière ou combiné anti-poussière / anti gaz (pour les volatils comme le FTOH par exemple). Selon la durée des tâches, le niveau d'empoussièrement généré par le processus mis en œuvre, la teneur en polluants dans les sols, et la température extérieure, le choix de l'APR doit être adapté [5]. Il convient de préciser qu'un masque de protection respiratoire est efficace uniquement s'il est choisi à



la bonne taille et porté correctement ajusté au visage, sur une peau imberbe. Une brochure de l'INRS [6] donne des précisions sur les tests à réaliser pour vérifier l'efficacité des protections respiratoires portées ;

- le respect des règles d'hygiène :
 - interdiction de boire, manger ou fumer sur le site, pour supprimer les risques d'ingestion des polluants liés aux contacts mains-bouche ;
 - mise à disposition d'une base vie et d'équipements facilement nettoyables et entretenus quotidiennement, avec un vestiaire dédié pour que les salariés y retirent leurs équipements de protection individuelle, leurs vêtements de travail (y compris les chaussures), prennent une douche, se rhabillent avec leurs vêtements de ville rangés dans un vestiaire propre dédié. Cela a pour objectif d'éviter la contamination des vêtements de ville et de l'habitacle des véhicules et, par conséquent, celle de tierces personnes.

Compte tenu du caractère perturbateur endocrinien de certains Pfas, il est préconisé de réduire autant que possible l'exposition des travailleurs à ces substances. La surveillance des expositions des travailleurs au Pfas se confronte cependant à certaines difficultés. Il n'y a pas encore, en France, de valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP-8h) pour les Pfas (ou les composés fluorés organiques). L'Allemagne a fixé pour le PFOS une VLEP-8h de 0,01 mg/m³ (fraction inhalable) [7], mais ses modalités de mesurage ne sont pas renseignées. Une méthodologie de prélèvement individuel et d'analyse des Pfas est en cours de développement à l'INRS. Elle pourra à terme être utilisée pour surveiller l'exposition des travailleurs du secteur des SSP, la valeur allemande servant alors de repère pour définir les mesures de prévention. Compte tenu de l'ubiquité des Pfas dans l'environnement et de l'imprégnation de la population générale à ces substances, la bio-surveillance professionnelle des Pfas ne pourrait être

recommandée qu'à la condition *sine qua none* d'une caractérisation précise de la ou des substances dans le sol. A ce jour, deux fiches issues de la base de données Biotox sont disponibles pour le suivi du PFOA sanguin et du PFOS sanguin [8]. À défaut de caractérisation, la grande incertitude sur l'interprétation des résultats de biométrie rendrait inappropriée le suivi des travailleurs en SSP. L'Anses expertise actuellement plusieurs substances parmi les plus abondantes dans l'environnement afin d'établir des valeurs biologiques de référence, ce qui devrait permettre à terme de disposer de nouvelles fiches dans la base de données Biotox pour aider les services de prévention et de santé au travail dans leur stratégie de suivi biométrie des travailleurs exposés aux Pfas. ●

1. Capacité du polluant à se fixer sur les particules du sol, et donc à se concentrer dans cette matrice.
2. Le principe de l'IEM est de contrôler par des mesures in situ l'état des milieux et de comparer les résultats aux valeurs de référence.
3. Pour un composé chimique, la valeur de fond (ou encore « bruit de fond » ou « pollution de fond ») dans un milieu environnemental permet de discriminer la part attribuable à l'activité d'un site, de celle présente naturellement dans ce milieu (source géogène) ou issue d'autres activités (source anthropogène) sans lien avec celle du site.
4. Les valeurs de fond diffèrent des valeurs utilisées par les gestionnaires de travaux en SSP en vue de l'établissement du plan de gestion qui tiennent compte de la compatibilité du sol avec son usage futur.
5. Le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) a classé le PFOA (acide perfluorooctanoïque) « cancérogène pour l'homme » du groupe 1 et le PFOS (acide perfluorooctane sulfonique) « peut-être cancérogène pour l'homme » du groupe 2B.
6. Cf. : Article pp. 77 (Note technique) dans ce n° ; et : Note d'accompagnement – Rapport d'étude – Connaissances relatives à la réglementation, à l'identification, aux propriétés chimiques, à la production et aux usages des composés de la famille des perfluorés (tome 1). Anses, mars 2015.

BIBLIOGRAPHIE

[1] INERIS – *Comportement des substances per- et polyfluoroalkylées (Pfas) dans les sols et les eaux souterraines. Synthèse bibliographique.* Rapport, 2024, 26 p.

[2] BRGM – *État des lieux sur la méthodologie pour la détermination des valeurs de fonds en Pfas dans les sols européens.* Rapport final BRGM/RP-73455-FR-V2, 2025.

[3] ROMERO-HARIOT A. ET AL. – *Surveillance des expositions aux agents chimiques des travailleurs impliqués dans la gestion des sites et sols pollués : état des lieux et préconisations. Références en santé au travail,* 2025, 182, TC 184, pp. 37-60.

Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TC%20184>

[4] INRS – *Logiciel ProtecPo.* Outil n° 28. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil28>

[5] INRS – *Les appareils de protection respiratoire. Choix et utilisation.* ED 6106. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206106>

[6] INRS – *Protection respiratoire. Réaliser des essais d'ajustement.* ED 6273. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206273>

[7] IFA – *Technische Regeln für Gefahrstoffe: MAK-Werte 2025 (Règles techniques pour les mesures d'exposition professionnelles aux substances dangereuses).* IFA (Institut fédéral allemand pour la santé et la sécurité au travail), TRGS 900, 2025 (en allemand).

[8] INRS – *Base de données Biotox.* Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/biotox.html>

Participez à la recherche



Risques chimiques

→ Quelle valeur limite d'exposition professionnelle choisir en l'absence de valeur française ? Testez la méthodologie proposée par l'INRS

Votre entreprise ou laboratoire procède à des mesures d'exposition à des substances chimiques, mais se trouve parfois dans l'impossibilité d'interpréter les niveaux d'exposition des salariés lorsque les substances mesurées ne disposent pas de valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) française.

L'INRS a besoin de vous pour tester une méthodologie qui guide l'utilisateur dans le choix d'une valeur de référence (VLEP proposée par un autre organisme, ou intervalle de valeurs dans laquelle la VLEP de la substance pourrait se situer si elle existait) permettant d'interpréter les résultats des mesurages quand la substance ne dispose pas de VLEP française.

> Comment se dérouleront les tests ?

Une réunion de présentation de la méthodologie et de l'organisation des tests se tiendra en visioconférence dans le courant du premier trimestre 2026. À l'issue de cette réunion, chaque participant recevra, par courriel, un lien vers une liste de 50 substances. Pour chaque substance, il devra répondre à la question : quelle valeur de référence choisiriez-vous en vous appuyant sur la méthodologie proposée ? Le temps estimé pour réaliser ce travail est d'environ 90 minutes.

Une réunion de restitution des réponses des participants sous forme de synthèse anonymisée et de conclusion sera organisée pour l'ensemble des participants, à la fin du premier semestre 2026.



Vous souhaitez participer ?

Contactez Barbara Savary : 03 83 50 98 64 • barbara.savary@inrs.fr ou Jean-François Sauvé : 03 83 50 21 46 • jean-francois.sauve@inrs.fr
INRS, département Métrologie des polluants • 1, rue du Morvan, CS 60027, 54519 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex

Actualité juridique

LES CONTOURS DE L'OBLIGATION DE SÉCURITÉ DU SALARIÉ

Cour de cassation, chambre sociale, 26 février 2025, n° 22-23.703.

PÔLE
INFORMATION
JURIDIQUE
INRS,
département
Études, veille
et assistance
documentaires

Faits et procédure

Un salarié, engagé initialement en tant que technico-commercial, devenu ensuite responsable d'une agence dans la même entreprise, est licencié pour faute grave en raison de son comportement jugé inapproprié.

Dans cette affaire, des témoignages de salariés confirmaient que ce responsable avait adopté, à l'égard des collaboratrices placées sous son autorité, un comportement lunatique, injustement menaçant, malsain et agressif et un mode de management maladroit et empreint d'attitudes colériques, ayant provoqué le départ de l'une d'elles.

Selon l'employeur, ce comportement était de nature à constituer un manquement à son obligation en matière de sécurité et de santé à l'égard des personnes placées sous sa responsabilité, rendant impossible la poursuite de son contrat de travail, manquement qui constituait en l'espèce une faute grave justifiant son licenciement.

C'est dans ce contexte que le salarié licencié a saisi le conseil de prud'hommes afin de contester le motif de rupture de son contrat de travail.

La cour d'appel, dans son arrêt du 23 septembre 2022, estime que le licenciement du salarié est sans cause réelle et sérieuse et condamne l'employeur au paiement de diverses sommes. En effet, pour les juges, le salarié n'a pas manqué à son obligation de sécurité car :

- aucun courrier de reproche sur son comportement ou son management n'a été adressé à l'employeur avant le licenciement du salarié ;
- aucun salarié n'a été placé en arrêt de travail ;
- et aucune alerte de la médecine du travail ou de l'Inspection du travail n'a été émise concernant le comportement du salarié mis en cause.

L'employeur conteste la décision et forme un pourvoi devant la Cour de cassation.

Décision de la Cour de cassation

Selon la Cour de cassation, le comportement du responsable d'agence, ayant entraîné le départ d'une salariée placée sous son autorité, caractérise un manquement du responsable à son obligation de prendre soin, en fonction de sa formation et selon

ses possibilités, de sa santé et de sa sécurité ainsi que de celles des autres personnes concernées par ses actes ou ses omissions au travail. Un tel comportement a bien rendu impossible le maintien du contrat de travail.

Pour la Cour de cassation, l'absence de courrier de reproche, d'arrêt de travail ou d'alerte de la médecine du travail, n'était pas de nature à écarter le manquement du salarié à ses obligations contractuelles.

Au regard de ces éléments, elle casse et annule l'arrêt rendu par la cour d'appel et renvoie les parties devant une autre cour d'appel, pour que l'affaire soit rejugée.

L'obligation de sécurité du salarié

Conformément aux dispositions de l'article L. 4122-1 du Code du travail, « *il incombe à chaque travailleur de prendre soin, en fonction de sa formation et selon ses possibilités, de sa santé et de sa sécurité ainsi que de celles des autres personnes concernées par ses actes ou ses omissions au travail* ». En cas de manquement à cette obligation, le salarié s'expose à une sanction disciplinaire pouvant aller jusqu'au licenciement.

Une obligation distincte de celle de l'employeur

Les obligations incombant au salarié en matière de santé et de sécurité au travail, ne sont pas de la même nature que celles qui relèvent de la responsabilité de l'employeur. En effet, s'il doit être impliqué dans la prévention des risques, l'obligation principale du salarié consiste à se conformer aux prescriptions de l'employeur et aux règles que ce dernier a posées. À défaut, il peut être sanctionné. En effet, l'article L. 4122-1 du Code du travail précise expressément, que les dispositions qui y sont mentionnées concernant l'obligation de sécurité du salarié « *ne remettent pas en cause le principe de la responsabilité de l'employeur* ». Ce dernier demeure donc responsable des infractions commises liées au non-respect des dispositions du Code du travail en matière de santé et sécurité.

La jurisprudence constante précise que l'obligation de sécurité du salarié s'applique même si celui-ci

n'a pas reçu de délégation de pouvoirs de la part de l'employeur. La Cour de cassation a ainsi affirmé que « selon l'article L. 4122-1 du Code du travail, il incombe à chaque travailleur de prendre soin, en fonction de sa formation et selon ses possibilités, de sa sécurité et de sa santé ainsi que de celles des autres personnes concernées du fait de ses actes ou de ses omissions au travail ; que dès lors, alors même qu'il n'aurait pas reçu de délégation de pouvoirs, il répond des fautes qu'il a commises dans l'exécution de son contrat de travail ».¹

À titre d'exemple, la responsabilité d'un salarié, engagé en qualité de responsable de magasin, a été retenue par la Cour de cassation, car ce dernier n'avait pas pris les mesures nécessaires pour remplacer un escabeau cassé particulièrement dangereux pour le personnel. Pour les magistrats, ce comportement caractérisait un manquement aux obligations du contrat de travail rendant impossible le maintien du salarié dans l'entreprise et justifiant son licenciement pour faute grave².

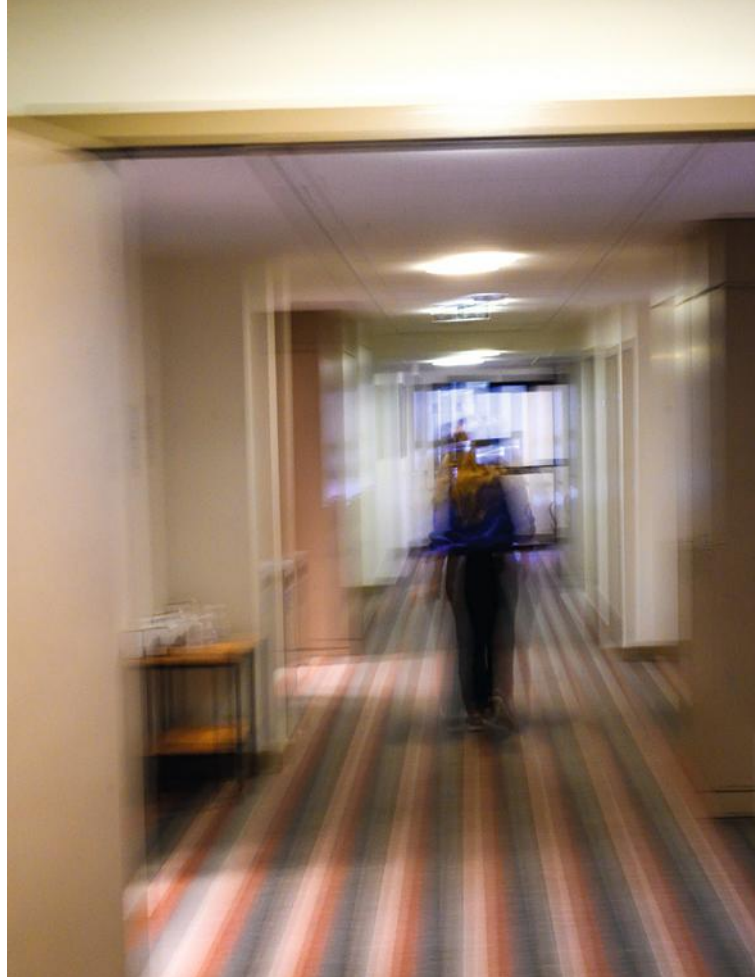
Dans une autre affaire, un responsable d'exploitation a été licencié pour faute grave, en raison de la « mise en péril de la sécurité des salariés » après avoir laissé ces derniers utiliser, pendant plusieurs mois, du matériel nécessitant des travaux de mise en conformité. Dans cette affaire, les juges ont notamment relevé que sa fonction de responsable d'exploitation impliquait la surveillance de l'état du matériel dans une perspective de rentabilité, mais aussi de sécurité et un respect rigoureux de la réglementation en matière de prévention des risques. De plus, le salarié avait reçu une formation à ce sujet et malgré sa connaissance des rapports de vérifications périodiques qui préconisaient le remplacement des bras de fourche du chariot élévateur et la mise à l'arrêt de l'engin, il avait différé les ordres de réparation et avait atténué sa responsabilité en antichambreant les bons de commande. Ces éléments ont ainsi été qualifiés de manquement grave, rendant impossible son maintien dans l'entreprise³.

Contenu de l'obligation de sécurité du salarié

L'obligation de sécurité du travailleur, telle que prévue par l'article L. 4122-1 du Code du travail, s'apprécie en fonction de la formation de l'intéressé et de ses possibilités et conformément aux instructions qui lui sont données par l'employeur. Cela signifie, que seront pris en compte, pour statuer sur son éventuelle responsabilité :

- sa fonction, sa qualification, son âge, l'expérience acquise dans l'entreprise ;
- son respect des instructions et consignes données par l'employeur, notamment dans le cadre du règlement intérieur.

En pratique, cette obligation de sécurité implique pour le salarié :



© Gael Kerbaol / INRS / 2023

- de respecter les instructions et les directives données par l'employeur ;
- d'utiliser les équipements de travail et les équipements de protection qui sont mis à sa disposition conformément aux instructions et aux modalités d'utilisation précisées par l'employeur ;
- de ne pas se mettre en danger lui-même, ni mettre en danger ses collègues.

Au regard de ces dispositions, la Cour de cassation a notamment considéré qu'avait commis un manquement grave rendant impossible son maintien dans l'entreprise, un couvreur qui avait décroché son harnais de la ligne de vie tandis qu'il procédait, en bordure de toit, à un nettoyage du chantier. Ce comportement constituait un non-respect d'une règle de sécurité et un danger pour lui-même, alors qu'il était pourtant formé au port du harnais en cas de travaux en hauteur et disposait des connaissances et des instruments propres à lui faire prendre conscience de la nécessité des consignes pour sa sécurité⁴.

La jurisprudence est également abondante en matière de consommation d'alcool dans la mesure où celle-ci peut engendrer des risques pour le salarié lui-même, ses collègues et les tiers. C'est ainsi qu'un salarié, engagé en tant que chauffeur livreur manutentionnaire, a été licencié pour faute grave pour avoir effectué une livraison sous l'emprise de l'alcool⁵.

Le salarié ne doit pas non plus mettre en danger les autres. C'est ainsi que la Cour de cassation a considéré que le directeur d'un magasin qui n'avait pas fait réparer une mezzanine instable et dange-



reuse, ni interdit l'accès au personnel, devait être sanctionné⁶.

Droit d'alerte en cas de danger

Dans le cadre de son obligation de sécurité, le salarié dispose également d'un droit d'alerte en cas de danger grave et imminent, tel que le prévoit l'article L. 4131-1 du Code du travail.

En effet, le salarié doit immédiatement signaler à l'employeur ou à son représentant toute situation de travail « dont il a un motif raisonnable de penser qu'elle présente un danger grave et imminent pour sa vie ou sa santé » ainsi que de toute défectuosité qu'il constate dans les systèmes de protection.

Droit de se retirer d'une situation dangereuse

Conformément à l'article L. 4131-1 du Code du travail, le salarié peut se retirer de toute situation « dont il a un motif raisonnable de penser qu'elle présente un danger grave et imminent pour sa vie ou sa santé ». Ce droit doit permettre à tout salarié d'assurer sa propre sécurité, sans aboutir à mettre des collègues dans une situation difficile. En effet, il doit être exercé de telle manière qu'il ne puisse créer pour autrui une nouvelle situation de risque grave et imminent⁷.

Les sanctions disciplinaires encourues par le salarié

Le non-respect, par le salarié, de son obligation de sécurité constitue une faute. Dès lors, l'employeur est en droit de sanctionner, sur le terrain disciplinaire, le salarié qui manque à cette obligation de sécurité. En fonction de la gravité de la faute commise, la sanction encourue peut aller jusqu'au licenciement. Cette gravité s'apprécie en tenant compte du contexte des faits, de l'ancienneté du salarié, des conséquences que peuvent avoir les agissements du salarié et de l'existence ou de l'absence de précédents disciplinaires.

C'est ainsi que dans l'exemple précité concernant le couvreur qui avait décroché son harnais de la ligne de vie pendant un nettoyage sur un toit⁸, le licenciement pour faute grave était justifié parce que, selon la Cour de cassation, ce décrochage « constituait un non-respect d'une règle de sécurité et un danger pour le salarié ».

À noter : la responsabilité disciplinaire du salarié peut être engagée pour manquement à son obligation de sécurité que celui-ci ait ou non causé un accident.

L'obligation de sécurité du salarié et notamment celle de prendre soin de la santé et de la sécurité des autres personnes concernées par ses agissements va se traduire également en matière de harcèlement. En application du Code du travail, encourt une sanction disciplinaire tout salarié ayant procédé à des agissements de harcèlement moral⁹ ou des faits de harcèlement sexuel¹⁰.

Responsabilité pénale du salarié

Seul l'employeur ou son délégataire peut se voir condamné au paiement d'une amende en cas d'infractions aux règles de santé et de sécurité mentionnées à l'article L. 4741-1 du Code du travail. Dans ce cadre, seul le salarié titulaire d'une délégation de pouvoirs valide qui, par sa faute personnelle, a méconnu l'une de ces obligations peut voir sa responsabilité engagée à la place de celle de l'employeur.

La responsabilité du salarié peut néanmoins être engagée sur la base du Code pénal, en matière de santé et de sécurité, en l'absence de toute délégation de pouvoirs, en cas d'accident ayant provoqué des dommages corporels ou la mort. Le salarié peut ainsi notamment être poursuivi pour homicide involontaire¹¹ ou atteinte involontaire à l'intégrité physique de la personne¹².

Responsabilité civile du salarié

En cas d'accident de travail, la reconnaissance d'une faute inexcusable peut entraîner une majoration, de la rente versée à la victime si cette faute a été commise par l'employeur¹³. Si c'est le salarié qui a commis « une faute volontaire d'une exceptionnelle gravité exposant sans raison valable son auteur à un danger dont il aurait dû avoir conscience »¹⁴, la rente qui lui sera versée peut être minorée¹⁵.

À noter : selon les juges, une faute de négligence, d'imprudence ou d'inattention du salarié ne peut être qualifiée de faute inexcusable¹⁶. La faute intentionnelle du salarié est pour sa part privative de toute indemnisation¹⁷. Elle n'est retenue par les juges que très exceptionnellement. ●

1. Cour de cassation, chambre sociale, 28 février 2002, n°00-41.220.

2. Cour de cassation, chambre sociale, 6 juin 2007, n°05-45.984.

3. Cour de cassation, chambre sociale, 20 novembre 2013, n°12-21.941.

4. Cour de cassation, chambre sociale, 31 janvier 2012, n°10-21.472.

5. Cour de cassation, chambre sociale, 21 avril 2010, n°08-70.411.

6. Cour de cassation, chambre sociale, 23 juin 2010, n°09-41.607.

7. Article L. 4132-1 du Code du travail.

8. Cour de cassation, chambre sociale, 31 janvier 2012, n°10-21.472..

9. Article L. 1152-5 du Code du travail.

10. Article L. 1153-6 du Code du travail.

11. Article 221-6 du Code pénal.

12. Article 222-19 du Code pénal.

13. Article L. 452-1 du Code de la sécurité sociale.

14. Cour de cassation, 2^e chambre civile, 27 janvier 2004, pourvoi n°02-30.693.

15. Article L. 453-1 alinéa 2 du Code de la sécurité sociale.

16. Cour de cassation, Assemblée plénière, 24 juin 2005, pourvoi n°03-30.038.

17. Article L. 453-1 alinéa 1 du Code de la sécurité sociale.

Actualité juridique

POSTE À RISQUE ET CONSOMMATION D'ALCOOL

Cour de cassation, chambre sociale, 26 février 2025, n° 23-10.506.

PÔLE
INFORMATION
JURIDIQUE
INRS,
département
Études, veille
et assistance
documentaires

Rappel des faits et de la procédure

Un salarié, engagé en qualité d'opérateur polyvalent, a été soumis au sein de son entreprise à un contrôle aléatoire d'alcoolémie, présentant un résultat de 0,28 mg d'alcool par litre d'air expiré, alors qu'il occupait un poste à risque¹ sur un chantier de meulage.

À noter : l'alcoolémie, c'est-à-dire le taux d'alcool présent dans le sang ou dans l'air expiré, se mesure soit en grammes par litre de sang, grâce à une analyse de sang, soit en milligrammes par litre d'air expiré, par éthylomètre.

Le salarié a alors été convoqué à un entretien préalable à un licenciement et a été mis à pied à titre conservatoire, dans l'attente de la décision.

Considérant que le salarié avait commis une faute grave rendant impossible le maintien de son contrat de travail, en se présentant sur son lieu de travail après avoir bu de l'alcool, l'employeur l'a licencié pour faute grave.

Le salarié a alors saisi la juridiction prud'homale pour contester la rupture de son contrat de travail. La décision rendue en première instance, puis l'arrêt rendu par la cour d'appel, ont débouté le salarié de sa demande et ont considéré que le licenciement était bien justifié pour faute grave.

Décision de la Cour de cassation

Le salarié forme un pourvoi devant la Cour de cassation, qui le rejette et confirme son licenciement pour faute grave.

Pour contester son licenciement, le salarié faisait valoir que pour lui opposer les résultats du contrôle, il aurait fallu prendre en compte la marge d'erreur prévue par l'arrêté du 8 juillet 2003 relatif au contrôle des éthylomètres, et celle prévue par la notice de l'appareil utilisé pour le contrôle pour corriger le résultat du contrôle d'alcoolémie dont il avait fait l'objet.

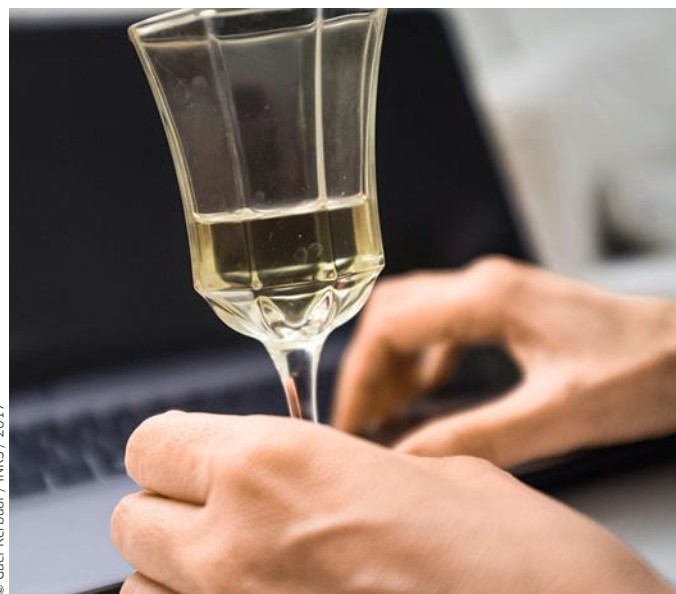
À noter : les dispositions de l'arrêté de 2003 prévoient en effet que les erreurs maximales tolérées, en plus ou en moins, applicables lors de la vérification périodique ou de tout contrôle en service sont de :

- 0,032 mg/l pour les concentrations en alcool dans l'air inférieures à 0,4 mg/l ;
- 8 % de la valeur mesurée pour les concentrations égales ou supérieures à 0,4 mg/l et inférieures ou égales à 2 mg/l ;
- 30 % de la valeur mesurée pour les concentrations supérieures à 2 mg/l.

Ces marges d'erreur, qui ne sont pas des marges de « tolérance », sont régulièrement utilisées en cas de contentieux mettant en cause des conducteurs ayant commis une infraction pour conduite sous l'empire d'un état alcoolique. Les juges vérifient dans de telles situations que, dans le procès-verbal qui fonde la poursuite, il a été tenu compte, pour interpréter la mesure du taux d'alcool effectuée au moyen d'un éthylomètre, des marges d'erreur maximales prévues par ce texte.

Ces éléments auraient porté le résultat du contrôle réalisé entre 0,22 mg/l d'air et 0,24 mg/l d'air, soit un taux inférieur à la limite réglementaire de 0,25 mg/l d'air.

Il convient de préciser que cette limite réglementaire de 0,25 mg/l d'air est prévue par l'article R. 234-1 du Code de la route et concerne donc



© Gael Kerbaol / INRS / 2017

les salariés conduisant des véhicules. En effet, le taux d'alcool limite autorisé lorsque l'on conduit un véhicule est de 0,5 g d'alcool par litre de sang soit 0,25 mg d'alcool par litre d'air expiré.

Le Code du travail pour sa part ne prévoit pas de limite réglementaire au-delà de laquelle il est interdit de se présenter sur son poste de travail, mais prévoit plus largement qu'« il est interdit de laisser entrer ou séjourner dans les lieux de travail des personnes en état d'ivresse ».

La Cour de cassation ne suit donc pas le raisonnement du salarié et rappelle que :

- le salarié s'était présenté sur son lieu de travail en état d'imprégnation alcoolique avec un taux de 0,28 milligramme d'alcool par litre d'air expiré, et qu'il avait travaillé dans cet état alors qu'il occupait un poste à risque sur un chantier de meulage ;
- l'employeur a une obligation de sécurité, dont toute violation peut entraîner une mise en danger compte tenu des risques particuliers présentés par le site sur lequel le salarié travaillait.

Au regard de ces éléments, la Cour de cassation estime que, malgré la marge d'erreur tolérée, le salarié avait commis une violation de ses obligations contractuelles, rendant impossible son maintien dans l'entreprise. Le licenciement pour faute grave était donc bien justifié.

Cet arrêt est l'occasion de rappeler les dispositions prévues par la réglementation pour prévenir les risques liés à certaines pratiques addictives, et en particulier liés à la consommation d'alcool.

Alcool et travail : réglementation applicable **Interdiction de consommer de l'alcool au travail et de travailler « en état d'ivresse »**

Le Code du travail limite strictement les boissons alcoolisées pouvant être introduites sur le lieu de travail. Ainsi « aucune boisson alcoolisée autre que le vin, la bière, le cidre et le poiré n'est autorisée sur le lieu de travail »².

À noter : le Code du travail³ sanctionne par une amende de 3 750 € maximum, le non-respect de cette obligation. L'amende est appliquée autant de fois qu'il y a de salariés dans l'entreprise concernée, indépendamment du nombre d'infractions relevées dans le procès-verbal établi par les agents de contrôle de l'inspection du travail.

Ainsi, par exemple, la mise à disposition de spiritueux dans l'entreprise en présence de 50 salariés fait encourir une amende théorique maximale de 187 500 €.

Dans certains cas, l'employeur peut toutefois considérer, notamment au regard de l'activité de l'entreprise, que la consommation de boissons



© Cédric Pasquini pour l'INRS / 2019

alcoolisées est susceptible de porter atteinte à la sécurité et à la santé physique et mentale des travailleurs. Afin de prévenir tout risque d'accident, il a alors la possibilité de prévoir dans le règlement intérieur ou, à défaut, par une note de service, une disposition limitant, voire interdisant totalement, toute consommation d'alcool. De telles mesures doivent cependant être justifiées par la nature des tâches à accomplir et proportionnées au but recherché.

Le Code du travail prévoit par ailleurs qu'il est interdit « *de laisser entrer ou séjourner dans les lieux de travail des personnes en état d'ivresse* ». Cette notion d'état d'ivresse peut parfois être difficile à évaluer par les employeurs, puisque le recours à un éthylotest ne peut être systématique.

Intégration dans le document unique des risques liés aux pratiques addictives

Les pratiques addictives concernent de nombreux salariés quels que soit le secteur d'activité ou la catégorie socioprofessionnelle. Ces consommations, qu'il s'agisse de drogue ou d'alcool, qu'elles soient occasionnelles ou répétées, comportent des risques pour la santé et la sécurité des salariés. L'obligation générale de sécurité, qui incombe à l'employeur, doit donc le conduire à prendre toutes les mesures nécessaires pour assurer la sécurité et protéger la santé des travailleurs⁴. Les risques liés aux pratiques addictives, même si ces consommations restent occasionnelles, doivent être pris en compte dans l'évaluation des risques et intégrés dans le document unique d'évaluation des risques professionnels, afin que soient mises en place les mesures de prévention adaptées⁵.

Intégration de dispositions dans le règlement intérieur

En complément du document unique, le règlement intérieur est un outil juridique permettant d'encadrer la consommation d'alcool au travail et de prévenir les pratiques addictives. Il convient toutefois d'être vigilant quant aux dispositions qui y seront insérées, dans la mesure où celui-ci ne peut aborder que les points relatifs à la santé, la sécurité et la discipline⁶. Il ne peut en outre contenir aucune disposition apportant, aux droits des personnes et aux libertés individuelles et collectives, des restrictions qui ne seraient pas justifiées par la nature des tâches à accomplir.

À titre d'exemples, il est possible de prévoir dans le règlement intérieur :

- des mesures d'interdiction totale ou partielle de l'alcool sur le lieu de travail si les risques rencontrés sur les postes de travail le justifient⁷ ;
- des mesures d'encadrement des pots d'entreprise ;
- la liste des postes pour lesquels un dépistage de consommation d'alcool peut être pratiqué, ainsi

que les modalités pratiques de réalisation du test de dépistage ;

- le rappel des dispositions du Code de la route pour les salariés utilisant un véhicule (notamment l'article R. 234-1 : interdiction de conduire avec une concentration d'alcool dans le sang égale ou supérieure à 0,50 gramme par litre ou une concentration d'alcool dans l'air expiré égale ou supérieure à 0,25 mg/l).

L'organisation des secours et la conduite à tenir face à un travailleur présentant un trouble du comportement au travail

Le Code du travail précise qu'il est interdit de laisser entrer ou séjourner dans les lieux de travail des personnes en état d'ivresse⁸. Or, l'état d'ivresse est particulièrement difficile à définir médicalement.

Par ailleurs, l'employeur, responsable de la sécurité et de la santé physique et mentale des travailleurs, doit prévoir une procédure spécifique pour organiser dans son entreprise les soins d'urgence à donner aux salariés accidentés et aux malades⁹.

Au regard de ces dispositions, une procédure relative à l'organisation des secours face à un travailleur présentant un « *trouble du comportement* » doit être définie au sein de l'entreprise, après avis du médecin du travail. Ces mesures, qui sont prises en liaison notamment avec les services de secours d'urgence extérieurs à l'entreprise, doivent être adaptées à la nature des risques.

Le trouble du comportement peut être défini comme une modification rapide du comportement habituel, où le salarié se retrouve notamment dans l'incapacité d'assurer son travail en toute sécurité. Celui-ci peut présenter une torpeur, une agitation incontrôlable ou tout autre signe extérieur suspect. Plusieurs étapes sont à considérer.

- La prise en charge de l'urgence et l'alerte : lorsqu'un salarié constate que l'un de ses collègues présente un trouble du comportement, il lui revient d'alerter l'employeur (ou son représentant) et les secours conformément aux consignes internes à l'entreprise.
- Le retrait du travailleur de toute activité dangereuse : le salarié doit immédiatement être retiré de toute activité dangereuse. En pratique, il conviendra de s'adapter au cas par cas en fonction de la situation et de la configuration du lieu de travail, et par exemple, d'arrêter une machine utilisée par le travailleur, ou d'éloigner le salarié vers un endroit sûr et calme tel que l'infirmerie. Lorsque l'isolement de la victime n'est pas possible, il peut être nécessaire d'évacuer les autres occupants du lieu de travail. Le sauveteur secouriste du travail restera avec le salarié afin de ne pas le laisser seul. Dans tous les cas, il convient de s'assurer de l'absence d'autres dangers (fenêtre ouverte, objets tranchants...).



- La demande d'avis médical : lorsqu'un salarié présente un trouble du comportement, un contact avec un médecin est indispensable. Dans la procédure concernant l'organisation des secours, il convient donc de définir le praticien de santé à contacter en fonction des moyens de l'entreprise. Ce peut être, par exemple, le médecin d'un service de prévention et de santé au travail ou d'un service d'aide médicale urgente (Samu). Pour mémoire, les sapeurs-pompiers et le Samu peuvent se transférer entre eux les appels téléphoniques, conformément à l'article R. 6311-6 du Code de la santé publique. Le sauveteur secouriste du travail en contact avec le médecin devra suivre les prescriptions médicales. Celles-ci peuvent consister, par exemple, en la réalisation de gestes de secourisme, dans l'attente des secours externes (sapeurs-pompiers, service médical d'urgence et de réanimation - Smur), ou du transport de la victime vers un centre hospitalier par un moyen adapté. Dans certains cas, un retour à domicile peut être décidé. Il revient au médecin d'en définir les modalités en fonction des renseignements fournis par le sauveteur secouriste du travail ou la victime.
- L'analyse de l'incident ou de l'accident : à l'issue de la prise en charge du travailleur, il est conseillé à l'employeur de relever les différentes informations qui lui permettront d'analyser :
 - d'une part, l'événement (horaire, lieu, tâches effectuées au cours de la journée, témoignages des collègues témoins de l'événement...). Ceci permettra éventuellement de définir des mesures de prévention à mettre en œuvre ;
 - d'autre part, le déroulement des secours, afin d'améliorer si besoin leur organisation.
- Le retour du salarié à son poste de travail : au retour du salarié à son poste de travail, l'employeur, tout en respectant sa vie privée ainsi que les informations relevant du secret médical, le recevra pour évoquer l'épisode précédent et rechercher des éléments sur lesquels des mesures de prévention sont à mettre en œuvre (organisation du travail...). Il peut éventuellement solliciter le médecin du travail pour que soit effectué un examen médical à la demande de l'employeur, dans le cadre de l'article R. 4624-34 du Code du travail. L'objectif de cette visite est de connaître la nécessité, ou non, d'aménager le poste de travail du salarié. Elle permet également au médecin du travail d'envisager éventuellement d'autres examens médicaux. La visite effectuée à la demande de l'employeur doit comporter, de la part de ce dernier, un document écrit argumenté et basé sur les faits constatés. L'aide d'un travailleur social peut être proposée au salarié. Enfin, pour qu'une procédure dite de « Troubles du comportement » soit réussie et complète, il conviendra d'informer les travailleurs, notamment sur :
 - les différentes causes des troubles du comportement ;
 - le respect de la vie privée du travailleur et l'absence de jugement de valeur sur son comportement. Seuls les faits constatés sont à prendre en compte ;
 - l'alerte. Celle-ci ne doit pas être perçue comme une délation, mais comme un moyen d'éviter un accident ou la dégradation de la santé du salarié et/ou des tiers ;
 - la procédure : document et procédure accessibles aux personnels de l'entreprise et aux personnels des entreprises extérieures.
- Moyens de contrôle de l'imprégnation éthylotest à disposition de l'employeur (éthylotest) : l'état d'ébriété des salariés peut constituer un risque important pour le salarié, ses collègues ou les tiers. Bien que le recours au contrôle par éthylotest ne doive pas être systématique, l'employeur peut recourir au contrôle de l'alcoolémie sous réserve du respect de certaines dispositions. Le contrôle par éthylotest doit en effet être justifié par des raisons de sécurité et ne concerner que les salariés dont les fonctions sont de nature à exposer les personnes ou les biens à un danger. La liste des postes pour lesquels un contrôle peut être pratiqué doit être précisée dans le règlement intérieur. **À noter** : la jurisprudence retient à ce titre certains postes pour lesquels l'imprégnation alcoolique peut constituer un risque pour le salarié, ses collègues ou des tiers : conducteurs de véhicule automobile, conducteurs de poids lourds, ouvriers caristes, chauffeurs-livreurs. En tout état de cause, il convient de s'interroger sur l'intérêt du dépistage. En effet, les consommations d'alcool ont des origines mixtes, liées à la vie privée mais aussi au travail (stress, horaires atypiques, port de charges lourdes...). Aussi, la prévention du risque lié aux pratiques addictives repose sur une approche collective. Le dépistage de la consommation d'alcool n'est qu'un outil complémentaire aux différentes actions de prévention à mettre en place. ●

1. Le terme « poste à risque » est ici utilisé pour évoquer un poste jugé comme présentant des risques pour la santé et la sécurité des salariés à la suite de l'évaluation des risques.

2. Article R. 4228-20 du Code du travail.
 3. Article L. 4741-1 du Code du travail.
 4. Article L. 4121-1 du Code du travail.
 5. Article R. 4121-1 du Code du travail.
 6. Article L. 1321-1 du Code du travail.
 7. Article R. 4228-20 du Code du travail.
 8. Article R. 4228-21 du Code du travail.
 9. Article R. 4224-16 du Code du travail.

ÉCLAIRAGE DES LIEUX DE TRAVAIL :

**SANTÉ ET SÉCURITÉ
DES SALARIÉS**

**JOURNÉE
TECHNIQUE**

**MARDI 31 MARS
2026**

UNIQUEMENT DIFFUSÉE SUR INTERNET

L'éclairage au travail est un élément essentiel pour la santé et la sécurité des salariés. Il concerne les espaces de travail intérieur et extérieur et doit réduire les risques de chute ou de collision.

Un éclairage adapté en quantité et en qualité ne se limite pas à assurer une bonne visibilité, il doit également prendre en compte les impacts de la lumière sur la santé des salariés. Ces risques peuvent être maîtrisés par des installations d'éclairage artificiel et des apports en lumière naturelle correctement dimensionnés.

Cette journée technique s'adresse aux employeurs et aux professionnels amenés à concevoir ou aménager des lieux de travail, aux médecins du travail et aux préventeurs.

Elle a pour objectif d'identifier, d'évaluer les risques liés à un éclairage inadapté et de présenter des solutions de prévention. Pour cela, cette journée dressera l'état des lieux des connaissances sur la réglementation et la normalisation. Les qualités d'un éclairage adapté à différents espaces de travail ainsi que les effets sur le salarié seront présentés.

Inscription obligatoire : **eclairage2026.inrs.fr**
Contact : **eclairage2026@inrs.fr**



Dossier

L'ÉCLAIRAGE DES LIEUX DE TRAVAIL

❶ Lumière et éclairage : définitions, grandeurs et concepts de base

P. 30

❷ Éclairage des lieux de travail : normes et réglementation

P. 40

❸ Éclairage naturel dans les locaux professionnels

P. 49

❹ Éclairage artificiel dans les locaux professionnels

P. 59

❺ Effets non visuels de la lumière

P. 72

L'éclairage des lieux de travail constitue un élément essentiel pour la santé et la sécurité des salariés. Un bon éclairage contribue à éviter les accidents, comme les chutes et les collisions. Il adapte l'environnement lumineux aux capacités visuelles de l'opérateur et aux exigences de ses tâches.

À l'inverse, un éclairage inadapté complique la perception de l'environnement, augmentant ainsi les risques d'accidents. Il peut également provoquer des effets indirects, comme l'adoption de mauvaises postures pour éviter l'éblouissement, ou simplement pour mieux lire un document.

Assurer une bonne visibilité ne suffit pas. Lorsque la situation l'exige, l'éclairage est conçu pour limiter les effets indésirables de la lumière sur la santé des travailleurs.

Le premier article de ce dossier pose les bases techniques indispensables à une compréhension claire des notions essentielles pour évaluer objectivement une installation d'éclairage. Est abordée ensuite la prévention des risques liés à un éclairage inadapté, dès la phase de conception ou d'aménagement des espaces de travail, par l'identification des besoins visuels des salariés et leur traduction en prescriptions éclairagistes conformes aux réglementations et normes applicables.

Les articles suivants décrivent les méthodes et outils d'aide au dimensionnement des installations d'éclairage naturel, puis artificiel. Le dernier article présente les connaissances actuelles sur les risques photobiologiques, comme celui lié à la lumière bleue, ainsi que les effets non visuels de la lumière sur la santé, tels que la synchronisation de l'horloge biologique.

LIGHTING IN WORKPLACES – Lighting in workplaces is an essential contributor to health and safety for workers. Good lighting helps to avoid accidents like falls and collisions, and allows the environment to be adapted to the visual capacities of the operator and to task-related requirements. In contrast, ill-adapted lighting complicates perception of the environment, increasing the risk of accidents. It can also have indirect effects, such as the adoption of poor posture to avoid glare, or simply to be able to read a document. Ensuring good visibility is not enough: appropriate lighting can also take into account the effects of light on workers' health.

LUMIÈRE ET ÉCLAIRAGE : DÉFINITIONS, GRANDEURS ET CONCEPTS DE BASE

Comprendre la lumière et ses grandeurs associées est une étape essentielle pour concevoir un éclairage adapté aux lieux de travail. Avant d'aborder les aspects réglementaires et normatifs (Cf. Article pp. 40-48), cet article présente les notions fondamentales : définition de la lumière, systèmes d'unités énergétiques et visuelles. Il présente également les principales sources lumineuses, ainsi que les grandeurs photométriques de base : flux, éclairement, intensité, luminance. Ces concepts permettent d'expliquer comment la lumière est perçue par l'œil humain et comment elle influence la visibilité et le confort visuel des travailleurs.

MAXIME
BERGET,
JEAN-MARC
DENIEL
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

La lumière

Nous percevons ce qui nous entoure grâce aux rayonnements optiques, qui appartiennent à la famille des ondes électromagnétiques [1-3], au même titre que les rayons X, les micro-ondes ou les ondes radio. Ces rayonnements peuvent être décrits à la fois comme des ondes, correspondant à des variations synchrones des champs électrique \vec{E} et magnétique \vec{B} , et comme un flux de particules (photons). Les photons se propagent en ligne droite à environ $300\,000\text{ km}\cdot\text{s}^{-1}$ dans le vide. Chacun d'eux transporte une quantité d'énergie proportionnelle à sa fréquence et est caractérisé par sa longueur d'onde λ , exprimée en nanomètres ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$). Cette longueur d'onde correspond à la distance parcourue pendant une oscillation complète des champs électrique et magnétique (Cf. Figure 1). Le terme « lumière » désigne les rayonnements optiques visibles par l'œil humain, dont les longueurs d'onde λ s'étendent de 380 nm (violet) à 780 nm (rouge), plage de sensibilité des photorécepteurs de la rétine¹. Les rayonnements ultraviolets (UV : $\lambda < 380\text{ nm}$) et infrarouges (IR : $\lambda > 780\text{ nm}$) sont donc invisibles à l'œil humain (Cf. Figure 2). Un photon capté par un photorécepteur rétinien déclenche des réactions biochimiques qui créent un signal électrique. Ce signal est ensuite transmis sous forme d'influx nerveux jusqu'au cerveau, qui interprète cette stimulation en une perception visuelle colorée plus ou moins intense selon la longueur d'onde λ et la quantité de photons reçus.

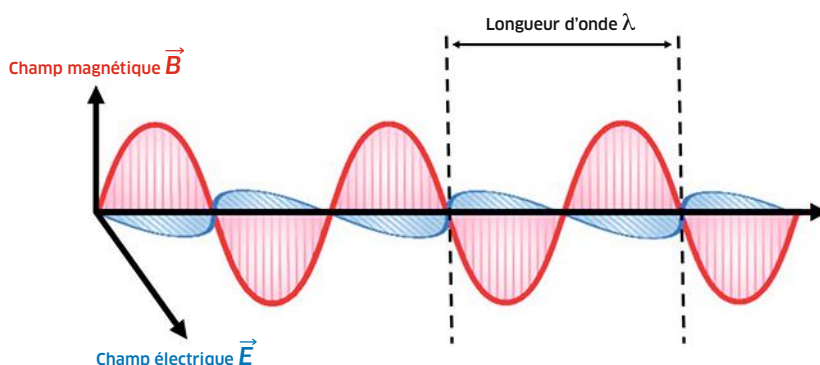
Les grandeurs décrites ci-après permettent de quantifier la lumière, depuis son émission par une source jusqu'à sa perception par l'œil humain.

Elles constituent le socle nécessaire à toute démarche d'éclairage adaptée aux exigences des lieux de travail, pour assurer la sécurité et la santé des salariés.

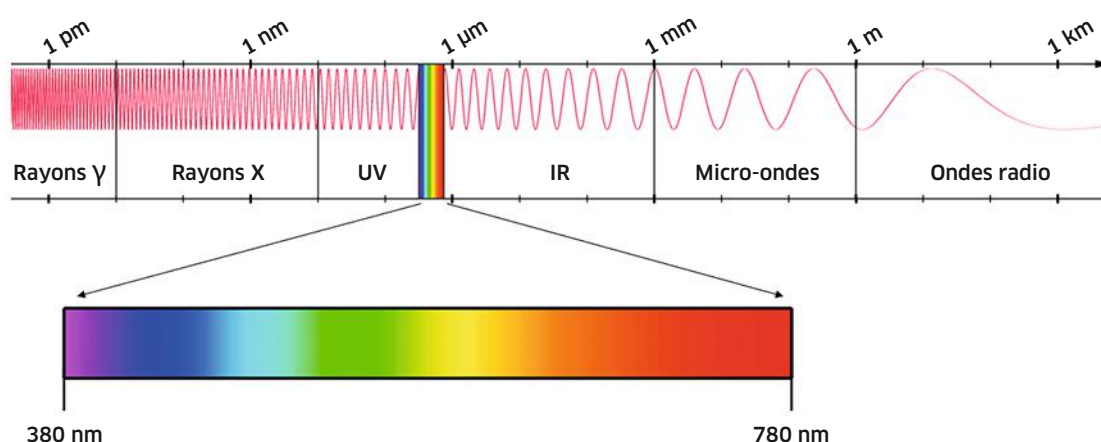
Les systèmes d'unités

Les grandeurs physiques utilisées pour caractériser la lumière – flux, éclairement, intensité, luminance





← FIGURE 1
Longueur d'onde d'un rayonnement optique, définie par la distance de propagation parcourue lors d'une période d'oscillation des champs électrique et magnétique.



← FIGURE 2
Spectre électromagnétique depuis les rayons Gamma ($\lambda=0,01$ nm) jusqu'aux ondes radio ($\lambda=1$ km). La lumière ne représente qu'une petite partie du spectre électromagnétique.

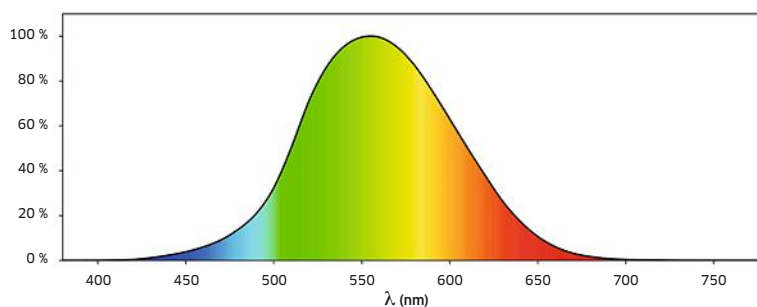
– présentées ci-après existent chacune sous deux formes : énergétique et visuelle (ou lumineuse). Leur version énergétique porte l'indice « e » (par exemple, pour le flux énergétique : ϕ_e). Par convention, toutes les grandeurs citées dans ce dossier sans indice ni précision particulière sont considérées comme des grandeurs visuelles.

Le système énergétique

Ce système décrit le rayonnement en s'appuyant uniquement sur des grandeurs physiques absolues, comme la puissance rayonnée en watts (W), sans tenir compte de la perception humaine. Il prend en compte toutes les longueurs d'onde, qu'elles soient visibles ou non. On l'utilise notamment pour évaluer une exposition aux rayonnements IR et UV. On parle de grandeurs énergétiques.

Le système visuel

Ce système est centré sur la perception humaine : notre œil ne distingue pas chaque longueur d'onde séparément, mais les intègre toutes en les pondérant selon sa sensibilité spectrale $V(\lambda)$ pour produire une sensation de couleur (Cf. Figure 3). Sa sensibilité est maximale autour de 555 nm, ce qui correspond à la zone du vert-jaune.



↑ FIGURE 3
Courbe de sensibilité photopique $V(\lambda)$ de l'œil humain aux différentes longueurs d'onde. Il faut 20 fois plus de rayonnement à 450 nm (bleu) pour produire la même sensation visuelle qu'à 555 nm (vert).

Ce système s'exprime en unités adaptées à la vision : les grandeurs lumineuses. Elles sont dérivées des grandeurs énergétiques, mais chaque longueur d'onde est pondérée selon la réponse de l'œil humain. Cette « mesure des grandeurs relatives aux rayonnements, évaluées selon l'impression visuelle produite par ceux-ci et sur la base de certaines conventions » définit la photométrie, selon les dictionnaires courants. Contrairement au système énergétique, on ne mesure plus l'énergie physique brute, mais l'efficacité visuelle de l'énergie rayonnée. Ce système d'unités est utilisé en éclairagisme, car la qualité d'un éclairage dépend directement de la manière dont l'œil humain perçoit la lumière.





↑ FIGURE 4
Lampes à décharge, majoritairement utilisées en éclairage jusque dans les années 2010.
a) Lampe à sodium haute pression.
b) Lampe à iodures métalliques.
c) Lampe fluorescente compacte.
d) Tube fluorescent.

Les sources

Sources primaires

Sur terre, la seule source d'éclairage naturel direct est le soleil. Pendant longtemps, l'éclairage artificiel des lieux de travail a été majoritairement assuré par des lampes à décharge² (Cf. Figure 4), que ce soit à l'extérieur (projecteurs équipés de lampes à sodium haute pression de couleur jaune ou à iodures métalliques de couleur blanche) ou à l'intérieur (lampes à iodures métalliques, tubes fluorescents ou lampes fluorescentes). Depuis les années 2010, le développement rapide des diodes électroluminescentes (led), leurs atouts (compa-

rité, efficacité, durée de vie, faible consommation), ainsi que les décrets d'écoconception qui interdisent la mise sur le marché de produits contenant des substances nocives ou énergivores [4,5], ont entraîné un remplacement massif des lampes à décharge par l'éclairage led, aussi bien lors de la création de nouveaux espaces de travail que lors de rénovations.

Une led (Cf. Figure 5) est un composant semi-conducteur formé de la juxtaposition de deux parties d'un même cristal, mais « dopées » différemment. Le « dopage de type N » introduit un excédent d'électrons, tandis que le « dopage de type P » crée un déficit d'électrons, appelés « trous ». À l'interface se forme une zone appauvrie en porteurs de charge. Lorsqu'un courant électrique circule dans la led, électrons et trous se rencontrent dans cette zone et se recombinent. Dans les matériaux utilisés pour les led, cette recombinaison émet des photons : c'est la lumière émise par le composant.

La longueur d'onde émise dépend du matériau semi-conducteur utilisé (nitride de gallium, indium, arséniure de gallium-indium, etc). Les led destinées à l'éclairage des lieux de travail les plus répandues actuellement émettent dans une bande de longueur d'onde relativement étroite centrée autour de 450 nm (bleu). Une couche de matériau luminescent (de type YAG, jaune), déposée au-dessus

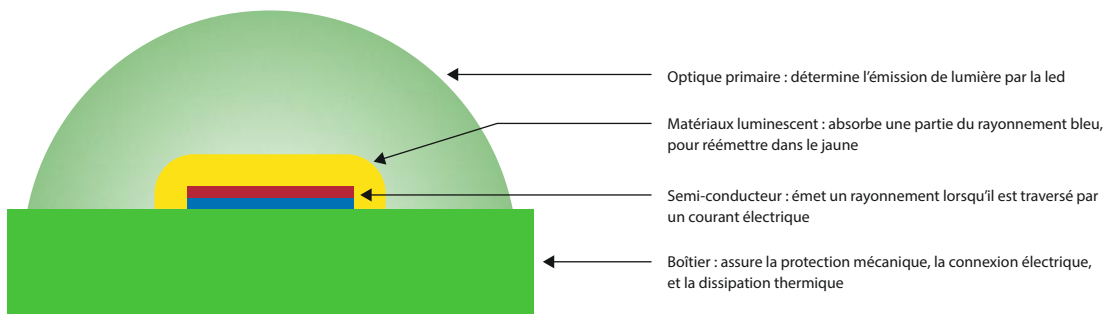
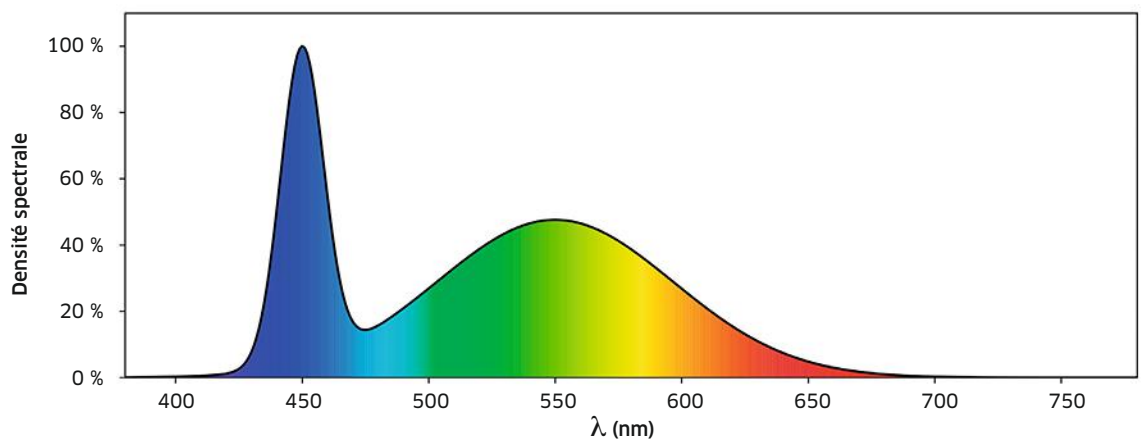


FIGURE 5 →
Représentation schématique en coupe d'une source led.

FIGURE 6 →
Spectre d'émission relatif d'une led blanche, combinaison d'un pic étroit centré à 450 nm (émission de la puce bleue) et d'une bande large de phosphorescence centrée autour de 550 nm (vert-jaune). Après normalisation à 1 au maximum bleu (450 nm), la densité spectrale relative est d'environ 0,17 nm à 470 nm et 0,45 nm à 550 nm.



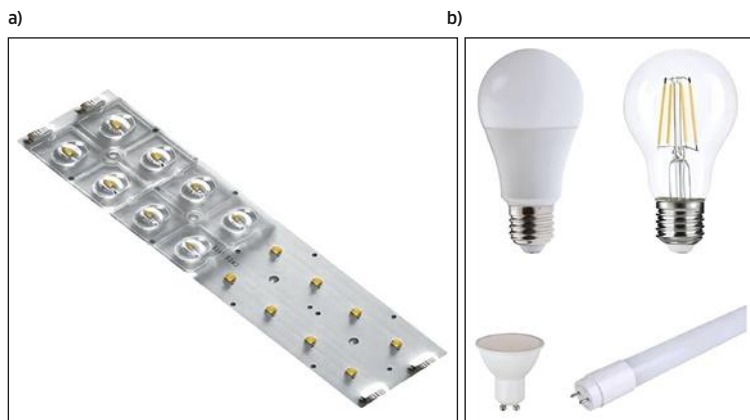
de la puce led, absorbe une partie de cette lumière bleue et la réémet dans une bande beaucoup plus large centrée autour de 550 nm, dans la zone vert-jaune du spectre. L'association du pic bleu résiduel et de cette large réémission est interprétée par notre système visuel comme une lumière blanche, c'est-à-dire un mélange spectral qui produit une sensation de lumière non colorée pour l'œil humain (Cf. Figure 6).

Pour l'éclairage, les sources led peuvent être directement utilisées comme sources primaires, éventuellement équipées d'optiques secondaires afin de répartir la lumière sur le poste de travail. Elles peuvent également être intégrées dans un élément mécanique, comme une lampe équipée d'un culot ou un tube à led (Cf. Figure 7).

Sources secondaires

Toute surface éclairée peut, à son tour, devenir une source secondaire de lumière. Selon son état de surface (mat, satiné, brillant, etc.) et ses propriétés optiques (absorption, transmission, réflexion), une surface peut en effet renvoyer tout ou partie du rayonnement qu'elle reçoit, dans une ou plusieurs directions. Ce phénomène dépend également de la distribution spectrale de la lumière incidente, c'est-à-dire des longueurs d'onde qui la composent.

Ainsi, la source lumineuse initiale est dite directe (comme un luminaire led). Les surfaces qu'elle éclaire deviennent, par réflexion, des sources indirectes. Elles participent elles aussi à l'éclairage



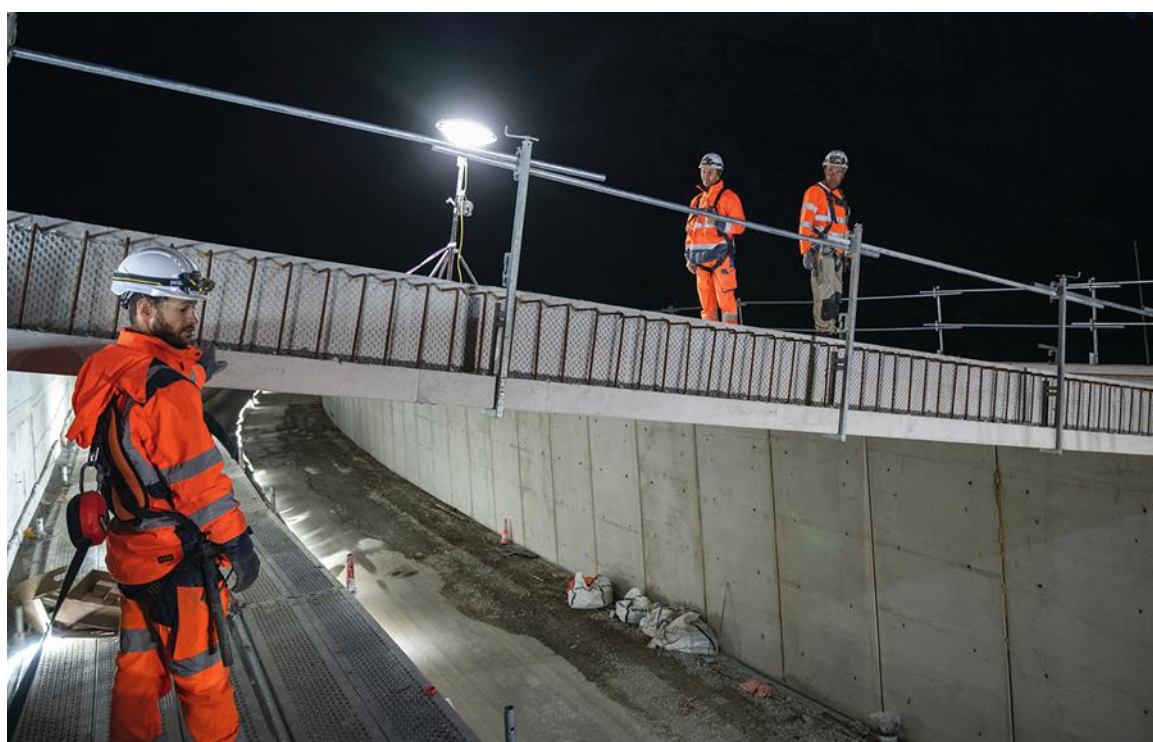
d'un espace, et peuvent être caractérisées par les mêmes grandeurs photométriques que les sources directes (flux, luminance, etc.).

Spectre d'émission

Une source n'émet pas la même quantité d'énergie pour toutes les longueurs d'onde. La densité spectrale indique comment l'énergie émise par la source se répartit selon la longueur d'onde.

Le spectre d'émission (ou distribution spectrale d'émission) est simplement la représentation de cette densité spectrale en fonction de la longueur d'onde. Dans la pratique, le spectre est souvent représenté sous une forme relative (Cf. Figure 6), c'est-à-dire ramené à la valeur maximale, ce qui permet de comparer facilement différentes sources lumineuses.

↑ **FIGURE 7**
a) Sources led, équipées ou non d'optiques secondaires.
b) Sources led intégrées dans des lampes à culot et un tube.

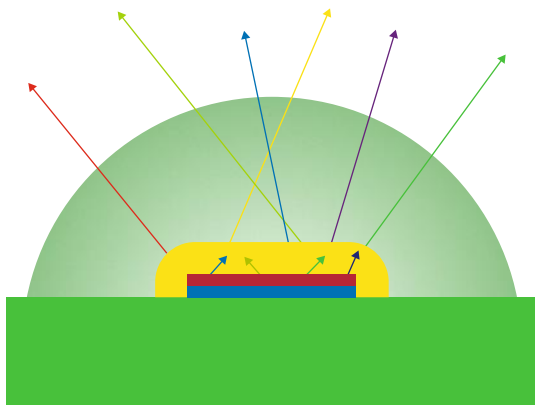


© Claude Almodovar pour l'INRS / 2025



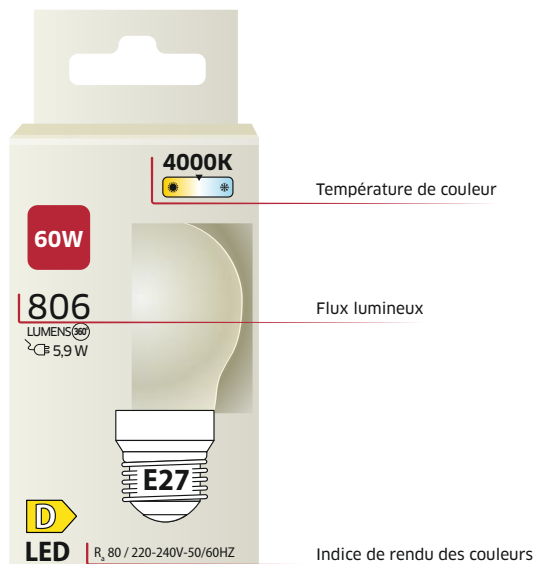
TABLEAU →
Glossaire des grandeurs visuelles et des unités correspondantes.

GRANDEUR	SYMBOLE	UNITÉ	DÉFINITION
Flux	Φ	Lumen (lm)	Puissance lumineuse émise par une source
Intensité	I	Candela (cd)	Flux émis dans une direction
Éclairement	E	Lux (lx, ou lm/m ²)	Flux reçu par unité de surface
Luminance	L	Candela par mètre carré (cd/m ²)	Flux émis dans une direction, par unité de surface vue par un observateur. Par approximation (loi de Lambert) : $\rho \cdot E = \pi \cdot L$ avec $0 \leq \rho \leq 1$
Température de couleur	T _{cp}	Kelvin (K)	Apparence colorée de la lumière, de chaude pour les lumières rouges à froide pour les lumières blanches/bleues
Indice de rendu des couleurs	IRC / R _a	sans	Capacité d'une source à restituer les couleurs des objets éclairés, par comparaison avec le soleil



↑ FIGURE 8 Le flux énergétique Φ_e d'une source de rayonnement est la quantité d'énergie totale émise dans tout l'espace par unité de temps.

FIGURE 9 →
Les indications qu'il est possible de trouver sur l'emballage d'une source.



Par analogie avec les spectres d'émissions qui caractérisent les sources, les surfaces et leurs matériaux sont caractérisés par leur distribution spectrale d'absorption, de transmission et de réflexion, qui représentent les proportions relatives d'énergie absorbées, transmises ou réfléchies.

Tous les matériaux et toutes les surfaces n'ont pas le même comportement. Certains matériaux transmettent une grande partie de la lumière visible, comme le verre utilisé pour les fenêtres. D'autres au contraire en absorbent une grande partie (verre teinté, etc.), ou réfléchissent préférentiellement certaines longueurs d'onde (peinture teintée, etc.).

À noter : les paragraphes qui suivent décrivent l'ensemble des grandeurs utilisées pour caractériser la lumière, ainsi que leurs unités. Ces informations sont synthétisées et rassemblées dans le Tableau ci-dessus.

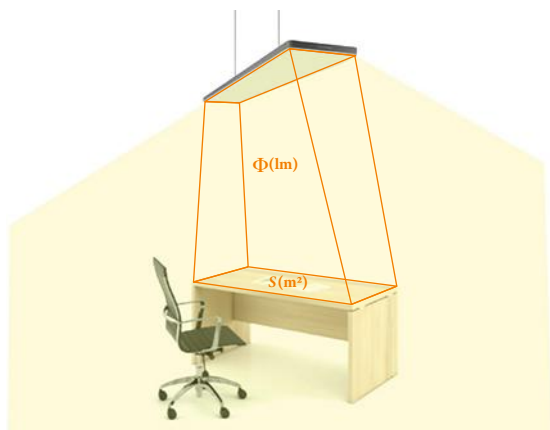
Les grandeurs et systèmes d'unités

Flux énergétique et flux lumineux

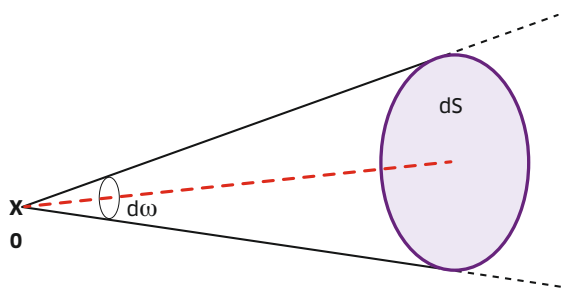
Une source d'éclairage émet des photons de longueur d'ondes différentes. Ils sont représentés sous forme de rayons lumineux colorés sur la Figure 8. Chacun de ces photons transporte une énergie qui dépend de sa longueur d'onde. Le flux énergétique Φ_e de cette source, exprimé en watts (W), correspond à la quantité totale d'énergie rayonnée par ses photons par unité de temps (en secondes). Il représente ainsi la puissance totale émise par la source dans tout l'espace.

L'équivalent visuel du flux énergétique Φ_e est le flux lumineux Φ . Il est obtenu en pondérant l'énergie de chaque photon de longueur d'onde λ émis par la courbe de sensibilité de l'œil $V(\lambda)$ (Cf. Figure 3). Il s'exprime en lumen (lm). Il est généralement indiqué sur les emballages des sources (Cf. Figure 9).

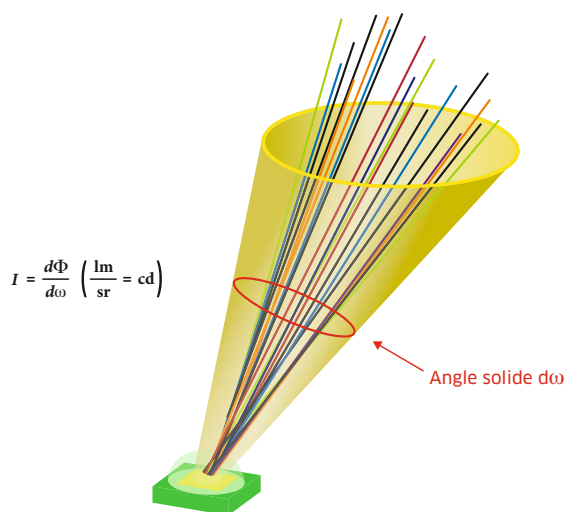
$$E = \frac{\Phi}{S} \left(\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lux, lx} \right)$$



↑ FIGURE 10 L'éclairement d'une surface S est la quantité de flux Φ reçu, rapportée à la surface S exposée.



↑ FIGURE 11 Angle solide : vue depuis le point O, la surface élémentaire dS occupe la portion de l'espace délimitée par l'angle solide dω.



$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \left(\frac{\text{lm}}{\text{sr}} = \text{cd} \right)$$

↑ FIGURE 12 Lorsque l'angle solide dω autour d'une direction devient très petit, le rapport entre le flux élémentaire dΦ contenu dans cet angle solide et la valeur de dω donne l'intensité lumineuse I émise dans cette direction.

Éclairement

L'éclairement E correspond au flux lumineux Φ reçu depuis tout l'espace par unité de surface S (Cf. Figure 10). Il s'agit d'une densité de puissance qui s'exprime en lumen par mètre carré, également appelé lux (ou lx) :

$$E = \frac{\Phi}{S} \left(\frac{\text{lm}}{\text{m}^2} = \text{lux, lx} \right)$$

Intensité

L'intensité I désigne le flux de lumière émis par une source dans une direction donnée, c'est-à-dire par unité d'angle solide dω. Un angle solide mesure la portion d'espace occupée par une surface vue depuis un point donné (Cf. Figure 11). Il correspond à l'angle d'ouverture du cône dont le sommet est le point (noté O) et dont les génératrices sont tangentes à la surface considérée. Il s'exprime en stéradian (sr). C'est l'analogue tridimensionnel de l'angle plan.

Si l'on ne considère que le flux lumineux élémentaire dΦ contenu dans un angle solide élémentaire dω, l'intensité lumineuse I est définie par (Cf. Figure 12) :

$$I = \frac{d\Phi}{d\omega} \quad (\text{lm/sr} = \text{cd})$$

L'intensité s'exprime en lumen par stéradian, ou en candela³ (cd=lm/sr). Elle est indiquée sur les emballages des sources de petites dimensions comme les spots. Les symboles I ou I₀ représentent l'intensité dans l'axe de la source. Cette intensité permet de calculer très simplement l'éclairement E à une distance d située face à la source, et orientée perpendiculairement à son axe :

$$E = \frac{I}{d^2} \quad (\text{lux})$$

Luminance

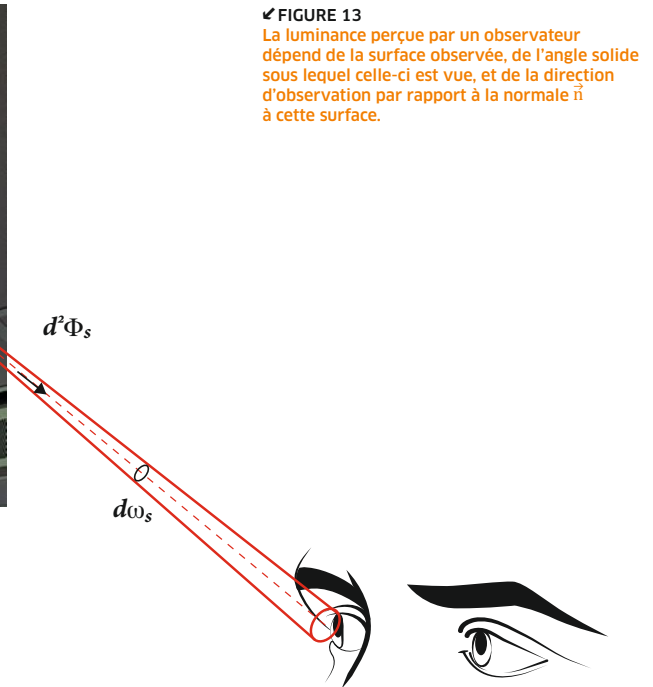
La luminance est la grandeur photométrique qui caractérise la manière dont une surface apparaît à l'œil dans une direction donnée. Elle détermine non seulement si une surface semble plus ou moins brillante, mais aussi comment sa couleur est perçue, puisqu'elle décrit la quantité de lumière provenant d'une zone donnée, dans une direction donnée, et pour chaque longueur d'onde. La luminance quantifie le flux lumineux émis ou réfléchi par unité de surface et par unité d'angle solide, c'est-à-dire dans une direction d'observation donnée. Elle est définie par l'expression suivante (Cf. Figure 13) :

$$L = \frac{d^2\Phi_s}{dS \cdot \cos(\theta_s) \cdot d\omega_s} \quad (\text{lm/sr/m}^2) \quad (\text{équation 1})$$

avec :

- dS (m²) : la surface observée ;
- dω_s (sr) : l'angle solide d'observation ;
- θ_s (rad) : l'angle entre la normale à la surface de la source et la direction d'observation ;





✓ FIGURE 13
La luminance perçue par un observateur dépend de la surface observée, de l'angle solide sous lequel celle-ci est vue, et de la direction d'observation par rapport à la normale \vec{n} à cette surface.

- $d^2 \phi_s$ (lm) : le flux lumineux émis dans cette direction.
La luminance est la grandeur photométrique la plus importante en éclairage : l'œil humain n'est pas sensible à l'éclairage, la perception visuelle repose sur les variations de luminance entre zones adjacentes dans le champ de vision. Ces variations peuvent être des variations d'amplitude, ou des variations colorées.
- Variation d'amplitude : elle apparaît lorsque deux surfaces de même couleur reçoivent des éclairages différents. La surface la plus éclairée renvoie davantage de flux lumineux, ce qui

- entraîne une différence de luminance perçue (Cf. Figure 14). Elle peut également apparaître lorsque les surfaces, bien que recevant le même éclairage, présentent des orientations ou des états de surface différents : ces caractéristiques modifient la direction et la quantité de lumière réfléchie vers l'observateur.
- Variation colorée : elle apparaît lorsque deux surfaces, qui possèdent des distributions spectrales de réflexion différentes, reçoivent un éclairage identique. Elles ne réfléchissent pas la même partie du spectre et apparaissent donc de couleurs différentes (Cf. Figure 15).

FIGURE 14 → Ombre perçue et variation de luminosité du plateau de la machine (zones délimitées en rouge). Cette différence correspond à une variation de luminance due à un éclairage non uniforme.



© Mikhail Nilov / Pexels.com

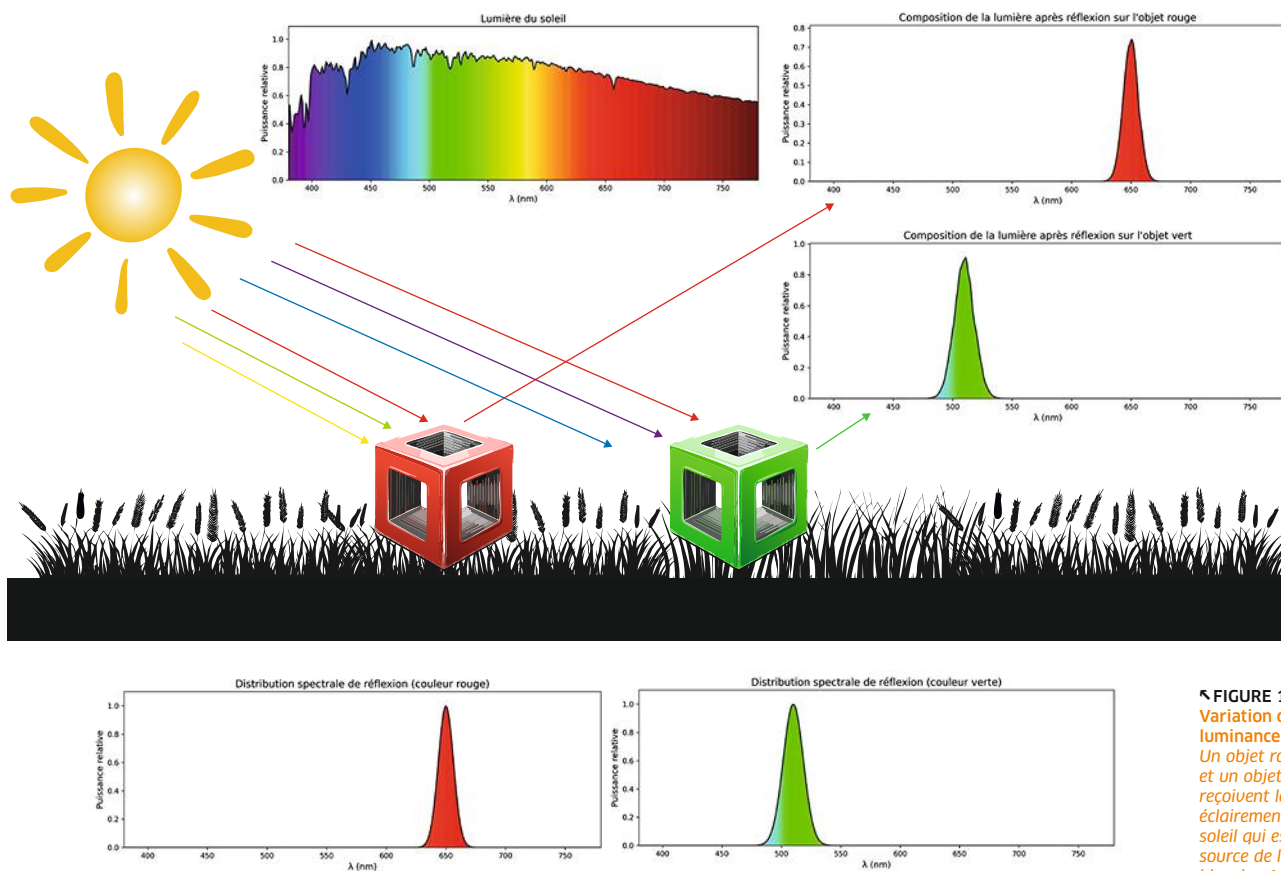


FIGURE 15
Variation de luminance colorée. Un objet rouge et un objet vert reçoivent le même éclairement du soleil qui est une source de lumière blanche. Après réflexion, chacun d'eux renvoie un spectre différent. L'œil perçoit alors une différence de couleur.

Cette variation colorée s'accompagne toujours d'une variation d'amplitude, car l'œil humain n'a pas la même sensibilité selon les longueurs d'onde.

Visibilité et confort visuel

Plus de 80 % des informations utiles à l'exécution du travail transigent par la vision [3]. Pour se déplacer et accomplir ses tâches en toute sécurité, un salarié doit distinguer clairement les éléments de son environnement ainsi que les informations visuelles nécessaires à son activité. Un éclairage adéquat doit :

- assurer une « bonne visibilité », c'est-à-dire une perception claire des objets et de l'environnement immédiat [3]. La visibilité d'un objet dépend de nombreux facteurs, notamment du contraste $c = \frac{L_0 - L}{L}$ entre sa luminance L_0 (le détail à percevoir) et celle L du fond sur lequel il se détache (Cf. Figure 16) ;
- garantir le « confort visuel » [3], en assurant une répartition harmonieuse des luminances dans le champ de vision : cela va limiter la fatigue visuelle et les effets d'éblouissement, directs ou par réflexion.

La luminance apparaît donc comme le principal paramètre photométrique sur lequel agir pour garantir un bon éclairage.

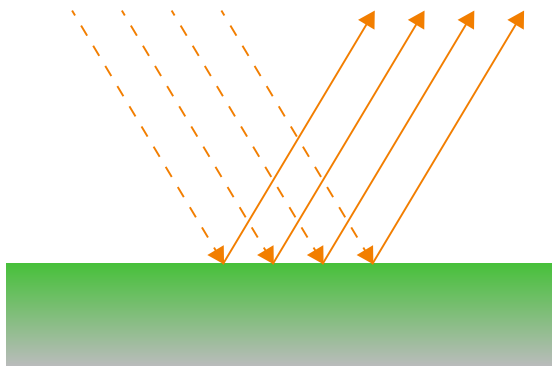
Relation entre la luminance et l'éclairement

La luminance L d'une surface (Cf. Équation 1, p. 35) dépend du flux lumineux qu'elle émet dans une direction donnée. Ce flux, qui fait de la surface une source secondaire, résulte de son éclairement E , de sa distribution spectrale de réflexion et de l'état de sa surface. Une surface parfaitement lisse renvoie les rayons lumineux dans une seule

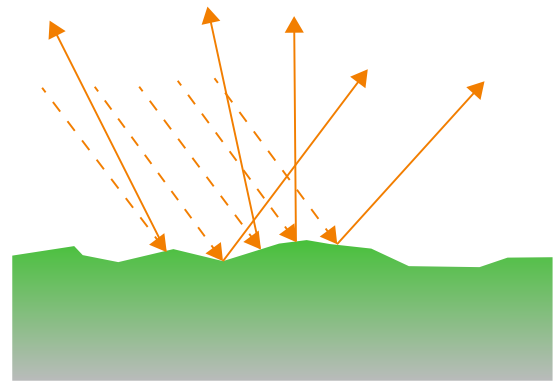


FIGURE 16
Lien entre le contraste de luminance et la visibilité d'un objet. Lorsqu'un objet a la même luminance que le fond sur lequel il doit apparaître, sa visibilité devient nulle. a) Affichage d'un texte en noir sur un fond de niveau de gris variable. b) Difficulté à percevoir l'environnement intérieur depuis l'extérieur : risque de collision engin-piéton.





↑ FIGURE 17 Miroir parfait : les rayons sont tous réfléchis dans la même direction.



↑ FIGURE 18 Surface mate : il n'y a pas de direction privilégiée pour la réflexion.

direction (réflexion spéculaire ; Cf. Figure 17), alors qu'une surface parfaitement mate diffuse la lumière de manière uniforme dans toutes les directions (réflexion diffuse ; Cf. Figure 18). Une surface réelle n'est jamais parfaitement mate ou parfaitement lisse. Son comportement se situe entre ces deux extrêmes. La manière dont elle réfléchit la lumière se décrit par une fonction de réflectivité ρ , qui dépend de la direction d'incidence, de la direction d'observation (réflexion) et de la longueur d'onde λ considérée. Dans le cas général, la luminance d'une surface éclairée peut s'écrire (Cf. Figure 19) :

$$L = \rho(\text{direction incidente, direction d'observation, } \lambda) \cdot E$$

En pratique, la détermination précise de la luminance se heurte à des difficultés : la direction du regard et les propriétés optiques des matériaux sont trop complexes ou trop variables pour être mesurées précisément dans un espace de travail. Une simplification couramment adoptée est de

considérer les matériaux visibles (murs, sols, plafonds, etc.) comme parfaitement diffusants, avec une réflectance ρ constante et indépendante de la longueur d'onde. Dans ce cas, leur luminance ne dépend plus de la direction d'observation, ce qui permet d'utiliser la loi de Lambert :

$$L = \frac{\rho}{\pi} \cdot E \quad \text{avec } \rho \text{ compris entre 0 et 1.}$$

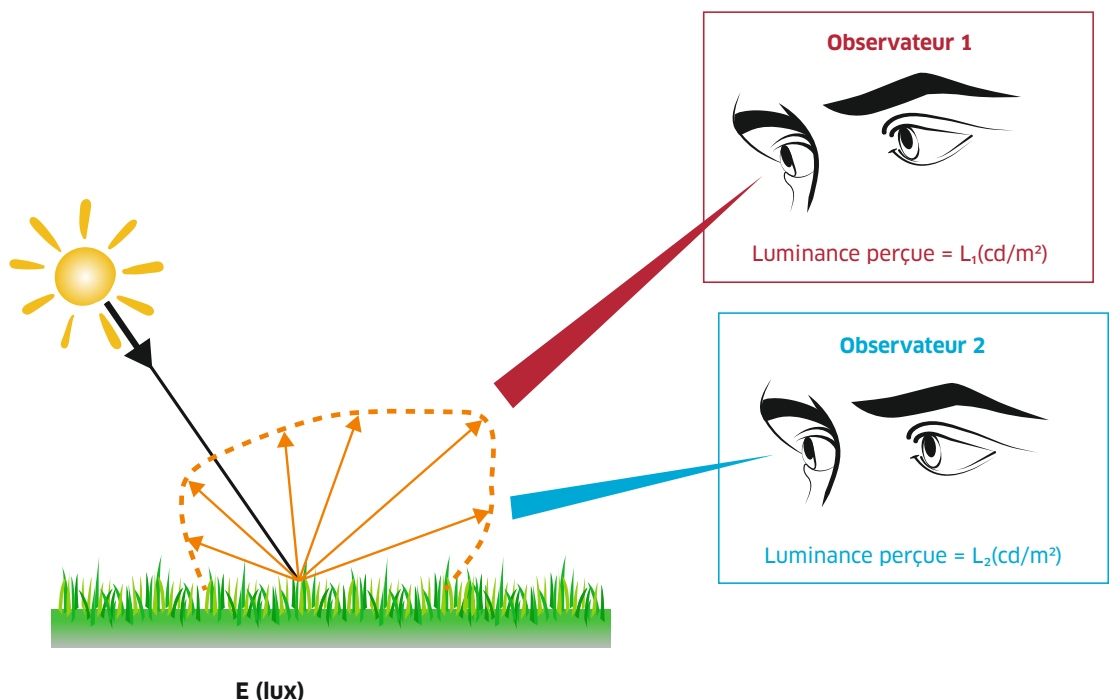
L'éclairage est plus simple et moins coûteux à mesurer que la luminance. Les textes de référence fixent ainsi des objectifs photométriques en matière d'éclairage (Cf. Article 2 pp. 40-48).

Température de couleur

Lorsque la lumière atteint la rétine, elle déclenche un signal électrique interprété par le cerveau. La perception de la couleur globale dépend de la répartition spectrale de la lumière.

La température de couleur, exprimée en kelvin (K), décrit cette impression : une lumière nous semblera « chaude » si elle contient une proportion impor-

FIGURE 19 → La luminance d'un objet éclairé par une source dépend de son niveau d'éclairage E , de la direction incidente de la lumière, de la position de l'observateur et de la longueur d'onde.





Tcp = 6000 K



Tcp = 4000 K



Tcp = 2700 K

tante de grandes longueurs d'onde (rouge, orange) et « froide » si elle contient davantage de courtes longueurs d'onde (bleu-violet).

La température de couleur correspond à la température à laquelle il faudrait chauffer un corps noir⁴ pour qu'il émette une lumière ayant le même aspect coloré que celle de la source. Comme pour un métal chauffé qui passe progressivement du rouge-orangé au blanc bleuté à mesure que sa température augmente. Dans l'usage, cela conduit au fait qu'une lumière dite « froide » possède une température de couleur plus élevée qu'une lumière « chaude » (Cf. Figure 20).

Dans le cas d'une source de lumière réelle (hors source à incandescence), le spectre émis ne correspond pas à celui d'un corps noir, on parle alors de température de couleur proximale T_{cp} , c'est-à-dire celle du corps noir dont la lumière serait la plus proche visuellement de celle de la source, sans qu'il y ait de correspondance physique.

Indice de rendu des couleurs

La perception que nous avons des objets qui nous entourent dépend de la manière dont ils réfléchissent la lumière qui les éclaire vers notre œil (Cf. Figure 15). Ainsi, un objet qui ne réfléchit que du vert ne paraîtra de cette couleur que si la lumière qui l'éclaire comporte du vert.

L'indice de rendu des couleurs R_a (parfois noté IRC) est un nombre sans dimension compris entre 0 et 100 qui caractérise la capacité d'une source lumineuse à restituer les couleurs. Il vaut 100 pour le soleil ou pour une source à incandescence, qui possèdent un spectre continu (toutes les longueurs d'onde du spectre visible).

Un minimum de 80 est demandé pour un travail intérieur ; et de 90 si le travail nécessite la distinction des teintes, par exemple dans l'imprimerie. Cette information est généralement indiquée sur l'emballage de la source⁵.

Ce premier article a présenté les grandeurs physiques liées à la lumière. Le deuxième article (Cf. pp.40) rappelle les principaux textes de référence qui fixent les niveaux adéquats en fonction des activités : le Code du travail, qui définit les obligations du maître d'ouvrage et de l'employeur, ainsi que les normes techniques, qui précisent les critères d'éclairage applicables à la lumière naturelle comme

à la lumière artificielle, en intérieur comme en extérieur. Ces bases sont essentielles pour garantir la santé et la sécurité des travailleurs. Les articles suivants approfondissent l'apport en lumière naturelle et en éclairage artificiel (Cf. pp. 49-58 et 59-71), afin d'assurer un éclairage optimal dans toutes les situations de travail. Enfin, le dernier article (Cf. pp. 72-75) propose un panorama sur les effets non visuels de la lumière, en lien avec la santé et la sécurité au travail. ●

1. Il existe deux types de photorécepteurs rétiniens impliqués dans la vision : les cônes (au centre de la rétine, responsables de la perception des couleurs) et les bâtonnets (en périphérie de la rétine, davantage sollicités en faible luminosité).

2. Une lampe à décharge produit de la lumière en faisant circuler un courant électrique entre deux électrodes, à travers un gaz ou une vapeur métallique. L'arc électrique ainsi créé provoque l'émission lumineuse.

3. La référence historique est la bougie (candel en anglais), qui présente une intensité lumineuse de 1 cd et génère un éclairage de 1 lx à une distance de 1 m autour d'elle.

4. Un corps noir est un objet idéal qui absorbe la totalité du rayonnement électromagnétique qu'il reçoit, sans en réfléchir ni en transmettre. Il émet un rayonnement uniquement en fonction de sa température, décrit par la loi de Planck.

5. D'autres indicateurs existent pour caractériser la capacité d'une source à restituer les couleurs, notamment l'indice de fidélité R_f issu de la méthode TM-30, plus pertinent que l'indice de rendu des couleurs R_a pour les sources led. Cette métrique n'est toutefois pas encore intégrée dans les normes d'éclairage en vigueur (telles que la norme NF EN 12464-1), qui continuent de s'appuyer sur l'indice R_a .

↑ FIGURE 20
Bureau éclairé avec des sources de températures de couleur variant de 2700 K à 6000 K. C'est la plage de températures de couleur communément rencontrée pour l'éclairage des lieux de travail.

BIBLIOGRAPHIE

[1] DILAURA D. ET AL. – *The lighting handbook: reference and application* [en ligne], 10^e ed. New York, Illuminating engineering society of North America, 2011. Accessible sur : www.ies.org

[2] BURRUS J. – *La photométrie en éclairage*. Société d'éditions Lux.

[3] FLORU R. – *Éclairage et vision* [en ligne]. INRS, 1996, Note scientifique et technique. Accessible sur : https://hal-lara.archives-ouvertes.fr/hal-01420151v1/file/INRS_149.pdf

[4] RÈGLEMENT (UE) 2019/2020 DE LA COMMISSION du 1^{er} octobre 2019 établissant des exigences d'écoconception pour les sources lumineuses et les appareillages de commande séparés. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32019R2020>

[5] DIRECTIVE 2011/65/UE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 8 juin 2011 relative à la limitation de l'utilisation de certaines substances dangereuses dans les équipements électriques et électroniques. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32011L0065>

ÉCLAIRAGE DES LIEUX DE TRAVAIL : NORMES ET RÉGLEMENTATION

Pour prévenir les accidents et préserver la santé et la sécurité des salariés, l'éclairage doit à la fois garantir une bonne visibilité et un confort visuel adapté aux tâches quotidiennes des salariés. Cet article expose les exigences du Code du travail ainsi que les normes techniques qui permettent de concevoir un environnement lumineux en adéquation avec les principes de prévention des risques professionnels. Elles traduisent, sous forme d'objectifs photométriques, les grandeurs vues dans le premier article afin de définir des critères concrets d'éclairage adaptés aux différentes activités.

MAXIME BERGET,
JEAN-MARC DENIEL
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

Les documents de référence

Les principaux textes relatifs à l'éclairage des lieux de travail sont le Code du travail, ainsi que des normes techniques d'applications volontaires, considérées comme des références de bonnes pratiques indispensables. Elles définissent l'ensemble des critères techniques nécessaires à un éclairage de qualité :

- les articles R. 4213-1 à R. 4213-4 du Code du travail précisent les obligations du maître d'ouvrage lors de la conception des lieux de travail¹ [1] ;
- les articles R. 4223-1 à R. 4223-12 du Code du travail définissent les obligations de l'employeur en matière d'éclairage [2] ;
- la norme NF X 35-103 expose les principes ergonomiques applicables à l'éclairage des postes de travail. Cette norme met l'accent sur l'équilibre des luminances dans le champ visuel [3] ;
- les normes NF EN 12464-1 et -2 spécifient respectivement les exigences d'éclairage pour les lieux de travail intérieurs et extérieurs, en particulier des niveaux d'éclairement à maintenir [4,5] ;
- la norme NF EN 17037 traite de l'éclairage naturel dans les bâtiments, en mettant l'accent sur le confort des occupants [6].

Le *Tableau 1* établit la correspondance entre chaque critère technique d'éclairage et les textes de référence.

Le Code du travail

Le Code du travail constitue le socle réglementaire en matière d'éclairage des lieux de travail. Il fixe des exigences générales visant à garantir

la sécurité et la santé des travailleurs. Il précise également que la mise en œuvre de ces dispositions relève de responsabilités distinctes selon les acteurs concernés :

- les articles R. 4213-1 à R. 4213-4 définissent la responsabilité du maître d'ouvrage. Il doit, lors de la conception des locaux, notamment prévoir des ouvertures vers l'extérieur pour favoriser l'éclairage naturel et la vue sur l'extérieur [1] ;
- les articles R. 4223-1 à R. 4223-12 relèvent des obligations de l'employeur. Ils rappellent que l'éclairage doit être adapté à l'activité exercée, et abordent plusieurs aspects techniques. Par exemple, l'article R. 4223-4 fixe des valeurs minimales d'éclairement en lux, à maintenir au niveau du plan de travail ou au sol, selon le type de local ou d'espace extérieur. L'article R. 4223-8 évoque également la nécessité d'un bon rendu des couleurs. Toutefois, ces indications restent générales et ne couvrent ni l'ensemble des situations de travail, ni les critères qualitatifs comme l'uniformité, l'éblouissement ou la température de couleur [2].

Ces articles traitent de l'éclairage général des lieux de travail. D'autres articles traitent de situations particulières, comme l'éclairage de sécurité (article R. 4227-14), l'éclairage des machines (article R. 4312-1), etc.

Des commentaires techniques sur ces articles ont été fournis dans la circulaire du 11 avril 1984. Les niveaux d'éclairement doivent par exemple être considérés comme des valeurs minimales à maintenir². Il reste cependant à compléter ces exigences réglementaires par les recommandations

des normes, qui traduisent les objectifs à atteindre en critères précis, mesurables et directement exploitables sur le terrain.

La norme relative à l'ergonomie visuelle

La norme NF X 35-103 présente des principes ergonomiques pour concevoir l'éclairage des lieux de travail [3]. Elle ne se limite pas à des critères quantitatifs d'éclairage : elle prend en compte l'ensemble des conditions de perception visuelle, en s'appuyant sur la notion centrale de luminance. Elle insiste sur trois points fondamentaux : des niveaux de luminance adaptés aux tâches à réaliser, des contrastes de luminance suffisants entre les objets et leur environnement pour faciliter la discrimination des détails, et un équilibre des luminances dans le champ de vision pour éviter les éblouissements et la fatigue visuelle.

Pour les contrastes, la norme ne fixe pas de valeurs absolues mais recommande des rapports de luminance adaptés à la nature et à la précision de la tâche. Elle ne définit pas non plus de valeurs de luminance chiffrée et renvoie aux normes NF EN 12464-1 et NF EN 12464-2 pour les valeurs d'éclairage, en rappelant que la loi de Lambert³ peut être utilisée en première approximation [4,5]. Elle préconise néanmoins des rapports de luminance entre les différentes zones du champ visuel :

- la zone de tâche et son environnement immédiat ;
- les différentes zones de déplacement de l'opérateur ;



© Philippe Castano pour l'INRS / 2024

Critères	CODE DU TRAVAIL												NORMES TECHNIQUES					
	OBLIGATIONS DU MAÎTRE D'OUVRAGE		OBLIGATIONS DE L'EMPLOYEUR										12464-1 & -2	17037	X 35-103			
Textes	R4213-2	R4213-3	R4223-1	R4223-2	R4223-3	R4223-4	R4223-5	R4223-6	R4223-7	R4223-8	R4223-9	R4223-10	R4223-11					
Définition des zones à éclairer			✓													✓		
Pourquoi éclairer-t-on?				✓												✓	✓	
Équilibre des luminances								✓		✓						✓	✓	
Niveau d'éclairage						✓	✓									✓		
Protection contre le rayonnement solaire									✓									
Limitation de l'éblouissement										✓						✓	✓	✓
Rendu des couleurs										✓						✓		✓
Fluctuation de la lumière										✓						✓		
Confort thermique													✓					
Accessibilité des organes de commande												✓						
Facilité de l'entretien de l'installation													✓					
Utilisation de la lumière naturelle	✓				✓												✓	
Vue sur l'extérieur		✓															✓	

↑ TABLEAU 1 Correspondance entre critère d'éclairage et document réglementaire ou normatif.



N° RÉF.	TYPE D'AIRE DE LA TÂCHE/ZONE D'ACTIVITÉ	E _m (lx)		U ₀	R _a	R _{UGL}	E _{m,z} (lx)	E _{m,mur} (lx)	E _{m,plafond} (lx)	EXIGENCES SPÉCIFIQUES (les références sont internes à la norme)
		EXIGÉ a)	MODIFIÉ b)							
34.1	Classement, reprographie, etc.	300	500	0,40	80	19	100	100	75	–
34.2	Écriture, dactylographie, lecture, traitement de données	500	1 000	0,60	80	19	150	150	100	Pour le travail sur écran, cf. 5.9. Pour la luminosité de la pièce, cf. 6.7 et annexe B. Il convient d'utiliser un système de gestion de l'éclairage, cf. 6.2.4. Pour les petites cellules de bureaux, l'exigence relative au mur s'applique au mur de face. Pour les autres murs, une exigence inférieure de 75 lx minimum pourrait être acceptée.
34.3	Dessin industriel	750	1 500	0,70	80	16	150	150	100	Pour le travail sur écran, cf. 5.9. Pour la luminosité de la pièce, cf. 6.7.
34.4	Postes de travail de conception assistée par ordinateur	500	1 000	0,60	80	19	150	150	100	Pour le travail sur écran, cf. 5.9.
34.5.1	Salles de conférence et de réunion	500	1 000	0,60	80	19	150	150	100	Il convient d'utiliser un système de gestion de l'éclairage, cf. 6.2.4.
34.5.2	Table de conférence	500	1 000	0,60	80	19	150	150	100	Il convient d'utiliser un système de gestion de l'éclairage, cf. 6.2.4.
34.6	Réception	300	750	0,60	80	22	100	100	75	Si le bureau de réception comprend des tâches régulières sur le poste de travail, il convient de les éclairer en conséquence.
34.7	Archives	200	300	0,40	80	25	75	75	50	–

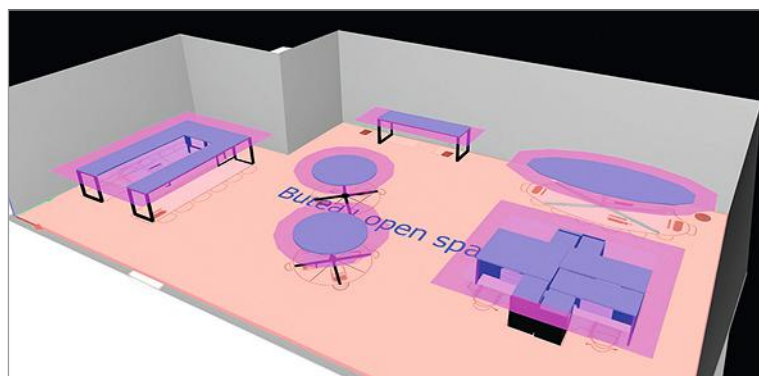
a) Exigé : valeur minimale.

b) Modifié : prend en compte des caractéristiques communes propres au contexte (difficulté, détail, capacités visuelles du salarié, etc.).

↑ TABLEAU 2 Tableau (extrait : n° 34 de la norme NF EN 12464-1) listant les exigences minimales pour les activités de bureau* [4].

Les colonnes bleues indiquent l'éclairage moyen à maintenir garantissant une bonne visibilité, tandis que les colonnes vertes correspondent aux valeurs recommandées pour un confort visuel optimal.

- les différentes parties de la zone de travail elle-même, en vision rapprochée. Ces rapports ont pour but de garantir un équilibre lumineux visant à limiter l'éblouissement et la fatigue visuelle.

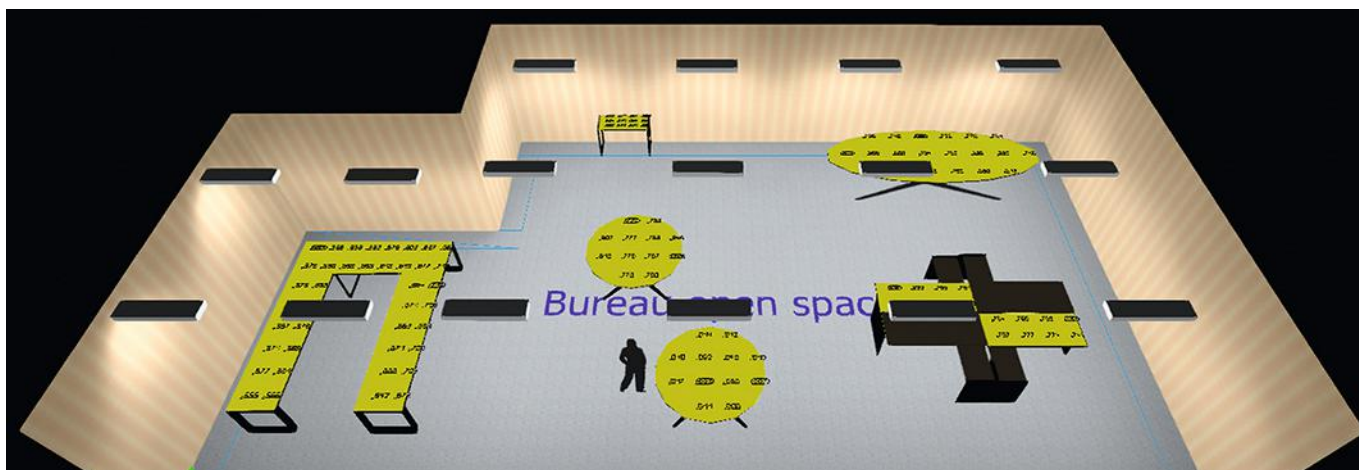


↑ FIGURE 1 Définition des zones de travail selon la norme NF EN 12464-1. La « zone d'activité » dans laquelle est effectué le travail principal est représentée en bleu. Il s'agit de la surface des bureaux. La zone adjacente est en rose, et la zone environnante représente le sol aux alentours en orange.

Un autre point essentiel concerne le choix des matériaux et des textures des plans de travail, à adapter en fonction de la luminance des objets à percevoir. Par exemple, une surface trop claire risque d'éblouir, tandis qu'un fond trop sombre peut masquer des objets peu lumineux. Enfin, la qualité de la lumière, en précisant des critères relatifs à la température de couleur T_{cp} et à l'indice de rendu des couleurs R_a (Cf. Article pp. 30-39). Ces paramètres influencent la capacité à distinguer les objets, à reconnaître les couleurs correctement, et contribuent de manière globale au confort visuel et à la qualité de l'environnement de travail.

Les normes relatives à l'éclairage artificiel des lieux de travail intérieurs et extérieurs

Les normes NF EN 12464-1 et -2 définissent les exigences quantitatives (niveaux d'éclairage) et qualitatives (équilibre des luminances dans le champ de vision, qualité de la lumière) nécessaires à l'installation d'éclairage pour que celle-ci adapte la tâche de l'opérateur et son environnement à



ses capacités visuelles [4,5]. Ces exigences sont regroupées sous forme de tableaux (Cf. exemple dans le Tableau 2) par type d'activité. La quantité de lumière est exprimée en éclairage moyen à maintenir. Le confort visuel dépend quant à lui de l'uniformité de l'éclairage⁴, de la qualité de la lumière, de la limitation des éblouissements et de la capacité à percevoir facilement les volumes dans l'environnement.

Différenciation des zones visuelles : activité, environnement immédiat et fond

La norme NF EN 12464-1 distingue trois types de zones visuelles, chacune soumise à des exigences spécifiques en matière d'éclairage (Cf. Figure 1) :

- la zone d'activité : endroit précis où s'effectue la tâche principale. C'est dans cette zone que l'éclairage moyen à maintenir doit atteindre la valeur recommandée pour l'activité concernée (Cf. Tableau 2, colonne bleue) ;
- la zone environnante immédiate : adjacente à la zone d'activité, elle est située à la même hauteur et doit assurer une transition visuelle sans rupture brutale de contraste ;
- la zone de fond : située au niveau du sol ou à proximité, elle représente l'arrière-plan du champ de vision.

L'éclairage des différentes zones est hiérarchisé : celui de la zone environnante est défini en fonction de la zone d'activité. Celui de la zone de fond est à son tour déterminé en proportion de la zone environnante. *In fine*, cette hiérarchie garantit une progression confortable des luminances dans le champ de vision, essentielle au confort visuel et à la réduction de la fatigue oculaire.

Uniformité de l'éclairage

Pour garantir une répartition homogène de la luminance sur la zone d'activité, et ainsi assurer une bonne visibilité sans contraste excessif, la norme utilise la notion d'uniformité d'éclairage

U_0 (Cf. Tableau 2). Cette grandeur correspond au rapport entre l'éclairage minimal E_{mini} et l'éclairage moyen E_{moyen} mesurés sur la zone de travail suivant un maillage adapté à ses dimensions (Cf. Figure 2) :

$$U_0 = \frac{E_{\text{mini}}}{E_{\text{moyen}}}$$

Une valeur élevée de U_0 indique une répartition homogène de la lumière sur la surface.

Qualité de la lumière

→ Température de couleur et indice de rendu des couleurs

Les exigences minimales concernant la température de couleur T_{cp} et l'indice de rendu des couleurs R_a (Cf. Article pp. 30-39) sont spécifiées dans les tableaux qui regroupent les objectifs photométriques propres à chaque activité. Une colonne

↑ FIGURE 2 Exemple de maillage utilisé pour calculer l'uniformité de l'éclairage. Les points sont répartis sur les zones d'activité, les zones environnantes, les murs et le plafond, selon un pas adapté aux dimensions de chaque zone. L'éclairage est mesuré en chaque point, puis la valeur minimale est rapportée à la valeur moyenne afin d'obtenir l'uniformité U_0 (logiciel utilisé : Dialux [6]).



© Grégoire Maisonneuve pour l'INRS / 2025

N° RÉF.	TYPE D'AIRE DE LA TÂCHE/ZONE D'ACTIVITÉ	E _v (lx)		U ₀	R _a	R _{UGL}	E _{m,x} (lx)	E _{m,z} (lx)	E _{m,plafond} (lx)	EXIGENCES SPÉCIFIQUES
		EXIGÉ a)	MODIFIÉ b)				U ₀ ≥ 0,10			
29.1	Coupage, dorure, impression en relief, gravure des clichés, travail au marbre et sur plaque, machines à imprimer, fabrication de matrices	500	750	0,60	80	19	150	150	75	–
29.2	Triage du papier et impression à main	500	750	0,60	80	19	150	150	75	–
29.3	Composition typographique, retouche, lithographie	1000	1500	0,70	80	19	150	150	100	–
29.4	Contrôle des couleurs en polychromie	1500	2000	0,70	90	16	150	150	100	4 000 K ≤ Tcp ≤ 6 500 K
29.5	Gravure sur acier et sur cuivre	2000	3000	0,70	80	16	150	150	100	Pour l'éclairage dirigé, cf. 5.6.4.

a) Exigé : valeur minimale

b) Modifié : Prend en compte des caractéristiques communes propres au contexte (difficulté, détail, capacités visuelles du salarié, etc.).

↑ TABLEAU 3
Extrait de la norme NF EN 12461-1 : objectifs photométriques relatifs aux activités industrielles des imprimeries. En plus de l'indice de rendu des couleurs, une exigence est donnée pour la température de couleur.

spécifique existe pour l'indice de rendu des couleurs, la température de couleur est quant à elle indiquée dans la colonne « Exigences spécifiques », si l'activité nécessite une valeur spécifique (Cf. Tableau 3).

→ Modulation temporelle de la lumière

La modulation temporelle de la lumière désigne une variation dans le temps du flux lumineux ou de sa composition spectrale. Elle peut être régulière (périodique, liée au courant d'alimentation) ou irrégulière (défaut d'alimentation, instabilité). Elle se distingue des évolutions lentes du flux ou de la chromaticité, qui sont dues au vieillissement ou à l'altération de la source, et ne sont pas considérées comme une modulation.

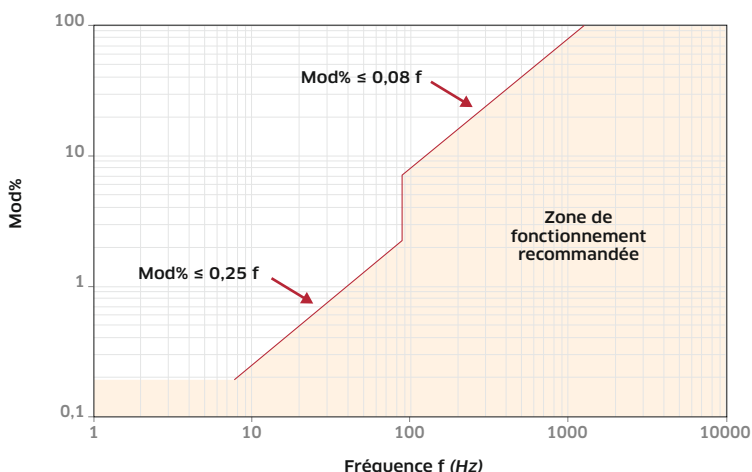
Lorsqu'elle est cyclique, la modulation se caractérise par sa fréquence f (Hz) et son amplitude relative, mesurée par le pourcentage de modulation : Mod% = (A - B) / (A + B), où A et B représentent respectivement les valeurs maximale et minimale du

flux lumineux. Ses effets dépendent du contexte :

- scintillement : lorsque l'observateur et l'environnement sont immobiles. Il peut provoquer fatigue visuelle, maux de tête et baisse de concentration, notamment pour les tâches visuelles exigeantes (travail prolongé sur écran, lecture fine, contrôle qualité).
- effet stroboscopique : lorsque des objets en mouvement paraissent immobiles ou ralentis. Ce phénomène peut induire des erreurs de perception et accroître le risque d'accidents dans les environnements industriels.

La norme NF EN 12464-1 stipule que les installations doivent éviter ces effets négatifs, sans fixer toutefois de valeurs chiffrées. En complément, la norme américaine IEEE 1789-2015 (Cf. Figure 3) propose des limites de Mod% en fonction de la fréquence [7,8]. Ainsi, plus la fréquence est basse, plus la modulation doit rester faible pour éviter tout effet visuel indésirable.

↓ FIGURE 3
Valeurs maximales du pourcentage de modulation Mod% en fonction de sa fréquence à ne pas dépasser pour éviter tout effet lié au scintillement.

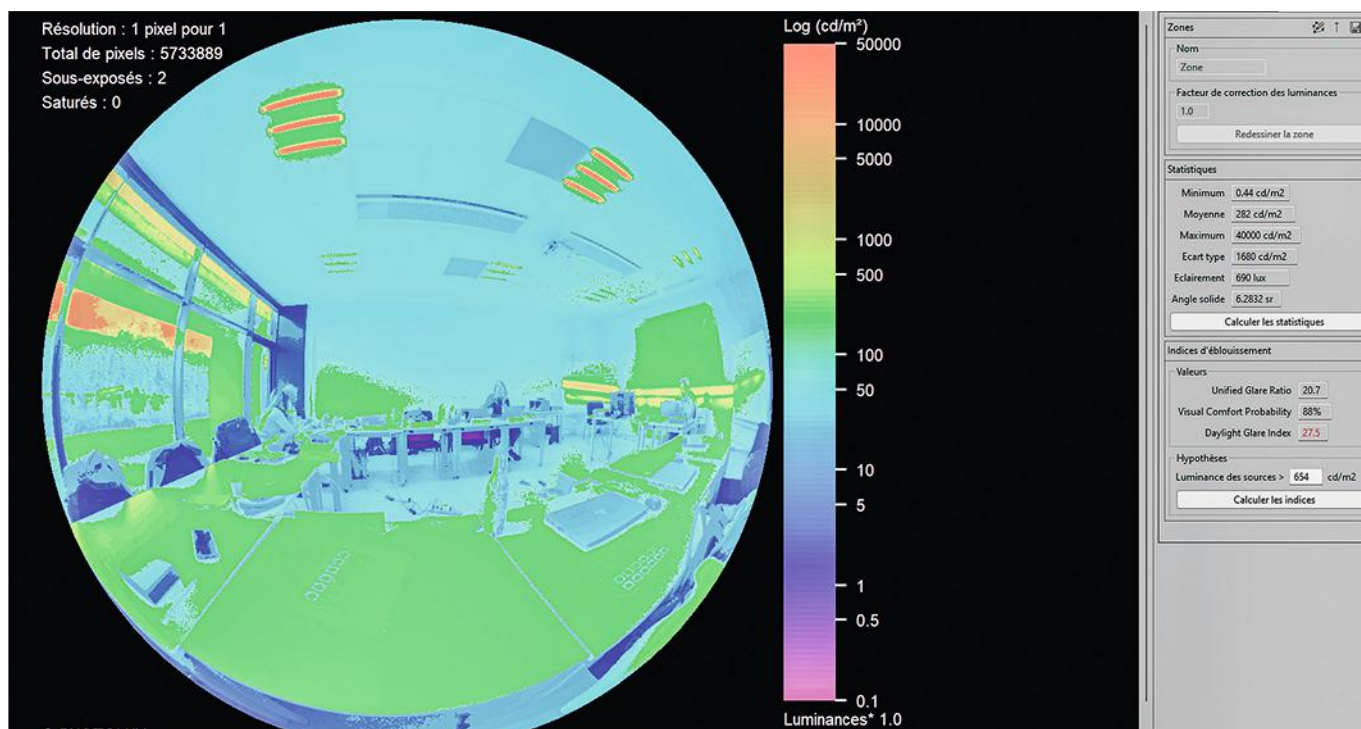


Limitation de l'éblouissement

L'éblouissement se produit lorsqu'une ou plusieurs zones lumineuses créent de trop forts contrastes dans le champ de vision du salarié. Elles perturbent la vision, provoquent une gêne visuelle, accentuent la fatigue et nuisent à la concentration.

Pour limiter ce phénomène, les normes NF EN 12464-1 (pour l'intérieur) et NF EN 12464-2 (pour l'extérieur) définissent un seuil à ne pas dépasser : le taux d'éblouissement limite est noté R_{UGL} ou R_{UG} selon la norme concernée. Ce seuil dépend de l'activité exercée.

Plus les valeurs de ces deux indices sont élevées, plus l'éblouissement ressenti sera important. Leur expression tient notamment compte des écarts de luminance entre les luminaires et leur environne-



↑ FIGURE 4 Mesure de la luminance d'une salle de réunion réalisée avec un « UGR-mètre » équipé d'un objectif très grand angle (« fisheye »). Le résultat est présenté sous forme d'une image en fausses couleurs : dans ce cas, les luminances varient de 1 cd/m² à 50 000 cd/m² selon l'échelle visible à droite. Le logiciel analyse la luminance de chaque luminaire ainsi que la luminance moyenne du fond, puis calcule l'indice d'éblouissement R_{UGL} . Ordres de grandeur : $R_{UGL} < 16$: aucune gêne ; $19 < R_{UGL} < 25$: gêne modérée ; $R_{UGL} > 28$: éblouissement fort.

ment. Plus ceux-ci sont importants, plus l'inconfort visuel augmente.

Ces indices peuvent être estimés à l'aide de logiciels spécialisés, ou mesurés à l'aide d'appareils. Il s'agit de caméras ou appareils photo étalonnés en luminance. Une fois la photo prise depuis le poste de travail, un logiciel de post-traitement permet d'évaluer le niveau d'éblouissement réel dans la direction du regard du salarié (Cf. Figure 4).

Éclairage de l'environnement des postes de travail

Dans les espaces intérieurs, trois critères supplémentaires doivent être pris en compte pour garantir un bon équilibre des luminances et faciliter la perception des volumes et des obstacles.

Les deux premiers concernent l'équilibre des luminances dans le champ de vision : il s'agit d'assurer un niveau d'éclaircissement suffisant sur les murs ($E_{m,mur}$) et le plafond ($E_{m,plafond}$). Ces valeurs sont spé-

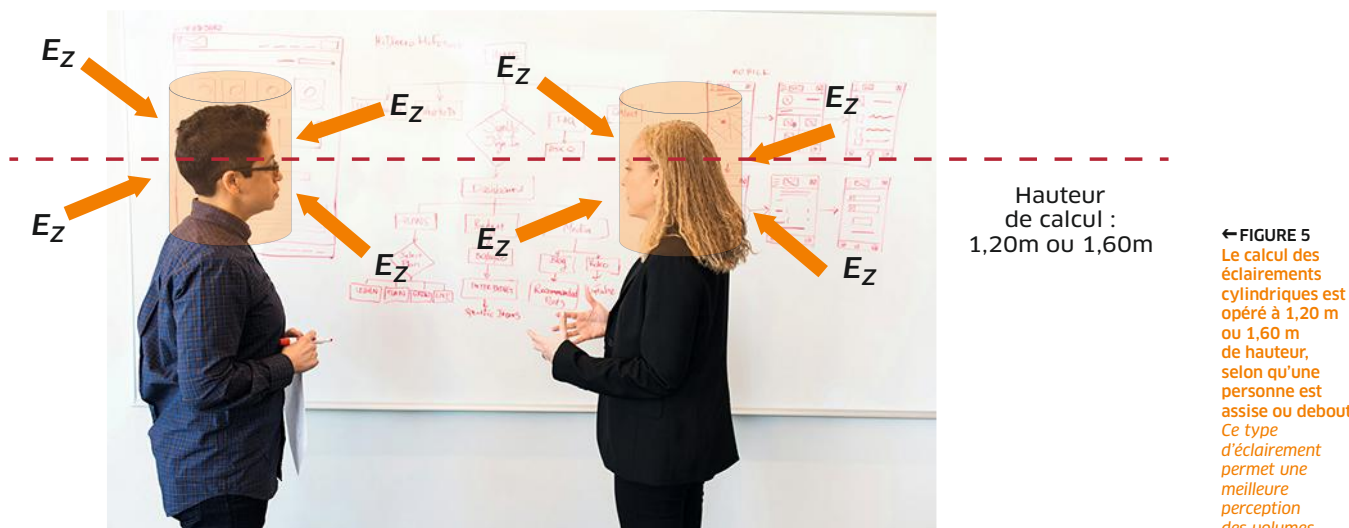
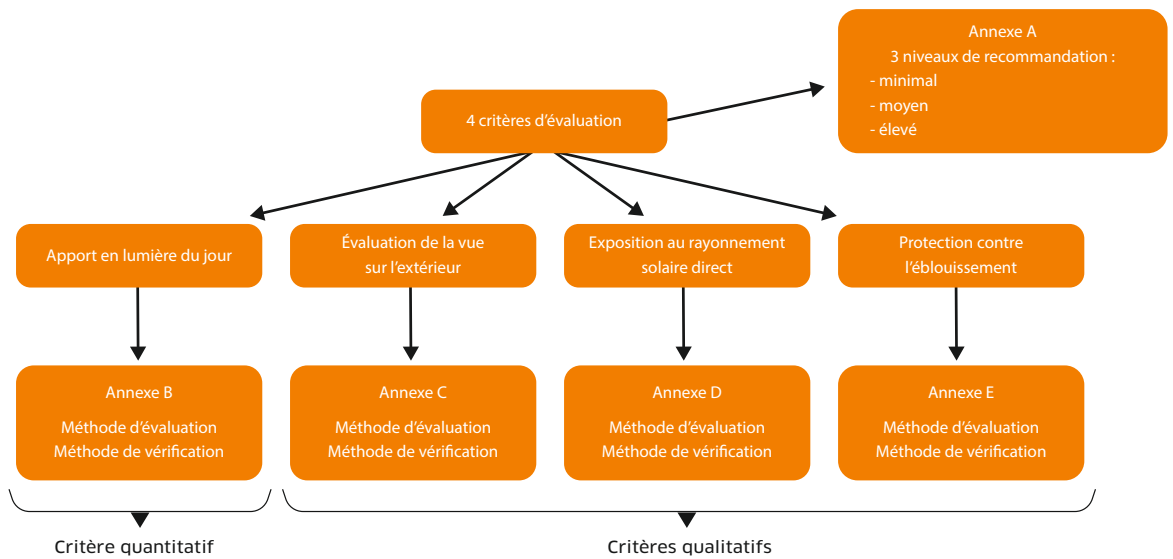


FIGURE 6 →
Représentation schématique des quatre critères d'évaluation pour la quantité et la qualité de la lumière naturelle dans un local, définis par la norme NF EN 17037.



cifiées dans la norme NF EN 12464-1 selon l'activité exercée.

Le troisième critère est destiné à améliorer la perception des volumes dans l'espace. Il s'agit de l'éclairement cylindrique moyen ($E_{m,z}$), évalué autour d'un point donné. Un éclairement cylindrique correct implique que la lumière provienne de plusieurs directions. Cela améliore la perception des volumes et des reliefs, notamment pour la reconnaissance des visages (Cf. Figure 5).

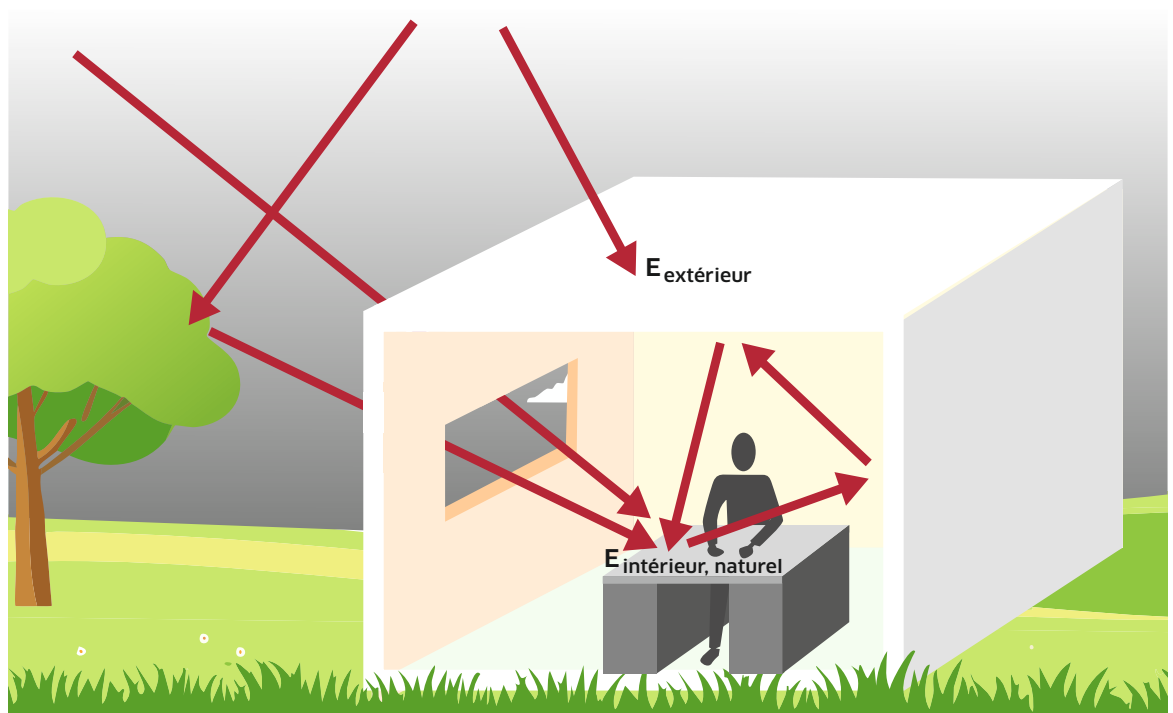
La norme relative à l'éclairage naturel dans les locaux de travail

Comme pour l'éclairage artificiel, le Code du travail énonce uniquement des principes généraux concer-

nant l'éclairage naturel : les bâtiments doivent être conçus de manière à permettre l'usage de l'éclairage naturel pour l'éclairage général ; ils disposent autant que possible d'une lumière naturelle suffisante ; des ouvertures doivent être présentes à hauteur des yeux des occupants.

La norme NF EN 17037 vient compléter ces dispositions [6]. Elle s'applique à tous les espaces pouvant être occupés de manière régulière et prolongée, à l'exception de ceux où l'éclairage naturel serait inadapté à la nature des activités exercées. Elle propose quatre indicateurs (Cf. Article 3 pp. 49-58) : l'apport en lumière du jour, l'évaluation de la vue sur l'extérieur, l'exposition au rayonnement solaire direct et la protection contre l'éblouissement.

FIGURE 7 →
L'éclairage naturel en un point intérieur résulte de la lumière directe du ciel, de la lumière réfléchie par l'environnement et de la lumière réfléchie par l'intérieur de la pièce. L'éclairage extérieur n'est dû qu'à la lumière directe du ciel, sans réflexions sur l'environnement.





© Guillaume J. Plisson pour l'INRS / 2024

Ces indicateurs permettent d'évaluer le confort visuel des salariés vis-à-vis de l'éclairage naturel. Chaque indicateur est associé à une méthode d'évaluation et de vérification (Cf. Figure 6). Trois niveaux de performance sont proposés : minimal, moyen et élevé. L'atteinte du niveau minimal est recommandée pour tous les lieux de travail.

Apport en lumière du jour

Selon le niveau de performance visé, la norme préconise que l'éclairage naturel atteigne 300 lux, 500 lux ou 750 lux sur une portion définie de la surface utile, à une hauteur de 85 cm du sol, représentative d'un poste de travail assis. Deux méthodes d'évaluation sont proposées. Toutes deux nécessitent l'utilisation d'un logiciel de simulation.

→ Méthode n° 1 : calcul du facteur de lumière du jour

Le facteur de lumière du jour D_T est défini en un point du local comme le rapport entre l'éclairage naturel en ce point et l'éclairage extérieur en site dégagé (Cf. Figure 7) :

$$D_T = \frac{E_{\text{intérieur, naturel}}}{E_{\text{extérieur}}}$$

Cette méthode de calcul se fait sous l'hypothèse d'un ciel couvert normalisé, sans apport de lumière

directe du soleil. Elle ne prend en compte ni l'orientation des ouvertures, ni le climat lumineux local. Elle ne reflète pas les conditions réelles, mais permet de comparer plusieurs configurations d'un même espace (taille et position des ouvertures, couleurs des parois, etc.).

→ Méthode n° 2 : calcul des éclairagements sur un plan de référence

Cette méthode repose sur des valeurs d'éclairage atteint sur le plan de référence, en tenant compte de la météo locale *via* un fichier climatique horaire.

Évaluation de la vue sur l'extérieur

Une vue est jugée de qualité si elle comprend trois composantes : le ciel, le paysage et le sol. Pour chaque niveau de recommandation, la norme précise des seuils à respecter pour l'angle de vision horizontal offert, la distance de visibilité vers l'extérieur et le nombre de composantes visibles (cf. Figure 8).

Exposition au rayonnement solaire direct

Une exposition modérée au soleil direct est considérée comme bénéfique au bien-être des occupants. Cet aspect, même s'il est important, sort du cadre de l'étude de l'éclairage.



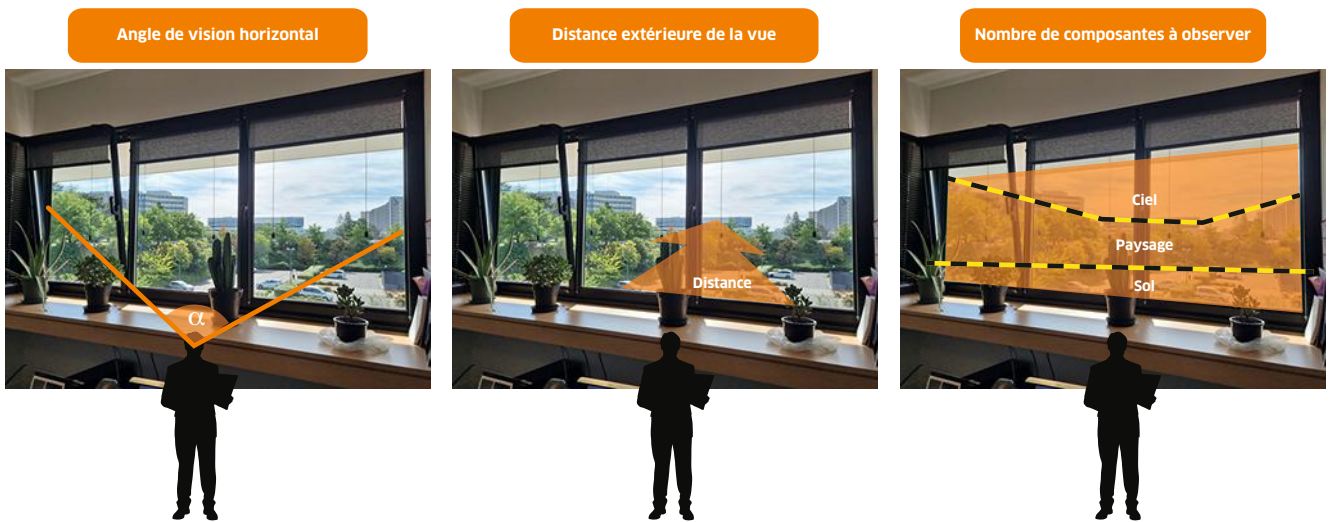


FIGURE 8 ↗ Critères de qualité de la vue sur l'extérieur définis par la norme NF EN 17037.

PARAMÈTRES*

Niveau de recommandation pour la vue sur l'extérieur	Angle de vision horizontal	Distance extérieure de la vue	Nombre de composantes à observer depuis au moins 75% de la surface utile : • ciel • paysage (urbain et/ou naturel) • sol
Minimal	≥ 14°	≥ 6 m	Au moins la composante de paysage est incluse
Moyen	≥ 28°	≥ 20 m	La composante de paysage et une composante supplémentaire sont incluses dans la même ouverture avec vue
Élevé	≥ 54°	≥ 50 m	Toutes les composantes sont incluses dans la même ouverture avec vue

* Pour un espace avec une profondeur de pièce supérieure à 4 m, il est recommandé que la somme correspondante des dimensions de la (des) ouverture(s) avec vue soit au moins égale à 1m x 1,25 m (largeur x hauteur).

Protection contre l'éblouissement

La norme introduit l'indice DGP (de l'anglais *daylight glare probability* pour « probabilité d'éblouissement par la lumière du jour » ; Cf. Article pp. 49-58), qui quantifie la probabilité qu'un observateur ressente un éblouissement causé par la lumière naturelle. L'évaluation de la DGP est applicable à un espace comportant des ouvertures vitrées, verticales ou inclinées. Le calcul du DGP repose sur des rapports de luminance, de façon similaire à l'indice UGR utilisé pour l'éclairage artificiel, mais il intègre des paramètres propres à la lumière du jour (position et dimension des ouvertures, luminance des parois, éclairage ambiant). De par sa complexité, il nécessite le recours à un spécialiste. ●

1. Cette partie du Code du travail est en cours de « transfert » dans le code de la construction. Ce transfert concerne toutes les dispositions du Code du travail destinées aux maîtres d'ouvrage.
2. L'éclairage à maintenir est obtenu après une certaine durée d'utilisation, et prend en compte la salissure du matériel, de l'environnement qui limite la réflexion de la lumière, et l'altération des sources liée à leur durée d'utilisation.
3. Cette loi permet d'évaluer simplement la luminance d'une surface en fonction de son éclairage ; Cf. Article p. 30.
4. Uniformité d'éclairage U_0 : rapport de l'éclairage minimal sur l'éclairage moyen, cette notion est détaillée dans la suite de l'article.

BIBLIOGRAPHIE

[1] ARTICLES R. 4213-1 À R. 4213-4 du Code du travail. Accessibles sur : www.legifrance.gouv.fr

[2] ARTICLES R. 4223-1 À R. 4223-12 du Code du travail. Accessibles sur : www.legifrance.gouv.fr

[3] NORME NF X 35-103 – Ergonomie. Principes d'ergonomie applicables à l'éclairage des lieux de travail. Afnor, 2013. Accessible sur : www.boutique.afnor.org (site payant).

[4] NORME NF EN 12464-1 – Lumière et éclairage. Éclairage des lieux de travail – Partie 1 : lieux de travail intérieurs. Afnor, 2021. Accessible sur : www.boutique.afnor.org (site payant).

[5] NORME NF EN 12464-2 – Lumière et éclairage. Éclairage des lieux de travail – Partie 2 : lieux de travail extérieurs. Afnor, 2024. Accessible sur : www.boutique.afnor.org (site payant).

[6] NORME NF EN 17037 – Lumière naturelle dans les bâtiments. Afnor, 2021. Accessible sur : www.boutique.afnor.org (site payant).

[7] IEEE 1789-2015 – Institute of Electrical and Electronics Engineers recommended practices for modulating current in high-brightness leds for mitigating health risks to viewers. IEEE, 2015.

[8] MILLER N.J., LEHMAN B. – Flicker: understanding the new IEEE recommended practice. US Department of energy, 2015. Accessible sur : https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/05/f22/miller%2Blehman_flicker_lightfair2015.pdf

ÉCLAIRAGE NATUREL DANS LES LOCAUX PROFESSIONNELS

Cet article met en avant les caractéristiques de la lumière naturelle et de ses variations (qualité, puissance...) en rappelant les documents de référence, les façons de la capter et de la caractériser. Il met également l'accent sur plusieurs points de vigilance, comme les risques liés à la surchauffe, à l'éblouissement... Il revient aussi sur certains outils utilisés pour le dimensionnement des ouvertures lumineuses, en fonction notamment des activités exercées dans les locaux concernés.

BERNARD PAULE, ISCIA VOS
Estia,
Lausanne
(Suisse)

YANNICK SUTTER
École
nationale
supérieure
d'architecture
de Montpellier

La lumière naturelle, dont les variations offrent un éventail infini de nuances, est un élément clé de notre quotidien. Cette lumière gratuite offre par définition un rendu des couleurs parfait. Elle nous permet de percevoir les contours et les limites de notre environnement et d'apprécier la matérialité des objets qui le composent. L'alternance des périodes de jour et de nuit impacte la biologie humaine *via* les rythmes circadiens. Par conséquent, l'accès à la lumière naturelle est un facteur déterminant pour notre santé. Celle-ci doit cependant être maîtrisée à l'intérieur des bâtiments, afin de pouvoir accompagner hommes et femmes dans la réalisation des tâches correspondant à leur travail. Ceci suppose de considérer simultanément les aspects concernant le confort visuel et thermique ainsi que les demandes énergétiques associées aux besoins de lumière, de chaleur et de froid des bâtiments.

Documents de référence

L'éclairage naturel a fait l'objet de nombreuses recherches ayant donné lieu à de multiples publications [1-3]. La norme européenne NF EN 17037 fournit des recommandations pour optimiser l'éclairage naturel selon quatre critères d'évaluation [4] :

- la quantité de lumière disponible ;
- la vue extérieure ;
- l'exposition au soleil ;
- et la protection contre l'éblouissement.

Pour chacun de ces critères, cette norme édicte des recommandations indépendamment de l'affectation

des locaux et définit trois niveaux de performance : « minimal, moyen et élevé ». Chaque critère peut être validé selon une méthode simplifiée, ou une méthode avancée qui nécessite généralement des calculs plus détaillés. Cet article propose de passer en revue ces quatre thématiques, afin d'en faire ressortir les éléments clés, ainsi que des recommandations issues de retours d'expériences.

Quantité de lumière disponible

La performance visuelle, c'est-à-dire la capacité à distinguer et à traiter des informations, est liée au système visuel de l'observateur et à la quantité de lumière disponible. Plus le niveau de détail d'une tâche est élevé, plus l'apport de lumière doit être important. Ceci se traduit par les différents niveaux d'éclairage recommandés en fonction des activités [5]. Dans les locaux de travail, 300 lux à 750 lux sont généralement requis pour réaliser la plupart des activités professionnelles, tous types d'éclairage confondus.

Critères de la norme NF EN 17037

Le *Tableau 1* indique les valeurs d'éclairage en lumière naturelle recommandées par la norme pour les locaux équipés d'ouvertures en façade :

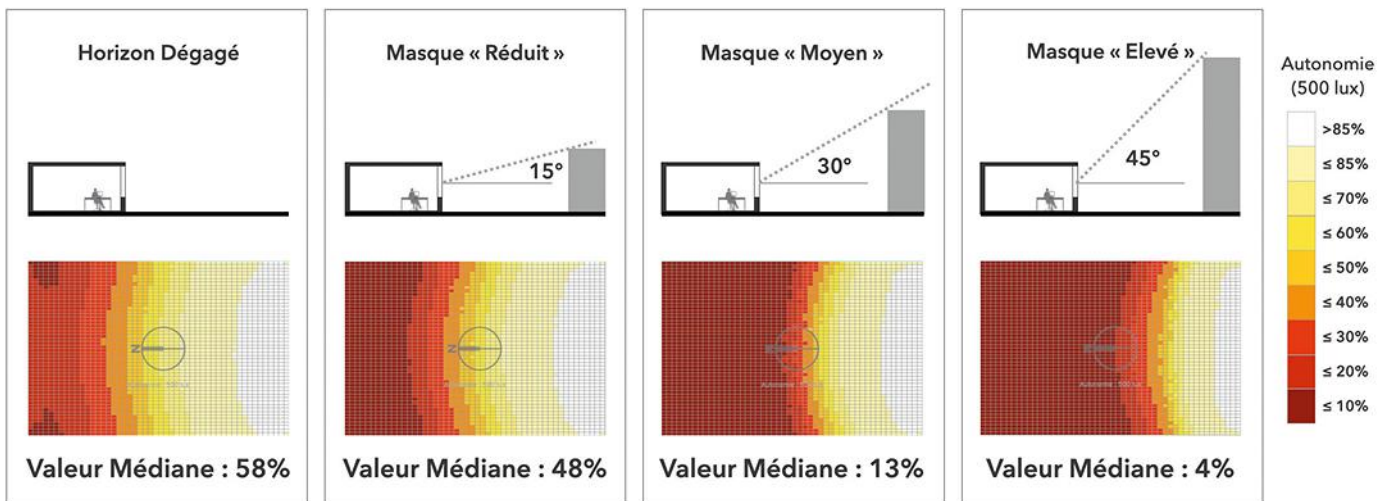
- pour « l'éclairage cible », l'objectif doit concerner 50 % de la surface du local ;
- pour « l'éclairage minimal cible », l'objectif porte sur 95 % de la surface du local.

Concrètement, le niveau moyen de l'éclairage cible suppose que 50 % de la surface du local bénéficie d'un éclairage de 500 lux pendant la moitié

NIVEAU DE RECOMMANDATION POUR L'ÉCLAIREMENT	ÉCLAIREMENT CIBLE	ÉCLAIREMENT MINIMAL CIBLE
Minimal	300 lux	100 lux
Moyen	500 lux	300 lux
Élevé	750 lux	500 lux

↑ **TABLEAU 1** Niveaux d'éclairage recommandés par la norme NF EN 17037 pour les locaux munis d'ouvertures en façade.





↑ FIGURE 1 Influence de la hauteur angulaire des masques extérieurs (obstacles extérieurs limitant la vue du ciel) sur l'autonomie en éclairage naturel. (Simulations : DIAL+, caractéristiques géométriques du local : L = 6 m, l = 4 m, h = 2,70 m). Une valeur médiane de 58 % indique que 58 % de la surface du local bénéficie d'un éclairement ≥ 500 lux pendant 50 % de la période considérée (de 7 h à 18 h).

des heures de jour. Ceci fait référence à la notion « d'autonomie en éclairage naturel », c'est-à-dire au temps pendant lequel l'éclairement intérieur est atteint grâce à la lumière naturelle seule. Si la valeur médiane de l'autonomie est supérieure à 50 % pour 500 lux requis, le niveau « moyen » est atteint. Dans la pratique, ces recommandations sont ambitieuses et le niveau « minimal » assurera un éclairage naturel raisonnable [6]. La méthode simplifiée de vérification mobilise le concept de facteur de lumière du jour (Cf. Article 2 pp. 40-48) et la méthode avancée nécessite le recours aux simulations dynamiques utilisant des données climatiques.

Influence de l'environnement extérieur

La quantité de lumière disponible à l'intérieur des locaux dépend fortement de l'environnement du bâtiment. La Figure 1 permet de comparer les valeurs d'autonomie en lumière diffuse en fonction de la hauteur angulaire des obstructions extérieures. Dans cet exemple, la valeur cible est de 500 lux sur

la période comprise entre 7 h et 18 h, avec les données climatiques de la ville de Bourges (coordonnées géographiques = 47° N, 2,4° E).

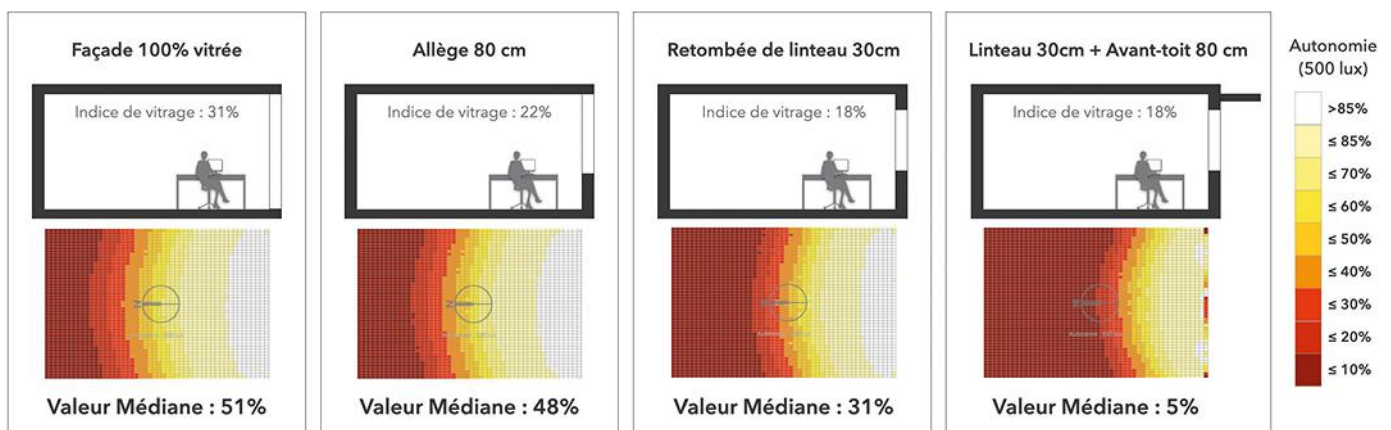
Les résultats affichés correspondent aux valeurs d'autonomie sur un plan de référence situé à 80 cm du sol. Ceci permet de visualiser pour chaque zone du local le pourcentage de temps pendant lequel l'éclairement requis est atteint.

Ceci montre qu'en environnement urbain dense, il est difficile d'éclairer suffisamment la partie arrière des locaux situés dans les étages inférieurs à l'aide de lumière naturelle.

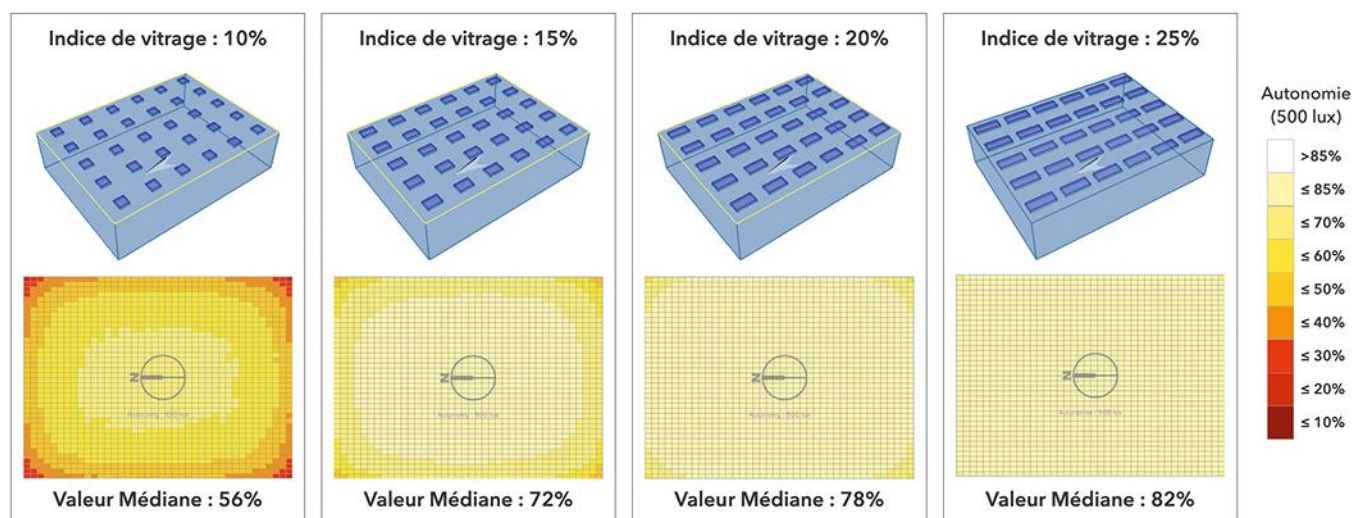
Influence de la configuration des locaux et des ouvertures

→ Ouvertures en façade

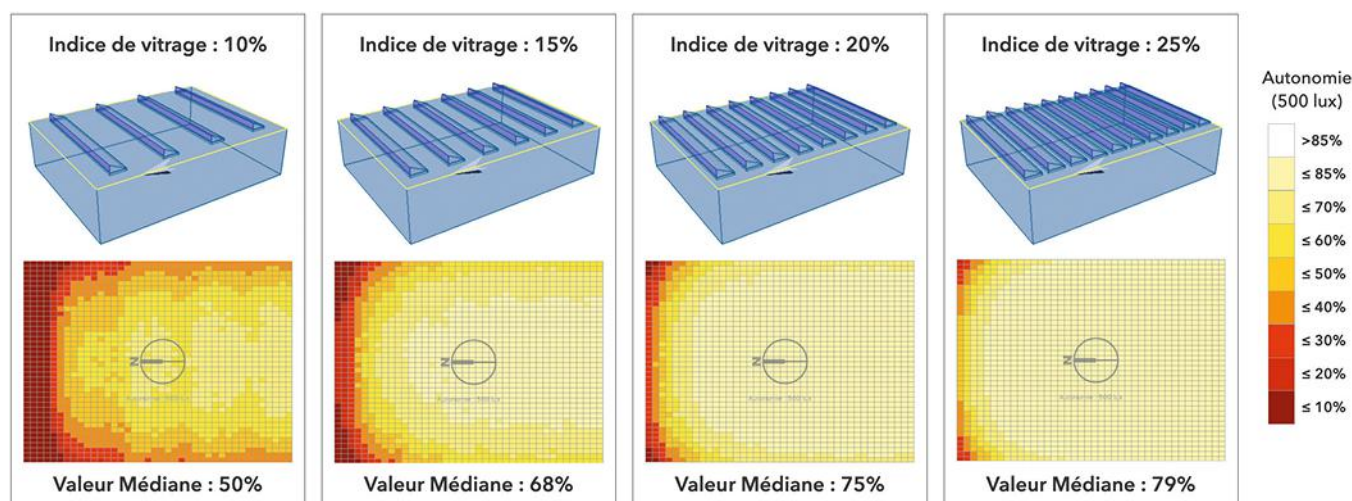
La Figure 2 permet de comparer les performances associées à quatre typologies d'ouvertures. La première configuration correspond à une façade entièrement vitrée. La deuxième est équipée d'un bandeau horizontal vitré, avec une allège de 80 cm.



↑ FIGURE 2 Influence de la configuration de la façade sur l'autonomie en éclairage naturel (500 lux) (vue en plan de l'autonomie en lumière du jour pour un éclairement de 500 lux. L = 6 m, l = 4 m, h = 2,70 m, masque d'horizon : 15°, simulations : DIAL+).



↑ FIGURE 3 Influence de l'indice de vitrage dans le cas d'ouvertures zénithales horizontales (vue en plan de l'autonomie en lumière du jour pour un éclairage de 500 lux / vitrages diffusants ; $T_v = 0,55$ / $L = 40$ m, $l = 30$ m, $h = 10$ m, masque d'horizon : 15° , simulations : DIAL+).



↑ FIGURE 4 Influence de l'indice de vitrage dans le cas de sheds verticaux orientés au nord (vue en plan de l'autonomie en lumière du jour pour un éclairage de 500 lux / vitrages clairs ; $T_v = 0,80$ / $L = 40$ m, $l = 30$ m, $h = 10$ m, masque d'horizon : 15° , simulations : DIAL+).

La troisième intègre une retombée de linteau de 30 cm. Enfin, la quatrième est équipée d'un débord extérieur de 80 cm. Les simulations sont réalisées avec un masque d'horizon de 15° (Cf. cas n°2 de la Figure 1).

La comparaison des deux premiers cas montre que la partie basse des vitrages a une influence limitée sur l'éclairage du plan de travail. L'observation des deux derniers cas montre que la présence d'éléments opaques en partie haute des ouvertures (retombée de linteau et avant-toit) induit une baisse significative des apports lumineux.

Les locaux industriels ont parfois la chance de pouvoir accéder directement au ciel par l'intermédiaire d'ouvertures en toiture ; ces ouvertures sont dites zénithales.

→ Ouvertures zénithales horizontales

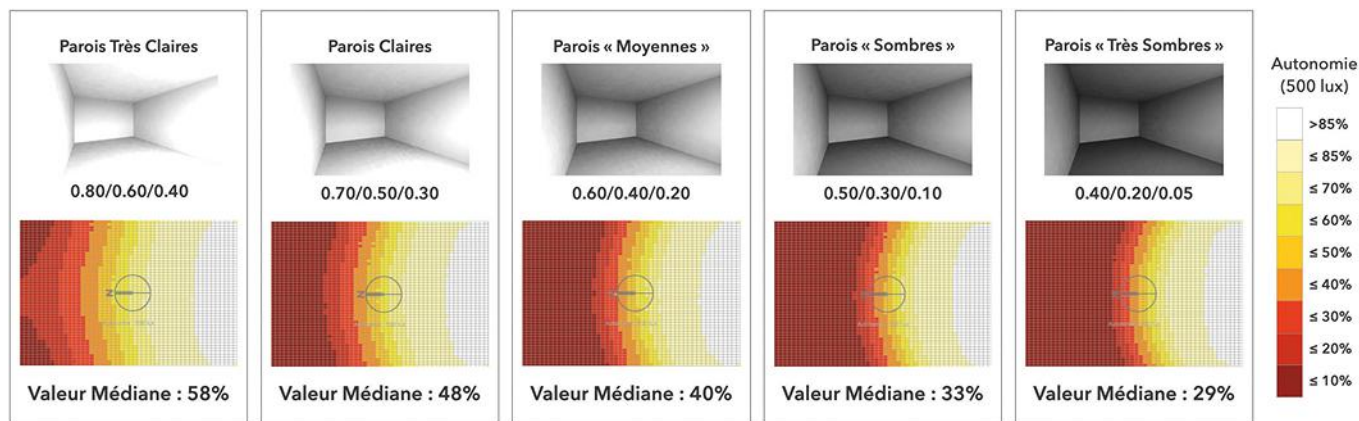
La Figure 3 montre que dans le cas d'ouvertures

zénithales horizontales, un indice d'ouverture de 10% (la surface vitrée représente 10% de la surface du local) permet à la valeur médiane de l'autonomie de dépasser 50% pour un éclairage requis de 500 lux. L'absence de masques liés à l'environnement explique l'efficacité de ce type d'ouvertures. Pour éviter le risque d'éblouissement lié aux pénétrations solaires directes, il est recommandé d'utiliser des vitrages diffusants (opaescents) qui induisent une réduction du facteur de transmission lumineuse T_v .

→ Ouvertures zénithales verticales (sheds)

L'architecture industrielle comporte de nombreux exemples de bâtiments équipés de sheds dont les vitrages verticaux sont orientés au nord. La Figure 4 montre que si cette option présente des performances légèrement plus réduites, le potentiel d'éclairage naturel reste très élevé et cette variante permet aux usagers d'avoir une vision directe du ciel grâce





↑ FIGURE 5 Influence de la clarté de parois intérieures sur la disponibilité de lumière naturelle (vue en plan). Les valeurs mentionnées en dessous des images correspondent aux facteurs de réflexion du plafond, des murs et du sol (ex. : 0.80/0.60/0.40 : indique que le plafond, les murs et le sol réfléchissent respectivement 80 %, 60 % et 40 % de la lumière qu'ils reçoivent) (images : Daylight Visualizer/simulations : DIAL+).

à l'utilisation de verres transparents. Par ailleurs, on note que la surface arrière des sheds offre une exposition très favorable à la mise en place de panneaux solaires photovoltaïques.

Le guide de l'éclairage naturel zénithal proposé par le GIF-Lumière (Groupement des fabricants et fabricants-installateurs de matériel coupe-feu et d'évacuation des fumées) est une ressource de référence pour la conception des espaces mobilisant les prises de jour en toiture [7].

→ Clarté des parois intérieures

La Figure 5 montre que la clarté des parois intérieures a une forte influence sur la disponibilité de lumière à l'arrière des locaux. Sauf exigence particulière liée à un usage spécifique, il est donc fortement recommandé de privilégier les parois claires.

Retours d'expérience et bonnes pratiques concernant la quantité de lumière

→ Caractéristiques des ouvertures

- La partie haute des ouvertures en façade est déterminante pour contribuer à l'éclairage des portions de l'espace éloignées des façades. Il est donc primordial de limiter au minimum les retombées de linteau.
- À l'opposé, les apports de lumière en provenance de la partie basse des façades (allège) ne contribuent que faiblement à l'éclairage du plan de travail, tout en augmentant les échanges thermiques.
- Pour les ouvertures en façade, un indice de vitrage (surface de verre rapportée à la surface du local) proche de 20 % est souhaitable.
- Pour les ouvertures en toiture, il est recommandé dans la plupart des cas de limiter l'indice de vitrage à 15 % afin de réduire les risques de surchauffe. En effet, les toitures, de par leur orientation horizontale, reçoivent beaucoup plus de rayonnement solaire direct en été, lorsque le soleil est haut. L'emploi de matériaux translucides peut également limiter l'éblouissement direct dans le cas des ouvertures horizontales.

Caractéristiques des parois

- La clarté des parois intérieures influence de façon très importante le potentiel d'éclairage naturel des parties situées à l'arrière des locaux.
- Le plafond, notamment, constitue une sorte de ciel intérieur, il est donc recommandé de le traiter avec la couleur la plus claire possible (un plafond sombre donne l'impression de réduire la hauteur du local et ne permet pas de mettre en œuvre un éclairage artificiel indirect).
- Cette recommandation est aussi valable pour les parois verticales qui, lorsqu'elles sont de teinte sombre, peuvent donner le sentiment de restreindre la taille des locaux.
- Le sol est la première surface sur laquelle la lumière naturelle se réfléchit. Sa couleur et sa clarté présentent une influence forte sur l'ambiance lumineuse d'un espace.

→ Position des postes de travail

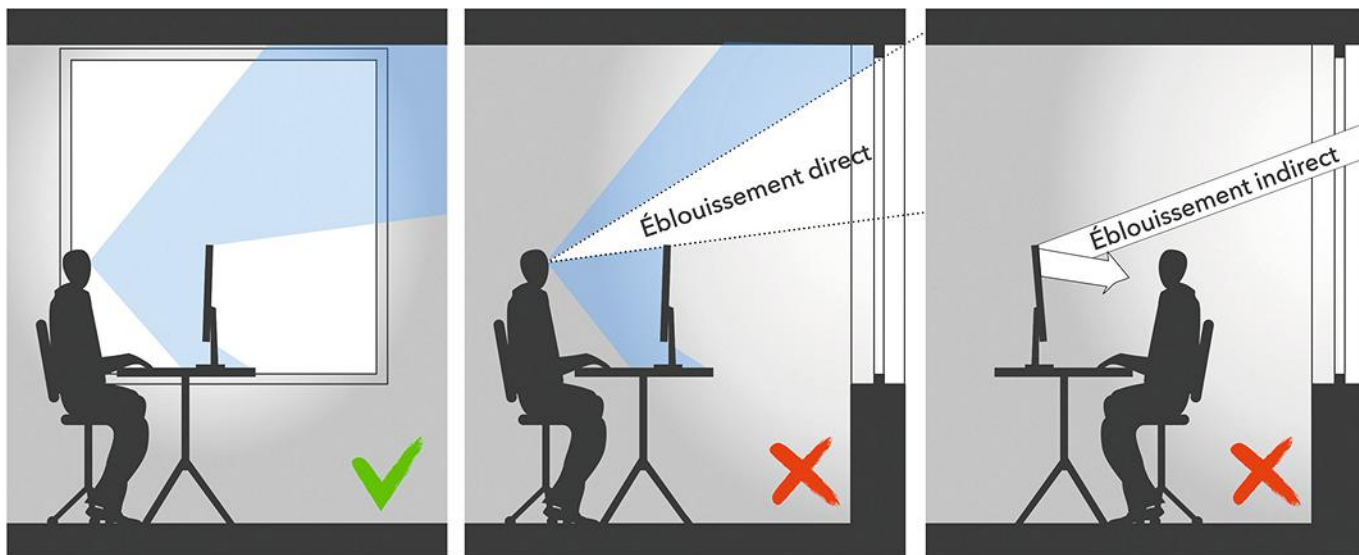
- Pour le travail sur ordinateur, les écrans doivent être positionnés perpendiculairement au plan des ouvertures de façon à limiter les risques d'éblouissement direct (présence du ciel dans l'axe du regard) et indirect (reflets sur les écrans ; Cf. Figure 6).
- Il est recommandé de ne pas positionner les postes de travail permanents à une distance supérieure à deux fois la hauteur du point haut des vitrages (Cf. Figure 7).

Vue sur l'extérieur

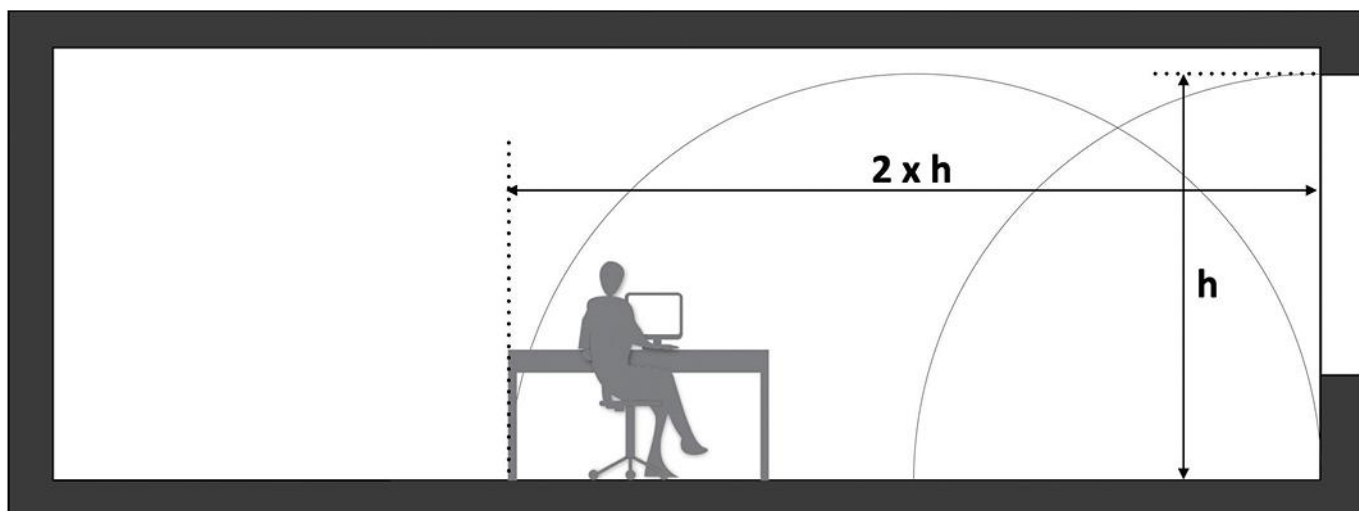
Bénéficier d'une vue vers l'extérieur est un impératif en ce qui concerne les locaux de travail [5]. La vue permet de se repérer dans l'espace, de rester connecté avec le déroulement de la journée et les conditions climatiques mais aussi de reposer les yeux. En effet, la vision lointaine permet de libérer les muscles ciliaires qui contrôlent la courbure du cristallin et donc de mettre l'œil en repos.

Critères de la norme NF EN 17037

La norme NF EN 17037 propose une analyse de la vue vers l'extérieur selon trois critères [4] :



↑ FIGURE 6 Recommandation relative à la position des postes de travail sur écran.



↑ FIGURE 7 Recommandation quant à la distance maximale d'implantation des postes de travail permanents.

- l'angle de vision horizontal ;
- la distance par rapport aux obstacles extérieurs ;
- les composantes du paysage observables (ciel, paysage urbain et sol ; Cf. Figure 9).

Le Tableau 2 indique les exigences requises pour atteindre les différents niveaux de recommandation.

Influence des paramètres environnementaux et architecturaux

→ **Influence de l'implantation des ouvertures**

L'angle de vision horizontale vers l'extérieur dépend fortement de la taille et de la distribution des ouvertures. La Figure 8 montre, pour un local donné, la cartographie de la vue horizontale vers

l'extérieur associée à trois configurations d'ouvertures typiques.

On peut conclure de cette analyse que, plus un espace est profond, plus la surface d'ouverture doit couvrir sa façade en largeur pour être conforme à la norme NF EN 17037.

→ **Influence de l'environnement**

Comme évoqué précédemment, l'environnement extérieur du bâtiment conditionne fortement le potentiel de vue. En milieu urbain, le niveau « élevé » selon la norme NF EN 17037 (accès aux trois composantes : ciel, paysage et sol) est parfois difficile à atteindre (Cf. Figure 9).

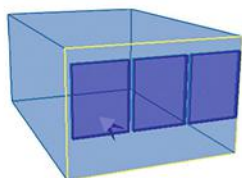
NIVEAU DE RECOMMANDATION POUR LA VUE	ANGLE DE VISION HORIZONTAL	DISTANCE DE LA VUE EXTÉRIEURE	NOMBRE DE COMPOSANTES À OBSERVER POUR 75% DE LA SURFACE UTILE
Minimal	≥ 14°	≥ 6 m	Paysage
Moyen	≥ 28°	≥ 20 m	Paysage + Sol ou Ciel
Élevé	≥ 54°	≥ 50 m	Paysage + Sol + Ciel

← TABLEAU 2 Évaluation de la vue sur l'extérieur depuis une position donnée [4].

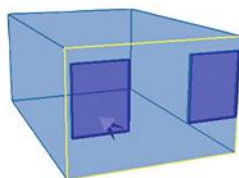


Angle de vision horizontale

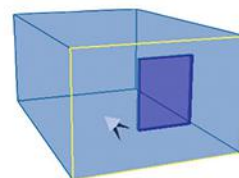
■ >54° ■ >28° ■ >14° ■ <14°



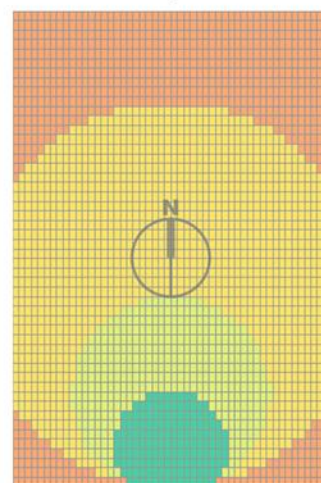
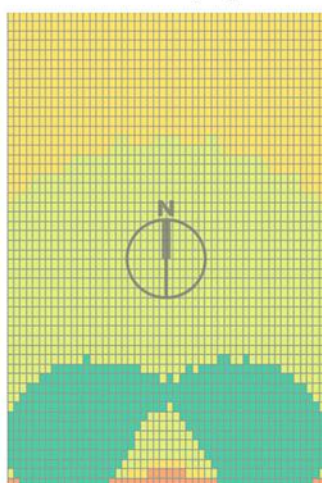
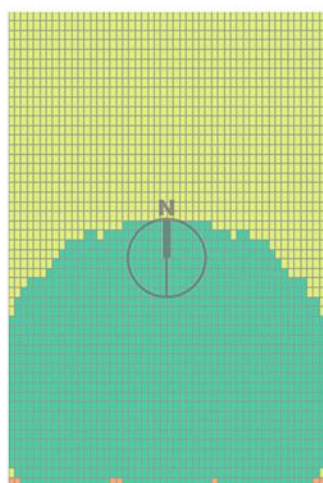
Bandeau vitré horizontal



Alternance surfaces opaques & vitrées



Ouverture ponctuelle



↑ FIGURE 8
Exemple de caractérisation de la vue horizontale pour différentes configurations d'ouvertures (vues en plan : la couleur de chaque maille indique l'angle de vision horizontale vers l'extérieur depuis chaque emplacement dans le local).

Retours d'expérience et bonnes pratiques concernant la vue extérieure

→ Géométrie des ouvertures

- Les typologies de façades basées sur une alternance de bandes verticales opaques et vitrées se traduisent par un fractionnement important de l'angle de vision horizontale [8]. De plus, cette configuration risque d'entraîner un éblouissement d'inconfort lié à de forts contrastes de luminance.
- À l'inverse, les ouvertures en bandes horizontales favorisent une vue large et panoramique du paysage environnant.

→ Ressenti des utilisateurs

- Le fait de pouvoir être observé depuis l'extérieur est parfois mentionné comme une contrainte par les usagers. Il arrive en effet que les façades 100 % vitrées soient obstruées par des éléments de mobilier ou bien que les rideaux ou les protections solaires soient abaissés même lorsque le soleil est absent, ce qui péjore l'accès effectif à la lumière du jour.
- Pour les bâtiments de grande hauteur, la sensation de vertige peut être accentuée par l'absence d'allèges opaques et inciter les usagers à décaler leur poste de travail vers l'intérieur.
- Les façades 100 % vitrées favorisent les échanges thermiques (augmentation du risque de surchauffe en été et de sensation de froid en hiver).

Exposition au soleil

Critères de la norme NF EN 17037

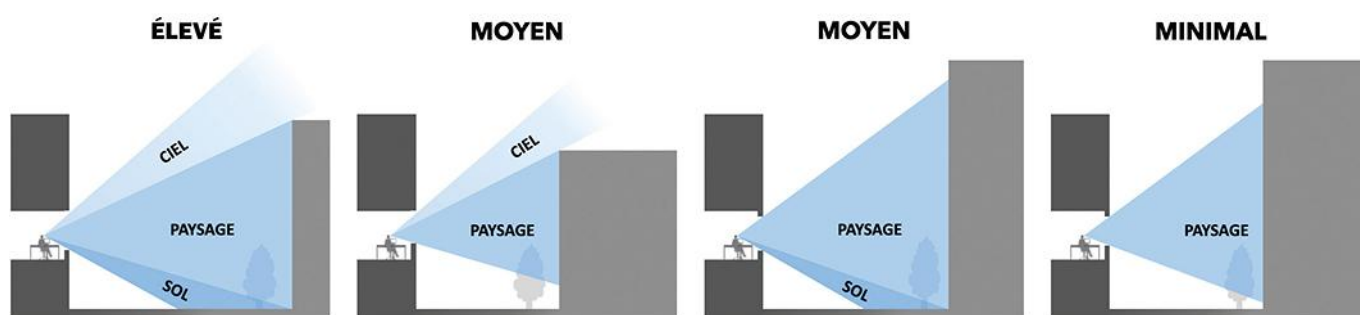
Les pénétrations solaires à l'intérieur d'un espace constituent indiscutablement un point positif qui contribue à l'agrément visuel et aux apports de chaleur en hiver. Cependant, la présence de rayons solaires directs dans le champ visuel n'est pas toujours adaptée dans un espace de travail, dans la mesure où les niveaux de luminance en jeu induisent un potentiel d'éblouissement élevé. Par ailleurs, le contrôle des gains solaires en période estivale représente un enjeu primordial pour maîtriser le risque de surchauffe.

La norme NF EN 17037 propose de valoriser le nombre d'heures d'exposition au soleil direct pour la période hivernale, à une date comprise entre le 1^{er} février et le 21 mars. Les différents niveaux de performance sont présentés dans le *Tableau 3*.

Retours d'expérience et bonnes pratiques concernant l'exposition au soleil

→ Protections solaires

- Les protections solaires fixes ne constituent pas à elles seules une réponse adéquate pour contrôler les rayons solaires. Il est donc indispensable de bénéficier de systèmes mobiles.
- Compte tenu de la gestion parfois irrégulière des utilisateurs, la motorisation et l'automatisation des protections solaires mobiles peuvent



↑ FIGURE 9 Représentation simplifiée du nombre de composantes potentiellement vues depuis l'intérieur d'un local.

NIVEAU DE RECOMMANDATION POUR L'EXPOSITION AU RAYONNEMENT SOLAIRE DIRECT	EXPOSITION AU RAYONNEMENT SOLAIRE DIRECT
Minimal	1,5 h
Moyen	3 h
Élevé	4 h

← TABLEAU 3 Recommandations relatives à l'exposition au rayonnement direct [4].

être utiles pour optimiser la gestion des apports solaires et lumineux [9]. L'automatisation permet notamment de réduire l'occultation lorsque le rayonnement direct n'est plus présent, et que l'occupant ne le remarque pas [10].

- Dans la pratique, les automatismes privilégiant quelques mouvements par jour lorsque les usagers sont absents constituent une réponse efficace et bien acceptée. Ces mouvements doivent être adaptés en fonction de l'orientation et de la saison afin de contribuer efficacement à la gestion du climat intérieur.

→ **Ventilation naturelle**

- Il est important de s'assurer que les protections solaires ne constituent pas un obstacle à la ventilation naturelle.
- À ce titre, les brise-soleil à lames orientables sont favorables (notamment pour la ventilation nocturne) dans la mesure où ils assurent une protection contre la pluie tout en laissant passer l'air à travers les lames.
- À l'inverse, les stores verticaux en toile peuvent constituer un obstacle au passage de l'air et favoriser la création d'un « bouchon » d'air chaud devant la fenêtre.

Protection contre l'éblouissement

En pratique, le risque d'éblouissement est renforcé par trois facteurs :

- la présence de fortes luminances dans l'axe du regard (centre de la scène) ;
- les écarts de luminances importants dans une même scène visuelle ;
- la présence de fortes luminances dans la partie basse du champ visuel.

Dans la pratique, la maîtrise de l'éblouissement

doit être assurée par les protections solaires mobiles. Leur présence est indispensable sur toutes les façades exposées au rayonnement direct afin de pouvoir adapter les conditions de travail en fonction des conditions climatiques et de la nature des activités pratiquées.

Critères de la norme NF EN 17037

La méthode détaillée de caractérisation de l'éblouissement selon la norme NF EN 17037 mobilise l'indicateur DGP (de l'anglais *daylight glare probability*) [11]. Celui-ci traduit, pour une scène lumineuse donnée, le pourcentage de personnes qui seront potentiellement éblouies. Pour calculer cet indicateur, plusieurs approches sont possibles. Sur site, il convient de réaliser plusieurs photos de la même scène avec différentes combinaisons d'indices d'ouverture et de temps d'exposition, afin de capter toute la dynamique lumineuse de la scène (images HDR : *High dynamic range*). En phase conception, il est possible de réaliser des simulations à l'aide de logiciels spécialisés [12]. Ces procédures sont complexes et peu adaptées au quotidien.

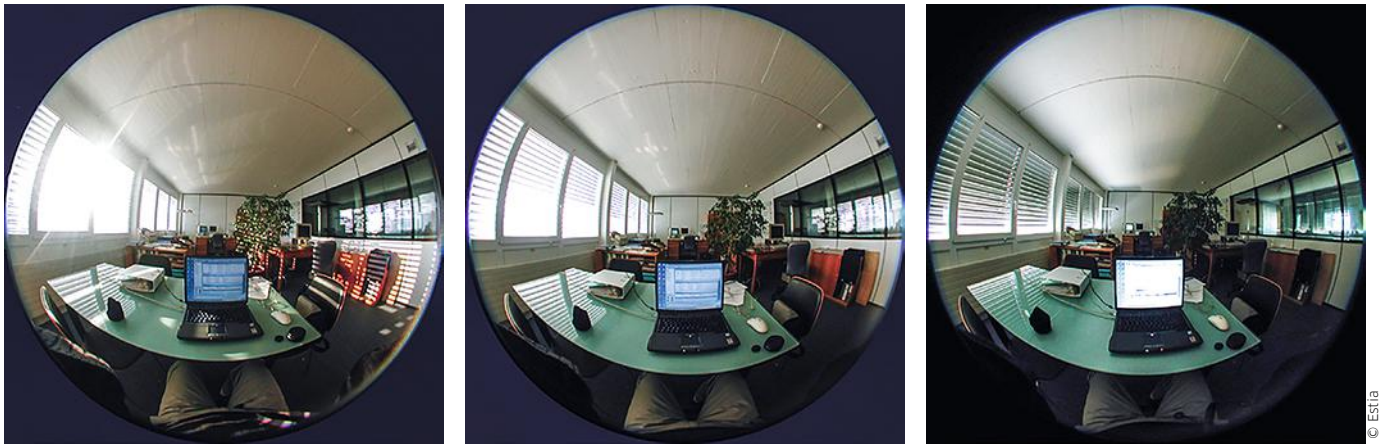
La méthode simplifiée de vérification de ce critère varie en fonction du type de protection solaire. On peut retenir que, dans le cas de stores opaques, le niveau de performance « élevé » est atteint pour ces dispositifs, dès lors qu'ils sont contrôlables par les occupants et qu'ils permettent de masquer totalement la vue du soleil lorsqu'ils sont en position fermée.

Retours d'expérience et bonnes pratiques concernant le contrôle de l'éblouissement

→ **Stores en toile**

Le choix d'un store en toile doit tenir compte des observations suivantes :





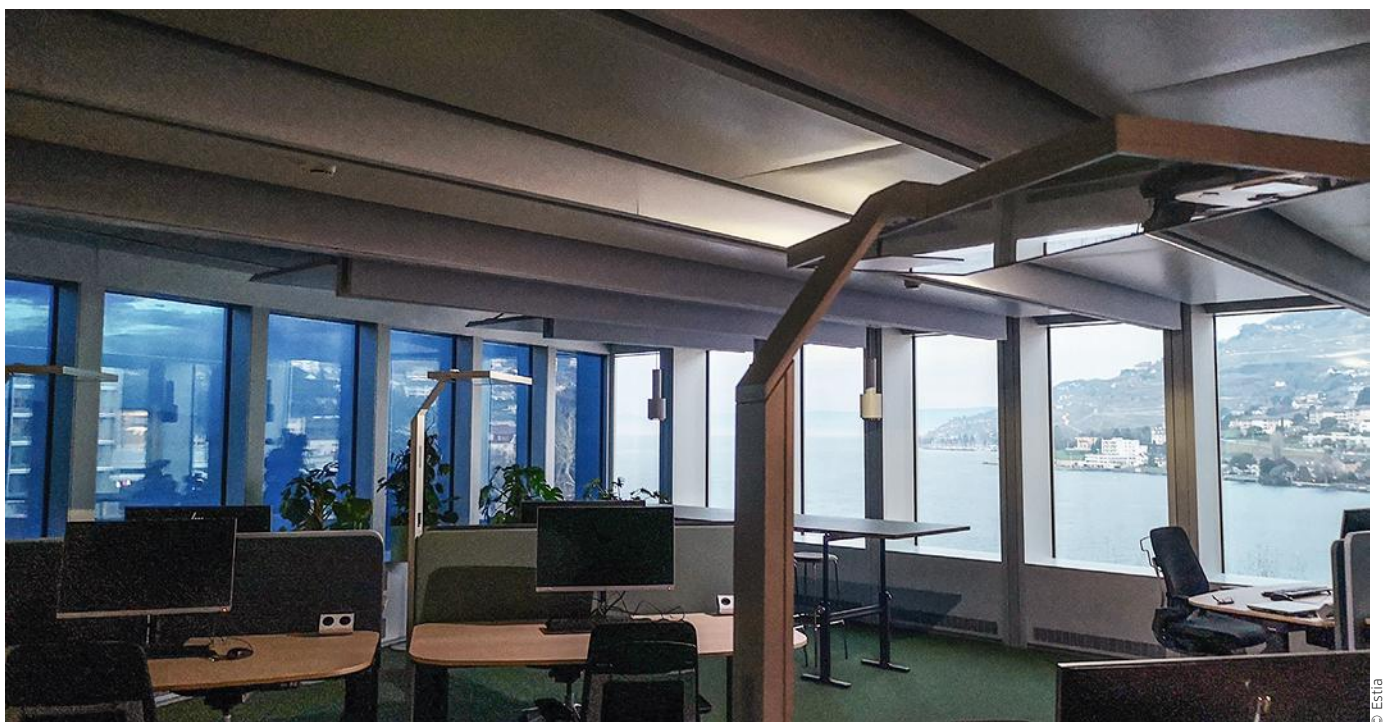
↑ FIGURE 10 Effets lumineux obtenus en fonction de l'inclinaison des lames. À gauche : le soleil pénètre à travers les lames et provoque un risque d'éblouissement élevé. Au centre : les lames sont inclinées de façon à bloquer les rayons directs et créent une ambiance tamisée. À droite : les lames en position fermée orientées vers le plafond laissent passer une partie des rayons et illuminent le plafond.

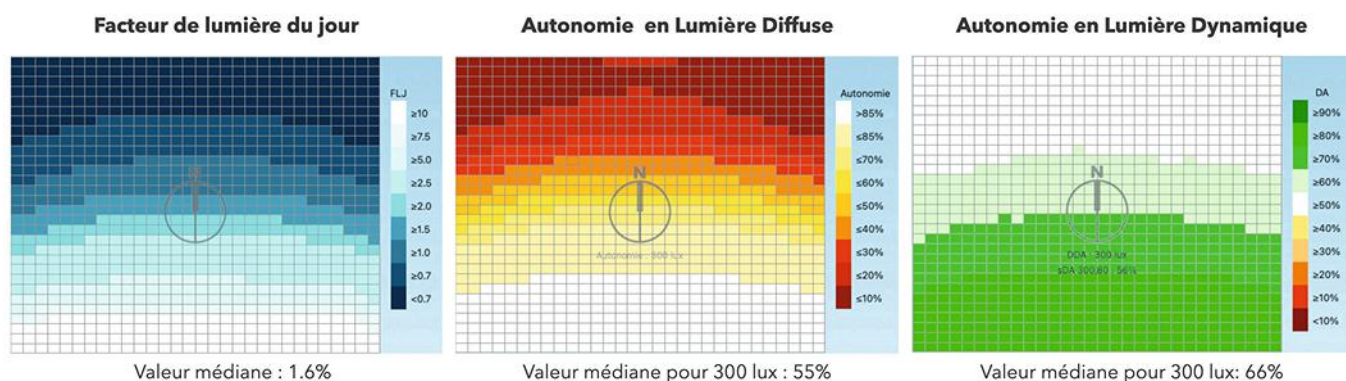
↓ FIGURE 11 Photographie d'un local situé dans l'angle d'un bâtiment et dont les façades sont équipées de verres électrochromes. Sur la partie gauche, les vitrages sont teintés au maximum : TL ≈ 1 %, tandis qu'à droite, les vitrages sont à l'état clair : TL ≈ 56%.

- plus la couleur de la toile est claire, plus la transmission lumineuse est élevée (effet de diffusion à travers le tissu) ;
- plus le taux de perforation est important, plus la vision vers l'extérieur est préservée, mais plus le risque d'éblouissement est élevé (pour les tâches exigeantes, le taux de perforation ne devrait pas excéder 3 %) ;
- plus la couleur de la face intérieure de la toile est sombre, plus la vision vers l'extérieur est favorisée ;
- plus la couleur de la face extérieure de la toile est claire, plus l'absorption des rayons solaires est faible.

→ Brise-soleil à lames orientables

Les brise-soleil à lames orientables (BSO) constituent un outil très complet pour contrôler les risques d'éblouissement. Leur principal avantage réside dans la possibilité d'adapter l'inclinaison des lames en fonction de la hauteur du soleil, ce qui permet de ne pas bloquer complètement les apports lumineux et de préserver une partie de la vue vers l'extérieur (Cf. Figure 10). L'utilisation de lames claires permet de favoriser la réflexion de la lumière en direction du plafond et d'éviter que l'absorption des rayons solaires ne se traduise par un échauffement important du store. On évitera également le recours aux





finitions de type « brossé » qui peuvent créer des lignes éblouissantes.

→ Vitrages à teinte variable

Les vitrages à teinte variable (technologies électrochrome ou thermochrome) permettent de moduler la transmission du verre en fonction de l'exposition au soleil, tout en préservant la vue vers l'extérieur. Concrètement, le vitrage peut s'assombrir ou s'éclaircir, ce qui permet de réguler de façon souple les apports solaires et lumineux (Cf. Figure 11). Concernant les verres électrochromes, les performances des produits disponibles sur le marché actuellement montrent que cette technologie permet de résoudre à la fois la problématique des risques de surchauffe et celle de l'éblouissement. En effet, pour une configuration en double vitrage, la transmission lumineuse (coefficient TL) peut varier entre 0,59 (état clair) et 0,01 (état teinté maximal), tandis que la transmission énergétique (coefficient g) varie entre 0,40 (état clair) et 0,03 (teinte maximale). Cette technologie offre un potentiel intéressant dans le cadre de la rénovation de bâtiments équipés de verres teintés ou réfléchissants, ou bien dans le cas où la façade ne peut pas être modifiée.

→ Configuration des locaux

- S'assurer que la direction du regard est parallèle au plan de la façade vitrée.
- Pour le travail sur écran ainsi que les locaux scolaires, éviter les locaux d'angle vitrés sur deux faces contiguës.
- Éviter l'emploi de matériaux brillants pour les revêtements intérieurs.
- Les éléments présents dans l'environnement extérieur peuvent constituer des sources d'éblouissement (façades vitrées, véhicule en stationnement, etc.), ce qui justifie la présence de protections solaires mobiles, y compris sur des façades peu exposées au rayonnement direct.
- Selon le type de stores, la protection contre l'éblouissement peut entraîner une variation importante de l'autonomie en lumière du jour.

- Le fait de travailler avec un écran en mode « sombre », qui se traduit par une baisse de la luminance des informations affichées, induit parfois une tendance à baisser les protections solaires afin de réduire les contrastes dans le champ visuel. Ce comportement réduit encore l'apport de lumière naturelle dont bénéficie l'utilisateur et peut avoir des effets préjudiciables à la santé du salarié.

Outils de simulation numérique

De nombreux outils de simulation numérique sont actuellement disponibles sur le marché [12-14]. Ils permettent de calculer la disponibilité de la lumière naturelle à l'intérieur des locaux à l'aide d'algorithmes de lancer de rayons [15].

Parmi les indicateurs permettant de quantifier les apports de lumière naturelle, sont mentionnés notamment :

- le facteur de lumière du jour FLJ (Cf. Figure 12, à gauche) : cet indicateur définit, pour un ciel couvert standard (correspondant au modèle CIE ou Moon & Spencer : la luminance du ciel au zénith et égale à trois fois la luminance à l'horizon), le ratio entre l'éclairement sur le plan de référence à l'intérieur d'un local et l'éclairement sur le plan horizontal extérieur en site dégagé. Même si cet indicateur ne prend en compte ni l'orientation des ouvertures ni le climat du lieu où se situe le projet, il est utile pour comparer rapidement différentes variantes d'un même local ;
- l'autonomie en lumière diffuse (en anglais : *diffuse daylight autonomy* ; Cf. Figure 12, au centre) : cet indicateur utilise les résultats de FLJ pour calculer l'éclairement à l'intérieur du local en considérant l'éclairement horizontal diffus extérieur sur la base des données météorologiques du lieu d'implantation ;
- l'autonomie en lumière dynamique (en anglais : *diffuse daylight autonomy* ; Cf. Figure 12, à droite) : cet indicateur est basé sur une simulation dynamique annuelle (données climatiques horaires). Il permet de prendre en compte les apports de lumière directe du soleil. Certains

↑ FIGURE 12 Exemples de résultats de simulations de la quantification des apports de lumière naturelle pour un local sans stores via différents indicateurs (données climatiques de Bourges).



LIEUX DE TRAVAIL	CARACTÉRISTIQUES	CONTRAINTES	RECOMMANDATIONS	PROTECTIONS SOLAIRES
Bureaux	• Travail à l'écran	• Éblouissement direct • Reflets sur les écrans • Locaux parfois profonds (open spaces)	• Pas de fenêtres dans l'ergorama • Pas de fenêtres dans le dos	• Mobiles • Maintien de la vue vers l'extérieur • Gestion par zone • Resets quotidiens
Écoles	• Vision du tableau • Lecture/écriture sur papier	• Profondeur importante	• Parfois très claires • Pas de parois vitrées dans le dos des élèves	• Mobiles • Maintien de la vue vers l'extérieur • Resets quotidiens
Industrie	• Travail sur machine	• Dangers liés à l'éblouissement • Éclairage adapté aux exigences de précisions	• Lumière zénithale uniforme • Quelques points de vue vers l'extérieur	• Mobiles • Resets quotidiens
Hôpitaux	• Longues périodes dans locaux aveugles (circulations)	• Pas de contact visuel avec l'extérieur • Faible exposition à la lumière du jour • Préserver l'intimité dans les chambres	• Points de vue vers l'extérieur dans les circulations • Salles de pause vitrées sur l'extérieur • Hauteur d'allèges -70 cm	• Maintien de la vue vers l'extérieur
Commerces	• Caisses	• Pas de vue vers l'extérieur • Pas de lumière du jour	• Quelques points de vue vers l'extérieur • Éclairage circadien • Salles de pause vitrées sur l'extérieur	–
Restauration	• Travail en cuisine	• Pas de contact visuel avec l'extérieur • Faible exposition à la lumière du jour	• Points de vue vers l'extérieur • Salles de pause vitrées vers l'extérieur	• Maintien de la vue vers l'extérieur

↑TABLEAU 4
Aperçu des contraintes et recommandations pour différentes activités de travail représentatives sur la base de retours d'expériences de projets (données Estia).

logiciels permettent d'intégrer la position des protections solaires en fonction du flux énergétique incident, ce qui donne une indication plus précise de la contribution à l'éclairage naturel des locaux. Le temps de calcul nécessaire pour ces simulations est plus important.

Points de vigilance concernant les outils de simulation

- Lorsque les modèles 3D sont complexes, la réalisation de simulations numériques peut nécessiter un temps de calcul élevé. Nous recommandons de procéder à des simulations sur des zones « représentatives » des bâtiments afin de

permettre la comparaison de différentes options dès la phase d'avant-projet.

- Les images de synthèse générées dans le cadre des concours d'architecture sont parfois « trompeuses » et peuvent induire des représentations abusives de la disponibilité de lumière naturelle [16].

Prise en compte des usages

Les exigences en matière d'éclairage naturel sont intimement liées aux différents types d'activités pratiquées dans les locaux. Le Tableau 4 donne un aperçu des points à considérer pour quelques affectations typiques. ●

BIBLIOGRAPHIE

[1] FENÊTRES : DIMENSIONNEMENT ET PERFORMANCES. *Cahiers techniques du moniteur des travaux publics et du bâtiment*, 2011, 5632.

[2] PAULE B., SUTTER Y., COURRET G. – Solutions de conception pour l'éclairage naturel. *Techniques de l'ingénieur*, 2020, C3316 V3.

[3] SUTTER Y. (DIR.) – *Guide Biotech – Éclairage naturel*. ICEB/ARENE le-de-France, 2014.

[4] NORME NF EN 17037 – *Lumière naturelle dans les bâtiments*. Afnor, 2021.

[5] NORME NF EN 12464-1 – *Lumière et éclairage – Éclairage des lieux de travail – Partie 1 : lieux de travail intérieurs*. Afnor, 2021.

[6] PAULE B., FLOURENTZOS F. – *Perspective on daylight provision according to the new European standard "Daylight in Buildings" (EN 17037)*. In: *Proceedings of the CISBAT Conference*, Lausanne, 2019.

[7] GIF LUMIÈRE – *Le guide de l'éclairage naturel zénithal*. 2018. Accessible sur :

https://www.gif-lumiere.com/wp-content/uploads/2018/06/Guide-Eclairage-GIF-Lumiere_WEB.pdf

[8] PAULE B. ET AL. – *How current trends in the design of facades influence the functional quality of interior spaces*. In: *Proceedings of the CISBAT conference*, Lausanne, 2015.

[9] PAULE B. ET AL. – *Shading device control: effective impact on daylight contribution*. In: *Proceedings of the CISBAT conference*, Lausanne, 2015.

[10] SUTTER Y. ET AL. – *The use of shading systems in VDU task offices: a pilot study*. *Energy and buildings*, 2006, 38, 7, pp. 780-789. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.03.010>

[11] WIENOLDJ. ET AL. – *Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras*. *Energy and buildings*, 2006, Vol. 38, 7, pp. 743-757. Accessible sur : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778806000715>

[12] SITE WEB RADIANCE [consulté en mars 2025] – Accessible sur : <https://www.radiance-online.org/>

[13] SUTTER Y. ET AL. – *Outils et méthodes pour l'éclairage naturel*. *Techniques de l'ingénieur*, 2020, C3315.

[14] SITE WEB ENERGIE PLUS [consulté en mars 2025] – Accessible sur : <https://energieplus-lesite.be/theories/eclairage12/physique-lumiere/simuler-l-eclairage/>

[15] WARD G.J. – *The RADIANCE lighting simulation and rendering system*. Lawrence Berkeley laboratory, 1994. Accessible sur : <https://radsite.lbl.gov/radiance/papers/sg94.1/Siggraph1994a.pdf>

[16] PAULE B., PEREIRA J. – *How daylight representation in architectural competitions images can lead to an erroneous interpretation of projects*. In: *Proceedings of the CISBAT conference*, Lausanne, 2021.

ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL DANS LES LOCAUX PROFESSIONNELS

Cet article présente les étapes clés d'un projet d'éclairage artificiel : rappel des principes de base, analyse des besoins visuels selon l'activité et les recommandations normatives, choix des sources et des luminaires, puis illustrations par des exemples concrets. Enfin, sont abordées les méthodes de contrôle et de mesure permettant de vérifier la qualité des installations.

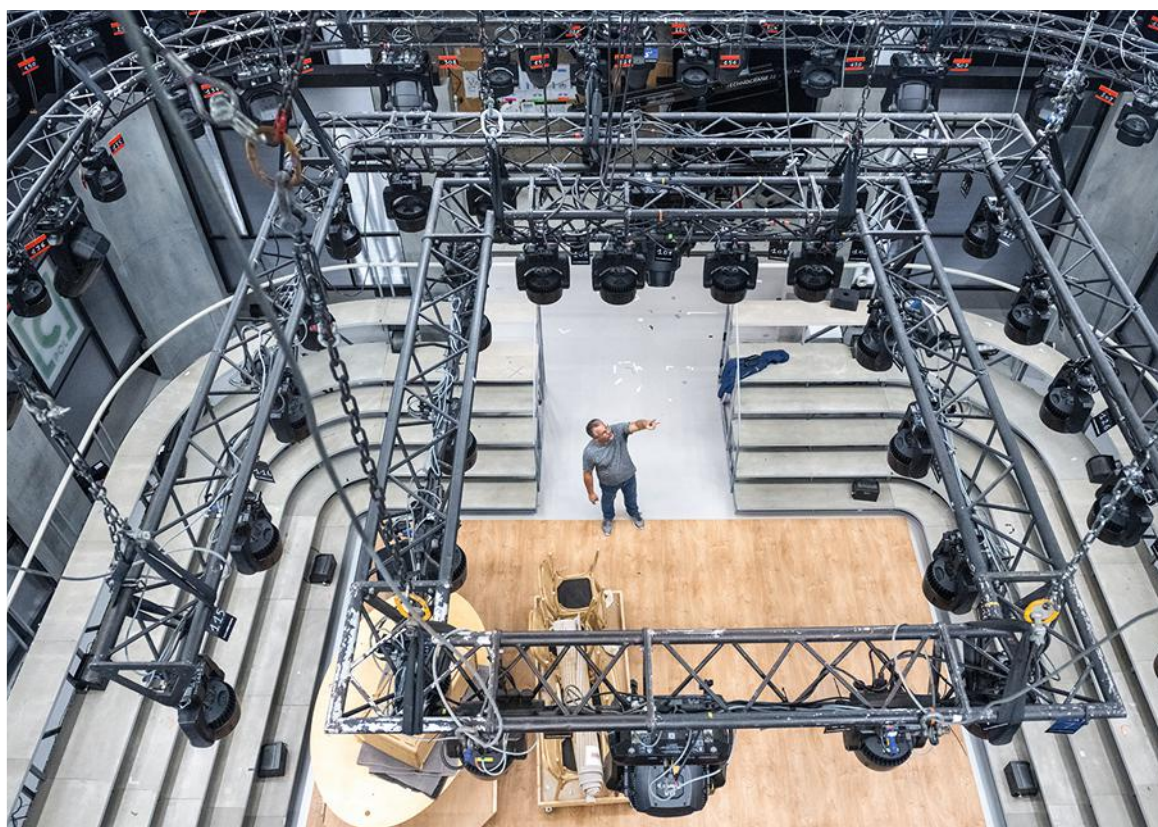
**MAXIME
VAN DER HAM**
Sarese
(bureau
d'études
réseaux,
éclairage) /
Institut de
formation
à l'éclairage
professionnel
(IFEP)

L'éclairage artificiel joue un rôle essentiel pour la santé et la sécurité des travailleurs lorsque la lumière naturelle est insuffisante : un niveau lumineux suffisant limite la fatigue visuelle et les risques d'accidents, tandis qu'un éclairage mal conçu peut provoquer des éblouissements, une mauvaise perception de l'environnement ou une ambiance inappropriée. Comme pour la lumière naturelle, il est nécessaire de prévoir l'installation d'éclairage artificiel en fonction des besoins réels du local de travail.

Principes généraux

Une bonne installation d'éclairage intérieur doit réduire le risque d'accident, tout en répondant à trois exigences : fonctionnalité, en lien avec la difficulté de la tâche visuelle ; ergonomie, en assurant un confort visuel adapté à l'environnement lumineux ; et économie, en maîtrisant les coûts d'installation et d'exploitation.

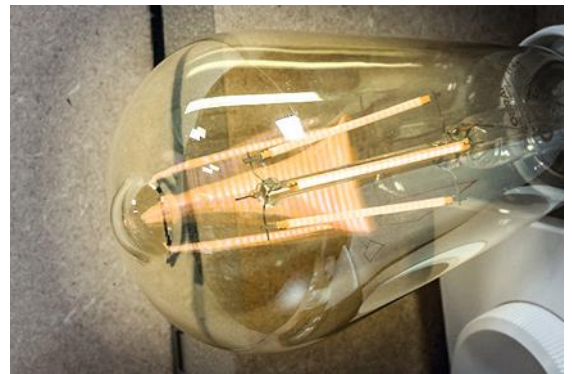
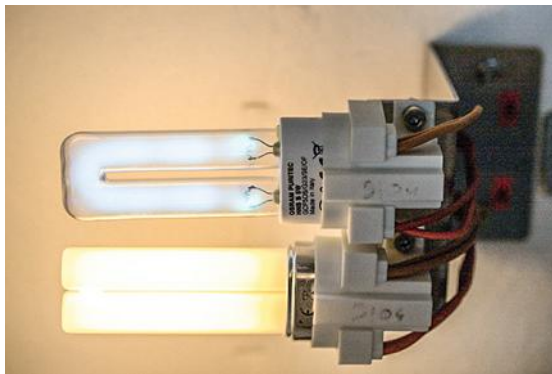
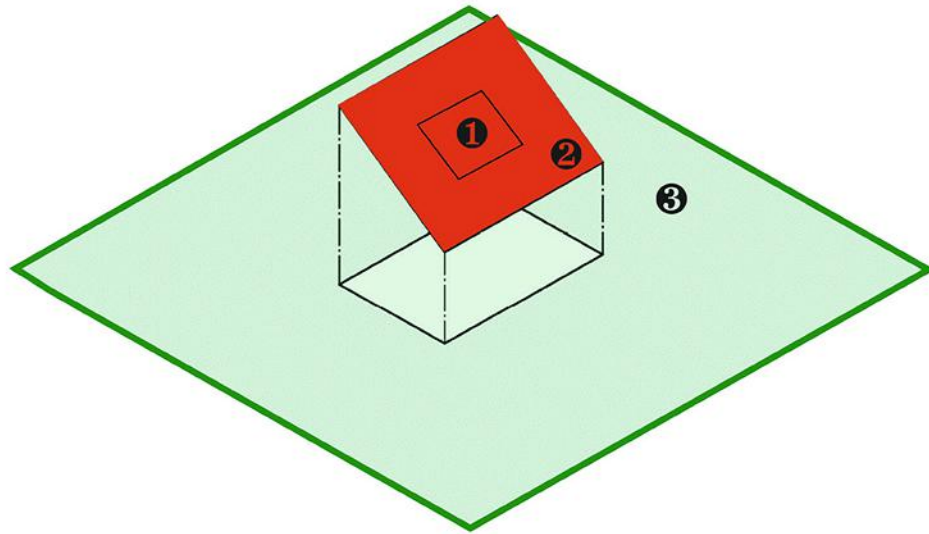
Un accident peut être causé directement par un éclairage inadapté, en raison d'une mauvaise prise d'information liée à un manque de contraste (par exemple, chute ou non-détection des piétons lors



© Fabrice Dimier pour l'INRS / 2024



FIGURE 1 →
Représentation
schématique
arbitraire des trois
zones du champ
visuel d'une zone
de travail
selon la norme
NF EN 12464-1 :
(1) zone d'activité,
(2) zone
environnante,
(3) zone de fond.



↑ **FIGURE 2** À gauche, décharge électrique dans un tube. En haut, on distingue l'arc maintenu dans un gaz émettant un rayonnement optique principalement ultraviolet. En bas, les parois internes du tube, recouvertes d'une poudre fluorescente, transforment ces UV en lumière. À droite : une source led imitant des filaments incandescents. On distingue les diodes électroluminescentes, dont la lumière bleue est transformée en lumière chaude par des matériaux luminescents déposés à leur surface.

d'une conduite d'engin) ou à un éblouissement (mauvaise manœuvre, etc.). Il peut aussi survenir de manière indirecte, lorsque l'éclairage favorise la fatigue visuelle et diminue l'attention.

La difficulté d'une tâche visuelle dépend des contrastes de luminance et de couleur entre la cible et le fond sur lequel elle se détache, des dimensions des détails à percevoir, ainsi que de la durée pendant laquelle l'attention visuelle doit être maintenue.

Comme l'indique la norme NF EN 12464-1, l'augmentation du niveau d'éclairage permet d'améliorer la sensibilité aux contrastes, réduisant ainsi la difficulté de la tâche visuelle et les risques associés [1]. Cela permet notamment de compenser la dégradation des performances visuelles liée à l'âge et à la durée du travail au poste.

Bien éclairer dès la phase de conception

Nous savons aujourd'hui que la lumière n'intervient pas uniquement dans le mécanisme de la vision : elle agit également sur des fonctions biologiques non visuelles, notamment à travers la synchronisa-

tion du rythme circadien, dont dépendent des processus essentiels comme le sommeil, l'attention, les performances cognitives ou la mémoire [2]. Or, les exigences de réduction de consommation d'énergie tendent à réduire les niveaux d'éclairage à l'intérieur des bâtiments [3,4].

Dès le début de la conception architecturale, le maître d'œuvre devra opérer les arbitrages techniques et financiers nécessaires pour garantir puis maintenir des conditions d'éclairage favorables à la sécurité, au bien-être et à la performance visuelle des salariés.

Analyser les besoins

La norme NF EN 12464-1 référence les bonnes pratiques en éclairage des lieux de travail intérieurs. Quel que soit leur usage, elle tient compte des besoins visuels, de la modularité des espaces et de leur mode d'occupation. Comme illustré sur la Figure 1, la norme NF EN 12464-1 définit trois zones dans le champ visuel [1] :

- la zone d'activité : l'endroit où le travail est effectivement réalisé ;

Distributions spatiales d'intensités lumineuses selon les optiques utilisées

A10-A32 large 100 % direct
 A40-A44 moyen 100 % direct
 A50-A80 étroit 100 % direct
 B21-B22 large 75 % direct
 B31-B33 normal 75 % direct
 B41-B63 étroit 75 % direct
 C11-C33 large 50 % direct
 C42-C63 moyen/étroit 50 % direct
 D11-D63 tous 25 % direct
 E02-E73 large 0 % direct
 FL (FLOOD)
 MP – Optique micropismatique (large faisceau)
 MPA – Opt. micropismatique (faisceau asymétrique)
 O – Revêtement PMMA (large faisceau)
 SP (SPOT)
 VERT (réflecteur vertical)
 VFM (VERY WIDEFLOOD)
 WWR (LÈCHE-MUR, À DROITE)

Types d'implantation dans un local de travail

Encastré – Suspendu
 Encastrés de sol
 Plafonnier – Suspension – Encastré
 Encastré
 Encastré dans le mur
 Fixation murale
 Luminaire sur pied, lampadaire
 Montage transformateur
 Plafonnier
 Plafonnier/encastré
 Plafonnier/suspension
 Suspendu

← **FIGURE 3**
 Les diverses déclinaisons d'un même luminaire.
 (source « Types d'implantation dans un local de travail » : <https://www.zumtobel.com/fr-fr/products/anwendungen.html>).

- la zone environnante : une bande entourant la zone d'activité dans le champ visuel ;
- la zone de fond : l'environnement plus large autour des deux zones précédentes.

La norme NF EN 12464-1 associe, à chaque type de lieu de travail, un tableau d'objectifs à atteindre en matière d'éclairage (Cf. Article pp. 40-48) : éclairage à maintenir ($\bar{E}_m [lx]$) et uniformité U_0 , éblouissement R_{UGL} , modelé ($\bar{E}_{m,z} [lx]$), perception du fond ($\bar{E}_{m,mur}$ et $\bar{E}_{m,plafond} [lx]$), rendu des couleurs R_a et température apparente $T_{cp} [K]$ de la lumière, ainsi que sa variation temporelle (papillotement P_{st}^{LM} et effet stroboscopique SVM).

Les sources de lumière disponibles

Malgré la généralisation des luminaires à LED dans les installations neuves, le remplacement complet du parc existant n'est pas encore achevé, et les luminaires équipés de lampes à décharge (Cf. Figure 2 à gauche) restent très répandus dans les lieux de travail. En intérieur, il s'agit principalement des tubes fluorescents T12, puis T8 et enfin T5 ou lampes fluocompactes, souvent appelées à tort « néons ».

Ces lampes à décharge tendent à être progressivement remplacées par des luminaires équipés de sources led, lors d'opérations de rénovation ou directement dans les travaux neufs. Les avantages techniques et économiques des led sont nombreux : meilleur rendement lumineux, émission limitée au domaine visible, allumage instantané, insensibilité aux cycles marche/arrêt, et grande compacité facilitant l'intégration dans les luminaires. En revanche, elles peuvent présenter certains inconvénients : papillotement, baisse du flux lumineux (Cf. Article pp. 30-39) en cas de gestion thermique insuffisante, dérive chromatique vers

le bleu en vieillissant, et impossibilité fréquente de remplacer la source sans changer le luminaire complet.

Les luminaires et la distribution de l'intensité lumineuse

Le luminaire désigne l'enveloppe mécanique qui intègre les sources lumineuses. Il assure l'étanchéité à l'eau et à la poussière vis-à-vis de l'environnement, et constitue l'interface de fixation au local de travail. L'alimentation électrique peut être intégrée ou déportée. Enfin, il comporte un ensemble d'éléments qui forment le système optique : réfracteurs transparents à la lumière, réflecteurs, diffuseurs, etc. Son rôle est de distribuer la lumière depuis la source vers l'espace de travail.

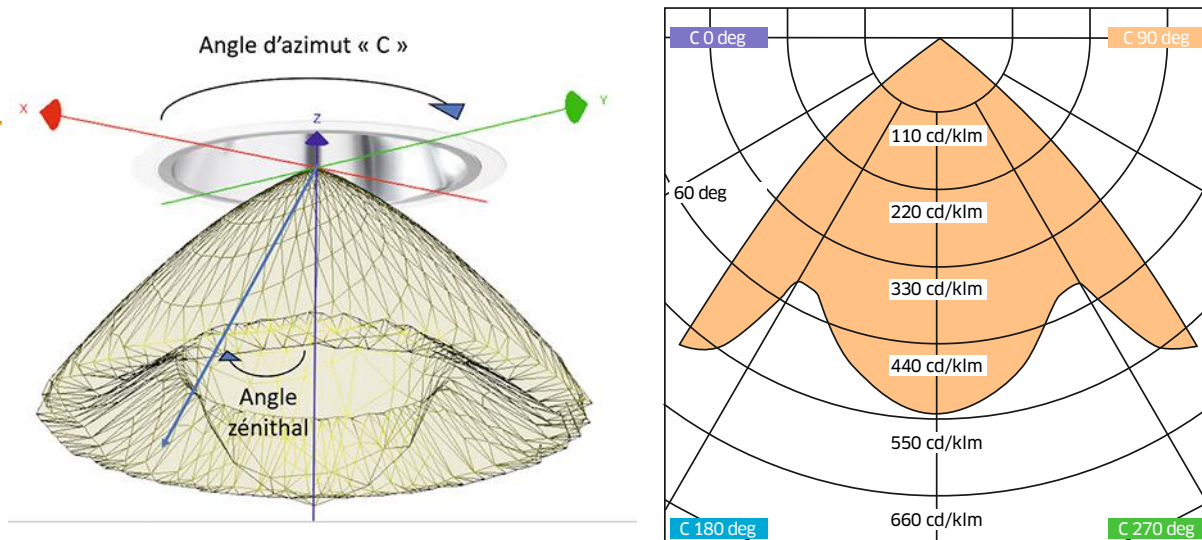
Une fois la source choisie pour la qualité de la lumière qu'elle délivre vis-à-vis de l'activité, le luminaire est sélectionné selon plusieurs critères : sa distribution spatiale d'intensité lumineuse, qui définit la forme du faisceau lumineux, son implantation possible dans le lieu de travail (encastré, suspendu, sur mât, etc.), sa forme et ses dimensions (Cf. Figure 3).

Dans les catalogues des fabricants, la distribution spatiale de la lumière apparaît sous forme de diagrammes polaires, pour un demi-plan correspondant à un azimut donné (souvent 0°, 90°, 180° et 270°) en fonction de l'angle zénithal (de 0° à 180°). L'unité utilisée est le candela pour une représentation absolue, ou le candela pour 1000 lumen de source dans le cas d'une représentation relative (Cf. Figure 4).

Grâce à une grande variété d'optiques et de modes de fixation, les luminaires s'adaptent à tous les espaces et à leurs contraintes d'usage (Cf. Tableau 1).



FIGURE 4 →
 À gauche : représentation 3D de la distribution de lumière par un luminaire encastré, au centre d'un repère permettant de visualiser les angles d'azimut C et zénithal γ . À droite : cette représentation est projetée sur un plan sous la forme d'un graphe polaire.



Conception : prise en compte de l'évolution d'un projet dans le temps



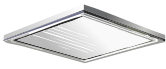


Lors de la conception, l'éclairagiste (*i.e.*, le professionnel en charge de l'étude d'éclairage) doit tenir compte de la dépréciation du flux lumineux dans le temps à partir des données disponibles (fournisseur, environnement thermique, empoûssièrement du local, étanchéité des luminaires choisis, etc.). Ce facteur est intégré en amont de l'étude d'éclairage, afin de s'assurer que les éclaircements attendus seront atteints à tout moment. Sont détaillés par la suite trois cas d'étude mettant en œuvre ces concepts. Pour chacun d'entre eux, les besoins en objectifs photométriques sont traduits dans un logiciel de conception d'éclairage. Des luminaires appropriés au projet sont ensuite proposés, ainsi qu'une évaluation de l'effet de leur implantation dans le projet.

Premier projet : bureau en open space

Recueil des besoins, objectifs photométriques

La norme NF EN 12464-1 catégorise les espaces de travail selon la précision des tâches à accomplir. Plus les tâches sont précises et minutieuses, plus les exigences sont élevées [1]. Comme indiqué sur le *Tableau 2* pour les espaces de bureau, huit sous-catégories correspondent à des objectifs d'éclaircements et d'uniformité sur la zone d'activité, de rendu des couleurs Ra et d'éblouissement R_{UGL} . En complément, la norme spécifie également des niveaux d'éclaircements à respecter dans l'environnement proche : éclaircements cylindriques pour le modelé, éclaircements moyens aux murs et au plafond. Dans le cas présent, les postes de travail sont des postes de CAO (catégorie 34.4 de la norme). Ces objectifs sont intégrés dans les logiciels de simulation d'éclairage comme ReluxDesktop [5] :

TABLEAU 1 →
 Différents types de luminaires.

	« Downlight », petit hublot encastré dans le plafond.
	« Plafonnier » de forme linéaire, éventuellement suspendu. Il peut mixer les émissions directes de lumière (vers le bas) et indirectes (lumière dirigée vers le plafond).
	« Encastré » en faux plafond, de forme souvent carrée.
	« Applique » carrée, ronde ou rectangulaire, majoritairement fixée sur les murs.
	Projecteur souvent de forme tubulaire et fixé sur rail.

N° RÉF.	TYPE D'AIRE DE LA TÂCHE/ZONE D'ACTIVITÉ	E _m (lx)		U ₀	R _a	R _{UGL}	E _{m,z} (lx)	E _{m,mur} (lx)	E _{m,plafond} (lx)	EXIGENCES SPÉCIFIQUES (les références sont internes à la norme)
		EXIGÉ a)	MODIFIÉ b)							
34.1	Classement, reprographie, etc.	300	500	0,40	80	19	100	100	75	–
34.2	Écriture, dactylographie, lecture, traitement de données	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	Pour le travail sur écran, cf. 5.9. Pour la luminosité de la pièce, cf. 6.7 et annexe B. Il convient d'utiliser un système de gestion de l'éclairage, cf. 6.2.4. Pour les petites cellules de bureaux, l'exigence relative au mur s'applique au mur de face. Pour les autres murs, une exigence inférieure de 75 lx minimum pourrait être acceptée.
34.3	Dessin industriel	750	1500	0,70	80	16	150	150	100	Pour le travail sur écran, cf. 5.9. Pour la luminosité de la pièce, cf. 6.7.
34.4	Postes de travail de conception assistée par ordinateur	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	Pour le travail sur écran, cf. 5.9.
34.5.1	Salles de conférence et de réunion	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	Il convient d'utiliser un système de gestion de l'éclairage, cf. 6.2.4.
34.5.2	Table de conférence	500	1000	0,60	80	19	150	150	100	Il convient d'utiliser un système de gestion de l'éclairage, cf. 6.2.4.
34.6	Réception	300	750	0,60	80	22	100	100	75	Si le bureau de réception comprend des tâches régulières sur le poste de travail, il convient de les éclairer en conséquence.
34.7	Archives	200	300	0,40	80	25	75	75	50	–

a) Exigé : valeur minimale.

b) Modifié : prend en compte des caractéristiques communes propres au contexte (difficulté, détail, capacités visuelles du salarié, etc.).

↑ **TABLEAU 2** Extrait de la norme NF EN 12464-1 : contraintes d'éclairage (tableau n° 34 [1]).

Sélectionner le profil d'utilisation

Normes / Profils: SN EN 12464-1 (11.2021) (new)

Recherchez: Seulement les favoris

Utilisation	Em,r	Em,u	Uo	RUGL	Ra	Em,mur	Em,pla...	Em,z	Hauteur ...
E: Bureaux									
34: Bureaux									
34.1: Classement, reprographie, etc.	300	500	0.40	19	80	100	75	100	0.750
34.2: Écriture, dactylographie, lecture, traitement de données	500	1000	0.60	19	80	150	100	150	0.750
34.3: Dessin industriel	750	1500	0.70	16	80	150	100	150	0.750
34.4: Postes de travail de conception assistée par ordinateur	500	1000	0.60	19	80	150	100	150	0.750
34.5.1: Salles de conférence et de réunion	500	1000	0.60	19	80	150	100	150	0.750
34.5.2: Table de conférence	500	1000	0.60	19	80	150	100	150	0.750
34.6: Réception	300	750	0.60	22	80	100	75	100	1.100
34.7: Archives	200	300	0.40	25	80	75	50	75	0.750

← **TABLEAU 3** Prise en compte des objectifs photométriques (logiciel utilisé : ReluxDesktop).

le local est classifié sous la catégorie « Bureaux / Écriture, dactylographie, lecture, traitement de données » (34.2) et le logiciel affiche les objectifs photométriques à atteindre (Cf. Tableau 3).

Choix et implantation des luminaires

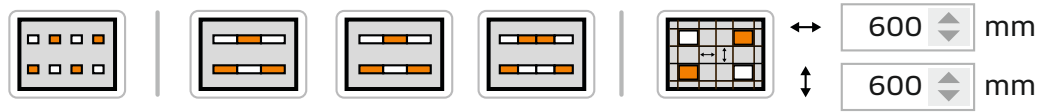
Dans un bureau, caractériser les trois zones (activité, environnement, fond) est assez simple car l'espace est souvent centré autour du bureau (zone d'activité unique). En cas de zones d'activité multiples (poste d'opération d'une part, et bureau

d'autre part), la définition des besoins doit être plus fine : il convient alors d'identifier clairement les différentes zones visées par la norme.

Ici, la géométrie de l'open space rend le choix des luminaires évident. Comme illustré sur la Figure 5, on paramètre le logiciel de conception lumineuse pour les implanter selon un calepinage régulier. Traditionnellement, le choix se porte vers des dalles carrées encastrées dans le faux plafond, ou vers des plafonniers. Ces luminaires offrent une distribution lumineuse similaire : orientée



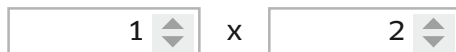
Disposition des luminaires



Orientation sur axe majeur



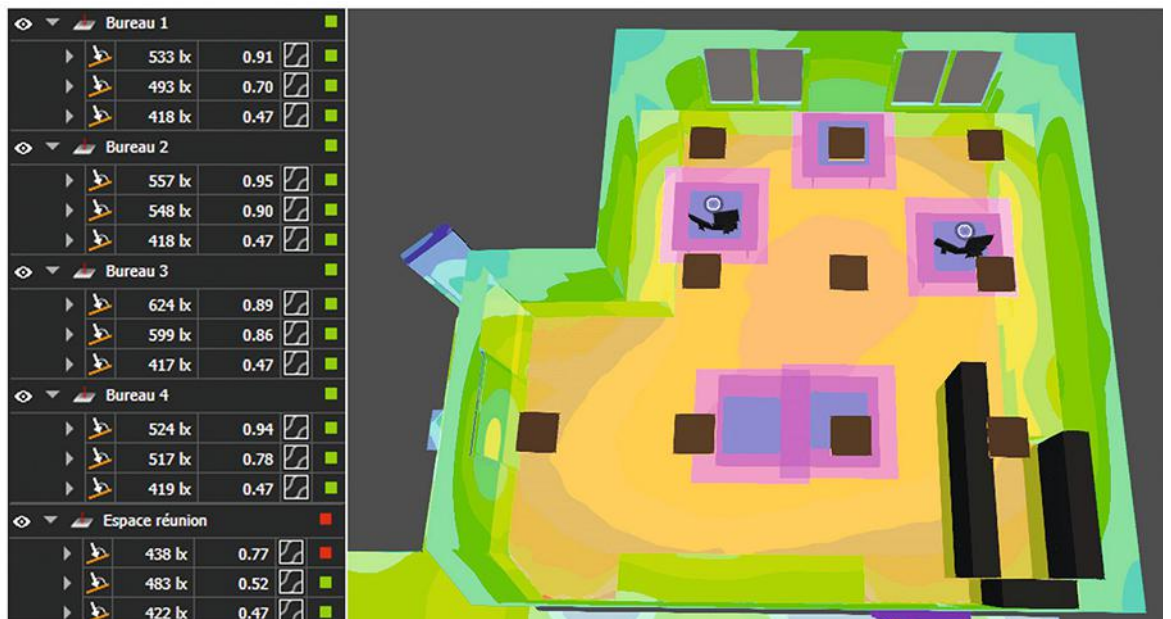
Nombre de luminaires



↑ FIGURE 5 Exemple de disposition possible pour un calepinage régulier dans un local : paramètres de disposition, d'espacement et d'orientation (logiciel utilisé : ReluxDesktop, projet Sarese).



↑ FIGURE 6 Postes de CAO en open space (catégorie 34.4 de la norme NF EN 12464-1). Le luminaire entouré est doté d'une cellule photosensible pour limiter la consommation énergétique de l'installation, en modulant son flux lumineux pour compléter l'éclairage naturel. Ci-dessous : vue en 3D du local, faisant apparaître la distribution lumineuse des luminaires (logiciel utilisé : ReluxDesktop).



↑ FIGURE 7 Résultats de la simulation de l'éclairage (logiciel utilisé : Dialux [6]).

vers le sol et symétrique. Comme illustré sur la *Figure 6*, une implantation suivant une grille régulière permet d'assurer une uniformité de l'éclairage conforme aux exigences de la norme : $U_0 \geq 0,60$ sur la zone d'activité et $U_0 \geq 0,40$ sur la zone environnante.

Les luminaires sont éloignés des murs afin de maximiser l'efficacité de l'installation : la lumière émise atteint en priorité l'espace dédié au travail, tandis que les parois sont éclairées par la lumière résiduelle ou réfléchie.

En complément, et conformément à la réglementation environnementale en vigueur [4], la gradation de l'éclairage vise à réduire la consommation électrique par adaptation à la lumière du jour et détection de présence. Pour cela, le bureau est divisé en deux zones : une première proche des fenêtres, bénéficiant d'un facteur de lumière du jour élevé, et le reste du local. Les luminaires sont alors organisés en mode « maître-esclaves » : l'un d'eux intègre un détecteur de présence et de lumière du jour, et pilote de manière groupée les autres luminaires connectés.

Même si, en cas d'activités multiples, les exigences varient suivant les zones, il est déconseillé de déséquilibrer l'implantation ou la puissance des luminaires : cela compromettrait une future réorganisation de l'espace de travail.

Simulations numériques et résultats

→ Niveaux d'éclairage et uniformité

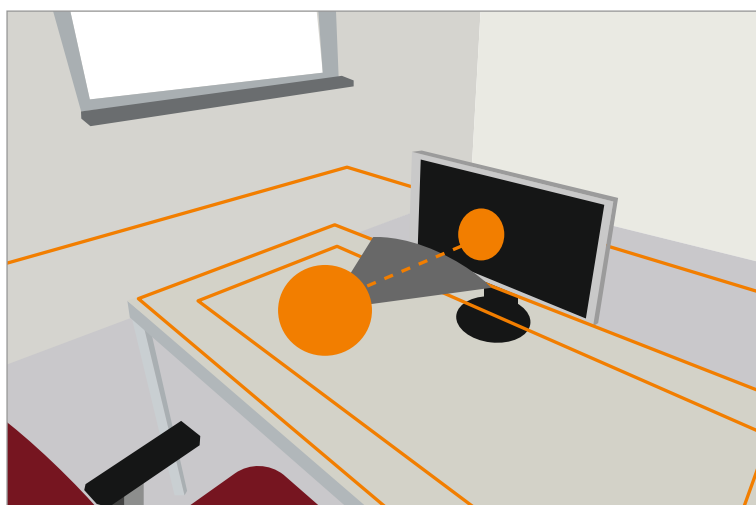
La *Figure 7* présente, à droite, les niveaux d'éclairage obtenus dans le local sous forme de fausses couleurs. À gauche figurent les éclairages moyens et les uniformités calculés pour chaque poste (bureau 1 à 4 et espace réunion) et pour chaque zone cible (zone d'activité, zone environnante et zone de fond). Un carré vert indique que la consigne est respectée.

Sur la table dédiée aux réunions, les 500 lux recommandés par la norme ne sont pas atteints. Toutefois, cette table n'étant utilisée que pour des réceptions ou de petites réunions, une consigne réduite à 300 lux peut être jugée acceptable. On note que son positionnement contre un mur n'est pas optimal.

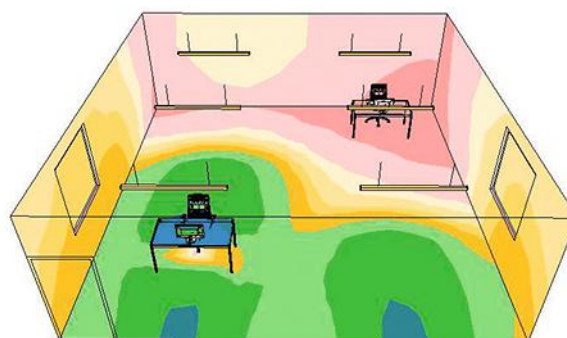
→ Éblouissement

L'indice d'éblouissement d'inconfort R_{UGL} doit rester inférieur à la valeur limite fixée par la norme. Il peut être calculé à l'aide du logiciel de conception photométrique, selon de multiples angles de direction et de vision et à des hauteurs différentes. La colonne R_{UGL} (Cf. *Tableau 2*) indique les seuils à ne pas dépasser dans le cas des bureaux.

Tel qu'illustré sur la *Figure 8*, le calcul de l'éblouissement est réalisé à l'aide d'un capteur virtuel positionné à la place de l'observateur dans le



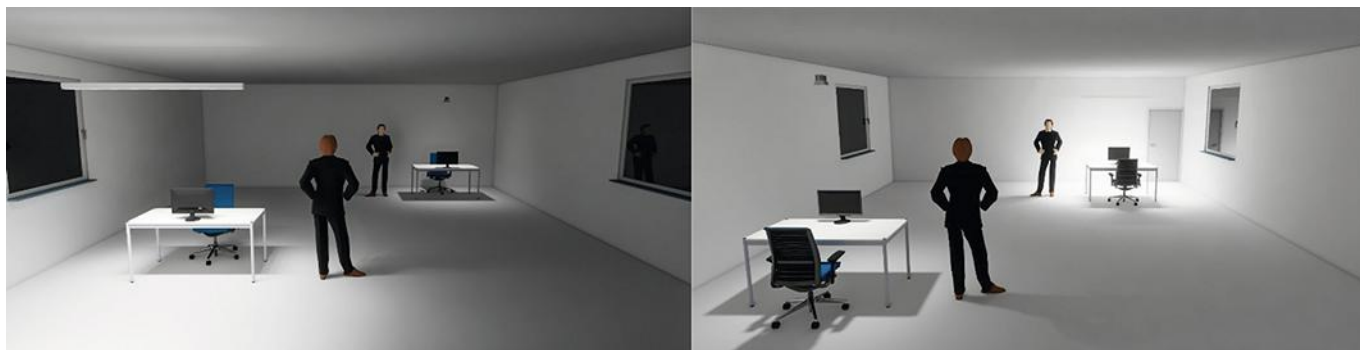
↑ FIGURE 8 Capteur virtuel d'éblouissement R_{UGL} dans le modèle 3D du projet d'éclairage (logiciel utilisé : ReluxDesktop).



↑ FIGURE 9 Simulation d'une panne partielle de l'éclairage artificiel.

En haut : rendu visuel. En bas : éclairages en fausses couleurs, exprimés en lux (logiciel utilisé : ReluxDesktop).





↑ FIGURE 10 Dans les deux situations présentées, les objectifs photométriques sont respectés. À gauche : déséquilibre des luminances dans le champ visuel, créant une ambiance lugubre. À droite : situation plus homogène (logiciel utilisé : ReluxDesktop).

↓ FIGURE 11 Exemple d'éclairage d'un cabinet dentaire : l'éclairage général est assuré par des plafonniers, un éclairage de renforcement est assuré par une source articulée au niveau du patient



© Benyamin Bohioui / Unsplash

modèle 3D. La direction du regard est initialement orientée vers l'écran, mais pour mieux représenter le comportement réel d'un salarié, l'évaluation de l'indice d'éblouissement se fait en explorant un cône de vision de 30° autour de cet axe principal. Ce cône tient compte des variations naturelles du regard dans un champ de vision horizontal de ± 30° autour de cet axe principal. Dans ce cas d'étude, $R_{UGL} = 18,2$; ce qui est conforme aux exigences pour le travail sur écran ($R_{UGL} \leq 19$)¹.

Exemples d'éclairage inadapté

→ Éclairage hétérogène

Une panne partielle de l'installation d'éclairage (simulée) réduit l'uniformité générale (Cf. Figure 9) : elle tombe à 0,25 sur la zone d'activité (le bureau) et à 0,10 sur la zone environnante, ce qui devient insuffisant au regard des objectifs fixés par la norme. Dans ce cas, il ne faut pas tarder à intervenir sur l'installation pour retrouver un fonctionnement normal.

→ Déséquilibre des luminances

Comme illustré sur la Figure 10, un déséquilibre de luminances peut altérer le confort visuel. Même si les objectifs photométriques sont respectés sur le plan de travail, un contraste excessif entre les surfaces peut générer une ambiance visuelle perçue comme triste et dissymétrique.

Deuxième étude de cas : un cabinet dentaire

Recueil des besoins, objectifs photométriques

Le projet étudié ici concerne un cabinet dentaire (Cf. Figure 11), pour lequel la norme NF EN 12464-1 recense les différentes zones et tâches associées dans son tableau n°56 (Cf. Tableau 4).

La norme distingue l'éclairage général de l'éclairage localisé sur le patient, qui nécessite un niveau d'éclairage deux fois plus élevé. Les objectifs à atteindre pour l'environnement proche (éclairage cylindrique, murs et plafond) sont également spécifiés. Comme dans le cas précédent, le cabinet est identifié dans le logiciel, ici en tant qu'« établissement de santé - dentistes », ce qui permet d'accéder directement aux consignes (Cf. tableau 5). Dans ce cas précis, identifier les zones est plus complexe car plusieurs activités coexistent (poste d'opération, bureau, etc.). Il est donc essentiel de définir avec précision les besoins pour associer chaque zone aux exigences correspondantes de la norme.

Choix et implantation des luminaires

Le choix des luminaires peut sembler complexe en raison des différentes zones d'activité. En

N° RÉF.	TYPE D'AIRE DE LA TÂCHE /ZONE D'ACTIVITÉ	E_m (lx)		U_o	R_a	R_{UGL}	$E_{m,z}$ (lx)	$E_{m,mur}$ (lx)	$E_{m,plafond}$ (lx)	EXIGENCES SPÉCIFIQUES (les références sont internes à la norme)
		EXIGÉ a)	MODIFIÉ b)							
56.1	Éclairage général	500	750	0,60	90	19	150	150	100	Il convient que l'éclairage ne soit pas éblouissant pour le patient.
56.2	Sur le patient	1000	1500	0,70	90	–	150	150	100	–
56.3	Champ opératoire	–	–	–	–	–	–	–	–	Appliquer les exigences spécifiques de l'EN ISO 9680
56.4	Appariement à la couleur des dents	–	–	–	–	–	–	–	–	Appliquer les exigences spécifiques de l'EN ISO 9680

a) Exigé : valeur minimale.

b) Modifié : prend en compte des caractéristiques communes propres au contexte (difficulté, détail, capacités visuelles du salarié, etc.).

↑ TABLEAU 4 Extrait de la norme NF EN 12464-1 (tableau n°56 des objectifs photométriques).

Utilisation	$E_{m,r}$	$E_{m,u}$	U_o	R_{UGL}	R_a	$E_{m,mur}$	$E_{m,plafond}$	$E_{m,z}$	Hauteur p...
I: Établissements de santé									
56: Établissements de santé – Dentistes									
56.1: Éclairage général	500	750	0,60	19	90	150	100	150	0,850
56.2: Sur le patient	1000	1500	0,70	–	90	150	100	150	0,850
56.3: Champ opératoire	–	–	–	–	–	–	–	–	0,850
56.4: Appariement à la couleur des dents	–	–	–	–	–	–	–	–	0,850

← TABLEAU 5 Objectifs photométriques affichés dans le logiciel ReluxDesktop après caractérisation du local (logiciel utilisé : ReluxDesktop).

réalité, la zone la plus exigeante – où se trouve le patient – est spatialement limitée. Il est alors envisageable de concevoir un éclairage général à l'aide de luminaires identiques, disposés selon un calepinage régulier, puis de renforcer localement certaines zones par un éclairage d'appoint. Dans cette approche, c'est l'éclairage moyen minimal (500 lux) demandé par la norme qui guide le calepinage.

L'éclairage général est assuré par des dalles encastrées ou des plafonniers, tandis que l'accentuation est réalisée au moyen d'une suspension située au-dessus du poste d'opération, comme illustré sur la Figure 12.

Simulations numériques et résultats

→ Niveaux d'éclairage et uniformité

Le calcul donne un résultat moyen de 522 lux et une uniformité générale $U_o = 0,84$ sur l'ensemble de la pièce pour 25 luminaires installés. Les deux zones normatives sont distinctes (Cf. Figure 13). Les résultats montrent que :

- le niveau d'éclairage requis sur la zone « patient » n'est pas atteint ;
- le niveau d'éclairage moyen sur le bureau est quant à lui surdimensionné.

À partir de cette première configuration, l'éclairagiste peut optimiser l'installation pour satisfaire l'ensemble des exigences. Une solution consiste à réduire la puissance des luminaires assurant l'éclairage général, et ajouter un luminaire sus-

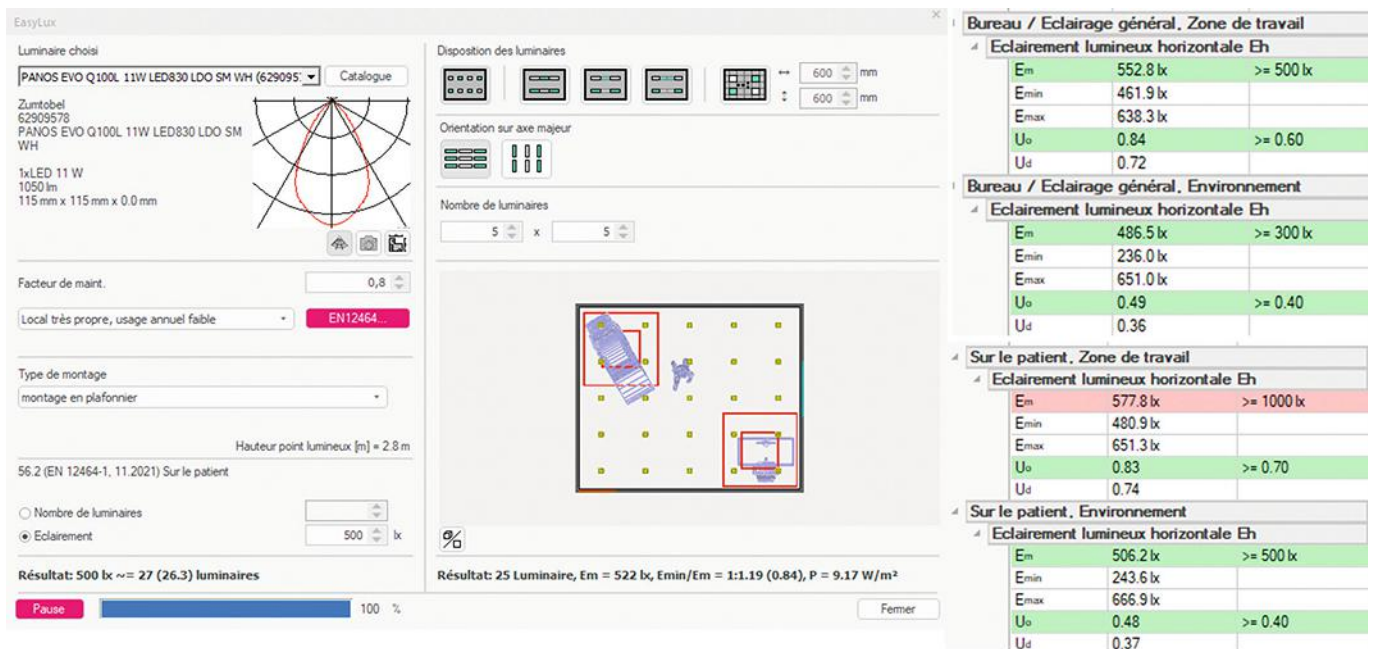
pendu à émission directe/indirecte au-dessus du poste opératoire. Cette solution et les résultats qui en découlent sont illustrés sur la Figure 14.

→ Éblouissement

Le capteur pour l'évaluation de l'éblouissement d'inconfort est positionné à la place du dentiste, et dirigé en direction du patient. L'activité du dentiste étant centrée sur le patient, le cône de vision sera cette fois pris avec un angle d'ouverture de 15° (Cf. Figure 15). L'indice R_{UGL} autour de cette

↓ FIGURE 12 Plusieurs zones distinctes dans un cabinet dentaire : champ opératoire, patient, circulation, bureau.





↑ FIGURE 13 Modélisation du cabinet dentaire (observation de deux zones distinctes).
 À gauche : luminaire utilisé. Au centre : vue d'ensemble du local, et calepinage. À droite : résultats des calculs (logiciel utilisé : ReluxDesktop).

Eclairage lumineux horizontale Eh		
E _m	1002.8 lx	>= 1000 lx
E _{min}	879.4 lx	
E _{max}	1063.5 lx	
U _o	0.88	>= 0.70
U _d	0.83	

Eclairage lumineux horizontale Eh		
E _m	807.5 lx	>= 500 lx
E _{min}	437.3 lx	
E _{max}	1008.2 lx	
U _o	0.54	>= 0.40
U _d	0.43	

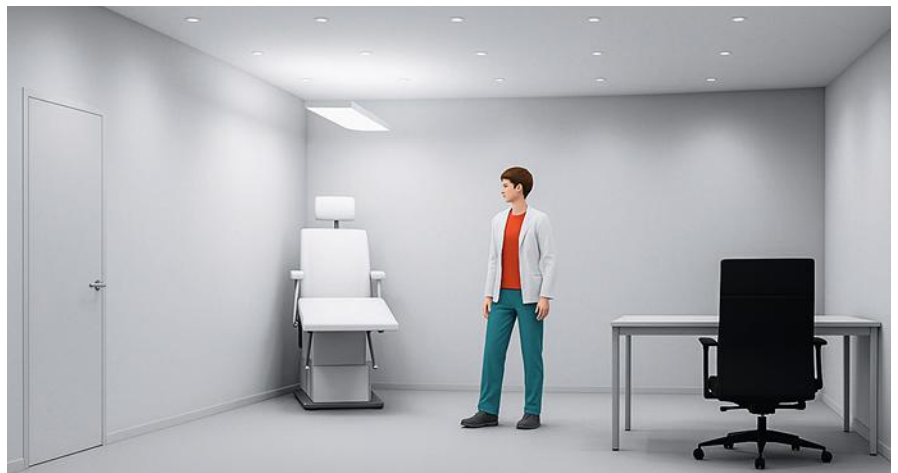


FIGURE 14 ↑→
 Ajout d'un éclairage d'appoint localisé au-dessus du patient (logiciel utilisé : ReluxDesktop).

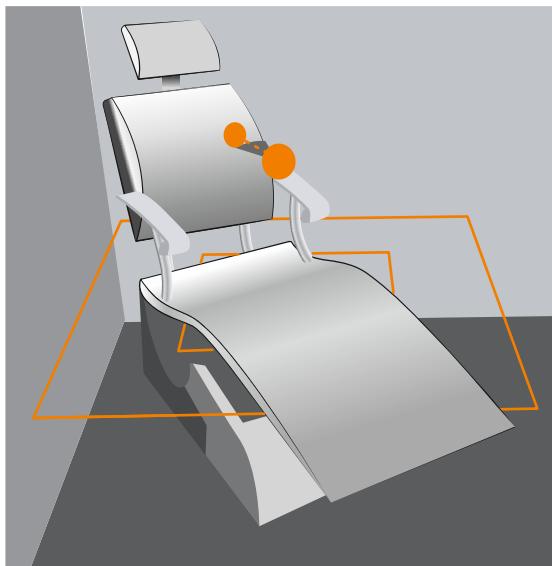


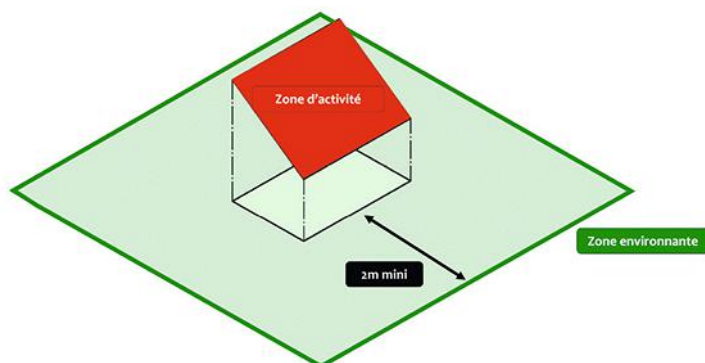
FIGURE 15 →
 Point de vue et direction du regard utilisés pour estimer R_{UGL} (logiciel utilisé : ReluxDesktop).

direction montre une valeur stable autour de 14,8, conforme aux objectifs fixés ($R_{UGL} \leq 19$).

Dernière étude de cas : quais de chargement d'un entrepôt industriel

Recueil des besoins, objectifs photométriques

Les lieux de travail extérieurs font l'objet de la norme NF EN 12464-2 en matière d'éclairage [7]. Le critère lié à l'éblouissement d'incapacité est revu, et adapté aux sites extérieurs : on parle d'indice R_{GL} . La logique de définition des zones à éclairer est conservée : la zone d'activité est identifiée (ici la zone de fret), et la zone environnante est son environnement immédiat (Cf. Figure 16). Comme pour la norme NF EN 12464-1, la norme NF EN 12464-2 classe les zones de travail en fonction de la difficulté de la tâche visuelle. Les « sites industriels et aires de stockage » sont traités



tés dans le tableau 5.7 de la norme (Cf. Tableau 6), qui précise les exigences en matière d'uniformité, de rendu des couleurs et de limitation de l'éblouissement.

Comme précédemment, ces objectifs sont pris en compte dans les logiciels de simulation d'éclairage. La norme NF EN 12464-2 [7] préconise de maintenir sur la zone d'activité un éclairage moyen horizontal de 20 lux et une uniformité générale $U_0 \geq 0,25$, et sur la zone environnante un éclairage moyen horizontal de 20 lux et une uniformité générale $U_0 \geq 0,40$.

Choix et implantation des luminaires

Le choix des luminaires doit s'orienter vers un modèle extérieur, conçu pour résister aux infiltrations d'eau et de poussière. Ce niveau de protection est indiqué par l'indice de protection IP : un luminaire d'extérieur présente généralement une valeur minimale de IP66. Le premier chiffre indique la protection contre les corps solides (poussières), le second les liquides. IP66 signifie une étanchéité totale à la poussière et une protection contre les projections d'eau assimilables aux paquets de mer. Pour le quai de chargement sont retenus des projecteurs extérieurs, avant tout pour leur efficacité lumineuse élevée et leurs multiples possibilités de

fixation (sur mât, lyre, ou directement en façade) : l'ensemble du site pourra ainsi être équipé avec le même modèle.

Simulations numériques, résultats

Les luminaires sont implantés en façade. Les calculs (Cf. Figure 17) montrent que les objectifs d'éclairage sont atteints, mais qu'une légère insuffisance d'uniformité générale U_0 subsiste sur la zone environnante. La valeur maximale de l'indice d'éblouissement d'inconfort R_{GL} atteint 38,8, inférieur aux 55 exigés.

La norme définit la zone environnante comme une bande d'au moins 2 m de large, située au-delà de la zone de travail (Cf. Figure 17). La vue en fausses couleurs révèle un déficit d'éclairage aux endroits les plus éloignés des luminaires. Pour améliorer l'uniformité, plusieurs solutions peuvent être envisagées : choisir des luminaires ayant une distribution d'intensité plus asymétrique vers l'avant, augmenter la hauteur de feu, ou encore, ajouter des mâts en périphérie de cette zone. Cette dernière solution est retenue (Cf. Figure 18).

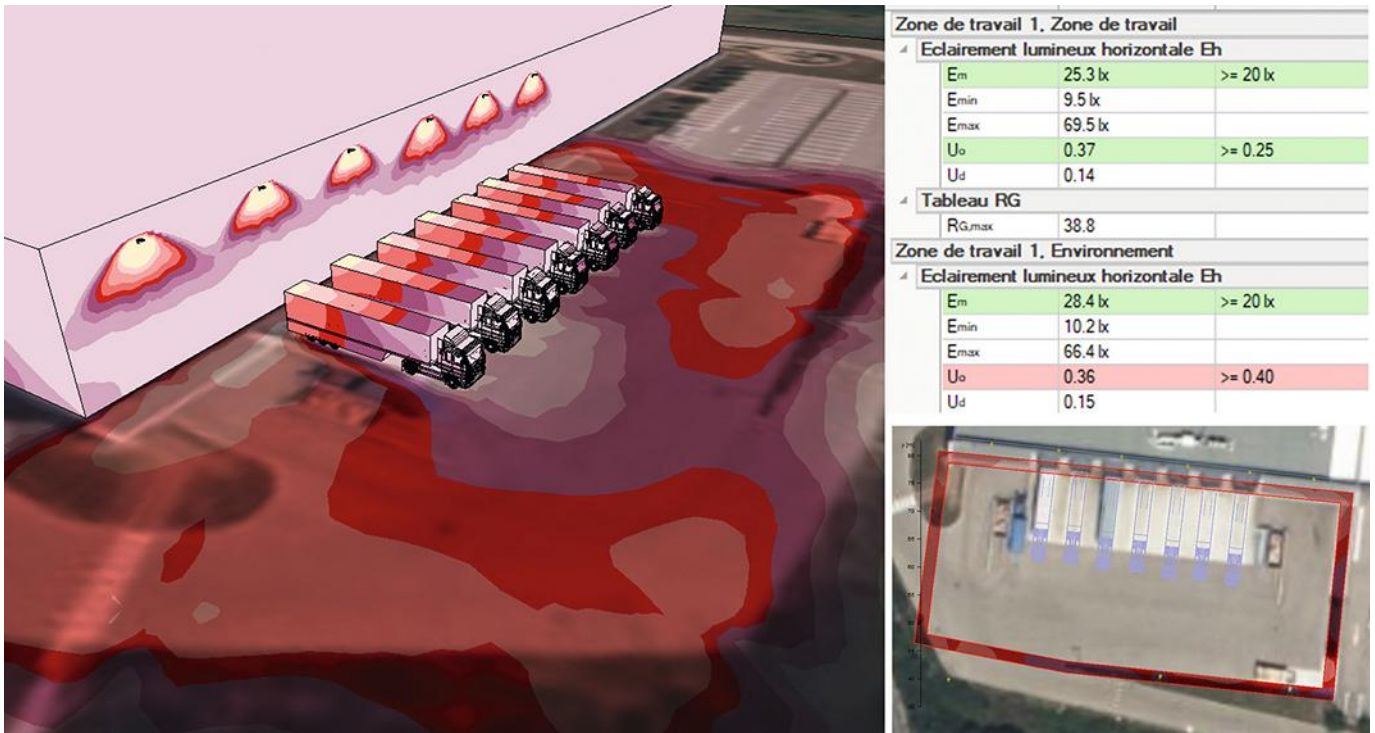
Une nouvelle simulation (Cf. Figure 19) montre que l'uniformité préconisée par la norme NF EN 12464-2 est atteinte, tout en conservant un éclairage suffisant. La puissance des luminaires utilisés

↑ FIGURE 16
À gauche, définition des zones d'activité et environnantes. À droite, application aux quais de chargement à éclairer (logiciel utilisé : ReluxDesktop).

N° DE RÉF.	TYPE DE ZONE, DE TÂCHE ET D'ACTIVITÉ	E_m (lx)	U_0	R_{GL}	R_a	EXIGENCES SPÉCIFIQUES
5.7.1	Manutention de courte durée d'éléments de taille importante et de matériaux bruts, chargement et déchargement de marchandises en vrac	20	0,25	55	20	
5.7.2	Manutention continue d'éléments de taille importante et de matériaux bruts, chargement et déchargement du fret, emplacements de manœuvre des grues, plateformes ouvertes de chargement	50	0,40	50	20	
5.7.3	Lecture d'adresses, plateformes couvertes de chargement, utilisation d'outils, tâches courantes d'armaturage et de bétonnage dans les centrales à béton	100	0,50	45	20	
5.7.4	Installations électriques, de machines et de canalisations nécessitant un éclairage important, inspection	200	0,50	45	60	Utiliser un éclairage localisé

← TABLEAU 6
Extrait de la norme NF EN 12464-2 : objectifs photométriques des sites industriels et aires de stockage.





↑ FIGURE 17 Simulation de l'éclairage du quai de chargement (à gauche) et de son environnement (en bas à droite). En haut à droite : résultat des calculs (logiciel utilisé : ReluxDesktop).

peut même être revue à la baisse pour optimiser parfaitement le projet. Il convient de rappeler que les sites extérieurs sont concernés par l'arrêté du 27 décembre 2018 sur les nuisances lumineuses [8], avec un ensemble d'obligations (limitation de l'émission de lumière vers l'hémisphère supérieur, température de couleur, etc.).

Contrôle et mesure des installations

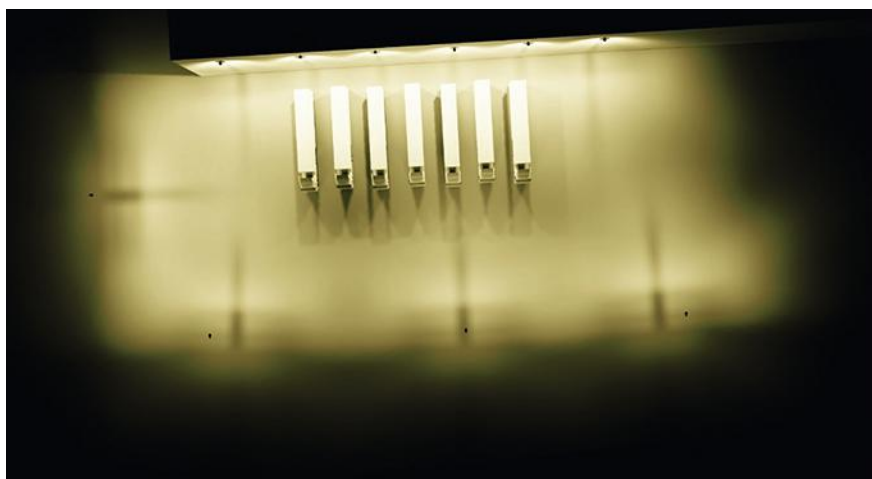
Pour s'assurer qu'une installation neuve ou existante apporte une lumière adaptée à l'activité, il

est nécessaire de réaliser des mesures photométriques. Ces vérifications permettent à la fois de contrôler la conformité réglementaire et de confirmer le respect du cahier des charges, défini en fonction des tâches, du local et du profil des salariés.

Les mesures sont réalisées à l'aide d'appareils spécifiques. Le luxmètre permet de quantifier l'éclairage sur les zones d'intérêt, qu'il s'agisse de la zone d'activité, de la zone adjacente ou de la zone de fond, ainsi que dans les circulations, sur les

FIGURE 18 → Ajout de luminaires complémentaires (traits jaunes) pour éclairer la zone environnante (traits rouges) (logiciel utilisé : ReluxDesktop).





Résultat	Valeur	Valeur cible
Zone de travail 1, Zone de travail		
Eclairage lumineux horizontale Eh		
E _{min}	24.1 lx	>= 20 lx
E _{min}	11.1 lx	
E _{max}	64.2 lx	
U _o	0.46	>= 0.25
U _d	0.17	
Tableau RG		
R _{G,max}	40.5	
Zone de travail 1, Environnement		
Eclairage lumineux horizontale Eh		
E _{min}	25.9 lx	>= 20 lx
E _{min}	10.9 lx	
E _{max}	61.3 lx	
U _o	0.42	>= 0.40
U _d	0.18	

murs ou au plafond. Le luminancemètre mesure la luminance et permet d'évaluer les contrastes entre zones voisines. L'indice d'éblouissement peut être déterminé à l'aide d'un UGR-mètre, qui exploite des images en fausses couleurs de luminance, et qui peut, dans certains cas, se substituer au luminancemètre. Pour caractériser la qualité spectrale des sources, le spectroradiomètre mesure la répartition spectrale et permet de déduire la température de couleur et l'indice de rendu des couleurs. Enfin, l'analyseur de flicker sert à évaluer la modulation temporelle de la lumière et à identifier d'éventuels effets de papillotement ou de stroboscopie.

Ces contrôles peuvent être confiés à différents acteurs. Dans le cadre d'une installation neuve ou d'une rénovation, la maîtrise d'œuvre peut s'appuyer sur un bureau d'études spécialisé ou sur le fournisseur du matériel. Ils peuvent également être réalisés par des organismes de contrôle indépendants, garants d'une évaluation objective, ou par les services de prévention et de santé au travail qui effectuent des vérifications ponctuelles. Les centres de mesures physiques des Carsat/Cramif peuvent également intervenir dans le cadre de vérifications ponctuelles.

Enfin, il est recommandé d'intégrer ces mesures dans un plan de maintenance périodique, comprenant le nettoyage des luminaires, le remplacement des sources et la vérification régulière des performances lumineuses, afin de garantir la pérennité de la qualité d'éclairage dans le temps.

Conclusions

Ces trois exemples montrent comment concevoir un éclairage artificiel adapté à un espace de travail. Cette démarche commence par l'analyse des besoins visuels, la définition des zones de travail et des zones environnantes, et la détermination des objectifs photométriques en lien avec les exigences normatives et réglementaires.

À l'aide d'un logiciel dédié ont été simulées différentes configurations pour valider le choix des luminaires, leur implantation, ainsi que leur puissance. Le processus s'est déroulé de manière itérative : une première modélisation permet d'identifier les insuffisances éventuelles (niveau d'éclairage, uniformité, éblouissement), puis l'installation est optimisée étape par étape.

Enfin, des dispositifs de gradation peuvent être intégrés à la conception pour tirer parti de la lumière naturelle, s'adapter à l'occupation réelle des lieux, et réduire la consommation énergétique tout en améliorant le confort visuel. ●

1. Les dispositions spécifiques relatives au travail sur écran sont détaillées sur le site de l'INRS : <https://www.inrs.fr/risques/travail-ecran/ce-qu-il-faut-retenir.html>

↑ FIGURE 19 Simulation d'éclairage sur une implantation adaptée pour un éclairage uniforme de la zone environnant la zone d'activité (logiciel utilisé : ReluxDesktop).

BIBLIOGRAPHIE

- [1] NORME NF EN 12464-1 – Lumière et éclairage – Éclairage des lieux de travail. Partie 1 : lieux de travail intérieurs. Afnor, 2021. Accessible sur : www.boutique.afnor.org (site payant).
- [2] GRONFIER C. – Physiologie de l'horloge circadienne endogène : des gènes horloges aux applications cliniques. *Médecine du sommeil*, 2009, 6, pp. 3-11. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.msom.2009.02.002>
- [3] ARRÊTÉ DU 22 MARS 2017 modifiant l'arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr
- [4] MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE / CENTRE D'ÉTUDES ET D'EXPERTISE SUR LES RISQUES, L'ENVIRONNEMENT, LA MOBILITE ET L'AMENAGEMENT (CEREMA) – Réglementation environnementale des bâtiments neufs (RE-2020). Accessible sur : <https://rt-re-batiment.developpement-durable.gouv.fr/re2020-r320.html>
- [5] SITE RELUXNET. Accessible sur : <https://reluxnet.relux.com/>
- [6] DIALUX – DIAL – Lighting design software DIALux. Accessible sur : <https://www.dial.de/en/dialux/>
- [7] NORME NF EN 12464-2 – Lumière et éclairage – Éclairage des lieux de travail. Partie 2 : lieux de travail extérieurs. Afnor, 2024. Accessible sur : www.boutique.afnor.org (site payant).
- [8] ARRÊTÉ DU 27 DÉCEMBRE 2018 relatif à la prévention, à la réduction et à la limitation des nuisances lumineuses. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

EFFETS NON VISUELS DE LA LUMIÈRE

La lumière ne se limite pas à ses effets visuels. Si elle peut avoir des effets délétères sur l'appareil visuel, elle agit également sur l'organisme par des mécanismes physiologiques non visuels, liés à la stimulation de certaines cellules de la rétine influant sur le système nerveux et hormonal. Ainsi, la lumière qui entre dans l'œil n'est pas seulement perçue comme une couleur ou une intensité : elle peut aussi influencer la santé et la vigilance.

Ce dernier article traite des risques photobiologiques et de la synchronisation de l'horloge biologique par la lumière.

DINA ATTIA
Direction de l'évaluation des risques, Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses)

Effets photobiologiques liés aux rayonnements optiques visibles

En fonction de la composition spectrale de la lumière, de la puissance de la source, de la distribution spatiale des intensités lumineuses et de la durée d'exposition, les salariés peuvent être soumis à des risques photobiologiques. Ceux-ci se traduisent notamment par des lésions thermiques (brûlures de la peau ou de la rétine, liées à une forte intensité lumineuse), ou des effets photochimiques sur la rétine.

Le risque photochimique existe pour le domaine de longueur d'onde allant de 300 nm à 700 nm, et atteint son maximum dans la région bleue du spectre (Cf. Figure 1). C'est pourquoi on parle fréquemment de « risque lumière bleue ».

L'évaluation de ce risque repose sur la comparaison entre une « dose efficace » reçue et une valeur limite d'exposition (VLE), en dessous de laquelle aucun effet nocif n'est démontré. Cette dose correspond à l'éclairement énergétique pondéré par la courbe d'efficacité spectrale $B(\lambda)$, noté E_b , multiplié par le temps d'exposition. La VLE peut ainsi être dépassée en un temps très court si la source est très puissante, ou après un temps plus long si la source l'est moins. Le site Internet de l'INRS propose un dossier spécifique pour approfondir le sujet [1].

Dans la majorité des cas, les luminaires utilisés pour l'éclairage des lieux de travail ne présentent pas de danger pour les salariés, d'autant moins que les réflexes d'aversion¹ limitent naturellement le risque d'exposition dangereuse [2]. Toutefois, certaines sources particulières, comme les projecteurs de poursuites utilisés dans l'audiovisuel, peuvent engendrer un risque accru d'exposition à la lumière bleue.

Avant de choisir un luminaire, il est essentiel de s'informer sur son niveau de dangerosité. La norme NF EN 62471 fournit une méthode normalisée d'évaluation des risques photobiologiques associés aux lampes et appareils utilisant des lampes [3]. Elle conduit au classement des produits en quatre groupes de risques, suivant leur dangerosité :

- groupe sans risque (GR0) : la source ne présente aucun risque photobiologique ; concernant le risque lumière bleue, elle ne présente pas de risque rétinien pour une exposition de 10 000 secondes ;
- groupe de risque 1 (GR1) : risque faible. La source ne présente pas de risque dans des conditions normales d'utilisation. Elle excède les limites du groupe sans risque, mais ne présente pas de risque rétinien pour une exposition de 100 secondes ;
- groupe de risque 2 (GR2) : risque modéré. La source ne présente pas de risque dans un temps inférieur à la réponse d'aversion si sa luminance est élevée, ou en raison de l'inconfort thermique ressenti. Elle excède les limites du groupe de risque 1, mais ne présente pas de risque rétinien pour une exposition de 0,250 seconde (réflexe optico-papébral) ;
- groupe de risque 3 (GR3) : risque élevé. Les valeurs limites d'exposition sont dépassées même pour une exposition brève.

La norme NF EN 62471 est une norme harmonisée au titre de la directive « basse tension » [4]. À ce titre, tout produit mis sur le marché doit avoir été évalué conformément à cette norme, et le fabricant doit en connaître le groupe de risque photobiologique. Cette information doit pouvoir être fournie par le fabricant ou le distributeur sur demande.

Enfin, la norme NF EN IEC 62471-7, spécifiquement adaptée aux sources et luminaires destinés à l'éclairage, complète ce dispositif [5]. Elle regroupe les luminaires en fonction de leur application et de leur durée d'observation possible.

Synchronisation de l'horloge biologique par la lumière

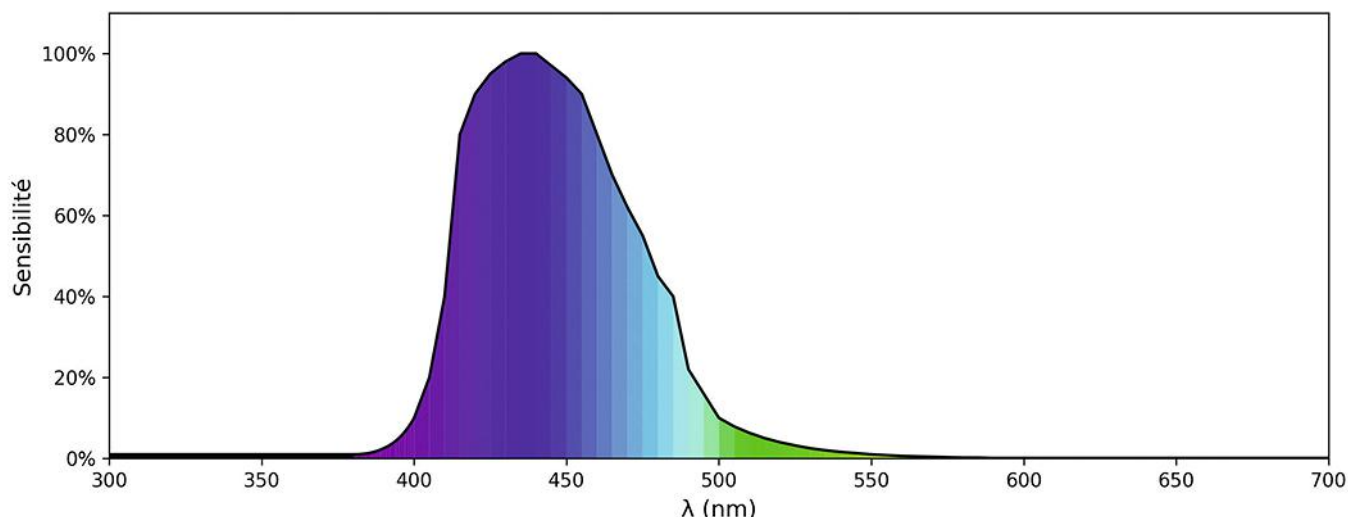
L'horloge biologique

L'être humain possède une horloge biologique interne [6] qui régule de nombreux processus physiologiques selon un rythme d'environ 24 heures, appelé rythme circadien. Cette horloge centrale, accompagnée par des horloges périphériques, organise différentes fonctions du corps (température corporelle, sécrétions hormonales, niveaux de vigilance, métabolisme, etc.) afin de prépa-

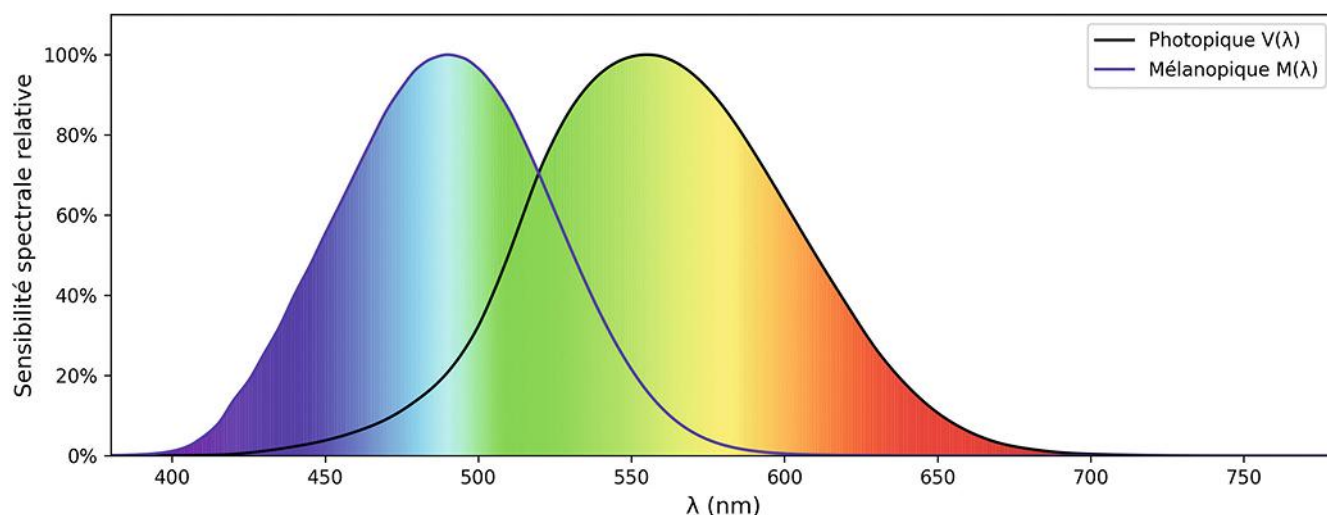
rer l'organisme aux activités de la journée ou au repos nocturne.

Cette horloge est située dans le cerveau, au niveau du noyau suprachiasmatique de l'hypothalamus. Elle fonctionne de manière autonome avec une période légèrement différente de 24 heures et doit donc être remise à l'heure quotidiennement par l'environnement extérieur, afin d'être synchronisée sur 24 heures exactement et de garantir une physiologie en harmonie : que chaque rythme soit exprimé au bon moment.

Le principal facteur (ou synchroniseur) qui permet cette mise à l'heure est la lumière, dont l'alternance jour/nuit constitue le signal le plus puissant. La lumière reçue par l'œil n'est donc pas uniquement utilisée pour la vision. Certaines cellules particulières de la rétine, appelées cellules



↑ FIGURE 1 Courbe d'efficacité $B(\lambda)$ du rayonnement optique sur la rétine, pour les effets photochimiques.



↑ FIGURE 2 Courbes de sensibilités relatives à la lumière des cellules responsables de la vision $V(\lambda)$ et de la synchronisation de l'horloge biologique $M(\lambda)$.





© Fabrice Dimier pour l'INRS / 2020

ganglionnaires à mélanopsine², transmettent, *via* des voies non visuelles spécifiques, l'information d'exposition lumineuse vers les zones cérébrales responsables de la régulation circadienne. Elles sont particulièrement sensibles aux longueurs d'onde courtes (480 nm environ), c'est-à-dire à la composante bleue de la lumière.

Une exposition lumineuse adaptée en journée permet de maintenir une bonne synchronisation de l'horloge biologique et d'exprimer les rythmes biologiques au bon moment : elle favorise la vigilance, les performances cognitives, etc. À l'inverse, une exposition inappropriée (travail de nuit ou en horaires atypiques³, locaux sans fenêtres et avec un éclairage artificiel déficient, usage prolongé d'écrans en soirée) peut dérégler ce système, entraînant à terme des troubles et des pathologies [7,8].

Éclairage mélanopique

La sensibilité des photorécepteurs de la rétine impliqués dans la vision suit la courbe photopique $V(\lambda)$, dont le maximum se situe à 555 nm dans le vert-jaune (Cf. Article pp. 30-39). Les cellules ganglionnaires à mélanopsine ont quant à elles un pic de sensibilité à 480 nm dans le bleu turquoise.

L'éclairage lumineux, exprimé en lux, correspond à la puissance d'un rayonnement optique reçu par une surface, pondéré par la fonction de sensibilité visuelle $V(\lambda)$. De manière analogue, il est possible de définir un éclairage mélanopique, également exprimé en lux mélanopiques, cette fois pondéré par la fonction de sensibilité $M(\lambda)$ (Cf. Figure 2).

Cette grandeur complémentaire permet d'évaluer et de comparer l'effet d'un rayonnement optique sur la synchronisation de l'horloge biologique.

La norme CIE S 026/E définit l'ensemble des métriques nécessaires pour comparer les différents rayonnements optiques selon leurs effets non visuels [9]. Elle introduit notamment l'EDI mélanopique (*equivalent daylight D65 illuminance*), c'est-à-dire l'éclairage équivalent à celui produit par un illuminant D65, qui représente la lumière du jour normalisée et qui produit le même effet mélanopique que la source étudiée.

Le deuxième atelier international sur la photométrie circadienne et neurophysiologique, qui s'est tenu en 2019 et qui a réuni les experts sur le sujet, a abouti en 2022 au consensus suivant sur des recommandations d'éclairage mélanopique [10] :

- éclairage diurne : le niveau recommandé est

d'au moins 250 lux EDI mélanopiques, mesurés à hauteur d'œil en position assise. La lumière naturelle doit être privilégiée pour atteindre ce niveau. En cas d'éclairage artificiel complémentaire, la lumière blanche polychromatique devrait idéalement présenter un spectre enrichi en courtes longueurs d'onde, comme celui de la lumière du jour ;

- éclairage en soirée : à partir d'environ 3 heures avant le coucher, le niveau recommandé est d'au plus 10 lux EDI mélanopiques, mesurés à hauteur d'œil. Pour cela, l'éclairage devrait, autant que possible, présenter un spectre appauvri en courtes longueurs d'onde, donc être de teinte chaude ;
- éclairage nocturne : l'environnement de sommeil doit rester aussi sombre que possible. Le niveau recommandé est d'au plus 1 lux EDI mélanopique ambiant.

Ces recommandations s'appliquent à des adultes en bonne santé, âgés de 18 à 55 ans et ayant un rythme de veille diurne et de sommeil nocturne régulier. Il convient de noter qu'il n'existe, à ce jour, ni réglementation spécifique ni norme française sur ce sujet.

Application au travail de nuit et posté

Un dossier complet, relatif au travail de nuit et posté, est déjà paru dans ces colonnes [11]. À ce jour, aucune recommandation n'existe concernant les niveaux d'éclairage à apporter aux travailleurs de nuit ou postés : les données scientifiques ne permettent pas encore d'établir des seuils fiables et spécifiques, ni des moments opportuns d'exposition. Cette absence de consensus est liée à la grande complexité d'action de la lumière sur l'horloge circadienne. Il existe une courbe de réponse de phase à la lumière : c'est-à-dire qu'en fonction du moment d'exposition, les effets sur l'horloge seront différents. Certains résultats expérimentaux suggèrent qu'une augmentation de l'éclairage mélanopique sur le lieu de travail pendant la première partie de nuit améliore la vigilance et la performance des salariés pendant le travail de nuit et favorise un sommeil de qualité après le travail. Mais ces résultats sont à généraliser avec précaution car, outre l'exposition pendant la nuit, c'est l'exposition à la lumière durant les 24 heures qui va favoriser ou entraver l'adaptation au travail de nuit. Le problème du travailleur de nuit n'est pas lié au manque de lumière, mais au cycle lumière-obscurité, l'exposition à la lumière est irrégulière et directement liée aux cycles de travail, donc variable [12].

Conclusion

L'éclairage des lieux de travail repose aujourd'hui essentiellement sur des critères visuels et sur la

prévention des risques photobiologiques, encadrés par la norme NF EN 62471. Les recherches récentes ont toutefois montré que la lumière influence aussi la santé et la vigilance par des mécanismes non visuels, mesurés notamment à travers l'éclairement mélanopique. Des recommandations internationales existent désormais pour la population générale adulte, mais elles ne sont pas encore traduites en normes ou en réglementation en France.

Dans ce contexte, la conception de l'éclairage doit continuer à garantir la sécurité et la performance visuelle, tout en s'appuyant sur les connaissances scientifiques disponibles pour limiter les risques et assurer la santé des salariés. ●

1. *Aversion (physiologique) : détournement du regard dans le cas d'une source trop éblouissante, ou retrait du corps près d'une source de chaleur brûlante.*

2. *Ou ipRGC : en anglais intrinsically photosensitive retinal ganglion.*

3. *Voir : <https://www.inrs.fr/actualites/travail-nuit.html>*

BIBLIOGRAPHIE

[1] **INRS** – Rayonnements optiques. Ce qu'il faut retenir. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/rayonnements-optiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>

[2] **INRS** – Rayonnements optiques. Éclairage à led. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/rayonnements-optiques/eclairage-led.html>

[3] **NORME NF EN 62471** – Sécurité photobiologique des lampes et appareils utilisant des lampes. Afnor, 2008. Accessible sur : www.boutique.afnor.org (site payant).

[4] **DIRECTIVE 2014/35/UE** du Parlement européen et du Conseil du 26 février 2014. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0035&from=FR>

[5] **NORME NF EN IEC 62471-7** – Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes - Partie 7 : sources de lumière et luminaires qui émettent principalement un rayonnement visible. Afnor, 2023. Accessible sur : www.boutique.afnor.org (site payant).

[6] **GRONFIER C.** – Physiologie de l'horloge circadienne endogène : des gènes horloges aux applications cliniques. *Médecine du sommeil*, 2009, 6, pp. 3-11. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.msom.2009.02.002>

[7] **ANSES** – Évaluation des risques sanitaires liés au travail de nuit. Anses, 2016. Accessible sur : <https://www.anses.fr/sites/default/files/AP2011SA0088Ra.pdf>

[8] **ANSES** – Effets sur la santé humaine et sur l'environnement (faune et flore) des diodes électroluminescentes (led). Anses, 2019. Accessible sur : <https://www.anses.fr/fr/content/led-et-lumi%C3%A8re-bleue>

[9] **CIE S 026/E:2018** – CIE system for metrology of optical radiation for ipRGC-influenced responses to light. CIE, 2018. Accessible sur : <https://doi.org/10.25039/S026.2018>

[10] **BROWN T.M. ET AL.** – Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. *PLoS Biology*, 2022, 20, e3001571. Accessible sur : <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3001571>

[11] **GAUTIER M., WEIBEL L. ET AL.** – Travail de nuit et posté : état des connaissances et prévention en milieu professionnel. *Hygiène & sécurité du travail*, 270, DO 39, pp. 21-58. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%2039>

[12] **GRONFIER C.** – Lumière : régulation du système circadien et du sommeil. 2021 [consulté en septembre 2025]. Accessible sur : <https://www.youtube.com/watch?v=dgJJ5NB9bwI>



Études & solutions

Note technique

Enquête sur les Pfas
dans les établissements français :
les points clés à retenir

P. 77

Étude de cas

Caractérisation du risque d'exposition
aux poussières organiques
dans les meuneries

P. 90

Base de données Colchic

Exposition professionnelle
dans la filière française
du travail du cuir (2010-2024)

P. 102

Note technique

ENQUÊTE SUR LES PFAS DANS LES ÉTABLISSEMENTS FRANÇAIS : LES POINTS CLÉS À RETENIR

Les substances per- et polyfluoroalkylées (Pfas) sont des composés chimiques très stables, utilisés depuis la fin des années 1940 dans de nombreux produits industriels et de consommation (textiles, emballages, cosmétiques, mousses anti-incendie...). Malgré leur large usage, les données sur l'exposition professionnelle à ces substances restent limitées. Cet article présente, dans le contexte de la prévention du risque chimique, les résultats d'une enquête réalisée au sein des établissements français potentiellement concernés par la présence ou la manipulation de Pfas.

ANDREA
EMILI,
AUDREY
HUMBERT
INRS,
département
Métrologie
des polluants

Généralités sur les Pfas

Les Pfas, substances per- et polyfluoroalkylées, sont une vaste famille qui regroupe plusieurs milliers de composés fluorés synthétiques. Selon la définition publiée par l'Organisation de coopération et de développement économiques (OCDE) en 2021 [1], on entend par Pfas « des substances fluorées qui contiennent au moins un groupe méthyle ou méthylène entièrement fluoré (sans atome H, Cl, Br, I attaché) c'est-à-dire à quelques exceptions près, toute substance chimique contenant au moins un groupe méthyle perfluoré (-CF₃) ou un groupe méthylène perfluoré (-CF₂-) ». Des exemples de Pfas très connus sont le PFOA, le PFOS, le PTFE ou le TFA (Cf. Tableau 1 et Décryptage pp.5-18 dans ce n°). En raison de leur structure chimique, les Pfas ont des propriétés à la fois hydrophobes et hydrophiles et sont très stables grâce aux liaisons carbone-fluor qui sont très fortes. Depuis les années 1950, les Pfas ont été utilisés dans diverses applications industrielles et dans de nombreux produits de consommation courante [2] : surfactants, mousses anti-incendie, réactifs de synthèse et composants de médicaments ou pesticides, produits de revêtement et détachants pour le textile, produits anti-salissures et anti-graisses pour les sols, emballages alimentaires, revêtements non adhérents pour les ustensiles de cuisine, cosmétiques... Toutefois, des études épidémiologiques et des études *in vitro* ont mis en évidence que certains Pfas peuvent interagir avec le système immunitaire ou le système endocrinien. L'exposition à ces molécules serait aussi associée à des maladies chroniques rénales et des atteintes du foie [3].



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS / 2021

RÉSUMÉ

Les Pfas regroupent des milliers de composés fluorés utilisés depuis la fin des années 1940 pour leurs propriétés hydrophobes, lipophobes et leur stabilité chimique. On les retrouve dans de nombreux produits : mousses anti-incendie, textiles, emballages alimentaires, ustensiles de cuisine... Certains Pfas sont toxiques et classés cancérigènes. Ils se divisent en polymères et non polymères; ces derniers sont les plus étudiés et réglementés. Une enquête menée en 2024-2025 auprès d'établissements français a révélé une connaissance encore faible sur l'exposition professionnelle aux Pfas. Le repérage est difficile, les fiches de données de sécurité ne mentionnant pas toujours clairement ces substances. La substitution est en cours mais complexe : certains substituts présentent des risques similaires. Peu d'évaluations spécifiques ont été réalisées, et les données de métrologie (analyses d'air ou biologiques) sont rares. La prévention repose sur la substitution quand elle est possible, la mise en place de mesures techniques (captage, ventilation) ou le port d'équipements de protection individuelle. Le contexte réglementaire évolue rapidement et la vigilance reste nécessaire pour éviter de remplacer les Pfas dangereux par d'autres produits potentiellement nocifs.

SURVEY ON PFAS IN FRENCH INSTITUTIONS: KEY POINTS TO KEEP IN MIND

Pfas include thousands of fluorinated compounds that have been used since the end of the 1940s for their hydrophobic and lipophobic properties and their chemical stability. They are found in a wide range of products: fire-fighting foam, textiles, food packaging, kitchen utensils, etc. Some Pfas are toxic and classed as carcinogenic. They are divided into polymeric and non-polymeric compounds, with the latter being the most widely studied and regulated. A survey carried out in 2024-2025 in French institutions revealed knowledge about occupational exposure to Pfas to be persistently low. Identification of exposure can be difficult, as material and safety data sheets do not always clearly mention these substances. The search for substitutes is ongoing but complex, as some proposed alternatives have similar risks. Few specific assessments have been carried out, and we lack metrological data (air or biological analyses). Prevention relies on substitution when possible, in other cases, technical solutions (capture, ventilation) can be implemented or personal protective equipment used. The regulatory context is evolving rapidly, but vigilance remains necessary to avoid replacing hazardous Pfas with other potentially harmful products.

Au niveau réglementaire, plusieurs actions nationales et internationales poussent à leur prise en compte lors de l'analyse des différents milieux environnementaux (Plan d'action interministériel sur les Pfas; Cf. *Pour en savoir plus*) et des interdictions ou des restrictions sur la mise sur le marché de ces produits sont déjà actées ou en cours de discussion (Proposition de l'ECHA de restriction universelle des Pfas ; Cf. *Pour en savoir plus*).

Pfas polymères et non polymères

À ce jour, les études sur les Pfas se sont principalement concentrées sur les substances non polymères, c'est-à-dire ne possédant pas de structure macromoléculaire répétitive, typique des polymères. En particulier, les études ont porté sur les acides perfluoroalkylés (PFAA), qui comprennent les acides perfluorocarboxyliques (PFCA), les acides perfluoroalcanesulfoniques (PFSA), ainsi que certains de leurs précurseurs non polymères [4]. Ces Pfas non polymères, en particulier le PFOS, le PFHxS et le PFOA, ont été progressivement retirés de la production et font l'objet de restrictions aux niveaux nationaux et supranationaux [5,6,7].

Les Pfas polymères comprennent les fluoropolymères, les perfluoropolyéthers (PFPE) et les polymères fluorés à chaîne latérale (SCFP) [8]. Les études les concernant sont bien moins nombreuses que pour les Pfas non polymères. Le groupe des fluoropolymères est dominé par le PTFE [9] : avec le FEP, l'ETFE et les copolymères du TFE, ils représentent environ 75 % du marché des fluoropolymères [10]. Ce marché était estimé à environ 330 000 tonnes en 2021 au niveau mondial [11] (Cf. *Figure 1*).

Généralement, les fluoropolymères présentent un contenu résiduel négligeable en monomères et en oligomères, ainsi que peu ou pas de substances lixiviables (c'est-à-dire susceptibles d'être libérées dans l'environnement au contact de l'eau ou d'autres solvants). Cependant, des Pfas de faible masse moléculaire sont utilisés en tant qu'auxiliaires de fabrication (émulsifiants, dispersants et agents tensioactifs au sens large) de certains fluoropolymères ou fluoroélastomères. Ces produits peuvent ainsi être libérés dans l'environnement pendant les phases de fabrication [12].

Les PFPE comme le HFPO-DA (GenX) et l'ADONA ont été utilisés en substitution de certains composés à chaîne longue (PFOS, PFOA...). À ce jour, il existe un manque de publications scientifiques concernant leurs propriétés physico-chimiques, leurs effets toxicologiques potentiels et leurs profils toxicocinétiques [13].

Les SCFP ont été utilisés dans une large gamme de produits commerciaux pour le traitement des tissus, textiles et vêtements, afin de leur conférer des propriétés de déperlance à l'eau et à la graisse, ainsi qu'une résistance aux salissures [14]. Leur dégradation (biotique ou abiotique) peut libérer des groupes Pfas, susceptibles d'évoluer en PFCA ou PFSA dans l'environnement ou les organismes vivants selon des voies bien caractérisées [15].

Les Pfas sur les lieux de travail

Sur les lieux de travail, les Pfas peuvent être présents comme substances en tant que telles, ou bien incorporés dans des mélanges ou des articles finis. Les Pfas fabriqués et vendus par les producteurs

ACRONYME	NOM COMPLET	N° CAS	UTILISATIONS
6:2 FTSA	Sulfonate de fluorotéromère 6:2	27619-97-2	Surfactant, utilisé dans l'industrie automobile et plus particulièrement pour la confection de batteries
ADONA	Acide dodécafluoro-3H-4,8 dioxanononoïque	919005-14-4	Agent tensioactif de remplacement du PFOA dans la fabrication de fluoropolymères
APFO	Pentadécafluorooctanoate d'ammonium	3825-26-1	Sel du PFOA, utilisé dans la fabrication de revêtements anti-taches et résistants à l'eau pour les textiles et les moquettes ; de tuyaux, câbles et joints ; de revêtements antiadhésifs pour ustensiles de cuisine ; et de produits de soins personnels
C604	Acide acétique, 2,2-difluoro-2-[[2,2,4,5-tétrafluoro-5-(trifluorométhoxy)-1,3-dioxolan-4-yl]oxy]	1190931-41-9	Agent de polymérisation et tensioactif dans la production de certains fluoropolymères haute performance (PTFE, copolymères de type FEP, ETFE), utilisé comme substitut au PFOA dans certains procédés industriels de polymérisation émulsionnée aqueuse
ETFE	Copolymère éthylène-tétrafluoroéthylène	25038-71-5	Films et membranes architecturaux (toitures légères, façades), gaines isolantes pour câbles haute performance, revêtements anticorrosion dans l'industrie chimique et photovoltaïque
FEP	Copolymère tétrafluoroéthylène-hexafluoropropylène	25067-11-2	Gaines isolantes de câbles électriques et électroniques, tubes, raccords, revêtements anticorrosion (chimie, pharmacie), revêtements antiadhésifs (similaires au PTFE mais thermoformables), pièces moulées pour équipements en environnements agressifs
FPEM	Copolymère tétrafluoroéthylène-propylène	-	Joints toriques et bagues d'étanchéité dans l'industrie pétrolière et gazière (haute température et milieu agressif), applications chimiques (pompes, vannes) exposées à des bases fortes et solvants, applications automobiles et aéronautiques nécessitant une résistance élevée à la chaleur et aux fluides, isolation électrique
FFKM	Perfluoroelastomère	-	Joints statiques et dynamiques dans des environnements chimiques extrêmes (industrie pharmaceutique, nucléaire, etc.)
FKM	Copolymère HFP-VDF	-	Joints, membranes, garnitures pour automobile, aéronautique, industrie chimique
HFP	Hexafluoropropylène	116-15-4	Utilisé dans FKM, FEP, THV
HFPO-DA	Acide dimère de l'oxyde d'hexafluoropropylène	13252-13-6	Agent de polymérisation remplaçant le PFOA dans le procédé GenX
PFA	Perfluoroalkoxy ou copolymère de tétrafluoroéthylène et de perfluoroéther de propyle et de vinyle	26655-00-5	Revêtements antiadhésifs, isolation électrique, composants pour chimie de haute pureté
PFBE	Perfluorobutyléthylène	19430-93-4	Fluides diélectriques, fluides caloporteurs, solvants spécialisés
PFBS	Acide perfluorobutanesulfonique	375-73-5	Traitement des textiles, papiers, agents tensioactifs, mousses anti-incendie
PFDA	Acide perfluorodécanoïque	335-76-2	Agents tensioactifs, traitements textiles et revêtements anti-taches
PFDoDA	Acide perfluorododécanoïque	307-55-1	Agents de traitement anti-taches, textiles techniques
PFHpA	Acide perfluoroheptanoïque	375-85-9	Agents de traitement anti taches, textiles techniques et utilisés comme revêtements antiadhésifs
PFHxA	Acide perfluorohexanoïque	307-24-4	Substitut à chaîne courte dans des revêtements et produits résistants aux taches
PFHxS	Acide perfluorohexane sulfonique	355-46-4	Mousses anti-incendie, traitements anti-taches pour textiles, papiers
PFIB	Perfluoroisobutylène	382-21-8	Production de produits avancés à base de fluoropolymères, allant des revêtements antiadhésifs aux composants complexes des appareils électroniques
PFOA ^{a, b, c, 1}	Acide perfluorooctanoïque	335-67-1	Fabrication de fluoropolymères (ex : PTFE), tensioactifs industriels
TPD-PFEMA	Méthacrylate de 2-(perfluorohexyl)éthyle	2144-53-8	Intermédiaire pour la production d'agents protecteurs de surface
PFOS ^{a, b, c, 2}	Acide perfluorooctane sulfonique	1763-23-1	Mousses extinctrices, textiles, papiers anti-graisse, traitement de surface
PTFE	Polytétrafluoroéthylène (Téflon)	9002-84-0	Anti-adhésifs (poêles, revêtements), joints, étanchéité, isolation
PVDF	Fluorure de polyvinylidène	24937-79-9	Membranes, batteries lithium-ion, câblage, revêtements anticorrosion
TFA	Acide trifluoroacétique	76-05-1	Synthèse pharmaceutique, solvant en chromatographie, intermédiaire dans la production de composés fluorés. Produit de dégradation stable de nombreux autres Pfas plus complexes
TFE	Tétrafluoroéthylène	116-14-3	Monomère pour PTFE, FEP, PFA, ETFE
THV	Terpolymère TFE-HFP-VDF	-	Films souples transparents, câblage, optoélectronique
VDF	Fluorure de vinylidène	75-38-7	Monomère pour PVDF, THV, FKM

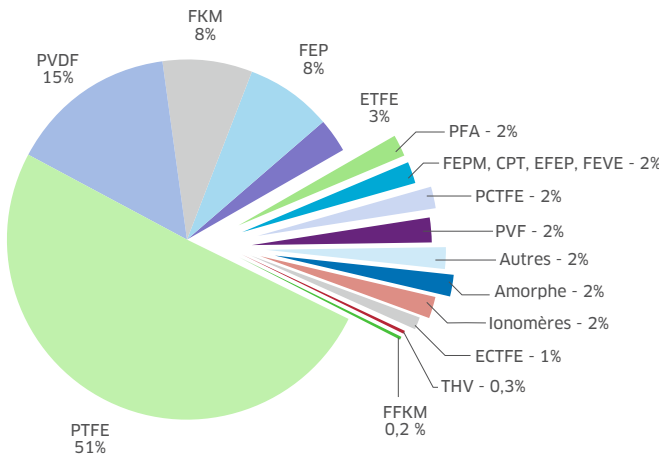
↑ TABLEAU 1 Liste des Pfas cités dans l'article (acronymes, noms complets, n° CAS et utilisations).

^a Classification CLP : cancérigène de catégorie 2 (cancérigène suspecté). Voir : Classification CLP issue du règlement (CE) 1272/2008 modifié (Cf. Pour en savoir plus).

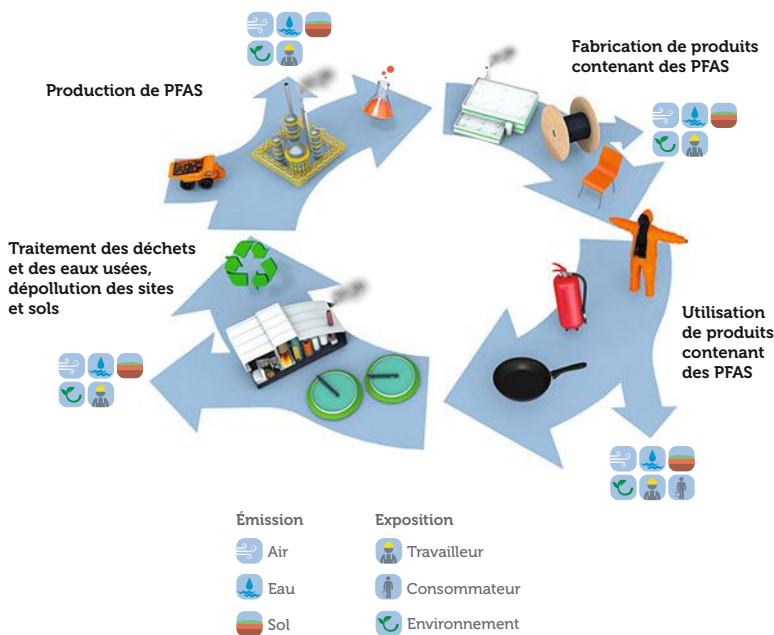
^b Classification CLP : toxique pour la reproduction de catégorie 1B (reprotoxique présumé). ^c Classification CLP : toxique pour la reproduction, catégorie supplémentaire : effets sur ou via l'allaitement. ¹ Classification du CIRC : Groupe 1 (cancérigène pour l'humain). Voir : Monographie du CIRC (Cf. Pour en savoir plus).

² Classification du CIRC : Groupe 2B (peut-être cancérigène).





↑ FIGURE 1 Estimation du marché mondial et des principaux fluoropolymères commerciaux en 2021 (d'après Korzeniowski et al., 2022).



↑ FIGURE 2 Cycle de vie des Pfas.

de substances chimiques se déclinent en différentes formes (granulés, poudres fines, dispersions aqueuses) qui dépendent du mode de fabrication (comme la polymérisation en émulsion ou en suspension) et peuvent contenir des impuretés issues du processus de fabrication. Certains Pfas peuvent être produits sans recourir à des auxiliaires de fabrication, tandis que d'autres, tels que le PTFE en poudre fine et le PVDF, nécessitent l'utilisation d'auxiliaires à base de Pfas lors de la polymérisation. Plusieurs fabricants d'articles finis intègrent des Pfas dans leurs produits : par exemple, dans les rubans en PTFE, les vêtements imperméables, les ustensiles de cuisine, etc. Ces produits sont ensuite utilisés soit

**ENCADRÉ
L'ENQUÊTE AUPRÈS DES
ENTREPRISES : ASPECTS
MÉTHODOLOGIQUES**

L'enquête a été réalisée en suivant la méthodologie décrite dans la fiche MétroPol de l'INRS correspondante*, dans le respect du règlement général sur la protection des données (RGPD). Dans un premier temps, une recherche bibliographique a permis de faire un état des connaissances sur les substances concernées, les secteurs d'activité impliqués, les procédés de fabrication, l'utilisation des Pfas et l'exposition associée. Des échanges avec les producteurs de Pfas, ainsi que deux visites d'établissements choisis parmi les cinq actifs en France en 2024, ont permis d'acquérir des informations terrain utiles à l'élaboration d'un questionnaire en ligne destiné aux entreprises des secteurs ciblés. L'invitation à répondre au questionnaire a été transmise par courrier électronique, à partir d'adresses acquises auprès de fournisseurs commerciaux. Les établissements concernés par le questionnaire se répartissent en trois catégories : les producteurs de Pfas, les fabricants de produits contenant des Pfas et la filière de traitement de déchets (y compris les eaux usées ; Cf. Figure 2). Le questionnaire comportait trois parties :

- administrative : secteur d'activité, effectif de l'établissement...
- descriptive : substances utilisées, quantités, procédés...
- technique : démarche d'évaluation du risque chimique, mesures de prévention...

Avant son déploiement, le questionnaire a été soumis pour validation à des chercheurs travaillant sur les Pfas (toxicologues et métrologues), des entreprises et des organisations professionnelles.

*Voir : INRS - Guide Méthodologique MétroPol – Mise au point d'une étude de filière (Cf. Pour en savoir plus).

© Jean-André Deledda pour l'INRS/2024

en milieu professionnel soit par les consommateurs. En fin de vie, ces produits sont traités par la filière la plus adaptée à leur nature (déchets ménagers, déchets d'équipements électriques et électroniques... ; Cf. Figure 2). Les risques d'exposition professionnelle diffèrent selon les propriétés des substances et leurs conditions de mise en œuvre. L'exposition peut se produire par voie cutanée, par inhalation ou par ingestion s'il y a un contact du travailleur avec ces substances. Ces risques doivent être évalués au titre de la prévention du risque chimique (Cf. Décryptage pp. 5-18). Bien que les secteurs potentiellement concernés par l'exposition aux Pfas soient nombreux, peu de données sont disponibles [16,17,18]. Une revue de littérature sur la période 1980-2021 réalisée par

Christensen et Calkins [16] a identifié 92 articles sur l'exposition professionnelle aux Pfas, dont environ 60 % concernent les travailleurs de la production de produits fluorés ou les premiers intervenants (pompiers, urgentistes...). La plupart de ces études ont mesuré les Pfas dans le sang : les Pfas à longues chaînes alkyles, en particulier le PFOA et le PFOS, étaient les plus fréquemment étudiés. Cependant, au cours des 15 dernières années, les recherches ont de plus en plus porté sur les Pfas à chaîne courte, les précurseurs et les substances de substitution.

La synthèse réalisée par Paris-Davila *et al.* [17] a identifié neuf articles qui rapportent des mesures d'exposition professionnelle aux Pfas dans l'atmosphère des lieux de travail. Le fartage de skis se caractérise par les niveaux d'exposition – aux PFOA, PFHxA, PFDODA, PFDA – les plus élevés (jusqu'à $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Au contraire, le cirage de sols présente les niveaux les plus faibles, souvent inférieurs à la limite de détection. Les autres secteurs investigués étaient la fabrication ou le commerce de textiles et les pompiers.

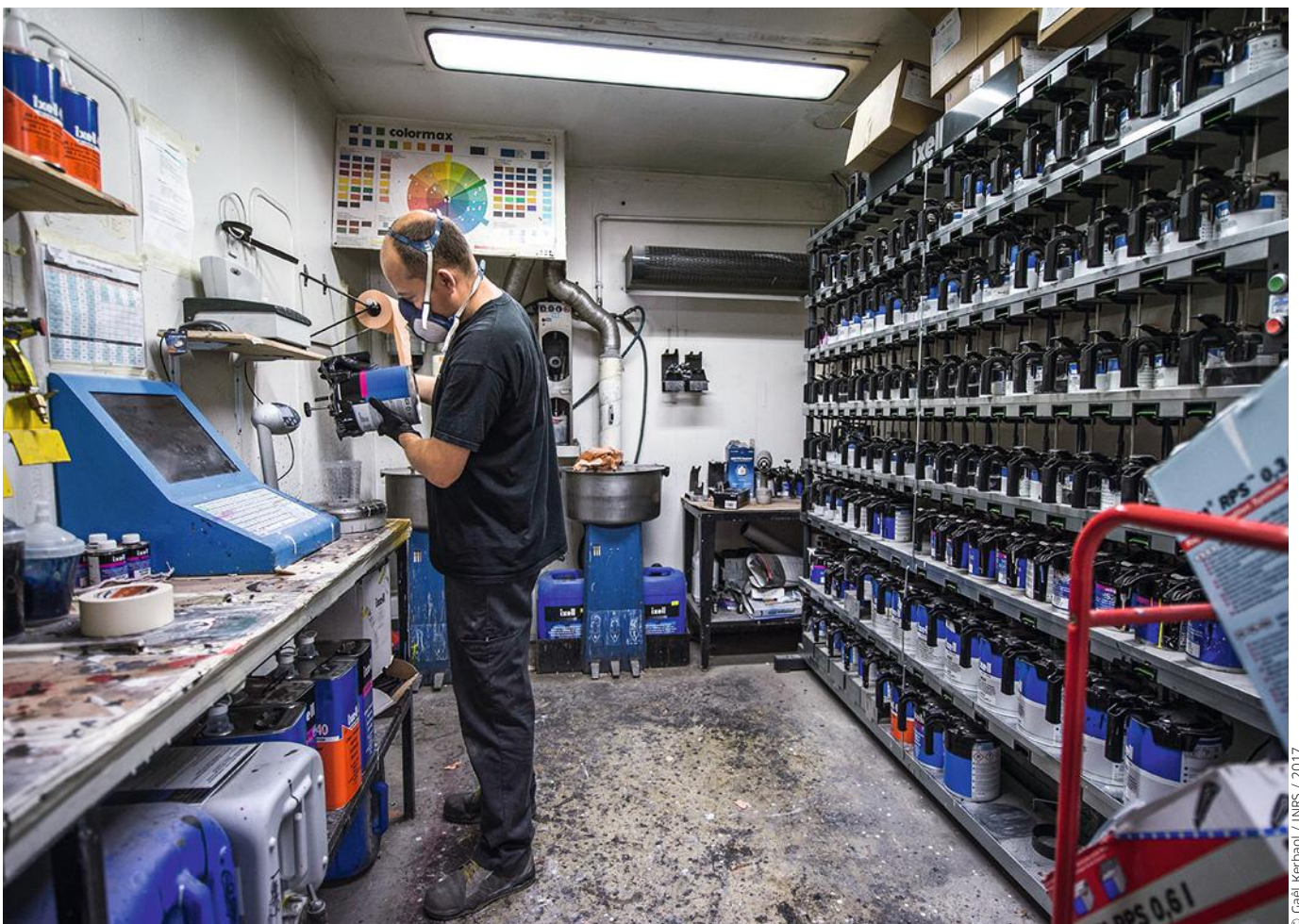
Actuellement, des valeurs limites d'exposition professionnelle, établies pour protéger les travailleurs contre les risques liés aux expositions en milieu de

travail, existent pour quatre Pfas au niveau mondial [16] : trois aux États-Unis ($0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$ sur 8 h pour l'APFO ; $1 007 \text{ mg}/\text{m}^3$ sur 8 h pour le PFBE ; $0,082 \text{ mg}/\text{m}^3$ valeur plafond pour le PFIB) et une en Allemagne pour le PFOS ($0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$ sur 8 h ; voir BAuA – TRGS 900 ; Cf. *Pour en savoir plus*).

L'enquête sur les Pfas : méthodologie et choix des secteurs d'activité

Afin de combler le manque de connaissances sur l'exposition professionnelle aux Pfas en France et de renforcer la protection des travailleurs face à ces substances persistantes et potentiellement dangereuses, une enquête a été réalisée auprès d'établissements français (Cf. *Encadré*). Elle visait principalement à identifier : les secteurs d'activité mettant en œuvre les Pfas ; les substances, leurs utilisations et les procédés de fabrication concernés ; les produits de substitution ; le contexte d'exposition ; les démarches d'évaluation du risque, des expositions professionnelles et les mesures de prévention et de protection mises en œuvre. Dans le cadre de l'enquête, un questionnaire a été diffusé à cinq reprises, entre fin 2024 et début 2025 afin d'optimiser le taux de réponse. Le choix des secteurs d'activité à interroger a été

Préparation de peintures dans un garage.



© Gaël Kerbaol / INRS / 2017



MACRO-SECTEURS D'ACTIVITÉ	SECTEURS D'ACTIVITÉ RETENUS POUR LE QUESTIONNAIRE
Industries extractives	Extraction de houille et de lignite
	Extraction d'hydrocarbures
	Extraction de minerais métalliques
	Autres industries extractives
	Services de soutien aux industries extractives
TULAC (textile, ameublement, cuir, vêtements et tapis)	Fabrication de textiles
	Industrie de l'habillement
	Industrie du cuir et de la chaussure
	Réparation d'ordinateurs et de biens personnels et domestiques
Matériaux en contact avec des aliments et emballages	Industrie du papier et du carton
Raffinage du pétrole	Cokéfaction et raffinage
Industrie chimique	Industrie chimique
Substances actives dans les PPP, BP et MP (produits phytopharmaceutiques, biocides, médicaments)	Industrie pharmaceutique
Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique	Fabrication de produits en caoutchouc et en plastique
Matériaux de construction	Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques
Placage métallique et fabrication de produits métalliques	Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et équipements
Industrie électrique et électronique	Fabrication de produits informatiques, électroniques et optiques
	Fabrication d'équipements électriques
Fabrication de machines et équipements non classés ailleurs	Fabrication de machines et équipements non classés ailleurs
Transports	Industrie automobile
	Fabrication d'autres matériels de transport
Autres industries manufacturières	Autres industries manufacturières
Secteur de l'énergie	Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur et d'air conditionné
Déchets	Collecte et traitement des eaux usées
	Collecte, traitement et élimination des déchets : récupération
	Dépollution et autres services de gestion des déchets

↑ TABLEAU 2
Secteurs d'activité
retenus pour le
questionnaire.

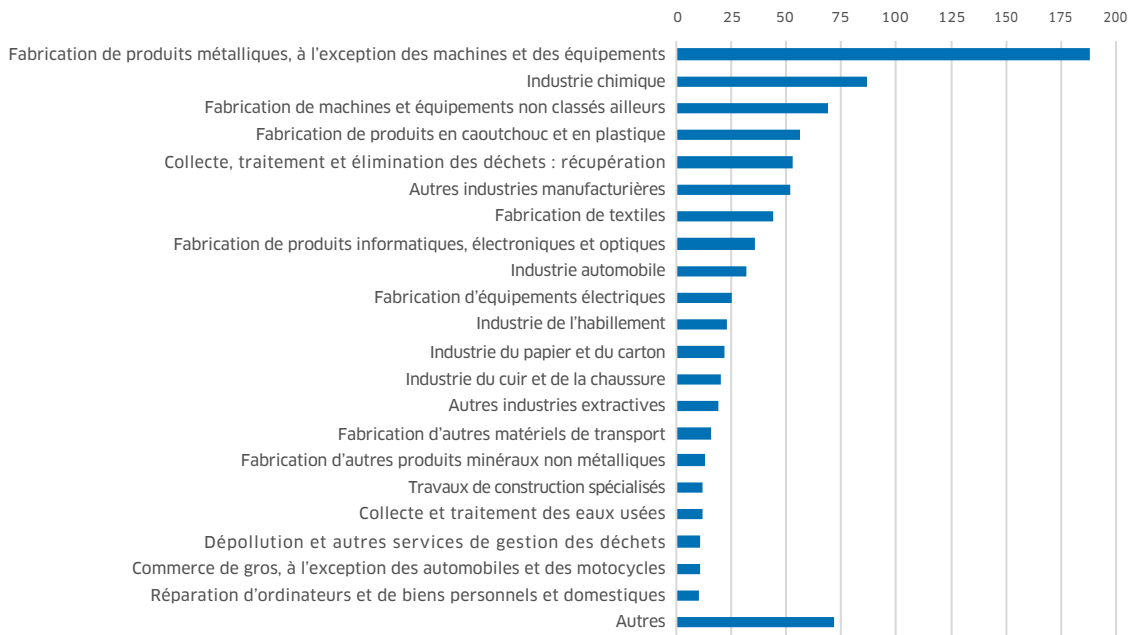
effectué sur la base des informations publiées par l'Agence européenne pour les produits chimiques (Echa) dans sa proposition de restriction universelle des Pfas, et par Glüge *et al.* [19] dans leur article de synthèse. Ces derniers avaient conclu qu'il existait plus de 200 catégories d'utilisation pour plus de 1 400 Pfas. Globalement, 26 secteurs d'activité ont été retenus pour le questionnaire, regroupés dans les 15 macro-secteurs proposés par l'Echa (Cf. Tableau 2).

Résultats généraux de l'enquête

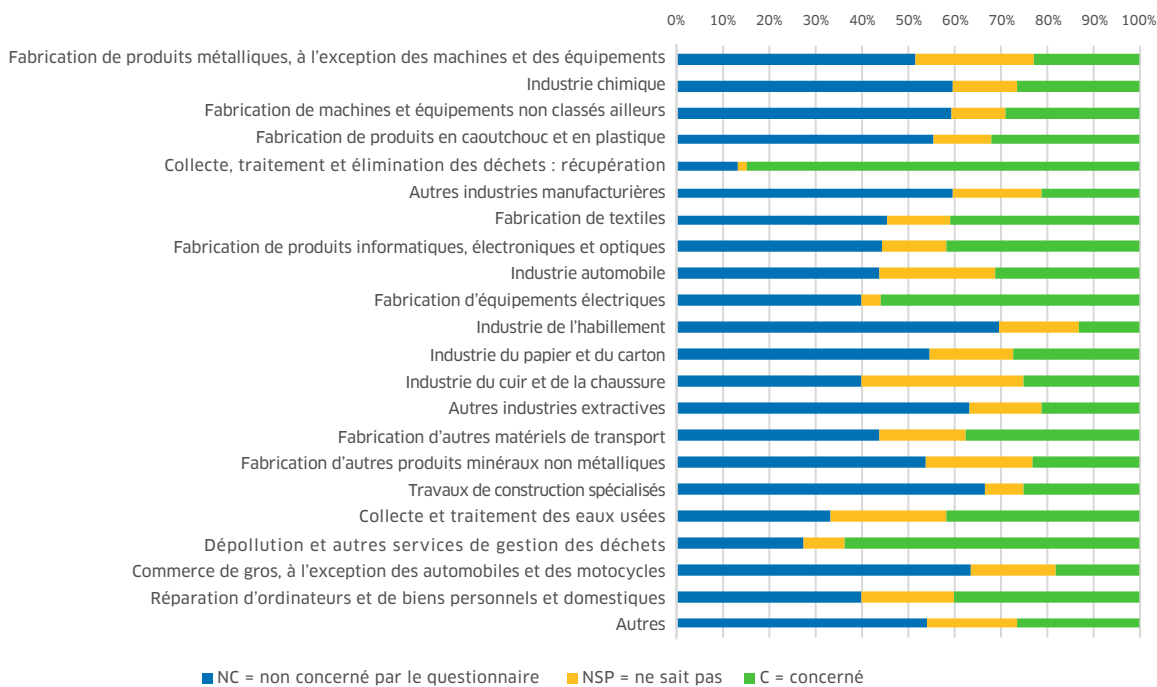
Au total, 25 659 courriels ont été envoyés. Après les relances, 1 644 accès au questionnaire ont été comptabilisés (soit 6,4 % des établissements contactés) et 926 questionnaires remplis ont été collectés, dont 44 exclus de l'analyse car jugés non fiables (par exemple,

secteur d'activité inexistant). Ce taux de réponse étant insuffisant pour procéder à un redressement, les résultats ne sont pas extrapolables à l'ensemble des établissements des secteurs ciblés.

La Figure 3 présente la répartition des répondants par secteur d'activité : la « Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements » regroupe le plus grand nombre de répondants (n = 188). Cela peut s'expliquer par le fait que ce secteur, pour lequel le plus grand nombre d'adresses mail était disponible pour le sondage, a été le plus sollicité par le questionnaire. Les autres secteurs avec un nombre de répondants supérieur à 50 sont : l'« Industrie chimique » (n = 87), la « Fabrication de machines et équipements non classés ailleurs » (n = 69), la « Fabrication de produits en caoutchouc



← FIGURE 3
Nombres de répondants par secteur d'activité (la catégorie « Autres » inclut les secteurs ayant moins de dix répondants).

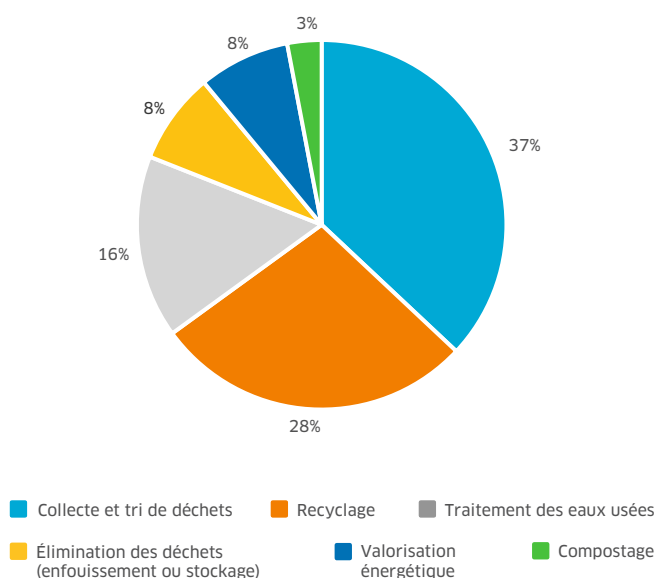


← FIGURE 4
Distribution des répondants par secteur d'activité : NC = non concerné par le questionnaire ; NSP = ne sait pas ; C = concerné (la catégorie « Autres » inclut les secteurs ayant moins de dix répondants).

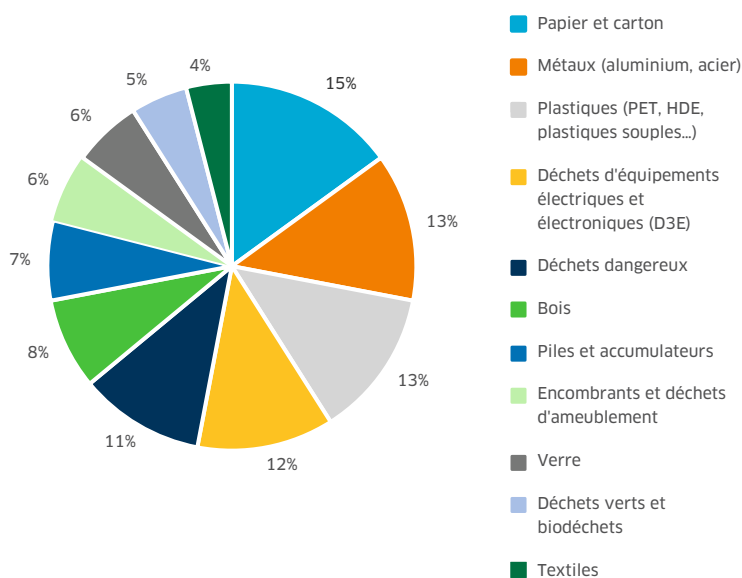
et en plastique » (n = 56), la « Collecte, traitement et élimination des déchets : récupération » (n = 53) ; et les « Autres industries manufacturières » (n = 52). Dans les secteurs « Autres », l'« Industrie pharmaceutique » et la « Réparation et installation de machines et d'équipements » sont les plus représentées (n = 9). Globalement, 51 % des répondants se disent « non concernés » (NC) par le questionnaire, 32 % « concernés » (C) et 17 % « ne sait pas » (NSP). Le taux plutôt élevé de NSP peut relever à la fois de difficultés dans

le repérage des Pfas dans les produits utilisés (comme l'absence de mention spécifique « Pfas » dans les fiches de données de sécurité : FDS) et d'une méconnaissance du sujet, qui s'avère complexe en raison du nombre élevé de substances. La Figure 4 illustre, par secteur d'activité, la répartition des répondants selon les catégories C/NC/NSP : la « Collecte, traitement et élimination des déchets : récupération » est le secteur avec la plus grande proportion de répondants se disant concernés par le questionnaire (85 %), suivi





↑ FIGURE 5 Répartition des répondants de la filière de traitement des déchets.



↑ FIGURE 6 Répartition des répondants dans le recyclage des déchets.

par la « Dépollution et autres services de gestion des déchets » (64 %) et la « Fabrication d'équipements électriques » (56 %). Dans les secteurs « Autres », 33 % des répondants du secteur de la « Réparation et installation de machines et d'équipements » se déclarent concernés, contre aucun dans le secteur pharmaceutique.

Compte tenu de leur large utilisation dans les produits de consommation courante et dans des applications industrielles, les Pfas sont susceptibles de se retrouver tout au long de la filière de traitement des déchets. Certaines sous-filières sont potentiellement plus à risque, en raison des utilisations avérées

de ces substances : recyclage du papier et carton, déchets d'équipements électriques et électroniques (D3E), textiles, piles et accumulateurs, plastiques... Toutefois, leur repérage sur les lieux de travail n'est pas simple. Par conséquent, un biais est possible dans les réponses données par les établissements de cette filière : les établissements pourraient supposer qu'ils sont concernés par la présence de Pfas, même sans preuve concrète, ou ils pourraient manquer de données ou d'outils nécessaires pour évaluer précisément leur présence. La Figure 5 montre la répartition des répondants de la filière de traitement des déchets et la Figure 6 détaille les sous-filières du recyclage.

Évaluation du risque chimique

Les Pfas, comme toute autre substance chimique, s'inscrivent pleinement dans la démarche de prévention du risque chimique (voir : Dossier Risques chimiques INRS ; Cf. *Pour en savoir plus*). Une fois les risques identifiés, la priorité doit être donnée à l'élimination ou à la substitution des substances ou procédés dangereux. Lorsqu'il s'agit de produits CMR, leur remplacement est obligatoire dès lors qu'une alternative existe.

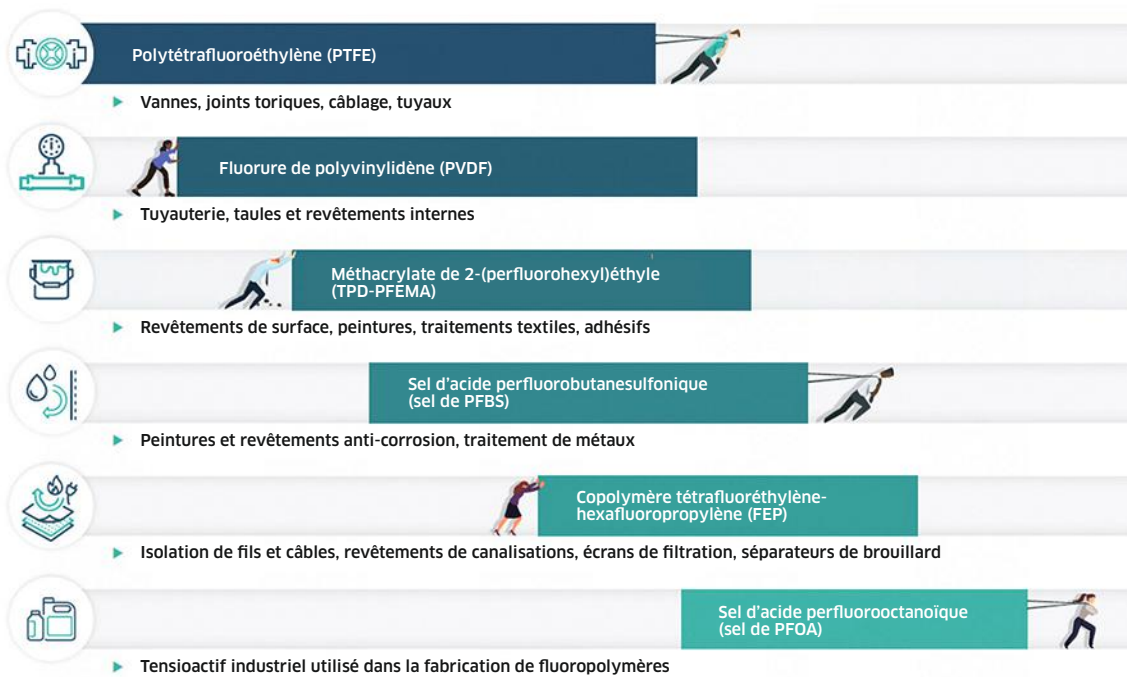
Les résultats du questionnaire montrent que, s'il y a bien une démarche d'évaluation du risque chimique en œuvre chez les répondants, dans la majorité des cas (92 %), elle n'est pas spécifique aux Pfas. Parmi les établissements réalisant une évaluation spécifique aux Pfas, environ 83 % déclarent le faire depuis moins de cinq ans.

La diversité des substances incluses dans la définition des Pfas empêche de considérer un « risque Pfas » unique. La dangerosité est avérée pour certains composés ; d'autres présentent uniquement une grande persistance dans l'environnement, sans autre danger identifié à ce jour. Le PFOA et PFOS sont classés reprotoxiques et susceptibles d'être cancérogènes par la classification CLP et cancérogènes en groupes 1 et 2B par le CIRC, respectivement. Trois autres Pfas – HFPO-DA, PFBS et PFHpA – ont été inscrits entre 2019 et 2023 dans le système d'enregistrement des substances chimiques de l'UE (Reach ; Cf. *En savoir plus*) parmi les substances extrêmement préoccupantes (SVHC) en raison de leur persistance, toxicité et mobilité dans l'environnement et de propriétés similaires à celles des substances CMR (cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques ; voir Page de l'ECHA sur les Pfas ; Cf. *En savoir plus*). À noter que le HFPO-DA est utilisé comme substitut du PFOA dans la production de fluoropolymères et le PFBS comme remplaçant du PFOS.

Repérage des Pfas

L'identification des produits dangereux au sein des entreprises est un pilier de la démarche d'évaluation des risques. Cependant, les établissements rencontrent souvent des difficultés lors du repérage des

← FIGURE 7
Le « top six »
des Pfas d'après
plus de 2 millions
de déclarations
de fournisseurs*
(PTFE, PVDF,
TPD-PFEMA,
sel de PFBS, FEP,
sel de PFOA).
*Voir : Assent –
Staying ahead of
2025 Pfas risks
infographic
(Cf. Pour
en savoir plus).



Pfas. Un guide simplifié au repérage avait été mis à disposition des répondants au questionnaire. De même, pour faciliter l'identification des Pfas utilisés ou traités, les répondants pouvaient sélectionner les substances dans une liste préremplie qui reprenait les Pfas figurant dans les arrêtés du 20 juin 2023 et du 31 octobre 2024 (Cf. *Pour en savoir plus*) relatifs à leur analyse dans les rejets des ICPE. Toutefois, dans la majorité des cas (93 % pour les matières premières et 85 % pour les produits finis), les répondants ont saisi eux-mêmes les Pfas, car ils n'apparaissaient pas dans cette liste.

La majorité des fabricants de produits contenant des Pfas utilisent des fluoropolymères, notamment le PTFE (23 % des répondants) et le PVDF (5 % des répondants). Parmi les autres substances citées, on retrouve des fluoroélastomères de type FKM/FFKM/FEPM (comme le copolymère HFP-VDF et le terpolymère TFE-HFP-VDF), des fluorotélomères (6:2 FTSA, autres Pfas de formule chimique C6F13), des fluoro-surfactants utilisés comme auxiliaires de fabrication, et des hydrofluoroléfinés (HFO). Cette prévalence de fluoropolymères est en accord avec leurs usages multiples dans de nombreuses industries (Cf. *Figure 7*). Dans le traitement des déchets, le repérage des Pfas s'avère compliqué. Seulement 2 % des répondants déclarent avoir déjà reçu une FID (fiche d'identification du déchet) mentionnant la présence de Pfas. Par ailleurs, 3 % des répondants disent réaliser des analyses de Pfas dans les déchets traités et 13 % prévoient de le faire dans le futur.

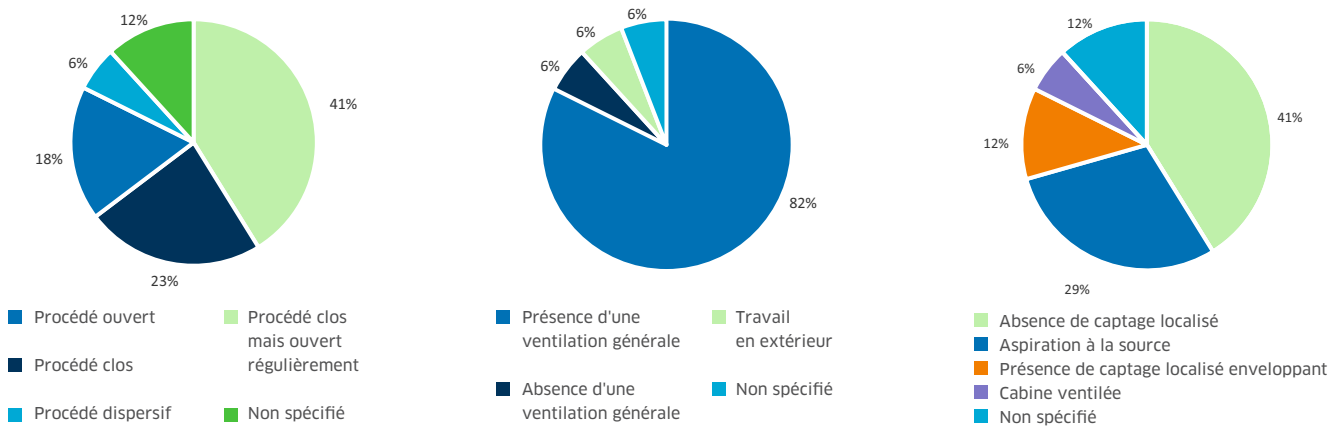
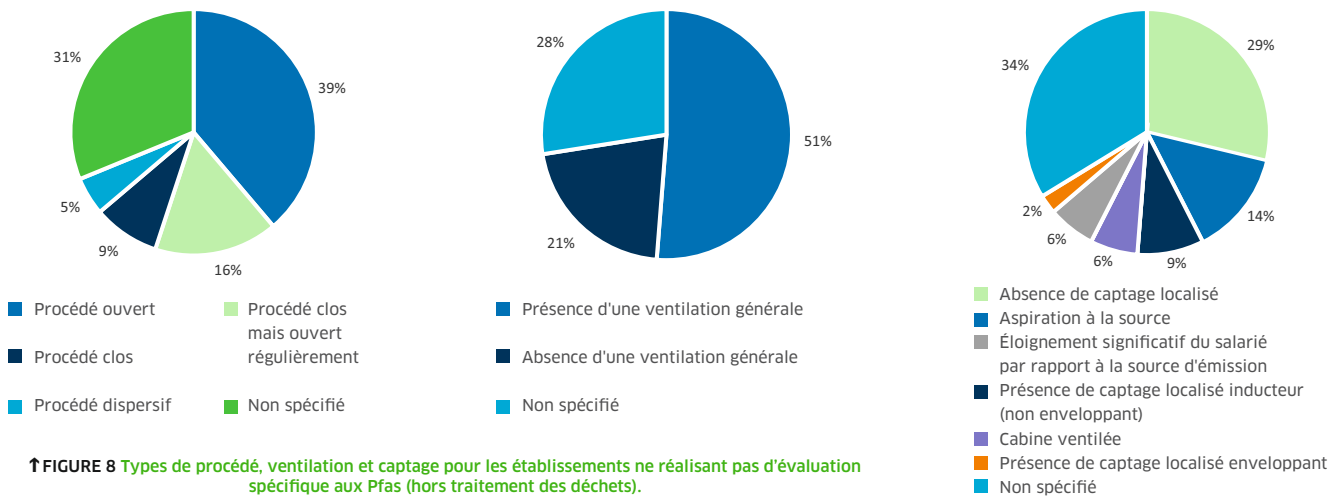
Substitution des Pfas

Les résultats du questionnaire témoignent d'un marché des Pfas en pleine évolution. Les répondants ont donné quatre grandes motivations par rapport à l'arrêt éventuellement envisagé dans l'utilisation des Pfas : leur engagement environnemental et écoresponsable ; des contraintes ou évolutions réglementaires ; des limites d'approvisionnement dues aux décisions des fournisseurs ; une amélioration ou une simplification technique qui rend superflue l'utilisation de ces produits.

Aux États-Unis, les producteurs de produits fluorés ont commencé dès l'an 2000 à éliminer progressivement les Pfas à chaîne alkyle longue, tels que le PFOA et le PFOS [17] et ce changement a effectivement permis de réduire leurs émissions [20]. En France, la loi n° 2025-188 du 27 février 2025 (Cf. *Pour en savoir plus*), visant à protéger la population des risques liés aux substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées, interdit à partir de 2026 l'utilisation des Pfas dans les produits cosmétiques, de fartage et les textiles.

À mesure que les industries ont substitué les Pfas, y compris ceux considérés comme moins persistants ou moins nocifs, la diversité des Pfas utilisés s'est accrue. Par exemple, les Pfas de faible masse moléculaire employés comme agents émulsifiants dans la fabrication des fluoropolymères ont été substitués par d'autres Pfas présentant des propriétés physico-chimiques similaires, notamment en termes de tensioactivité et de résistance à la dégradation. Parmi les substituts notables, on retrouve l'HFPO-DA





(GenX), le C604, l'ADONA et divers sels d'ammonium. Ces substituts se sont avérés présenter des risques similaires en termes de pollution, de bioaccumulation et de toxicité, et certains sont désormais classés comme substances extrêmement préoccupantes dans l'Union européenne.

Mesures de prévention

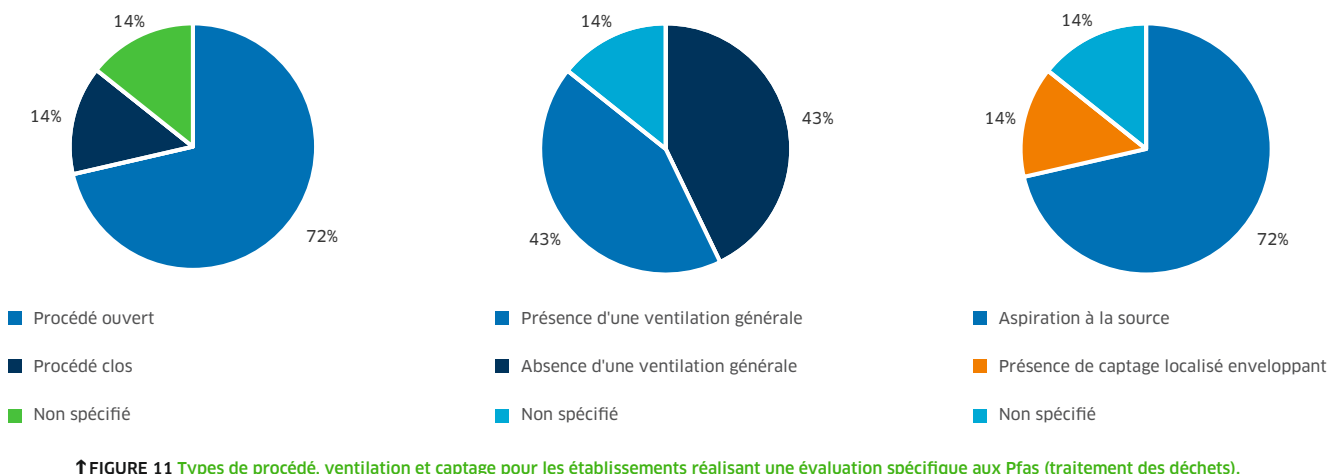
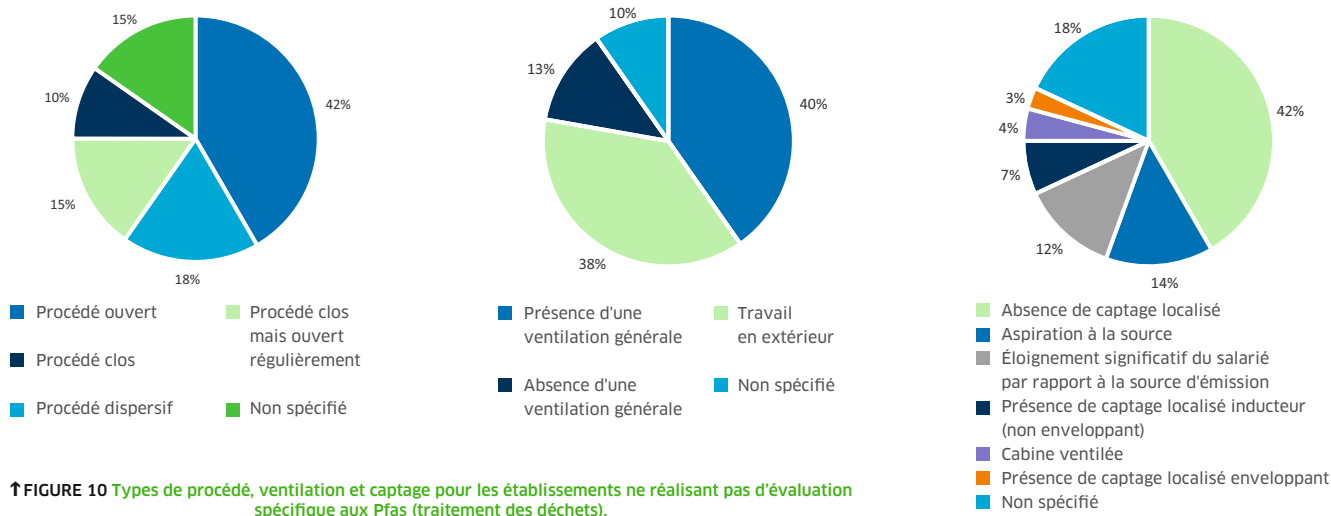
Lorsque la suppression ou la substitution des substances chimiques est impossible, des mesures doivent être mises en œuvre afin de réduire au maximum les risques. Les actions mises en place peuvent être d'ordre technique ou organisationnel, en privilégiant les dispositifs de protection collective. Le recours aux équipements de protection individuelle (EPI) ne doit intervenir qu'en complément, lorsque les mesures de protection collective s'avèrent insuffisantes ou inapplicables.

La majorité des répondants (39 % ; hors traitement des déchets) qui ne réalisent pas une évaluation du risque spécifique aux Pfas déclarent mettre en œuvre

des procédés de type ouvert (Cf. Figure 8). Dans 51 % des cas, une ventilation générale est présente, et, en comptabilisant les différents types de captages mis en place par les répondants (aspiration à la source, cabine ventilée, captage localisé enveloppant et captage localisé inducteur), un captage est présent dans 31 % des cas.

La majorité (64 %) des répondants qui réalisent une évaluation du risque spécifique aux Pfas déclarent utiliser un procédé clos (23 %), ou clos mais ouvert régulièrement (41 % ; Cf. Figure 9). Dans 82 % de cas, une ventilation générale est présente ; et un captage dans 47 % des réponses.

Dans les filières de traitement de déchets, la majorité des répondants (60 %) qui ne réalisent pas une évaluation du risque spécifique aux Pfas déclarent mettre en œuvre des procédés de type ouvert (42 %) ou dispersif (18 % ; Cf. Figure 10). Dans la majorité des cas (77 %), une ventilation générale est présente (40 %) ou le travail s'effectue à l'extérieur (37 %). Le captage est présent dans 28 % des cas et dans 12 % des cas, la

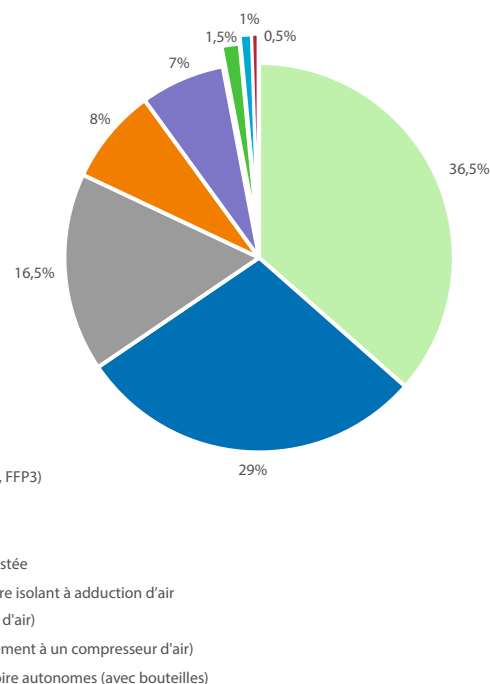


mesure de prévention mise en œuvre est l'éloignement du salarié.

La majorité (72 %) des répondants de la filière de traitement des déchets qui réalisent une évaluation du risque spécifique aux Pfas déclarent utiliser un procédé ouvert (Cf. Figure 11). Une ventilation générale est présente dans 43 % des cas, et une aspiration à la source dans 72 % des cas.

La prise en compte des Pfas dans l'évaluation du risque semble ainsi avoir une incidence sur la mise en place de mesures de protection collective. Toutefois, le faible nombre d'établissements qui déclarent réaliser une démarche spécifique aux Pfas ne permet pas de généraliser ce constat.

En ce qui concerne les appareils de protection respiratoire (APR; Cf. Figure 12), 37 % des répondants déclarent ne pas utiliser d'APR, 29 % des pièces faciales filtrantes (FFP1, FFP2, FFP3) et 17 % des demi-masques avec filtre. Des APR plus protecteurs sont utilisés dans 18 % des cas. Le port de gants est prévu par 72 % des répondants, et le port de lunettes par 65 %.



Évaluation des expositions : métrologie et biométrie

Seulement 4 % des répondants déclarent avoir déjà réalisé des prélèvements atmosphériques de Pfas, mais 10 % prévoient de le faire dans le futur, soit dans le cadre d'une démarche volontaire, soit en cas

de changements réglementaires. En ce qui concerne les prélèvements biologiques, 4 % des répondants ont déjà réalisé des dosages de Pfas et 6 % prévoient de le faire dans le futur, en particulier dans le cadre de la mise en place d'une surveillance biologique des salariés (voir le site de l'INRS ; Cf. *Pour en savoir plus*).

POUR EN SAVOIR +

Par ordre d'apparition dans l'article :

- CLP – *Règlement (CE) 1272/2008 modifié*. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/FR/legal-content/summary/classification-packaging-and-labelling-of-chemical-substances-and-mixtures.html>
- CIRC – *Monographie*. Accessible sur : <https://www.iarc.who.int/fr/news-events/iarc-monographs-evaluate-the-carcinogenicity-of-perfluorooctanoic-acid-pfoa-and-perfluorooctanesulfonic-acid-pfos/>
- *Plan d'action interministériel sur les Pfas*. Accessible sur : <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/plan-daction-interministeriel-pfas>
- ECHA – *Proposition de restriction universelle des Pfas*. Accessible sur : <https://echa.europa.eu/fr/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>
- BAuA – *TRGS 900 – Limites d'exposition professionnelle*. Accessible sur : <https://www.baua.de/DE/Angebote/Regelwerk/TRGS/TRGS-900>
- INRS – *Guide Méthodologique MétroPol. Mise au point d'une étude de filière*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/dam/jcr:20c45af3-d400-4b15-94fc-9805b698e4f3/metropol-etude-filiere.pdf>
- INRS – *Dossier risques chimiques*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/chimiques/ce-qu-il-faut-retenir.html>
- *Enregistrement des substances chimiques dans l'UE*. Accessible sur : https://europa.eu/youreurope/business/product-requirements/chemicals/registering-chemicals-reach/index_fr.htm
- ECHA – *Substances per- et polyfluoroalkylées (Pfas)*. Accessible sur : <https://echa.europa.eu/fr/hot-topics/perfluoroalkyl-chemicals-pfas>
- Arrêté du 20 juin 2023 relatif à l'analyse des substances per- et polyfluoroalkylées dans les rejets aqueux des installations classées pour la protection de l'environnement relevant du régime de l'autorisation. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr
- Arrêté du 31 octobre 2024 relatif à l'analyse des substances per- et polyfluoroalkylées dans les émissions atmosphériques des installations d'incinération, de co-incinération et d'autres traitements thermiques de déchets. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr
- Assent – *Staying ahead of 2025 Pfas risks*. Accessible sur : https://www.assent.com/wp-content/uploads/2024/09/S-Infographic-Staying_Ahead_of_2025_Pfas_Risks-PC-IN-240930.pdf
- Loi n° 2025-188 du 27 février 2025 visant à protéger la population des risques liés aux substances perfluoroalkylées et polyfluoroalkylées. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr
- INRS – *Surveillance biologique des expositions aux agents chimiques*. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/mesure-expositions-agents-chimiques-biologiques/surveillance-biologique-exposition.html>
- Chemsec – *Pfas Guide*. Accessible sur : <https://pfas.chemsec.org>
- *Pfas-Tox Database*. Accessible sur : <https://pfastoxdatabase.org>
- Ineris – *Substitution des composés per- et polyfluoroalkylés (Pfas) et des substances persistantes, mobiles et toxiques*. Accessible sur : <https://substitution-perfluores.ineris.fr/fr>
- OCDE – *Risk management, risk reduction and sustainable chemistry: Pfas*. Accessible sur : <https://www.oecd.org/en/topics/risk-management-risk-reduction-and-sustainable-chemistry.html>

Conclusions et recommandations

L'enquête présentée dans cet article a permis de mettre en évidence un certain nombre de points clés concernant les Pfas, par le biais d'informations provenant d'établissements français. Tout d'abord, bien que les Pfas soient très médiatisés sur les volets environnemental et sanitaire, l'exposition professionnelle à ces substances est encore méconnue. Le repérage des Pfas s'avère complexe : il n'est pas évident, notamment pour un non-expert, de distinguer entre de « simples » produits fluorés et des Pfas, surtout en l'absence d'une indication claire sur leur présence dans les FDS qui accompagnent les produits chimiques. Toutefois, comme tout autre produit chimique, les Pfas doivent être pris en compte dans l'évaluation du risque et traités conformément aux principes généraux de prévention des risques chimiques. Pour leur bonne prise en compte, il est nécessaire de disposer d'aides au repérage, qui pourraient être spécifiques à chaque secteur en raison du grand nombre de substances et d'utilisations. Dans la filière des déchets, une meilleure circulation de l'information entre les différents acteurs apparaît nécessaire. Des ressources en ligne existent pour aider les préventeurs à les repérer (tel le *Chemsec Pfas Guide* ; Cf. *Pour en savoir plus*) et à obtenir des informations sur leur toxicité (voir : *Pfas Tox Database*; Cf. *Pour en savoir plus*).

Compte tenu du nombre limité de répondants, les résultats de l'enquête ne peuvent être considérés comme représentatifs de l'ensemble des établissements des secteurs concernés, mais ils mettent en évidence des actions déjà engagées ou achevées par certains d'entre eux en matière de substitution des Pfas. Au-delà des démarches volontaires, l'interdiction de certains Pfas nécessite l'emploi d'autres substances qui peuvent être aussi des Pfas. Toutefois, du point de vue de la prévention, il faut rester vigilant à ne pas substituer un produit avec un autre produit ayant le même profil de risque ou, paradoxalement, un profil moins favorable. Pour aider les entreprises à bien choisir lors de leurs efforts de substitution, l'Ineris met à disposition sur son portail des documents de référence par secteur d'activité (électronique, textile, emballages alimentaires... ; voir le site de l'Ineris ; Cf. *Pour en savoir plus*). De même, plusieurs documents sont disponibles sur le site de l'OCDE (Cf. *Pour en savoir plus*). La métrologie, biologique ou d'atmosphère, est un outil qui permet d'objectiver la présence et les niveaux de concentration des substances chimiques dans l'atmosphère des lieux du travail ou dans

l'organisme des salariés. Peu d'établissements ayant participé au questionnaire disposent de méthodes d'évaluation et de surveillance des expositions individuelles aux Pfas et une minorité se dit intéressée par la réalisation de mesures ou l'intégration d'une démarche d'évaluation des expositions professionnelles dans le futur. L'absence de méthodes standardisées de prélèvement et d'analyse limite les possibilités de caractérisation des expositions professionnelles aux Pfas et rend difficile une cartographie des expositions qui puisse mettre en évidence, au-delà des risques potentiels, les secteurs ou

les utilisations qui présentent les risques majeurs. Des efforts en ce sens s'avèrent donc nécessaires. Enfin, il convient de souligner que le « paysage des Pfas » évolue rapidement sous l'effet des dynamiques du marché et des pressions réglementaires. Par exemple, depuis le lancement de cette enquête, deux établissements français producteurs de Pfas sur les cinq recensés ont cessé leur activité. Dans ce contexte en mutation, l'évaluation des risques et des expositions professionnelles doit intégrer et anticiper ces évolutions, car les Pfas utilisés aujourd'hui pourraient ne plus l'être demain. ●

BIBLIOGRAPHIE

- [1] OCDE – *Reconciling terminology of the universe of per- and polyfluoroalkyl substances: recommendations and practical guidance*. OECD Publishing, 2021, coll. OECD series on risk management of chemicals. Accessible sur : <https://doi.org/10.1787/e458e796-en>
- [2] GAINES L.G.T. – Historical and current usage of per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas): a literature review. *American journal of industrial medicine*, 2023, 66 (5), pp. 353-378. Accessible sur : <https://doi.org/10.1002/ajim.23362>
- [3] FENTON S.E. ET AL. – Per- and polyfluoroalkyl substance toxicity and human health review: current state of knowledge and strategies for informing future research. *Environmental toxicology and chemistry*, 2021, 40 (3), pp. 606-630. Accessible sur : <https://doi.org/10.1002/etc.4890>
- [4] LOHMANN R., LETCHER R.J. – The universe of fluorinated polymers and polymeric substances and potential environmental impacts and concerns. *Current opinion in green and sustainable chemistry*, 2023, 41, 100795. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2023.100795>
- [5] SCHERINGER M. ET AL. – Helsingør statement on poly- and perfluorinated alkyl substances (PFASs). *Chemosphere*, 2014, 114, pp. 337-339. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.044>
- [6] ABUNADA Z. ET AL. – An overview of per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas) in the environment: source, fate, risk and regulations. *Water*, 2020, 12, 3590. Accessible sur : <https://doi.org/10.3390/w12123590>
- [7] DEWITT J.C. ET AL. – Zürich II statement on per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs): scientific and regulatory needs. *Environmental science & technology letters*, 2024, 11, pp. 786-797. Accessible sur : <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.4c00147>
- [8] BUCK R.C. ET AL. – Perfluoroalkyl and polyfluoroalkyl substances in the environment: terminology, classification, and origins. *Integrated environmental assessment and management*, 2011, 7, pp. 513-541. Accessible sur : <https://doi.org/10.1002/ieam.258>
- [9] GARDINER J. ET AL. – Fluoropolymers: origin, production, and industrial and commercial applications. *Australian journal of chemistry*, 2015, 68, pp. 13-22. Accessible sur : <https://doi.org/10.1071/CH14165>
- [10] HENRY B.J. ET AL. – A critical review of the application of polymer of low concern and regulatory criteria to fluoropolymers. *Integrated environmental assessment and management*, 2018, 14, pp. 316-334. Accessible sur : <https://doi.org/10.1002/ieam.4035>
- [11] KORZENIOWSKI S.H. ET AL. – A critical review of the application of polymer of low concern regulatory criteria to fluoropolymers II: fluoroplastics and fluoroelastomers. *Integrated environmental assessment and management*, 2022, 19 (2), pp. 326-354. Accessible sur : <https://doi.org/10.1002/ieam.4646>
- [12] LOHMANN R. ET AL. – Are fluoropolymers really of low concern for human and environmental health and separate from other Pfas? *Environmental science & technology*, 2020, 54, pp. 12820-12828. Accessible sur : <https://doi.org/10.1021/acs.est.0c03244>
- [13] RICE P.A. ET AL. – Comparative analysis of the physicochemical, toxicokinetic, and toxicological properties of ether-Pfas. *Toxicology and applied pharmacology*, 2021, 422, 115531. Accessible sur : <https://doi.org/10.1016/j.taap.2021.115531>
- [14] OCDE – *Synthesis report on understanding side-chain fluorinated polymers and their life cycle*. OECD Publishing, 2022, OECD Series on risk management of chemicals. Accessible sur : <https://doi.org/10.1787/e13559f7-en>
- [15] YOUNG C.J., MABURY S.A. – Atmospheric perfluorinated acid precursors: chemistry, occurrence, and impacts. *Reviews of environmental contamination and toxicology* 2010, 208, pp. 1-109. Accessible sur : https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6880-7_1
- [16] CHRISTENSEN B.T., CALKINS M.M. – Occupational exposure to per- and polyfluoroalkyl substances: a scope review of the literature from 1980-2021. *Journal of exposure science & environmental epidemiology*, 2023, 33, pp. 673-686. Accessible sur : <https://doi.org/10.1038/s41370-023-00536-y>
- [17] PARIS-DAVILA T. ET AL. – Occupational exposures to airborne per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas): a review. *American journal of industrial medicine*, 2023, 66 (5), pp. 393-410. Accessible sur : <https://doi.org/10.1002/ajim.23461>
- [18] LUCAS K. ET AL. – Occupational exposure and serum levels of per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas): a review. *American journal of industrial medicine*, 2023, 66 (5), pp. 379-392. Accessible sur : <https://doi.org/10.1002/ajim.23454>
- [19] GLÜGE J. ET AL. – An overview of the uses of per- and polyfluoroalkyl substances (Pfas). *Environmental science: processes & impacts*, 2020, 22, pp. 2345-2373. Accessible sur : <https://doi.org/10.1039/D0EM00291G>
- [20] EPA – *2010/2015 PFOA Stewardship Program. 2014 annual progress reports*. United States Environmental protection agency (EPA), 2016.

Étude de cas

CARACTÉRISATION DU RISQUE D'EXPOSITION AUX POUSSIÈRES ORGANIQUES DANS LES MEUNERIES

Campagne de mesures en Île-de-France

BRIGITTE FACON,
VALÉRIE RENEVOT,
LAETITIA CLAVEAU,
ALEXANDRA PEDROS
Cramif,
Laboratoire des biocontaminants

ÉRIC LAINET,
AGNÈS JANES
Cramif, Centre
de mesures
et de contrôles
physiques

CAROLE MORNEAU
Cramif,
Conseiller
médical

→ **LA PROBLÉMATIQUE :** Dans le secteur de la meunerie, la présence de poussières organiques est constatée à toutes les phases de la fabrication. Certaines tâches, procédés ou équipements génèrent ou remettent en suspension les particules dans l'environnement de travail. Tous les postes de travail associés aux céréales, à la farine ou aux sous-produits de production présentent un risque d'exposition aux poussières organiques qui peuvent contenir des allergènes, des micro-organismes, des endotoxines, des mycotoxines... (Cf. Encadré 1). Une fois inhalées, ces particules peuvent être à l'origine d'effets sur la santé plus ou moins sévères (Cf. Encadré 2).

→ LA RÉPONSE DE LA CRAMIF

Le service Prévention des risques professionnels de la Caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (Cramif) a réalisé, entre 2019 et 2022, une campagne de mesures afin de caractériser les expositions professionnelles aux poussières organiques des travailleurs dans le secteur de la meunerie et d'étudier les risques liés aux atmosphères explosives (Atex). Cet article présente les données métrologiques issues de la campagne, ainsi que les constats sur les pratiques et moyens de prévention observés sur le terrain. Des préconisations pour la prévention des risques sont formulées afin de maîtriser les expositions professionnelles et améliorer les conditions de travail, complétant celles précédemment publiées pour la maîtrise du risque de formation d'Atex [1].

Méthodologie

La campagne menée par la Cramif a été organisée auprès de dix meuneries d'Île-de-France sur

ENCADRÉ 1

LES POUSSIÈRES ORGANIQUES

Le terme de « poussières organiques » englobe les poussières ou particules d'origine :

- animale : poils, plumes, squames, fientes et autres déjections, fragments d'insectes, acariens... ;
- végétale : foin, paille, cuticules des grains de céréales, spores, pollens, farine, cellulose du bois et du papier, fibres textiles... ;
- microbienne : bactéries, virus, moisissures, ou toxines issues de ces agents biologiques (endotoxines, mycotoxines...).

Elles sont souvent constituées d'un mélange en proportions variables de ces différents types de poussières. Dans le cas des meuneries, on trouve principalement de la farine et des particules issues des matières premières ou des coproduits (céréales, son, remoulage, farines basses...). Elles peuvent aussi contenir des minéraux et des produits chimiques (résidus de pesticides, d'hydrocarbures, de solvants...).

la période 2019-2022, en associant le Laboratoire des biocontaminants (LBC) et le Centre de mesures et de contrôles physiques (CMP). Les résultats issus d'interventions dans trois autres sites en 2017 et 2018 y ont été intégrés.

Chaque site a fait l'objet d'une pré-visite pour recueillir les informations et observer les situations de travail afin de définir la stratégie de

ENCADRÉ 2

EXPOSITION AUX POUSSIÈRES ORGANIQUES ET EFFETS SUR LA SANTÉ

Selon leur nature, leur typologie, leurs caractéristiques physiques (dimension, granulométrie, concentration), les poussières organiques peuvent pénétrer plus ou moins profondément dans le poumon. Selon leur dangerosité chimique ou biologique (effet toxique, allergique, infectieux) et la susceptibilité individuelle des salariés, elles peuvent être à l'origine de pathologies respiratoires [E1].

Manifestations allergiques :

- asthme, conjonctivite et rhinite allergiques aux poussières de farine : la farine constitue l'un des principaux allergènes (première cause d'asthme professionnel en France) [E2]. Les additifs et certains contaminants (acariens, certains coléoptères, blattes, moisissures, mites de la farine...) peuvent aussi être en cause [E3-E4]. Les signes cliniques sont variables en gravité, pouvant nécessiter l'éviction à l'allergène et entraîner une inaptitude médicale au poste, voire nécessiter une réorientation professionnelle ;

- pneumopathie d'hypersensibilité : la plus connue est la « maladie du poumon du fermier », liée le plus souvent à des bactéries ou des spores de moisissures. À noter : la farine moisie peut constituer un réservoir actif.

Les autres atteintes respiratoires sont liées à l'exposition aux poussières, à leur accumulation dans l'arbre respiratoire et à l'inflammation chronique locale :

- une bronchite chronique, voire une bronchopneumopathie chronique obstructive ;
- une dégradation des capacités pulmonaires, avec essoufflement de plus en plus invalidant.

Affections liées aux micro-organismes ou à leurs toxines :

- infection respiratoire (aspergillose pulmonaire) ;
- syndrome toxique des poussières organiques, dont l'épidémiologie est mal connue et les mécanismes non encore élucidés, entraînant fièvre, frissons, douleurs musculaires et symptômes respiratoires. Parmi les agents évoqués : les endotoxines, les mycotoxines, les contaminations fongiques [E-5] ;

- effets potentiels de certaines mycotoxines essentiellement présentes à la surface des grains, dans le son et les poussières associées (cancéro-, hépato-, néphro- et génotoxicité).

[E-1] INRS - ED 4415 - *Risques biologiques et maladies respiratoires d'origine allergique ou toxique en milieu agricole.* Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204415>

[E-2] HEDELIN G. ET AL. - Prévenir les allergies respiratoires professionnelles : des solutions existent. *Hygiène & sécurité du travail*, 2013, 233, pp. 18-38. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%203>

[E-3] ROSENBERG N. - Allergie respiratoire du boulanger. *Documents pour le médecin du travail*, 2002, 90, TR 29. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TR%2029>

[E-4] DUTAU N. ET AL. - Farines et allergie : les pièges à ne pas méconnaître. *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique*, 2002, 42 (3), pp. 289-298.

[E-5] PARIS C. - Le syndrome toxique des poussières organiques. *Références en santé au travail*, 2014, 140, TR 57, pp. 109-124. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TR%2057>



prélèvement. Une visite spécifique a été effectuée pour vérifier l'efficacité des dispositifs de ventilation et analyser les situations de travail à risque de formation d'Atex [1].

Stratégie de prélèvement et valeurs guides

Pour chaque site, les situations de travail, les pratiques, méthodes et organisation du travail ont été observées et un plan de prélèvement a été établi pour mesurer les niveaux d'exposition aux poussières inhalables, aux micro-organismes cultivables (bactéries, moisissures), aux endotoxines et aux mycotoxines.

- Des prélèvements individuels ont été réalisés à l'aide de dispositifs portatifs sur toute la durée du temps de travail (postes de 8 h). Différents postes de travail ont été suivis en fonction du site et du procédé (Cf. *Tableaux 1 et 2*).
- Des mesures d'ambiance à poste fixe ont été effectuées pour compléter les résultats



© Gaël Kerbaol / INRS / 2023

	ENDOTOXINES	BACTÉRIES	MOISSURES	MYCOTOXINES	POUSSIÈRES DE FARINE	POUSSIÈRES ORGANIQUES DIVERSES
	VG : 200 UE/m ³	VG : 100 000 UFC/m ³	VG : 100 000 UFC/m ³	PAS DE VALEUR DE RÉFÉRENCE	ACGIH : 0,5 mg/m ³	RÉF* : 7 mg/m ³
NOMBRE DE PRÉLÈVEMENTS INDIVIDUELS	45	42	42	303	20	25
NOMBRE DE PRÉLÈVEMENTS D'AMBIANCE	22	22	22	147	11	11
TOTAL DES MESURES	67	64	64	450	31	36
VALEUR MINIMALE	1,8 UE/m ³	162 UFC/m ³	195 UFC/m ³	< LQ*	< 0,19 mg/m ³	< 0,09 mg/m ³
VALEUR MAXIMALE	4801,4 UE/m ³	493 000 UFC/m ³	168 000 UFC/m ³	< LQ*	41,35 mg/m ³	18,81 mg/m ³
MÉDIANE	62 UE/m ³	4 970 UFC/m ³	1 200 UFC/m ³	–	3,57 mg/m ³	2,11 mg/m ³

VG : valeur guide. UE : unités d'endotoxines. UFC : unité formant colonies. Réf* : concentration maximale en poussières (moyenne à ne pas dépasser dans les locaux à pollution spécifique), valeur en vigueur jusqu'au 30 juin 2023. * < LQ : résultat inférieur à la limite de quantification pour chaque mycotoxine, OTA, fumonisines B1, B2, aflatoxines B1, B2, G1, G2, DON, T2, HT2, zéaralénone.

↑ TABLEAU 1
Synthèse des principaux résultats d'exposition aux polluants chimiques et biologiques.

individuels ou caractériser certains environnements de travail, à l'aide de dispositifs de prélèvement positionnés à hauteur des voies respiratoires (Cf. Tableaux 1 et 2).

Les prélèvements et les analyses ont été menés selon les protocoles MétroPol de l'INRS¹. Pour interpréter les résultats de mesures, les valeurs suivantes ont été prises en référence (pour 8 h de travail) :

- pour les endotoxines : valeurs guides (VG) de 200 et 1 000 unités d'endotoxines (UE)/m³ [2] ;
- pour les bactéries et moisissures cultivables : VG de 100 000 et 1 000 000 unités formant colonies (UFC)/m³ [3] ;
- pour les mycotoxines : aucune valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) n'est recommandée au niveau français ou européen. Cependant, certaines mycotoxines étant cancérigènes ou suspectées de l'être, les niveaux d'exposition les plus bas sont à rechercher ;
- pour les poussières : les mesures sont réalisées sur la fraction inhalable des particules. Selon les cas (matières travaillées, phase du procédé, observations *in situ*), les valeurs suivantes sont utilisées :
 - si les particules sont constituées d'un mélange de poussières organiques diverses issues de matières premières (céréales) ou de coproduits (issues de blé²...), la concentration moyenne en poussières à ne pas dépasser dans les locaux à pollution spécifique est prise en référence [4]. Dans le cadre de la campagne, la valeur de 7 mg/m³ a été utilisée (en vigueur jusqu'au 30 juin 2023, revue ensuite à 4 mg/m³) ;
 - s'il s'agit uniquement de poussières de farine, la valeur moyenne d'exposition de 0,5 mg/m³ préconisée par l'*American Conference of Governmental*

Industrial Hygienists (ACGIH, États-Unis) [5] est retenue, compte tenu du caractère allergisant de ce polluant et de l'absence de VLEP française.

Principaux résultats

Près de 200 prélèvements individuels et d'ambiance ont été réalisés. Les principaux résultats sont synthétisés dans le *Tableau 1*. Les détails par poste de travail et polluant sont présentés dans le *Tableau 2*³.

Expositions par poste de travail

La synthèse présentée dans les paragraphes suivants se limite aux postes de travail dont les expositions sont les plus significatives.

Chargement des issues

Le chargement des issues se fait généralement par gravité, par ouverture manuelle ou automatisée de vannes situées en partie inférieure des silos de stockage. La chute des issues génère visuellement de nombreuses particules dans l'air (mélange de poussières de céréales, de son...). Le plus souvent, le salarié se positionne sur la passerelle en surélévation par rapport au camion pour surveiller le chargement, à proximité directe du nuage de poussières.

Lors de cette opération, les niveaux d'exposition aux endotoxines sont compris entre 33,6 et 2 154,9 UE/m³, dont 60 % au-delà de la VG de 200 UE/m³ et dans un seul cas au-delà du niveau d'alerte de 1 000 UE/m³ (2 154,9 UE/m³).

Les niveaux d'exposition aux poussières se situent entre 0,97 et 16,49 mg/m³, tous situés au-delà du 1/10^e de la valeur de référence de 7 mg/m³.

À noter : 80 % des résultats se situent au-delà des 3/10^e de la valeur actuelle de 4 mg/m³.

	ENDOTOXINES UE/m ³		BACTÉRIES UFC/m ³		MOISSISSURES UFC/m ³		POUSSIÈRES DE FARINE mg/m ³		POUSSIÈRES ORGANIQUES DIVERSES mg/m ³	
	VG : 200 UE/m ³	N	VG : 100 000 UFC/m ³	N	VG : 100 000 UFC/m ³	N	ACGIH : 0,5 mg/m ³	N	Réf* : 7 mg/m ³	N
PRÉLÈVEMENTS INDIVIDUELS										
Opérateur de conditionnement de farine	De 22,4 à 426,5	14	De < 319 à 124 000	13	De < 218 à 4940	13	De 1,43 à 41,35	14	–	–
Conducteur de moulin	De 15,90 à 752,7	11	De 232 à 42 600	10	De 452 à 2 930	10	–	–	De 0,88 à 18,81	11
Opérateur de chargement - issues en vrac	De 33,6 à 2 154,9	5	De 5 100 à 279 000	5	De 744 à 168 000	5	–	–	De 0,97 à 16,49	5
Opérateur de nettoyage	De 42,2 à 4 725,7	5	De 668 à 493 000	5	De 1 300 à 66 000	5	8,92 ; 36,73	2	De 2,00 à 5,04	3
Technicien de maintenance	57,1 ; 460,5	2	13 600	1	2 800	1	–	–	3,65 ; 6,2	2
Opérateur de chargement - farine vrac	12,9 ; 26,1	2	1 090 ; 1 990	2	< 218 ; 749	2	0,35 ; 2,51	2	–	–
Opérateur déchargement des péniches	136,4 ; 347,9	2	19 400 ; 28 200	2	869 ; 31 600	2	–	–	0,72 ; 1,1	2
Opérateur polyvalent	128,1	1	4 580	1	1 190	1	–	–	4,01	1
Conducteur - tour de mélange	23,9	1	451	1	790	1	2,7	1	–	–
Conducteur - moulin d'essai	70,9	1	2 130	1	1 210	1	–	–	1,13	1
Conducteur - unité de thermisation	9,7	1	9 800	1	733	1	1,44	1	–	–
Résultats	De 9,7 à 4 725,7	45	de < 319 à 493 000	42	De < 218 à 168 000	42	De 0,35 à 41,35	20	De 0,72 à 18,81	25
PRÉLÈVEMENTS D'AMBIANCE										
Zone de conditionnement des farines	De 3,3 à 261,2	9	De 162 à 30 600	9	De 287 à 4 430	9	De < 0,68 à 14,93	9	–	–
Zone de chargement des issues	De 26,6 à 4 801,4	4	De 565 à 57 100	4	De 848 à 3 490	4	–	–	De 0,5 à 11,02	4
Zone de chargement des farines en vrac	1,8	1	4 830	1	2 580	1	< 0,19	1	–	–
Zone de déchargement des blés	53,9 ; 621,9	2	1 620 ; 8 540	2	493 ; 1 040	2	–	0	< 0,09 ; 0,54	2
Laboratoire - moulin d'essai - salle contrôle	De 23,2 à 89,3	3	De 976 à 6 780	3	De 195 à 959	3	0,52	1	< 0,27 ; 0,17	2
Local convoyeur des blés	1 992,2	1	12 600	1	3 613	1	–	0	3,09	1
Moulin - étages	4,7 ; 51,2	2	392 ; 3 630	2	294 ; 302	2	–	0	< 0,11 ; < 0,12	2
Résultats	De 1,8 à 4 801,4	22	De 162 à 57 100	22	De 195 à 4 430	22	De < 0,19 à 14,93	11	De < 0,09 à 11,02	11
PRÉLÈVEMENTS INDIVIDUELS ET D'AMBIANCE										
Résultats	De 1,8 à 4 801,4	67	De 162 à 493 000	64	De 195 à 168 000	64	De < 0,19 à 41,35	31	De < 0,09 à 18,81	36

N : nombres de mesures. VG : valeur guide. UE : unités d'endotoxines. UFC : unité formant colonies. Réf* : concentration maximale en poussières (moyenne à ne pas dépasser dans les locaux à pollution spécifique), valeur en vigueur jusqu'au 30 juin 2023.

↑ TABLEAU 2 Détail des résultats d'exposition aux différents polluants par poste et par zone de travail.



Nettoyage

En fonction de l'organisation du travail, les opérateurs chargés du nettoyage peuvent intervenir dans plusieurs locaux et à différentes étapes du procédé pour réaliser des tâches de nettoyage, d'entretien, et parfois d'autres tâches annexes. Le balayage est souvent utilisé (parfois, le soufflage ou l'aspiration), en fonction du matériel disponible localement (aspiration centralisée ou non).

La majorité des niveaux d'exposition aux endotoxines et aux micro-organismes cultivables est inférieure aux VG. Dans un cas, au même poste de travail, il est constaté une exposition individuelle aux endotoxines (4725,7 UE/m³) et aux bactéries cultivables (493000 UFC/m³), valeurs individuelles maximales relevées au cours de la campagne.

Pour les poussières, deux types de situations ont été observées : l'une où les opérateurs de nettoyage sont exposés à des poussières organiques d'origines diverses (trois mesures sur cinq), toutes supérieures au dixième de la valeur de référence et l'autre où ils sont exposés uniquement à des poussières de farine (deux mesures sur cinq) à des niveaux très supérieurs à la valeur recommandée par l'ACGIH : 8,92 mg/m³ et 36,73 mg/m³.

Conduite de moulin

Le conducteur de moulin est chargé de la surveillance technique. Pour cela, il est amené à circuler dans toutes les zones du bâtiment et à intervenir sur de nombreux équipements. En fonction de la taille du site, il peut effectuer d'autres tâches : réception des blés (contrôle qualité), chargement des camions-citernes (farine ou son), nettoyage (par balayage essentiellement) ou interventions sur les machines (entretien courant ou résolution de problème suite à bourrage, déversement...).

Même si les situations de travail exposent surtout aux poussières de farine, la multiplicité des tâches crée également des expositions à des poussières organiques d'origines diverses (blé, son...). L'interprétation des résultats se réfère donc à la valeur à ne pas dépasser pour les locaux à pollution spécifique. Les mesures d'exposition individuelle se situent entre 0,88 et 18,81 mg/m³, dont quatre mesures sur onze au-delà de 7 mg/m³.

À noter : 91 % des résultats sont supérieurs aux trois dixièmes de 4 mg/m³ (valeur de 2023).

Conditionnement de farine

Les farines peuvent être conditionnées en sachets de 500 g ou 1 kg, en sacs de 25 kg ou en big-bags. Les opérateurs sont chargés de la surveillance de la ligne (ensachage, emballage, palettisation...), du contrôle qualité, de la manutention et du nettoyage des installations et de la zone. Le balayage, l'aspiration et le soufflage sont utilisés pendant et après la production. La présence de poussières de farine

dans l'environnement de travail est visuellement constatée.

Quatorze mesures d'exposition individuelle ont été réalisées pour les poussières de farine. Dans tous les cas, les niveaux d'exposition sont très supérieurs à la valeur recommandée par l'ACGIH, avec un minimum à 1,4 mg/m³ et un maximum à 41,35 mg/m³.

Expositions par polluants

Endotoxines

Les valeurs d'exposition aux endotoxines vont de 1,8 UE/m³ à 4801,4 UE/m³, avec peu de résultats au-dessus de la VG supérieure (Cf. Figure 1). Les expositions les plus importantes sont associées au nettoyage ou au chargement des issues, lors de tâches réalisées dans des zones où des poussières organiques de natures très diverses sont présentes.

Poussières organiques d'origines diverses

Les valeurs d'exposition aux poussières s'étendent de < 0,09 mg/m³ à 18,81 mg/m³, dont 17 % au-delà de la valeur de 7 mg/m³ à ne pas dépasser pour les locaux à pollution spécifique, concernant essentiellement les mesures individuelles (20 % des résultats). À noter que cette proportion s'élève à 36 % si l'on prend en référence la valeur de 4 mg/m³, en application depuis juillet 2023 (Cf. Figure 2). Les niveaux d'exposition individuelle les plus élevés sont observés pour les postes de conducteur de moulin et de chargement des issues.

Poussières de farine

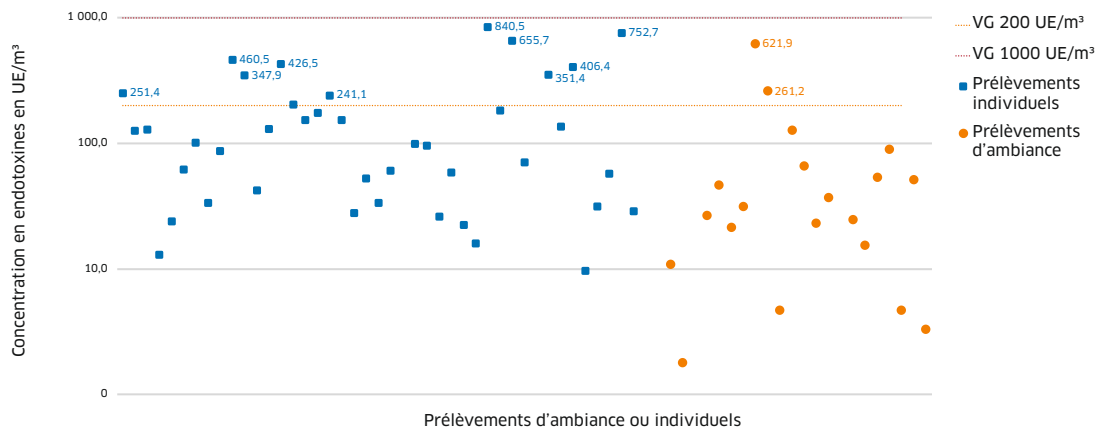
Les niveaux d'exposition aux poussières de farine vont de < 0,19 mg/m³ à 41,35 mg/m³, dont 87 % au-delà de 0,5 mg/m³ (référence de l'ACGIH ; Cf. Figure 3). Ce sont surtout les mesures individuelles (95 %) qui dépassent cette valeur. Les postes de conditionnement de farine présentent les niveaux les plus élevés (maximum mesuré à 41,35 mg/m³). À noter que les valeurs élevées ne sont pas associées à des situations de travail dégradées, mais sont représentatives d'un fonctionnement normal.

Synthèse des mesures

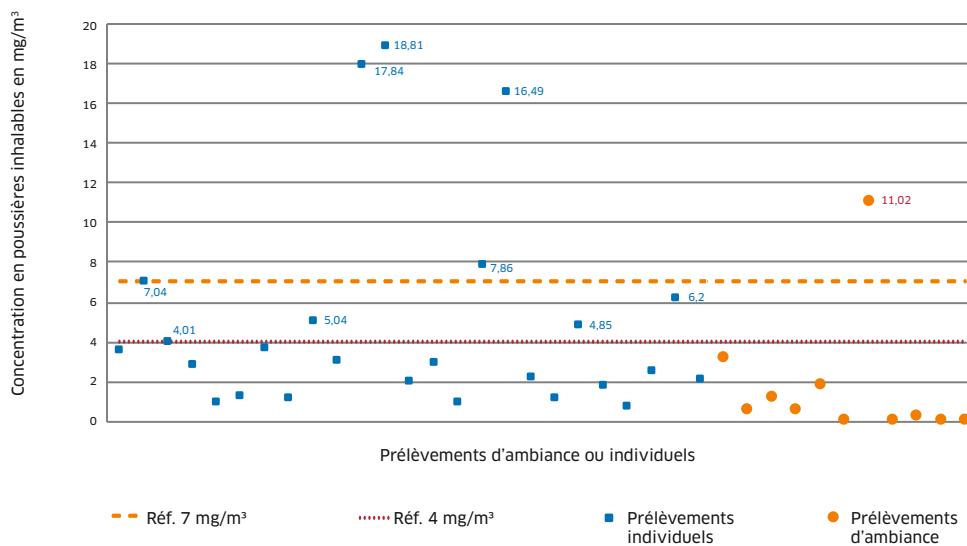
Les observations et les résultats des prélèvements ont mis en évidence :

- une absence d'exposition aux mycotoxines au cours de la campagne ;
- des tâches et des postes de travail exposant :
 - aux endotoxines, micro-organismes cultivables et poussières organiques diverses pour les postes de chargement des issues,
 - aux poussières (poussières organiques diverses et/ou poussières de farine) pour les postes de conducteur de moulin et d'opérateur de nettoyage, de conditionnement de farine ;

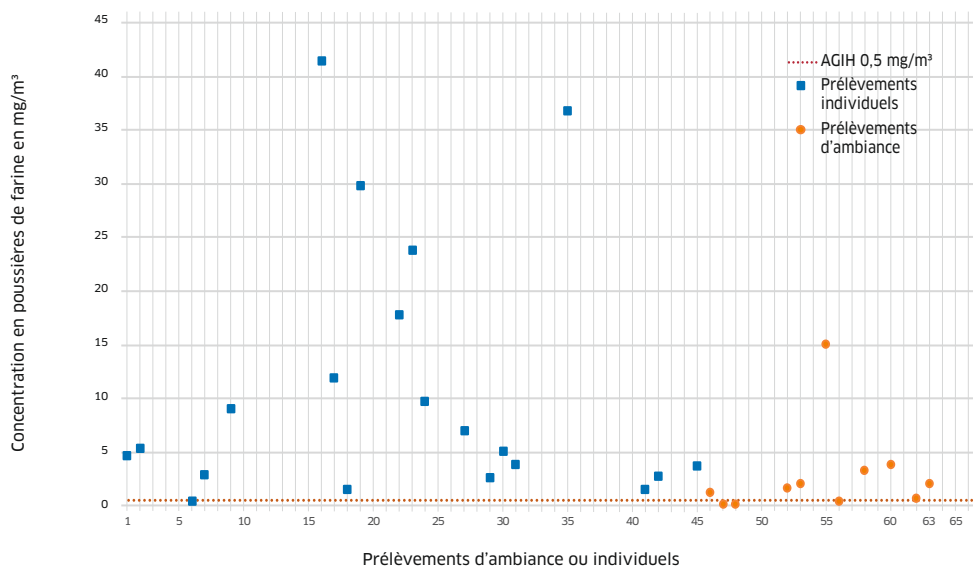
← FIGURE 1
Résultats des
prélèvements
d'endotoxines
[UE/m³].



← FIGURE 2
Résultats des
mesures de
poussières
organiques
diverses [mg/m³].



← FIGURE 3
Résultats de
mesures de
poussières de
farine [mg/m³].



Meunerie en Bourgogne. Appareil de nettoyage relié à un système d'aspiration centralisé.



© Gael Kerbaol / INRS / 2017

- des valeurs d'exposition très élevées, avec parfois des situations de multiexpositions, en fonction de l'activité et des différentes tâches réalisées (opérations ponctuelles ou répétées).

Constats et observations pour la prévention

En meunerie, les procédés et les équipements mis en œuvre génèrent des particules omniprésentes dans les environnements de travail. Ces poussières organiques proviennent essentiellement des matières premières, de la farine produite ou des coproduits de fabrication (issues, remoulage, farines basses...). Elles peuvent contenir des contaminants susceptibles d'affecter la santé des travailleurs exposés (Cf. Encadré 2).

Lors des différentes interventions, l'observation du travail réel (organisation, méthodes, pratiques, dispositifs de prévention existants) a permis d'acquies des connaissances utiles pour la prévention.

Installations et procédés

Il est généralement constaté :

- des opérations de chargement des issues, farines basses et de déchargement des blés à l'extérieur ou sous couvert, générant de nombreuses particules et disposant rarement de dispositifs de confinement (lamelles en plastique) ou de captage localisé ;
- des opérations de chargement des farines en vrac en système clos, à l'extérieur sous couvert, peu ou pas émissives en particules ;

- des installations de tamisage/mouture confinées, capotées et en surpression, présentant souvent des problèmes d'étanchéité, à l'origine d'une dispersion de particules et de dépôts sur le sol et sur les équipements ;
- des lignes de conditionnement très souvent installées dans des locaux ne disposant pas de ventilation mécanique générale, avec une alimentation manuelle en sacs ou sachets, même sur les lignes automatisées ;
- la présence de farine au sol, sur et sous les installations de conditionnement, impliquant de fréquents nettoyages, avec parfois des difficultés d'accessibilité ;
- la présence de salariés à proximité directe des zones d'émission lors d'opérations générant de nombreuses particules dans l'air (déversement de matières, tassage manuel ou automatique de la farine dans le contenant...).

Nettoyage

Le nettoyage des installations et des machines est réalisé régulièrement. Le balayage, le brossage ou le soufflage sont systématiquement utilisés et mettent de nombreuses particules en suspension dans l'atmosphère de travail. L'aspiration vient parfois en complément : aspirateur spécifique ou dispositif centralisé, équipé de points de raccordement répartis dans les zones de travail, fréquemment en nombre insuffisant pour couvrir

l'ensemble des zones à nettoyer. Il est relevé des pertes d'efficacité d'aspiration liées à des tuyaux trop longs, des accessoires détériorés ou inadaptés, une utilisation inappropriée du matériel... Les problèmes d'accessibilité à certaines zones ou parties de machine sont récurrents, rendant le travail d'entretien ou de nettoyage difficile.

Ventilation des installations de production et des postes de travail

Certaines étapes ou équipements génèrent de nombreuses particules et se trouvent dans des zones ou locaux sans ventilation mécanique générale ni dispositifs de captage localisé (traitement des non-conformes, conditionnement...). Les particules se dispersent dans l'environnement de travail et se déposent sur les surfaces à proximité.

Les installations de tamisage/mouture et de transport de matières sont couramment raccordées à des réseaux de ventilation. Le plus souvent, seuls certains tronçons des installations de transport sont raccordés. Des dispositifs de captage localisé sont installés à certains postes de travail ou sur certains équipements (conditionnement de farine) mais ne sont pas systématiques (trémies des postes de déversement d'additifs majoritairement non équipés). Sur certains dispositifs, il est parfois constaté une efficacité de captage insuffisante, pouvant être liée à un défaut de dimensionnement, d'entretien... L'air empoussiéré extrait est filtré, puis rejeté à l'extérieur du bâtiment ou recyclé dans les locaux de travail après traitement via des cyclones, des cyclo-filtres ou des groupes de dépoussiérage, systématiquement installés à l'intérieur des locaux de travail⁴.

Sur les réseaux de ventilation de petite capacité (débit d'aspiration voisin de 1 000 m³/h), l'air filtré est généralement recyclé dans les locaux. Des dépôts de poussières sont visibles sur les équipements situés à proximité des bouches de rejet d'air. Sur les réseaux de ventilation de plus grande capacité (débit de plusieurs milliers de m³/h), l'air filtré est presque systématiquement rejeté à l'extérieur. Le contrôle périodique des performances aérodynamiques n'est en général pas réalisé, empêchant la détection des dérives de fonctionnement des installations et la programmation des maintenances préventives ou correctives. La pratique actuelle consiste à ne réaliser des maintenances correctives que si une accumulation inhabituelle de poussières est constatée à proximité d'un équipement. Les dossiers d'installation de ventilation sont rarement disponibles sur site.

Organisation du travail et situations dégradées

Lors des situations de bourrage ou de dysfonctionnement sur les installations, les opérateurs sont amenés à intervenir sur des machines en cours

de production. Ils utilisent parfois des méthodes ou des outils générant de nombreuses particules (maillet, brosses...) pour accéder aux éléments et réparer. La phase de nettoyage est généralement très exposante : pelletage de matières déversées au sol, soufflage, balayage...

Autres constats et risques

Des situations d'exposition au risque de chute de hauteur ont été observées à plusieurs reprises, du fait de l'utilisation d'échelles lors d'opérations habituelles de maintenance, de nettoyage, ou à certaines phases du procédé (alimentation d'une trémie de mélange).

Certains salariés peuvent être exposés aux risques liés à l'activité physique à l'origine de troubles musculosquelettiques (TMS), notamment lors du port de sacs (de farine, d'ingrédients...) ou lorsqu'ils adoptent des postures contraignantes et répétitives (palettisation, nettoyage, pelletage, maintenance...). Dans certains cas, il a été constaté des dépôts de poussières ou la mise en suspension de poussières organiques dans un environnement clos et non ventilé, susceptible de créer une Atex [1].

Synthèse des constats

- Équipements émissifs de par leur conception et/ou par défaut d'entretien.
- Méthodes de nettoyage non adaptées et sources d'empoussièrment.
- Moyens de prévention collective pas toujours présents ou d'une efficacité parfois insuffisante.
- Nécessité de faire évoluer la conception de certaines étapes du procédé (déchargement des blés ou chargement des issues) sur les aspects de prévention collective.
- Prise en compte inégale du risque d'incendie/explosion [1].

Orientations et conseils pour la prévention des expositions

Toute action de prévention visant à abaisser autant que possible les quantités de particules émises par le procédé, les équipements ou les tâches effectuées doit permettre de limiter les expositions aux poussières ou aux polluants biologiques, et aussi de prévenir le risque d'Atex lié à la présence de poussières dans l'atmosphère. Pour cela, il est conseillé d'identifier les sources d'émission de particules au niveau des installations, d'analyser les situations de travail exposantes et de rechercher des solutions techniques ou organisationnelles, en privilégiant les mesures de prévention collective.

Propositions par tâche ou poste de travail

→ Chargement/déchargement

Les opérations impliquant un déversement de matières (céréales, issues, son, additifs, farine...)



dans une trémie, un sac, un camion, etc. génèrent des quantités importantes de particules dans l'environnement. En fonction de l'activité et des différentes tâches réalisées (opérations ponctuelles ou répétées) et de l'efficacité des moyens de prévention existants, les niveaux d'exposition peuvent être plus ou moins importants. L'objectif vise donc à limiter la dispersion des particules et à soustraire le salarié à l'exposition :

- en diminuant les hauteurs de chute de matières et en limitant les vitesses de déversement ;
- en confinant les opérations de déversement (étanchéifier au maximum les déversements en camion : manche souple, raccordement direct au camion-citerne...), en installant des lanières souples autour des zones de chargement et déchargement, privilégiant les chargements en camion-citerne ;
- en captant les poussières au niveau du déversement, de façon adaptée selon les situations rencontrées [6]. Pour les issues, étudier la possibilité d'installer un anneau aspirant à l'extrémité du soufflet raccordé à la trémie du silo de stockage. Une seconde piste consisterait à positionner des fentes aspirantes le long du plancher de la plateforme de surveillance, de chaque côté de la partie supérieure des camions dans la zone de déversement des issues ;
- en éloignant les salariés de la zone de déversement : pour le chargement des issues, en déportant les commandes dans un local séparé et isolé, avec caméra de surveillance ou en installant une cabine sur la passerelle, en surpression, ventilée avec un apport d'air propre et neuf.

→ Nettoyage

L'exposition des opérateurs paraît directement associée à la nature des tâches et aux méthodes utilisées. En fonction du type de particules, de la durée de la tâche et des niveaux d'exposition atteints, les risques pour leur santé peuvent être importants. Les méthodes de nettoyage doivent être adaptées pour éviter la remise en suspension et la dispersion des particules :

- éviter (proscrire si possible) le balayage, le broyage ou le soufflage ;
- utiliser à la place l'aspiration. Le matériel doit être adapté à cet environnement particulier, en nombre suffisant de manière à couvrir l'ensemble des zones à nettoyer afin de limiter les transferts de matériels, équipé de filtres THE (très haute efficacité) et être conçu pour ne pas enflammer une Atex potentiellement présente. L'utilisation d'aspirateurs équipés de sacs en plastique antistatique à usage unique permet d'éviter les transvasements de poussières dans d'autres contenants. La mise à disposition d'aspirateurs dorsaux est recommandée pour le nettoyage des zones où

l'utilisation d'un aspirateur sur roulettes est difficile, comme les escaliers.

Si possible, il est conseillé d'opter pour un dispositif d'aspiration centralisée. Le nombre de points de raccordement et la capacité du système doivent être calculés en fonction des zones et des installations à nettoyer. Les matériels et accessoires doivent être maintenus en bon état pour conserver leur efficacité. Les embouts doivent s'adapter aux zones à nettoyer et aux difficultés d'accès éventuelles : type d'accessoire (brosse, goupillon, tube...), taille, forme, etc.

→ Conditionnement de farine

Pour éviter les dispersions de particules au niveau de la ligne de conditionnement et limiter les opérations de nettoyage, des solutions techniques simples peuvent être mises en place en :

- utilisant des sacs hermétiques à valve pour supprimer les dégagements de farine lors de leur remplissage... ;
- positionnant des bacs de récupération de farine au niveau du remplissage des sachets ;
- privilégiant si possible la mécanisation/automatisation du conditionnement. Le confinement des machines associé à un captage localisé des particules aux points de dispersion est reconnu très efficace pour limiter les expositions, surtout si la mise en place est faite aux différents points dispersifs : ensachage, buse de remplissage, tassage de la farine... ;
- aménageant les postes de travail pour éloigner les opérateurs de la source d'émission : installation d'un système pour maintenir le sac lors du remplissage, isolement à l'aide d'une paroi...

Proposition pour les équipements et moyens de prévention collective

Le procédé de fabrication de la farine utilise de nombreux équipements automatisés. Même si l'essentiel du procédé est clos, certaines machines sont fortement génératrices de particules. Elles doivent être repérées et équipées de dispositifs de confinement (carters de protection, capotage) pour minimiser la dispersion, avec système d'aspiration des poussières pour plus d'efficacité. Le rejet de l'air empoussiéré à l'extérieur du bâtiment après filtration doit systématiquement être privilégié.

La forme et le positionnement des dispositifs de captage par rapport aux sources d'émission des particules doivent être étudiés, adaptés aux différentes configurations rencontrées et positionnés au plus près des sources d'émission (capteur annulaire de type anneau de Pouyès, dossier aspirants, bouche de captage...) afin d'être réellement efficaces [6]. Il est important de vérifier leur adéquation aux contraintes, en prenant notamment en compte les retours des opérateurs. Leur entre-

Un entretien est indispensable pour s'assurer de leur efficacité dans le temps : absence de fuites, maintien de l'étanchéité des installations (jonctions de conduits, peseuse...), vérification des débits d'aspiration... Il convient d'apporter une attention particulière aux opérations de maintenance ou d'entretien, souvent effectuées dans des environnements confinés et très empoussiérés.

Une vérification périodique des systèmes de ventilation doit être réalisée annuellement pour s'assurer de leur conformité. Les résultats des mesures périodiques doivent être consignés dans le dossier d'installation de ventilation du réseau [7].

Les dysfonctionnements nécessitant l'intervention des techniciens sur des machines pleines de matières (débousses...) sont à l'origine d'expositions aux poussières. Si possible, les causes doivent être repérées, et des solutions trouvées pour éviter le mode dégradé (décolmatage automatique, modernisation du procédé...). La maintenance préventive doit être privilégiée, avec des interventions planifiées sur des machines nettoyées. L'utilisation de moyens de détection ou d'alarmes permet de repérer les problèmes, d'agir au plus vite et d'éviter les dépôts de matières. La mise en œuvre de systèmes de contrôle en continu des performances aérodynamiques des installations de ventilation (manomètres raccordés aux points caractéristiques des réseaux d'aspiration...) peut faciliter la détection en temps réel de certains dysfonctionnements (accumulation anormale de poussières sur les filtres d'un groupe de dépoussiérage).

La conception des machines et l'ergonomie des installations sont des fondamentaux en prévention. Les zones ou les machines difficiles d'accès placent les salariés en situation d'exposition, leur imposent des postures contraignantes, et génèrent des pertes de temps. Elles doivent être repérées et traitées pour y remédier. Lors de l'achat de nouveaux équipements, il est judicieux de prendre en compte ces aspects dans le choix des machines et de leur implantation, et d'associer les salariés au choix et à la mise en place des solutions envisagées.

De plus, les poussières présentes dans ces environnements de travail sont des particules organiques combustibles, qui peuvent provoquer la formation d'Atex et qui nécessitent un travail spécifique de prévention en conception [1, 8-10].

Autres mesures de prévention : évaluation des risques professionnels, formation, hygiène, port d'équipements de protection individuelle (EPI)

Lors de l'évaluation des risques professionnels, l'analyse des situations de travail est nécessaire pour repérer les tâches ou les postes exposant aux particules, en intégrant les opérations de nettoyage, la maintenance, l'entretien régulier et les



© Patrick Delapierre pour l'INRS / 2022

situations dégradées. Les équipements générateurs de poussières doivent être identifiés pour étudier les meilleures solutions. Les mesures de prévention collectives sont à privilégier, en améliorant les dispositifs actuels ou en recherchant de nouveaux moyens adaptés.

Dans l'attente de la mise en place de mesures de prévention collective pérennes, et pour des opérations ponctuelles particulièrement exposantes aux particules, il est conseillé d'équiper les salariés d'une protection respiratoire adaptée à la tâche, à sa durée et aux niveaux d'exposition prévisibles. Pour les opérations longues et/ou très exposantes (opérations de nettoyage...), des protections respiratoires à ventilation assistée (si nécessaire certifiées Atex) peuvent être proposées. Il est préconisé d'associer les salariés au choix de la protection respiratoire (visibilité, poids, encombrement, nécessité de communiquer...) [11].

Il est essentiel d'informer les salariés et de les former aux risques encourus, y compris biologiques (notamment liés à l'inhalation de

Vérification du remplissage d'un sac de farine dans une meunerie des Pays-de-la-Loire.



poussières organiques), ainsi qu'au port et à l'ajustement des EPI [12].

Les conseils en matière d'hygiène sont à rappeler régulièrement. Chaque opérateur doit disposer d'une tenue réservée au travail, fournie et nettoyée par l'employeur. Elle doit être changée régulièrement, au moins trois fois par semaine. Les vêtements personnels sont déconseillés, pour éviter tout risque de transfert de pollution. Le lavage des mains est recommandé avant de manger ou de fumer⁵. Il est déconseillé de boire et de manger sur le lieu (postes) de travail. En raison du risque d'Atex, l'interdiction de fumer sur le lieu de travail doit être strictement respectée. Les moyens de protection individuelle réutilisables (lunettes, gants, masques, bouchons d'oreilles...) doivent être rangés dans un endroit spécifique, hors de toute pollution, nettoyés après chaque utilisation et vérifiés avant chaque emploi.

Conclusions et perspectives

La campagne de mesures de la Cramif dans le secteur de la meunerie a montré des expositions aux poussières de farine, aux poussières organiques contaminées par des polluants biologiques (endotoxines, micro-organismes) et l'existence de conditions favorables à la création d'Atex [1]. La mise en place de mesures de prévention est recommandée pour prévenir ces risques et leurs conséquences possibles sur la santé et la sécurité des salariés. Des solutions d'ingénierie sont à développer pour diminuer les expositions aux poussières organiques, en particulier pour les postes de chargement des issues. Des améliorations techniques sont à étudier pour prévenir le risque sur toutes les étapes du procédé et pour faire évoluer les pratiques, en particulier lors des opérations de maintenance et des tâches de nettoyage. Les mesures de prévention collective sont améliorables, notamment les dispositifs de captage localisé des particules.

Il peut être pertinent d'étendre la réflexion aux autres métiers en contact avec des céréales, possiblement aussi exposés à des poussières. Les particules organiques d'origine végétale sont connues pour contenir des biocontaminants tels que des mycotoxines, des endotoxines... Dans le secteur agricole, les professions en lien avec la récolte des céréales, leurs transport et stockage, etc. peuvent être concernées, tout comme les métiers plus en aval de la filière céréalière, en lien avec la nutrition animale, etc.

Pour les métiers potentiellement exposés à des poussières de farine, les études sur la pulvéulence des farines⁶ doivent être poursuivies afin de rechercher des pistes de solution à ces expositions dans certaines situations professionnelles (boulangeries-pâtisseries). ●

1. Voir : www.inrs.fr/metropol ; et en particulier pour les mycotoxines : Fiche M-454 ; pour les micro-organismes aérobies : Fiche M-147 ; et OTA, fumosinines, aflatoxines, DON, T2, HT2 et zéaralénone : Fiche M-426.

2. Issues de blé : coproduits de première transformation du blé en farine, constitués principalement de fragments d'enveloppe de grains de blé (son), de remoulages, de farines basses et de germes.

3. Les auteurs tiennent à la disposition des personnes intéressées les éléments complémentaires issus de la campagne.

4. À noter qu'ils sont très majoritairement dépourvus de « marquage Atex », de dispositifs de protection contre les effets des explosions et de systèmes d'extinction d'incendie intégrés [1].

5. Rappel : le Code de la Santé publique (articles L. 3512-8 et R. 3512-2) interdit formellement de fumer sur les lieux de travail depuis 2007.

6. Les études sur la pulvéulence visent à modifier la granulométrie des farines utilisées au fleurage. Cela limite la dispersion des particules dans l'environnement de travail et diminue les expositions professionnelles.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] JANES A., DUFAUD O. – Transformation des produits céréaliers dans les meuneries : prévention des risques d'explosion. *Hygiène & sécurité du travail*, 2024, 277, EC 42, pp. 76-86. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=EC%2042>
- [2] ALONSO L. ET AL. – Résultats de mesures d'endotoxines : exploitation et impact sur les valeurs guides existantes. *Hygiène & sécurité du travail*, 2025, 279, NT 122, pp. 63-69. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20122>
- [3] DAVID C. ET AL. – Valeurs-guides bactéries et moisissures cultivables : Interprétation des résultats de métrologie des bioaérosols. *Hygiène & sécurité du travail*, 2023, 271, NT 109, pp. 55-63. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%20109>
- [4] DÉCRET N° 2021-1763 du 23 décembre 2021 portant modification des concentrations moyennes en poussières totales et alvéolaires dans les locaux à pollution spécifique. *Journal officiel*, 24 décembre 2021. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr
- [5] ACGIH – *Guide to Occupational Exposure Values*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2022.
- [6] INRS – *Guide pratique de ventilation*. Principes généraux de ventilation. ED 695. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20695>
- [7] INRS – *Guide pratique de ventilation*. Le dossier d'installation de ventilation. ED 6008. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206008>
- [8] INRS – *Guide – Les mélanges explosifs*. 2. Poussières combustibles. ED 944. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20944>
- [9] DIRECTIVE ATEX 1999/92/CE relative à la protection de la sécurité et de la santé des travailleurs susceptibles d'être exposés aux risques des Atex. *Journal officiel de l'Union européenne*, 28 janvier 2000. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr
- [10] INRS – *Mise en œuvre de la réglementation relative aux atmosphères explosives*. Guide méthodologique. ED 945. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20945>
- [11] INRS – *Les appareils de protection respiratoire : choix et utilisation*. ED 6106. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206106>
- [12] GUIMON M., CHAZELET S. – Ajustement des appareils de protection respiratoire et travail. *Références en santé au travail*, 2019, 158, TP 33, pp. 109-116. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TP%2033>

Participez à la recherche



Bruit

→ Étude sur l'exposition au bruit en très hautes fréquences et aux ultrasons basses fréquences

Votre entreprise utilise des appareils générant des sons de très hautes fréquences audibles (THF : de 10 à 20 kHz) ou des ultrasons basses fréquences (USBF : de 20 à 30 kHz) : découpeuses (surgelés, charcuterie, confiseries, marqueterie, etc.), soudeuses métalliques ou thermoplastiques, bains nettoyeurs, ou tout autre appareil ou machine générant des fréquences supérieures à 10 kHz.

L'INRS a besoin de vous pour évaluer l'exposition aux bruits THF et USBF des salariés travaillant à proximité des appareils générant des fréquences supérieures à 10 kHz. L'objectif est de collecter des données de terrain visant à mieux caractériser les situations d'exposition aux THF/USBF et à développer un protocole d'évaluation des risques correspondants. Cette évaluation comprendra des mesures d'exposition au bruit, des évaluations de l'audition des salariés, ainsi que des réponses à des questionnaires.

> Comment se déroulera l'étude ?

Les personnes en charge de l'étude rencontreront les entreprises souhaitant participer, pour leur présenter précisément le protocole d'intervention. Avec l'accord de l'entreprise et des salariés volontaires, l'étude se déroulera en deux temps :

- en amont des mesures, les participants devront répondre à des questionnaires en lien avec leur audition et leur sensibilité au bruit ;
- les personnes seront équipées de façon non contraignante d'un système de mesure de l'environnement sonore. Avant et après le poste de travail, il sera demandé aux participants de passer des tests audiométriques et de répondre à de courts questionnaires. Durant le poste, des mesures complémentaires seront effectuées par l'INRS pour qualifier au mieux l'émission sonore des machines et pouvoir, le cas échéant, proposer des solutions d'amélioration. Enfin, si l'activité le permet, le salarié pourra répondre à un questionnaire très court (1 minute) pendant son poste, pour qualifier son ressenti durant l'exposition.

L'intervention sera réalisée de façon à ne pas perturber l'activité. Les données recueillies, dont le seul but est de faire progresser les connaissances sur les THF/USBF,

seront anonymisées avant traitement. Les résultats des mesures, leur analyse ainsi que de possibles conseils, pourront être communiqués à l'entreprise *via* un rapport de synthèse et/ou une réunion de restitution.

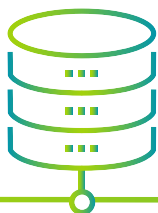


Vous souhaitez participer ?

Contactez Jonathan Terroir
03 83 50 20 00 • etudeTHF@inrs.fr
INRS, département Ingénierie des équipements de travail
1, rue du Morvan, CS 60027,
54519 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex



Scannez
ce QR-code
pour plus
d'informations



Base Colchic

La base de données d'exposition professionnelle aux agents chimiques et biologiques Colchic regroupe l'ensemble des mesures d'exposition effectuées sur les lieux de travail par les huit laboratoires interrégionaux de chimie (Lic) des Carsat/Cramif et les laboratoires de l'INRS. Elle est gérée par l'INRS et a été créée en 1987 à l'initiative de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam). À ce jour, Colchic compte plus d'un million de résultats pour 745 substances chimiques et agents biologiques.

EXPOSITION PROFESSIONNELLE DANS LA FILIÈRE FRANÇAISE DU TRAVAIL DU CUIR (2010-2024)

Cet article dresse un portrait des expositions professionnelles dans la filière du travail du cuir en France, des années 2010 à 2024. Il présente un bilan des agents chimiques mesurés et des niveaux d'exposition rencontrés.

BARBARA SAVARY,
ANDREA EMILI
INRS,
département
Métrologie
des polluants

Contexte

La filière française du travail du cuir est le quatrième exportateur mondial de peaux brutes et d'articles de maroquinerie ; elle comprend les opérations de traitement et transformation des peaux issues d'animaux (principalement bovins et porcins) et leur utilisation dans la fabrication artisanale ou industrielle d'articles en cuir pour l'habillement ou la décoration [1].

Les peaux issues des abattoirs sont conservées par salage ou saumurage, afin de limiter le développement des micro-organismes et de retarder la putréfaction. Elles peuvent aussi être séchées, réfrigérées ou congelées avant d'être commercialisées auprès des tanneurs ou des négociants [2]. Avant le tannage proprement dit, qui permet de transformer la peau en cuir, une phase préparatoire appelée travail en rivière est indispensable. Elle se déroule en trois étapes :

- la trempe ou reverdissage afin de réhydrater la peau et de l'assainir en éliminant les impuretés (terre, sang, etc.) ;
- l'épilation et le pelanage afin de supprimer les poils et dissoudre la kératine en plongeant la peau dans un bain alcalin ;

- l'écharnage afin de retirer les tissus sous-cutanés restants.

Vient ensuite le tannage, qui confère à la peau, naturellement putrescible, une stabilité durable en la rendant imputrescible. Trois grands procédés existent, chacun donnant au cuir des caractéristiques spécifiques selon ses usages :

- le tannage minéral : il représente plus de 80 % de la production mondiale et utilise principalement du sulfate de chrome III. D'autres sels de fer, d'aluminium ou de zirconium peuvent être employés. Le procédé commence par une acidification (acide sulfurique, formique, etc.), suivie de l'ajout de sels, puis d'une neutralisation progressive au carbonate de sodium, environ deux heures après le début du bain. Cette technique, très rapide, ne prend que quelques heures à quelques jours. Le cuir obtenu est souple, résistant aux déchirures ; il permet d'obtenir plus de teintes qu'avec un tannage végétal, teintes qui ne se patineront pas dans le temps ;
- le tannage végétal : le cuir est plongé dans des bains ou foulons contenant des tanins extraits d'écorces, de feuilles, de bois, etc., pendant quelques jours, voire quelques mois. Le cuir

Un biais d'interprétation est susceptible d'être introduit lors de l'exploitation des bases de données nationales d'exposition professionnelle telles que Colchic. En effet, ces bases n'ont pas été conçues dans le but d'être représentatives de l'ensemble des travailleurs ou d'un secteur professionnel donné.

obtenu sera plus rigide permettant de l'utiliser pour fabriquer des semelles, en bourrellerie ou en maroquinerie. Il se patinera beaucoup plus qu'un cuir obtenu par tannage minéral et la possibilité de coloration est plus faible ;

- le tannage mixte : combinaison des deux méthodes précédentes.

Une fois l'étape de tannage terminée, le corroyage intervient pour conférer au cuir son aspect final. La mise au vent permet ensuite d'étirer la peau, avant de poursuivre avec différentes opérations complémentaires :

- le palissonage (malaxage) pour assouplir le cuir ;
- le dérayage pour réduire l'épaisseur ;
- la teinture ;
- le veloutage (ponçage doux) qui produit le nubuck ;
- le lissage ou satinage pour un rendu lisse et brillant ;
- le grainage pour imprimer un relief particulier ;
- le liégeage qui accentue le grain naturel.

Le finissage constitue la dernière étape et consiste à appliquer des apprêts, afin de donner au cuir son aspect visuel définitif.

À l'issue de sa transformation, le cuir trouve de nombreux débouchés : maroquinerie (sacs, valises, ceintures, portefeuilles), ganterie, chaussures, vêtements, sellerie-bourrellerie, ameublement, reliure de livres, etc.

L'industrie française du cuir

En 2024, 1803 salariés étaient employés dans 68 établissements rattachés au secteur de l'apprêt et du tannage des cuirs, de la préparation et teinture des fourrures, et 41479 salariés dans 920 établissements fabriquaient des chaussures, de la maroquinerie, des articles de voyage, de la sellerie et des vêtements en cuir. Les secteurs du commerce de gros, intermédiaire et de détail de cuirs



© Gaël Kerbaol / INRS

et d'articles en cuirs (chaussures, maroquinerie, etc.) regroupaient 58448 salariés répartis dans 9916 établissements. De son côté, la cordonnerie comptait 1679 salariés au sein de 896 établissements [3] (Cf. Tableau 1).

Les métiers rencontrés dans la filière du cuir sont variés et incluent notamment : les tanneurs et les mégissiers en charge de la transformation des peaux brutes en cuir à l'aide de traitements chimiques et mécaniques, les maroquiniers-coupeurs qui fabriquent les pièces en cuir utilisées pour la conception des produits de maroquinerie, les pareurs qui amincissent le cuir pour en faire une matière souple, exploitable par les métiers de conception et de fabrication, les monteurs qui s'occupent d'assembler les cuirs et donnent forme à certains articles finis tels que les chaussures ou les ceintures, les cordonniers qui réparent les chaussures et les objets en cuirs.

↓ **TABLEAU 1**
Liste des secteurs d'activité dans la filière du travail du cuir avec le nombre d'établissements et de salariés en 2024 [3].

NAF	SECTEUR D'ACTIVITÉ	ÉTABLISSEMENTS		SALARIÉS	
		NB	%	NB	%
15.11Z	Apprêt et tannage des cuirs, préparation et teinture des fourrures	68	0,6	1 803	1,7
14.11Z	Fabrication de vêtements en cuir	33	0,3	359	0,3
15.12Z	Fabrication d'articles de voyage, de maroquinerie et de sellerie	708	6,0	37565	36,3
15.20Z	Fabrication de chaussures	179	1,5	3555	3,4
46.16Z	Intermédiaires du commerce en textiles, habillement, fourrures, chaussures et articles en cuir	353	3,0	1449	1,4
46.24Z	Commerce de gros (commerce interentreprises) de cuirs et de peaux	72	0,6	440	0,4
46.42Z	Commerce de gros (commerce interentreprises) d'habillement et de chaussures	3469	29,4	26 473	25,6
47.72A	Commerce de détail de la chaussure	1331	11,3	8020	7,8
47.72B	Commerce de détail de maroquinerie et d'articles de voyage	4691	39,8	22066	21,3
95.23Z	Réparation de chaussures et d'articles en cuir	896	7,6	1679	1,6
Total		11 800	100	103 409	100



ENCADRÉ

DÉFINITION DU « CUIR »

Le décret 2010-29 du 8 janvier 2010 portant application de l'article L. 214-1 du Code de la consommation à certains produits en cuir et à certains produits similaires, définit le cuir de la façon suivante : « Est considéré comme du cuir, le produit obtenu de la peau animale au moyen d'un tannage ou d'une imprégnation conservant la structure naturelle des fibres de la peau et ayant conservé tout ou partie de sa fleur ». L'utilisation du mot « cuir » est interdite dans la désignation de toute autre matière que celle obtenue de la peau animale au moyen de tannage ou d'imprégnation conservant la forme des fibres de la peau. Aucun matériau, qu'il soit issu d'un végétal, de la pétrochimie ou d'un mix des deux ou de toute autre origine qu'animale, ne peut donc se prévaloir légalement de l'appellation « cuir ».

Risques chimiques et biologiques

Les métiers du cuir peuvent exposer les travailleurs à de multiples risques chimiques et biologiques. Les poussières de cuir sont présentes dans toutes les étapes du travail, de la transformation de la peau jusqu'à la réparation d'articles en cuir : elles sont classées cancérigènes de classe 1 par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ) depuis 2012 [4]. Selon une étude menée dans le secteur de la fabrication et de la réparation de chaussures, les concentrations moyennes en poussières inhalables sont comprises entre 0,12 mg/m³ (au poste de découpe du cuir) et 0,72 mg/m³ (au poste de décapage et fraisage des semelles), avec des pics d'exposition atteignant 6,4 mg/m³ au poste de couture des tiges, 6,9 mg/m³ au poste de fabrication de semelles et lors de la réparation ; ces pics peuvent atteindre 14,6 mg/m³ au poste de nettoyage et de couture et 10,3 mg/m³ au poste de collage des tiges et semelles. Le pourcentage de poussières alvéolaires est compris entre 13,6 % et 24,3 % lors de la fabrication et entre 13,1 % et 16,8 % lors de la réparation de chaussures. La taille des particules est également fonction du poste de travail avec des particules fines avec un diamètre aérodynamique médian en masse (MMAD) de 6,2 µm au poste de cirage et lustrage et des particules plus grosses, avec un MMAD de 25 µm au poste de couture [5].

Un excès de risque de l'apparition de cancers nasosinusiens a été mis en évidence dans le secteur de la fabrication de chaussures, avec un taux d'incidence de 1 à 7 pour 100 000, en particulier pour les tâches de finition (couture, lustrage, cirage) [6]. Le tannage et le travail du cuir nécessitent l'emploi de nombreuses substances chimiques dont certaines sont classées cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR) selon le règlement CLP

(par exemple, le formaldéhyde ou le chrome VI). Selon la fiche d'aide au repérage n° 17 sur le tannage et la mégisserie, les travailleurs sont exposés aux oxydes de chrome VI, suite à l'oxydation du chrome III, lors des opérations de tannage, de teinture et de finissage [7]. Au cours de cette dernière étape, les expositions au phosphate de tributyle, au diisocyanate de toluylène, à la 3,5,5-triméthylcyclohex-2-énone, à la 2-méthylaziridine et à l'éthylèneimine sont également très probables. Divers colorants sont également utilisés pour teinter le cuir : des colorants diazoïques, du noir de carbone, des composés inorganiques du plomb. Dans les activités de fabrication d'objets en cuir, l'utilisation de colles néoprènes expose les travailleurs à divers solvants comme le toluène, le xylène, l'acétone, l'hexane ou la butanone [7].

Le tannage est réalisé en plongeant les peaux dans des bains contenant du sulfate de chrome. En fonction des conditions opératoires, le chrome III peut s'oxyder en chrome VI. La réglementation européenne impose depuis 2015 une teneur en chrome VI inférieure à 3 mg/kg dans les articles en cuir en contact avec la peau (chaussures, gants, vêtements) [8].

Par ailleurs, les atmosphères humides et chaudes des tanneries et des mégisseries sont des milieux propices au développement de bactéries et de moisissures. *Penicillium* est le genre fongique le plus souvent détecté, suivi par *Aspergillus*, *Alternaria*, *Scopulariopsis* et *Cladosporium*. Les peaux, avant tannage, peuvent aussi être vecteurs de germes pathogènes. Cependant, le risque d'exposition est faible, puisque la réglementation permet uniquement la transformation de peaux de catégorie 3, produits présentant un risque faible pour la santé animale ou la santé publique, c'est-à-dire ne présentant aucun signe de maladie transmissible à l'homme ou ayant un test de dépistage des encéphalopathies spongiformes transmissibles négatif [9, 10].

Maladies professionnelles

Lors de la transformation des peaux en cuirs, les travailleurs manipulent de nombreux produits pouvant provoquer des affections respiratoires et cutanées : des acides, des alcalins, des solvants, des désinfectants et des tanins. La présence de poussières de cuirs (classées cancérigènes de classe 1 par le Circ) peut aussi provoquer des bronchites chroniques.

L'utilisation de colles pour la fabrication d'objets en cuir expose les travailleurs à de nombreux composés organiques volatils qui peuvent provoquer des sensibilisations respiratoires et des symptômes neurologiques (céphalées, vertiges, nausées, etc.). Les moisissures présentes dans les environnements de travail peuvent accroître la prévalence

		15.11Z	14.11Z	15.12Z	15.20Z	95.23Z
4bis	Affections gastro-intestinales provoquées par le benzène, le toluène, les xylènes et tous les produits en renfermant			X		
10	Ulcérations et dermites provoquées par l'acide chromique, les chromates et bichromates alcalins, le chromate de zinc et le sulfate de chrome	X		X		
10bis	Affections respiratoires provoquées par l'acide chromique, les chromates et bichromates alcalins			X		
10ter	Affections cancéreuses causées par l'acide chromique et les chromates et bichromates alcalins ou alcalinoterreux, ainsi que par le chromate de zinc				X	
15ter	Lésions prolifératives de la vessie provoquées par les amines aromatiques	X		X	X	X
30	Affections professionnelles consécutives à l'inhalation de poussières d'amiante	X			X	
30bis	Cancer broncho-pulmonaire provoqué par l'inhalation de poussières d'amiante			X		
42	Atteinte auditive provoquée par les bruits lésionnels	X			X	
43	Affections provoquées par l'aldéhyde formique et ses polymères	X				
47	Affections professionnelles provoquées par les poussières de bois			X		
49bis	Affections respiratoires provoquées par les amines aliphatiques, les éthanolamines ou l'isophoronediamine			X		
51	Maladies professionnelles provoquées par les résines époxydiques et leurs constituants			X		
57	Affections périarticulaires provoquées par certains gestes et postures de travail		X			
62	Affections professionnelles provoquées par les isocyanates organiques			X		
65	Lésions eczématiformes de mécanisme allergique	X		X	X	X
66	Rhinites et asthmes professionnels	X	X	X	X	X
82	Affections provoquées par le méthacrylate de méthyle			X		
84	Affections engendrées par les solvants organiques liquides à usage professionnel			X		
95	Affections professionnelles de mécanisme allergique provoquées par les protéines du latex (ou caoutchouc naturel)				X	
98	Manutentions manuelles de charges lourdes		X			

des réactions allergiques et d'autres problèmes respiratoires chez les travailleurs. Les agents pathogènes potentiellement présents dans les peaux non traitées peuvent aussi être source de maladies professionnelles.

Sur la période 2013-2023 (période de disponibilité des informations fournies par l'assurance maladie), 1 112 maladies professionnelles (MP) ont été reconnues dans les secteurs de l'apprêt et du tannage des cuirs, de la préparation et de la teinture des fourrures, dans la fabrication et la réparation de chaussures et d'articles de voyage, de maroquinerie et de sellerie, parmi lesquelles 8 % en relation avec le risque chimique (40 % des MP ont été reconnues dans le secteur de la fabrication de la maroquinerie, des articles de voyage et de la sellerie,

32 % dans la fabrication de chaussures et 24 % dans le secteur de l'apprêt et du tannage des cuirs, de la préparation et de la teinture des fourrures). Dans le secteur de la fabrication de vêtements en cuir, 90 % des MP reconnues l'ont été pour des affections périarticulaires provoquées par certains gestes et postures de travail (TMP 57), 4 % pour des manutentions manuelles de charges lourdes (TMP 98) et 6 % pour des rhinites et des asthmes professionnels (TMP 66). Le *Tableau 2* regroupe l'ensemble des maladies professionnelles reconnues par secteur d'activité. Parmi les 2 % de maladies professionnelles reconnues « hors tableaux » (23 cas), on relève deux asthmes allergiques, une tumeur bénigne et trois tumeurs malignes de la vessie, ainsi qu'une tumeur maligne des bronches et du poumon [11].

↑ TABLEAU 2
Liste des maladies professionnelles reconnues entre 2013 et 2023 par secteur d'activité [11].



Mesures concernées

Afin de mieux évaluer les expositions dans la filière du travail du cuir, cet article dresse un portrait des niveaux d'exposition aux substances chimiques et des mesures surfaciques enregistrés dans la base Colchic entre 2010 et 2024. Les données exploitées concernent des mesures d'exposition, prélevées pendant une durée comprise entre 60 et 600 minutes et réalisées selon des méthodes de prélèvement et d'analyse référencées telles que celles enregistrées dans la base de données MétroPol [12].

Pour les substances concernées par des valeurs limites d'exposition sur 8 heures (VLEP-8h) françaises, des indices d'exposition (IE) ont été calculés dans l'objectif de faciliter la comparaison des distributions des niveaux d'exposition entre les différentes substances chimiques et les différentes activités. Les IE représentent le ratio entre le niveau d'exposition (prélèvement individuel)

mesuré et la VLEP-8h de la substance. Les valeurs dont le niveau d'exposition est inférieur à la limite de quantification (LQ) ont été remplacées par LQ/2. Les Figures 1 et 2 représentent la distribution des IE par substance et par couple « substance – secteur d'activité » lorsque le nombre de mesures est supérieur à 10. Sur ces figures, les IE sont classés en trois catégories : inférieur à 0,1 (correspondant à 10 % de la valeur prise comme référence) en vert, compris entre 0,1 et 1 en bleu, et supérieur à 1 (indiquant un dépassement de la valeur prise comme référence) en orange.

Pour analyser les co-expositions, des indices d'exposition à effets additionnels (IAE) ont été calculés à partir des 75^e centiles de la distribution des mesures pour chaque agent chimique et pour chaque secteur, à l'aide de l'outil MiXie France [13]. À partir de la liste des quinze substances les plus fréquemment mesurées dans chacun des secteurs d'activité, la liste des effets associés a été établie et est présentée dans le *Tableau 3*.

FIGURE 1 →
Distribution des indices d'exposition (IE) par substance (prélèvements individuels).

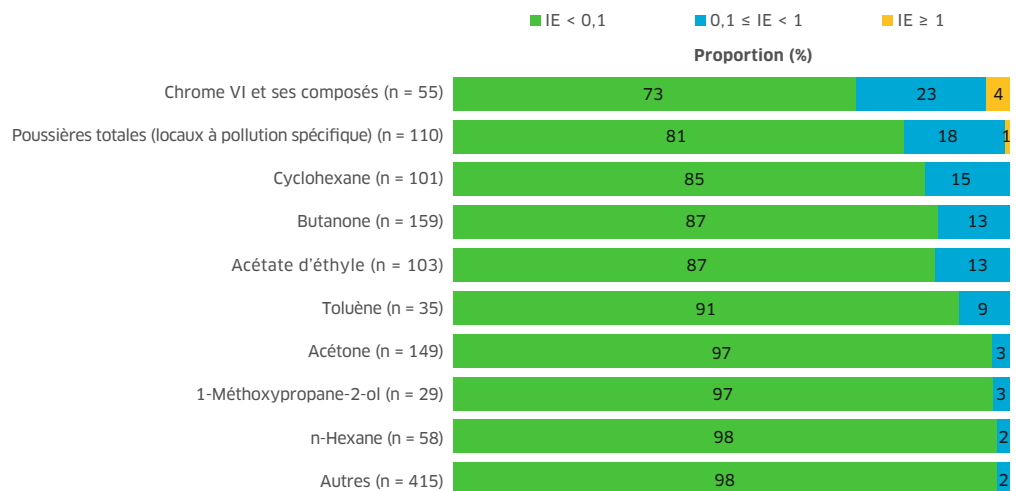
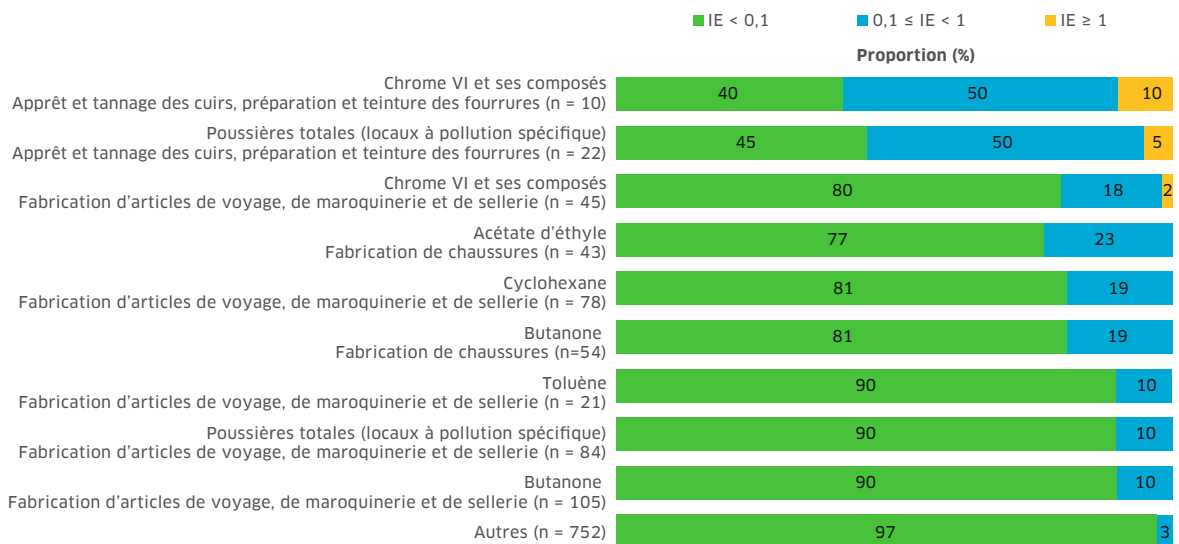


FIGURE 2 →
Distribution des indices d'exposition (IE) par substance et par secteur (prélèvements individuels).



État des lieux des données Colchic

Au total, 1 423 résultats de prélèvements individuels ont été enregistrés dans la base Colchic entre 2010 et 2024 pour les secteurs du travail du cuir : 59,7 % dans le secteur de la fabrication d'articles de voyage, de maroquinerie et de sellerie, 25,7 % dans le secteur de la fabrication de chaussures, 13,8 % dans le secteur de l'apprêt et tannage des

cuir, préparation et teinture des fourrures et 0,8 % dans le secteur de la réparation de chaussures et d'articles en cuir.

Sur cette période, aucune mesure de substance chimique n'a été enregistrée dans le secteur de la fabrication de vêtements en cuir et aucune mesure d'agents biologiques n'a été enregistrée dans la base Colchic pour les secteurs étudiés.

↓ **TABLEAU 3**
Liste des 15 substances les plus mesurées pour les secteurs d'activité et leurs classes d'effets toxiques (hors CMR et sensibilisants).

SUBSTANCE	15.11Z	15.12Z	15.20Z	95.23Z	Atteintes cutanées	Atteintes des voies respiratoires inférieures	Atteintes des voies respiratoires supérieures	Atteintes du système auditif	Atteintes du système hémato-poïétique	Atteintes du système immunitaire	Atteintes du système nerveux central	Atteintes du système nerveux périphérique	Atteintes hépatiques	Atteintes oculaires	Atteintes rénales et de l'appareil urinaire
1-Méthoxypropane-2-ol	0	0					X				X		X	X	
2,6-Diméthylheptane-4-one	0						X						X	X	X
2-Butoxyéthanol	0				X		X							X	
4-Méthylpentane-2-one		0	0				X						X	X	X
Acétate de 2-butoxyéthyle	0														
Acétate de 2-méthoxy-1-méthyléthyle	0		0				X								
Acétate de n-butyle	0		0			X	X				X			X	
Acétate d'éthyle		0	0	0			X				X			X	
Acétone	0	0	0	0							X	X		X	
Acide formique	0				X	X	X		X					X	X
Alcool isopropylique	0						X				X			X	
Benzène			0		X				X	X				X	
1,3-Butadiène			0												
Butanone		0	0				X				X			X	
Chrome hexavalent et ses composés	0	0			X	X	X							X	
Composés du nickel exprimés en nickel (fraction inhalable)		0			X	X	X								
Cuivre	0	0			X	X	X							X	
Cyclohexane		0	0	0	X		X				X				
Éthanol	0						X				X			X	
Éthylbenzène		0					X	X			X				X
Méthacrylate de méthyle		0			X	X	X					X		X	
Méthylcyclohexane		0	0		X	X	X				X		X	X	X
n-Hexane		0	0	0	X						X	X			
Poussières totales (locaux à pollution spécifique)	0	0				X	X							X	
Tétrahydrofurane			0				X				X		X	X	X
Toluène		0	0	0	X			X			X				
Xylène		0	0		X	X	X	X			X			X	



La *Figure 1* présente les indices d'exposition des prélèvements individuels pour l'ensemble des activités du travail du cuir. Des dépassements de la VLEP-8h ont été observés pour le chrome VI et ses composés et pour les poussières totales (locaux à pollution spécifique). Selon les informations renseignées dans Colchic concernant le produit à l'origine de l'exposition, les poussières totales sont en réalité des poussières de cuir.

L'analyse par substance et par secteur d'activité décrite sur la *Figure 2* met en évidence que les dépassements au chrome VI sont observés dans le secteur de l'apprêt et du tannage des cuirs, de la préparation et des teintures des fourrures, et dans le secteur de la fabrication d'articles de voyages, de maroquinerie et de sellerie et plus particulièrement chez les opérateurs/opératrices sur presse lors d'opération de tannage et de retannage dans le secteur de l'apprêt et du tannage des cuirs, de la préparation et de la teinture des fourrures et chez les maroquiniers/maroquinières lors de tâches d'« assemblage, montage sur chaîne ou non ». Des dépassements de la concentration moyenne des poussières totales de l'atmosphère inhalée par le salarié sont également observés dans le secteur de l'apprêt et du tannage des cuirs, de la préparation et des teintures des fourrures, notamment chez les opérateurs/opératrices en tannerie – mégisserie réalisant des tâches de corroyage.

Dans la filière du travail du cuir, la majorité des substances identifiées sont associées à des atteintes des voies respiratoires supérieures ainsi qu'à des irritations oculaires (Cf. *Tableau 3*). Bien que les niveaux d'exposition demeurent faibles, l'analyse de la polyexposition réalisée à l'aide de l'outil MiXie France [13] met en évidence des dépassements de l'IAE pour ces effets dans le secteur de l'apprêt et du tannage des cuirs, préparation et teinture des fourrures. Des dépassements de l'IAE ont également été observés pour les atteintes des voies respiratoires inférieures et les effets cutanés. En revanche, pour les trois autres secteurs d'activité, aucun dépassement de l'IAE n'a été constaté, quel que soit l'effet considéré.

Dans le secteur de l'apprêt et du tannage des cuirs, de la préparation et teinture des fourrures, l'acide formique et la 2,6-diméthyl-4-heptanone sont susceptibles d'induire des atteintes rénales et du système urinaire (Cf. *Tableau 3*). Leur présence concomitante peut accroître ces effets. Il en est de même dans le secteur de la fabrication d'articles de voyage, de maroquinerie et de sellerie avec la présence de méthyléthylcétone, d'éthylbenzène et de 4-méthylpentane-2-one, et dans le secteur de la fabrication de chaussures avec la présence de tétrahydrofurane, de méthylcyclohexane et de 4-méthylpentane-2-one (Cf. *Tableau 3*). Bien que les IAE soient inférieurs à 1, il convient de noter

que des maladies professionnelles relevant du tableau n°15ter – Lésions prolifératives de la vessie provoquées par les amines aromatiques – ont été reconnues sur la période 2013-2023 dans les secteurs étudiés [11] (Cf. *Tableau 2*).

Par ailleurs, la présence de toluène, de xylène et d'éthylbenzène dans les entreprises de la fabrication d'articles de voyage, de maroquinerie et de sellerie et dans le secteur de la fabrication de chaussures est susceptible d'engendrer des effets sur le système auditif, potentiellement amplifiés par l'environnement bruyant des ateliers (Cf. *Tableau 3*). Bien que les IAE demeurent inférieurs à 1, il est important de souligner que des maladies professionnelles relevant du tableau n°42 – Atteinte auditive provoquée par les bruits lésionnels – ont été reconnues sur la période 2013-2023 [11] (Cf. *Tableau 2*).

Seul le secteur de la fabrication d'articles de voyage, de maroquinerie et de sellerie a fait l'objet de prélèvements surfaciques. Sur les 111 résultats recensés, 81 ont été réalisés sur des surfaces de travail. Tous les prélèvements présentaient des concentrations en aluminium, baryum, chrome III, cuivre, manganèse, zinc, nickel, bore et vanadium supérieures à la LQ. En revanche, le fer n'a été quantifié que dans 88 % des prélèvements et le chrome hexavalent dans 66 %. La totalité des prélèvements cutanés a mis en évidence la présence de ces métaux sur la peau des travailleurs, à l'exception du chrome hexavalent, qui n'a pas été détecté. La présence de substances allergènes sur les surfaces de travail, notamment des composés du nickel et du cuivre et le chrome VI, est à l'origine de certaines maladies reconnues comme professionnelles (Cf. *Tableau 2*).

Discussion et conclusions

Les données de la base Colchic montrent que les niveaux d'exposition professionnelle des travailleurs à des substances chimiques dans les entreprises du travail du cuir sont majoritairement inférieurs aux VLEP-8h. Cependant, la coexistence de substances ayant des effets similaires sur la santé dans ces environnements de travail peut induire un risque avéré pour la santé des travailleurs. Des substances classées CMR sont également présentes dans les atmosphères de travail, leurs concentrations doivent être maintenues au niveau le plus bas possible.

Pour limiter l'exposition aux substances chimiques dans la filière du travail du cuir, les employeurs doivent, dans un premier temps, envisager la substitution des produits dangereux pour la santé (notamment les CMR) par des substances moins dangereuses. Des recherches sur de nouveaux produits de substitution permettent de proposer des

solutions innovantes limitant les expositions aux substances dangereuses [14, 15].

Lorsque la substitution n'est pas possible, il faut travailler en système clos ou, si ce n'est pas faisable, équiper chaque poste de travail de dispositifs de protection collective (capotage des installations, systèmes d'aspiration des vapeurs de solvants ou des poussières) et entretenir ces installations pour en garantir l'efficacité. Il faut également limiter le nombre de travailleurs exposés. En tout dernier lieu, des appareils de protection respiratoire (APR) doivent être portés par les travailleurs, qui doivent être formés à leur utilisation ; une procédure de gestion de ces APR doit être rédigée et appliquée. Par ailleurs, la présence de substances CMR sur les surfaces de travail ainsi que sur la peau des travailleurs a été mise en évidence. Le nettoyage régulier des surfaces et une hygiène rigoureuse (notamment le lavage des mains) doivent permettre de réduire les expositions cutanées observées dans la filière.

Les expositions aux agents biologiques potentiellement présents dans les atmosphères de travail de la filière peuvent être limitées en contrôlant l'humidité et la température des ateliers. Les capteurs mis en place pour contrôler les niveaux

d'exposition aux poussières peuvent également réduire les concentrations en agents biologiques.

L'environnement de travail est caractérisé par un niveau sonore élevé en raison de la présence de machines dans les ateliers. L'exposition au bruit associée à celle de solvants aromatiques, notamment ceux entrant dans la composition des colles, peut contribuer à des cas de surdité. Il est donc important d'une part de réduire l'exposition aux substances chimiques, selon les préconisations citées précédemment, et d'autre part de réduire l'exposition au bruit en travaillant sur l'acoustique des ateliers, sur l'émission sonore des équipements de travaux et en dernier recours en proposant aux travailleurs des protections auditives adaptées [16].

Le travail dans les tanneries et les mégisseries est un travail physique, demandant de manipuler les peaux humides, et la fabrication d'objets en cuirs est souvent effectuée au moyen de gestes répétitifs à l'origine de troubles musculosquelettiques (TMS), qui représentent 90 % des MP reconnues entre 2013 et 2023 [11]. Il est nécessaire d'adapter les postes de travail à l'homme en mettant en place une démarche de prévention des TMS [17]. ●

BIBLIOGRAPHIE

- [1] ALLIANCE FRANCE CUIR – *Le commerce extérieur de la filière française du cuir 2024*. 2025.
- [2] ALLIANCE FRANCE CUIR – *Le cuir. Une histoire de savoir-faire*. Accessible sur : <https://alliancefrancecuir.org/>
- [3] UNION DE RECOUVREMENT DES COTISATIONS DE SÉCURITÉ SOCIALE ET D'ALLOCATIONS FAMILIALES (URSSAF) – *Effectifs salariés et nombre d'établissements dans le secteur privé (régime général)*. 2024. Accessible sur : <https://open.urssaf.fr/pages/dataviz-etablissements-et-effectifs-salaries/>.
- [4] CIRC/IARC – *Arsenic, métaux, fibres, and dusts*. Circ/Iarc, coll. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, Volume 100C, 2012.
- [5] STROSZEJN-MROWCA G. ET AL. – Exposure to dust and its particle size distribution in shoe manufacture and repair workplaces measures with grimm laser dust monitor. *International journal of medicine and environmental health*, 2003, 16 (4), pp. 321-328.
- [6] BONNETERRE V. ET AL. – Sino-nasal cancer and exposure to leather dust. *Occupational Medicine*, 2007, 57, pp. 438-443.
- [7] ASSURANCE MALADIE / INRS – *Fiche d'aide au repérage n° 17 – Tanneries et mégisseries*. 2013. Accessible sur : www.inrs.fr
- [8] RÈGLEMENT (UE) 301/2014 DE LA COMMISSION DU 25 MARS 2014 modifiant l'annexe XVII du règlement (CE) 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (Reach), en ce qui concerne les composés du chrome (VI). Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=fr>
- [9] ÖZDILLI K. ET AL. – Biological hazards in tannery workers. *Indoor and built environment*, 2007, 16 (4), pp. 349-357.
- [10] RÈGLEMENT (CE) 1069/2009 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL DU 21 OCTOBRE 2009 établissant des règles sanitaires applicables aux sous-produits animaux et produits dérivés non destinés à la consommation humaine et abrogeant le règlement (CE) 1774/2002 (règlement relatif aux sous-produits animaux). Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/homepage.html?locale=fr>
- [11] ASSURANCE MALADIE – *Indicateurs sur les maladies professionnelles selon le secteur d'activité (CTN) et la nomenclature fine d'activité (code NAF) – 2013 à 2023*. Accessible sur : www.assurance-maladie.ameli.fr/etudes-et-donnees/indicateurs-mp-secteur-activite-ctn-code-naf
- [12] INRS – *Base de données MétroPol*. Accessible sur : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html
- [13] INRS – *Outil MiXie France*. Accessible sur : www.inrs.fr/publications/outils/mixie.html
- [14] QIAO P. ET AL. – Ecofriendly and sustainable metal-free leather tanning using novel poly(carbamoyl sulfonate) technology. *Collagen and leather*, 2025, 7 (9).
- [15] THOMASSET A. ET AL. – Assessing the durability of diverse leather tanning techniques for the manufacturing of leather goods through artificial aging processes. *Cleaner engineering and technology*, 2024, 22.
- [16] INRS – *Agir pour réduire le bruit dans les ateliers et les locaux industriels. Risques liés au bruit*. ED 6471, 2022. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206471
- [17] INRS – *Démarche de prévention des troubles musculosquelettiques (TMS)*. ED 6518, 2025. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206518



Agenda & services

Formation

Une autoformation pour s'initier à la prévention
des risques professionnels

P. 111

Agenda/Formations

P. 114

Agenda/Événements

P. 116

Sélection bibliographique

À lire, à voir

P. 118

Formation

UNE AUTOFORMATION POUR S'INITIER À LA PRÉVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS

L'INRS a conçu un modul *e-learning* autour des fondamentaux de la prévention des risques professionnels pour renforcer les compétences des acteurs de la prévention en entreprise. En accès libre et interactif, il constitue une introduction essentielle pour harmoniser les connaissances et encourager une culture commune de la prévention en entreprise.

SELF-TRAINING AS AN INTRODUCTION TO THE PREVENTION OF OCCUPATIONAL RISKS – INRS has developed an e-learning module covering the basics of occupational risk prevention to strengthen the skills of those involved in prevention in companies. Freely-accessible and interactive, this module represents an essential introduction, ensuring harmonised knowledge and encouraging the adoption of a company-wide culture of prevention.

NICOLAS
FAUVEL,
AURÉLIE
PÉRISSE
INRS,
département
Formation

La prévention des risques professionnels constitue un enjeu majeur en santé et sécurité au travail pour les entreprises. Un module *e-learning* intitulé « Notions essentielles pour la prévention des risques professionnels » (Cf. Figure 1) a été développé à destination des personnels des services de prévention et de santé au travail (SPST), des préventeurs d'entreprises, et plus largement de tous les acteurs de la prévention. D'une durée d'environ une heure, ce module propose plusieurs séquences pédagogiques structurées autour des grands principes de la prévention. En contextualisant les concepts de base et en identifiant les principaux acteurs et enjeux, la formation favorise la construction d'un vocabulaire commun autour de la prévention.

Ce module est la porte d'entrée d'un parcours plus large qui sera constitué, à terme, de plusieurs autoformations sur des risques spécifiques.

Cette autoformation vise à apporter un socle de connaissances homogène à l'ensemble des acteurs de la santé et sécurité au travail en entreprise, qu'ils soient nouveaux dans la fonction ou en recherche d'une actualisation de leurs acquis.

Le module repose sur une démarche pédagogique active. Le participant est guidé tout au long du parcours par des animations, des mises en situation, des schémas interactifs, ainsi que des activités de glisser-déposer ou de quiz. Ce format

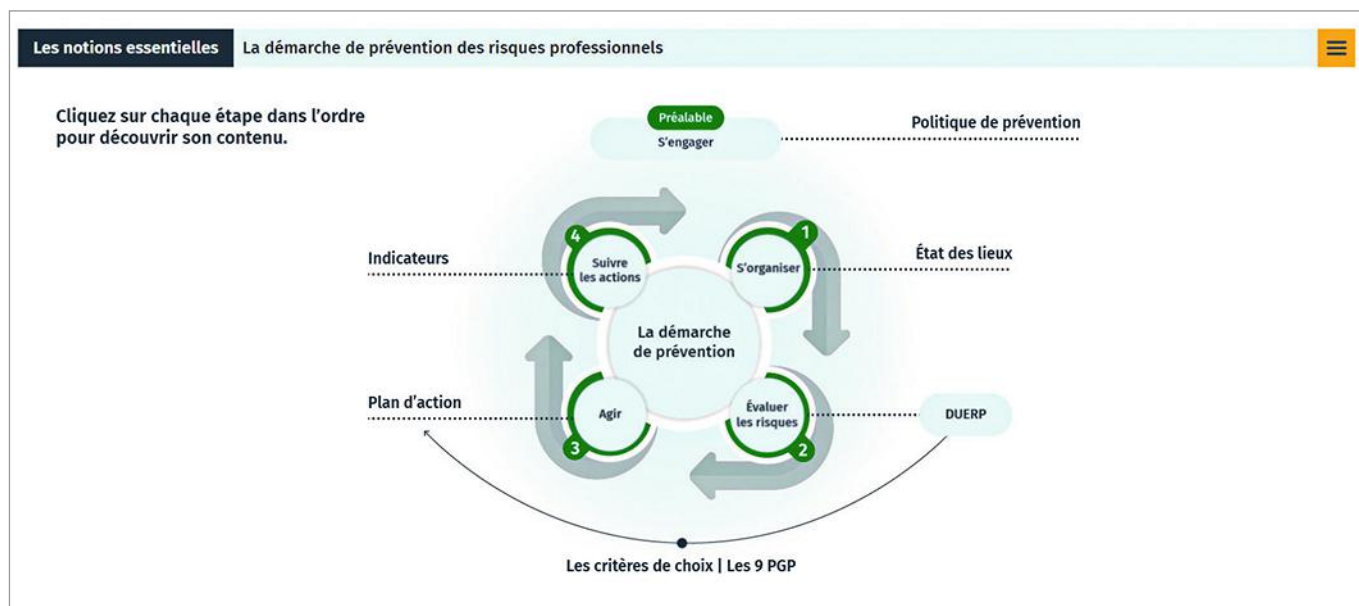
dynamique permet de maintenir l'engagement du participant tout en assurant la compréhension des notions fondamentales.

Le module se déploie selon une progressivité structurée en six parties :

1. Les concepts de base : danger, exposition, risque, accident du travail, atteinte à la santé ;
2. Les acteurs de la prévention : internes et externes à l'entreprise ;
3. Les enjeux de la prévention : humains, sociaux, juridiques et financiers ;
4. La démarche de prévention : engagement des acteurs, organisation de la prévention, évaluation, plan d'action, suivi ;
5. Une introduction aux risques professionnels : exploration de plusieurs environnements professionnels au cours de laquelle le participant est appelé à identifier les risques et proposer des actions de prévention ;
6. Une évaluation des acquis avec un quiz final.

En plaçant le participant dans un rôle actif, le module propose une initiation concrète à la prévention des risques professionnels. Les exemples proposés et les illustrations s'appuient sur des situations de travail issues de secteurs d'activité variés : atelier de menuiserie, activité de bureau, imprimerie, industrie et logistique. Cette diversité permet de faire le lien avec la réalité des situations





↑ FIGURE 1 Extrait du module e-learning « Notions essentielles pour la prévention des risques professionnels ».

**ENCADRÉ
PAROLES D'EXPERT**

Questions à Anne-Sophie Valladeau, expert d'assistance conseil à l'INRS

Pourquoi la prévention en entreprise est-elle un enjeu essentiel, et en quoi ce module contribue-t-il à aider les acteurs de la prévention ?

Agir en prévention, c'est assurer la sécurité des travailleurs, protéger leur santé physique et mentale et contribuer à l'amélioration des conditions de travail et à la qualité de vie au travail. Préserver la santé des travailleurs doit être un enjeu pour chaque entreprise. Cet outil permet d'aider à la compréhension de la prévention, de ses enjeux, de sa mise en place et de son suivi, et ainsi de mobiliser les acteurs de la prévention autour d'une même démarche et d'un langage commun.

L'analyse de l'accident du travail est également abordée. Est-ce un événement important pour la prévention ?

Analyser les accidents du travail (AT) revient à s'interroger sur ce qui a dysfonctionné. Il s'agit d'en identifier les causes, afin de comprendre les événements ayant conduit à sa survenue pour agir afin qu'un tel AT ne se reproduise pas. Ainsi, il s'agit de faire le lien avec le DUERP et le plan d'action de prévention pour qu'ils soient mis à jour en fonction des éléments identifiés (il faut se poser la question : l'accident est-il lié à un nouveau risque ou à un risque non maîtrisé ?) et des actions correctives choisies (nouvelle action correctrice qui devient pérenne, ou action déjà existante mais défaillante ?). Ainsi, la prévention s'intègre dans une démarche d'amélioration continue, pour préserver la santé des travailleurs.

Cet outil d'autoformation est-il utile pour mettre en place une démarche ?

L'outil permet d'expliquer les étapes d'une démarche de prévention en entreprise et de guider le préventeur dans sa mise en place. Il aura ainsi accès à des clés pour déployer la prévention et surtout la faire vivre. Le préventeur peut également s'appuyer sur d'autres outils comme les OiRA¹ pour évaluer les risques, l'outil « Agir suite à un AT » pour analyser les accidents...

de travail, tout en sensibilisant aux risques spécifiques (risques électriques, risques mécaniques, risque chimique, bruit, risques psychosociaux...). L'outil favorise également l'autonomie des apprenants. En effet, les séquences sont accessibles séparément *via* un menu qui leur permet de les sélectionner selon leurs besoins.

Inscrit dans une démarche pédagogique globale destinée à renforcer les connaissances des acteurs de la prévention, ce module interactif prépare notamment les apprenants à identifier chaque étape d'une démarche de prévention, à comprendre la construction et l'utilisation d'outils comme le document unique d'évaluation des risques professionnels (DUERP), à comprendre la méthode d'élaboration du plan d'action de prévention, ou encore à prendre la mesure de la nécessité et de l'apport des analyses des accidents du travail. Cette formation constitue ainsi une première étape vers une montée en compétences progressive, en cohérence avec les missions des préventeurs et des différents acteurs de l'entreprise. En participant à l'appropriation des fondamentaux, ce module favorise une diffusion d'un socle de culture de prévention au sein des entreprises. ●

1. OiRA (Online interactive Risk Assessment). Accessible sur : <https://www.inrs.fr/metiers/oira-outil-tpc.html> ou <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil64>

POUR EN SAVOIR PLUS

Consulter le portail e-formation de l'INRS :

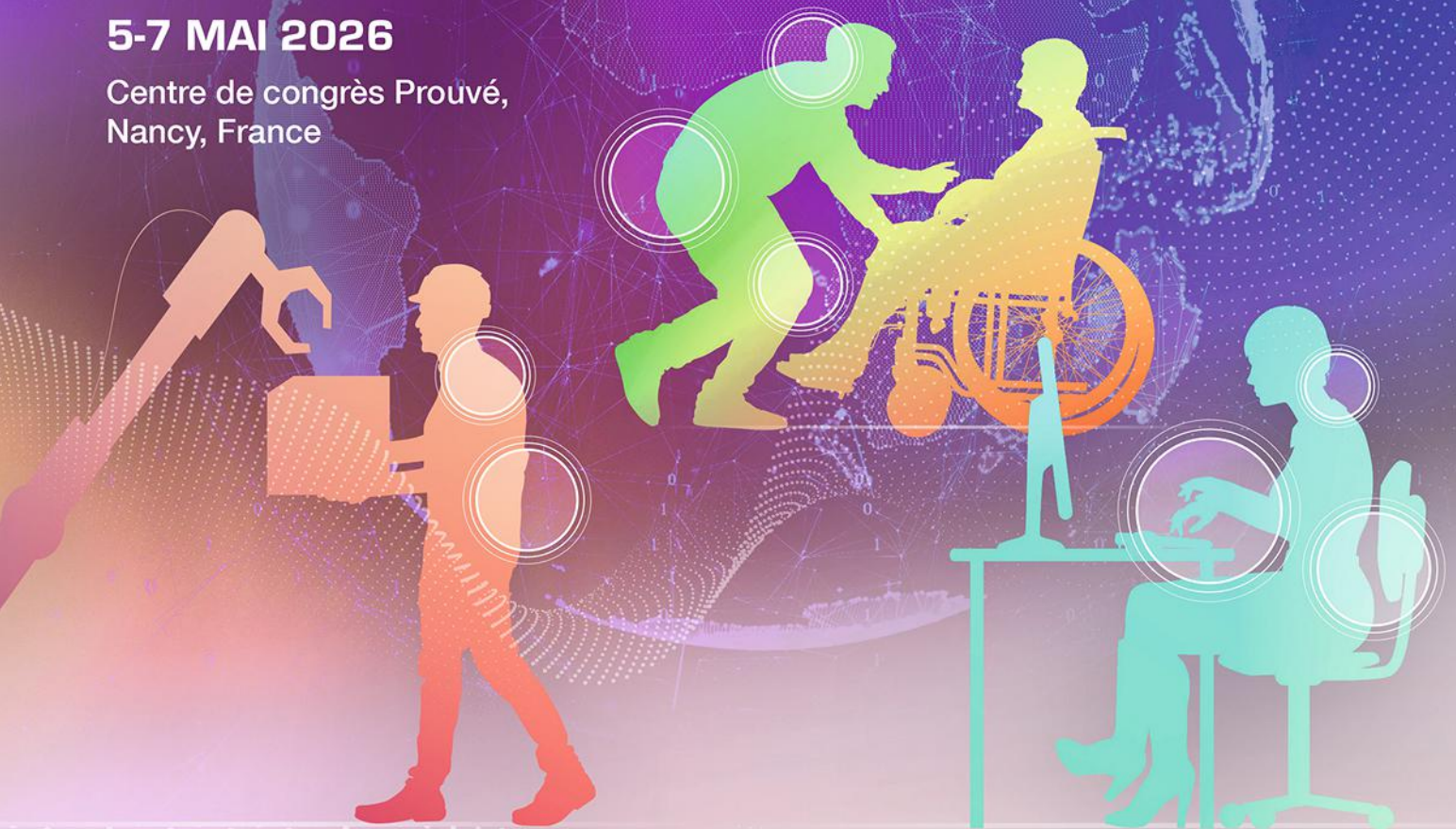
- L'autoformation est accessible librement sur le portail www.eformation-inrs.fr. Pour y accéder, l'apprenant doit procéder à une inscription individuelle. L'accès est fourni pendant une durée de 30 jours et peut être renouvelé avec une nouvelle inscription.

- Si ce module est suivi par un salarié dans le cadre d'un parcours de formation qui s'inscrit dans le plan de développement de compétences de son entreprise, la formation doit être suivie de préférence sur le temps de travail du salarié. À ce titre, il est conseillé au salarié de se rapprocher de son employeur pour organiser au mieux le temps de consultation de ce module.

PRÉVENTION DURABLE DES TMS : NOUVEAUX DÉFIS POUR LA RECHERCHE ET LA PRATIQUE

5-7 MAI 2026

Centre de congrès Prouvé,
Nancy, France



Les troubles musculosquelettiques (TMS) d'origine professionnelle sont un problème majeur de santé au travail. Depuis plusieurs décennies, ils constituent l'une des premières causes de maladies professionnelles et d'accidents du travail dans la plupart des pays, ainsi qu'un facteur de désinsertion professionnelle.

Le télétravail, la sédentarité, la plateformesation, les nouvelles technologies, les nouvelles formes d'emploi, de travail et d'organisation, l'évolution des interactions au sein des collectifs et les

nouvelles aspirations des travailleurs ne cessent de reconfigurer la dynamique d'apparition des TMS.

L'objectif de ce congrès est de mettre en évidence la richesse et la diversité des connaissances et des approches pluridisciplinaires relatives à la prévention des TMS.

Ce congrès est ouvert à tous les professionnels impliqués dans la prévention des TMS, à savoir les chercheurs et acteurs de terrain, les législateurs et normalisateurs, et enfin les décideurs.

Information & inscription : tms2026.inrs.fr
Contact : tms2026.org@inrs.fr

AGENDA / FORMATIONS

Évaluer et prévenir les risques liés aux ambiances thermiques (JA0501)

Une session du 02/02 au 06/02/2026 à l'INRS Vandœuvre-lès-Nancy.

→ PUBLIC

Intervenants en prévention des risques professionnels, acteurs des services de prévention et de santé au travail (médecins, infirmiers et intervenants en prévention des risques professionnels) et fonctionnels « sécurité et santé au travail » en entreprise, agents des services prévention des Carsat, Cramif et CGSS.

Prérequis

Aucun.

→ OBJECTIFS

Accompagner les entreprises dans leur démarche de prévention des risques liés aux ambiances thermiques.

Objectifs pédagogiques :

- Évaluer les risques liés aux ambiances thermiques.
- Identifier les techniques de mesurage des différents paramètres et d'analyse des situations de travail exposantes.
- Identifier des mesures de prévention adaptées.

→ CONTENU

- Mécanismes de transfert et effets sur l'homme et sa santé.
- Métrologie pour caractériser les ambiances thermiques.
- Analyse des situations de travail exposantes.
- Mesures de prévention et équipements de protection disponibles.
- Démarches d'intervention en entreprise.

→ INFORMATIONS PRATIQUES

Durée : 4 jours

Responsable pédagogique : Danièle BLASIARD

Renseignements, inscriptions :

INRS, Département Formation,
65, boulevard Richard-Lenoir
75011 Paris

E-mail : secretariat.forp@inrs.fr

Coût : 1325 € nets (exonération de TVA).

Évaluer les risques liés aux agents chimiques (C@1502)

Deux sessions : du 09/03 au 17/04/2026 ou du 07/09 au 16/10/2026 en distanciel.

→ PUBLIC

Ingénieurs, techniciens, fonctionnels « sécurité et santé au travail », autres préventeurs d'entreprise.

Prérequis

Pour s'inscrire à cette formation en ligne, il est nécessaire :

- d'avoir suivi et validé l'autoformation en ligne C@1501 « Acquérir les notions de base sur les produits chimiques » ;
- de produire un justificatif attestant de la capacité à utiliser le logiciel Seirich.

Pour s'inscrire à cette formation en ligne et fournir les prérequis, consulter la fiche C@1502 sur le site internet de l'INRS.

Pour suivre cette formation, le stagiaire doit disposer d'un ordinateur équipé d'une webcam/micro, d'un accès à Internet et d'une imprimante.

→ OBJECTIFS

Conduire une démarche d'évaluation des risques chimiques en entreprise.

Objectifs pédagogiques :

- Détecter les risques liés aux agents chimiques.
- Évaluer et hiérarchiser les risques liés aux agents chimiques.
- Intégrer la surveillance d'atmosphère dans la démarche d'évaluation du risque chimique.

→ CONTENU

- Enjeux de l'évaluation des risques chimiques.
- Analyse d'une activité de travail au regard du risque chimique.
- Évaluation du risque chimique : cotation des dangers, hiérarchisation et évaluation des risques chimiques, notamment avec le logiciel Seirich.
- Surveillance des atmosphères de travail.

→ INFORMATIONS PRATIQUES

Durée : 28 heures

Responsable pédagogique : Gaëlle AVON

Renseignements, inscriptions :

INRS, Département Formation,
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris
E-mail : secretariat.forp@inrs.fr

Coût : 290 € nets (exonération de TVA).

Évaluer et prévenir les risques liés aux agents chimiques (C@1503)

Deux sessions : du 09/03 au 21/05/2026
ou du 07/09 au 19/11/2026 en mixte distanciel et présentiel à Paris.

→ PUBLIC

Ingénieurs, techniciens, fonctionnels « sécurité et santé au travail », autres préventeurs d'entreprise.

Prérequis

Le stagiaire doit disposer d'un ordinateur équipé d'une webcam/micro, d'un accès à Internet et des droits pour installer le logiciel Seirich pour la partie de la formation à distance.

→ OBJECTIFS

Conduire une démarche d'évaluation des risques chimiques en entreprise.

Objectifs pédagogiques :

- Identifier le cadre réglementaire de la prévention des risques chimiques.
- Lire et utiliser les sources d'informations sur les produits chimiques.
- Détecter, évaluer et hiérarchiser les risques liés aux agents chimiques.
- Construire un plan d'actions de prévention du risque chimique.

→ CONTENU

- Enjeux de la démarche de prévention des risques chimiques.
- Propriétés physicochimiques et toxicologiques des produits chimiques.
- Étiquette et fiche de données de sécurité (FDS).
- Réglementation en matière de risques chimiques.
- Analyse d'une activité de travail et évaluation du risque chimique.
- Surveillance des atmosphères de travail.
- Choix des mesures préventives et élaboration d'un plan d'action.

→ INFORMATIONS PRATIQUES

Durée : 46 heures

Responsables pédagogiques : Gaëlle AVON / Madeleine RENAUD

Renseignements, inscriptions :

INRS, Département Formation,
65, boulevard Richard-Lenoir 75011 Paris
E-mail : secretariat.forp@inrs.fr
Coût : 953 € nets (exonération de TVA).

POUR EN SAVOIR +

• Retrouvez toute l'offre de formation de l'INRS sur : www.inrs.fr/services/formation.html

Analyser les accidents et incidents par la méthode de l'arbre des causes (JA0130)

Deux sessions : du 20/04 au 24/04/2026
ou du 30/11 au 04/12/2026
à Vandœuvre-lès-Nancy.

→ PUBLIC

Préventeurs d'entreprise (ingénieurs, techniciens, animateurs), membres d'une instance représentative du personnel (commission santé sécurité et conditions de travail...), médecins du travail, infirmiers d'entreprise et de services de prévention et de santé au travail, agents des services prévention des Carsat, Cramif et CGSS.

→ OBJECTIFS

Maîtriser la pratique de la méthode INRS d'analyse d'accident, connue sous l'appellation « méthode de l'arbre des causes ».

Objectifs pédagogiques :

- Décrire la pluricausalité de l'accident.
- Réaliser une analyse par la méthode de l'arbre des causes.
- Informer sur la mise en place de la démarche en entreprise.

→ CONTENU

- Réflexion sur la pratique actuelle des stagiaires en matière d'analyse des accidents et sur l'exploitation faite des résultats de ces analyses dans le cadre de la démarche préventive développée dans leur entreprise.
- Entraînement à l'application de la méthode et des principes d'exploitation d'une analyse d'accident :
 - recueil des informations ;
 - élaboration de l'arbre des causes ;
 - formulation et choix des mesures à prendre ;
 - mise en évidence et formulation des facteurs potentiels d'accidents, en vue de la détection précoce des risques.
- Définir les conditions de réussite de la méthode.
- Réflexion sur les possibilités offertes par cette méthode d'analyse pour :
 - une application de la méthode aux accidents liés aux risques psychosociaux ;
 - une application de la méthode aux événements non souhaités, incidents, presque-accidents.

→ INFORMATIONS PRATIQUES

Durée : 4 jours

Responsable pédagogique : Danièle BLASIARD

Renseignements, inscriptions :

INRS, Département Formation,
Rue du Morvan, CS 60027
54519 Vandœuvre-lès-Nancy
E-mail : secretariat.forl@inrs.fr
Coût : 1 325 € nets (exonération de TVA).

AGENDA/ ÉVÉNEMENTS



DU 18 AU 20 MARS 2026, PARIS

Salon Secours Expo

Depuis 2015, le salon Secours Expo rassemble les spécialistes du secours, des soins d'urgence et de la prévention. L'édition 2026 de la manifestation se tiendra à Paris, au parc des expositions de la porte de Versailles. Le salon sera rythmé par des démonstrations techniques et des ateliers thématiques. Les conférences et les tables rondes permettront de partager les connaissances, les savoir-faire et les expériences de nombreux acteurs (dont l'INRS).

Renseignements - Inscriptions :

[+ https://www.secours-expo.com/fr](https://www.secours-expo.com/fr)



31 MARS 2026, JOURNÉE TECHNIQUE EN LIGNE

Éclairage des lieux de travail : santé et sécurité des salariés

L'éclairage au travail est un élément essentiel pour la santé et la sécurité des salariés. Il concerne les espaces de travail intérieurs et extérieurs et doit réduire les risques de chute ou de collision. Un éclairage adapté en quantité et en qualité ne se limite pas à assurer une bonne visibilité, il doit également prendre en compte les impacts de la lumière sur la santé des

salariés. Ces risques peuvent être maîtrisés par des installations d'éclairage artificiel et des apports en lumière naturelle correctement dimensionnés.

L'INRS organise le 31 mars prochain une journée technique (en ligne uniquement), consacrée à ce thème. Elle permettra d'évaluer les risques liés à un éclairage inadapté et de présenter les solutions de prévention, tout en dressant l'état des lieux des connaissances sur la réglementation et la normalisation. Cette journée s'adresse aux employeurs et aux professionnels amenés à concevoir ou à aménager des lieux de travail, aux médecins du travail et aux préventeurs.

Renseignements - Inscriptions :

[+ https://eclairage2026.inrs.fr](https://eclairage2026.inrs.fr)



DU 5 AU 7 MAI 2026

Congrès international - Prévention durable des TMS : nouveaux défis pour la recherche et la pratique

Les troubles musculosquelettiques (TMS) d'origine professionnelle sont un problème majeur de santé au travail. Depuis plusieurs décennies, ils constituent l'une des premières causes de maladies professionnelles et d'accidents du travail dans la plupart des pays, ainsi qu'un facteur de désinsertion professionnelle. Les évolutions telles que le télétravail, la sédentarité, la plateformesation, les nouvelles technologies, les nouvelles formes d'emploi, de travail et d'organisation, l'évolution des interactions au sein des collectifs, la diversité des

populations au travail et les nouvelles aspirations des travailleurs ne cessent de reconfigurer la dynamique d'apparition des TMS.

Dans le même temps, ces mutations ont une influence sur les pratiques des chercheurs et des professionnels de terrain. Les métiers de la prévention et les profils d'acteurs évoluent. Ces changements, associés à l'utilisation des technologies émergentes, accroissent les capacités de collecte et d'analyse de l'activité humaine, tout en redéfinissant les modes de collaboration et les méthodes d'intervention. L'objectif de ce congrès est de mettre en évidence la richesse et la diversité des connaissances et des approches pluridisciplinaires relatives à la prévention des TMS. Il est ouvert à tous les professionnels impliqués dans la prévention des TMS, chercheurs, experts, praticiens et acteurs en entreprise.

Les communications émaneront de disciplines variées : ergonomie, épidémiologie, médecine du travail, physiologie, psychologie, biomécanique, etc.

Renseignements - Inscriptions :

[+ https://tms2026.inrs.fr](https://tms2026.inrs.fr)



27 ET 28 MAI, HELSINKI (FINLANDE)

9^e conférence Euroshnet

Le monde du travail se transforme à un rythme sans précédent. Le changement climatique pose d'importants défis pour la sécurité au travail, tandis que la transformation numérique crée de nouvelles opportunités pour des solutions innovantes. Ces évolutions exigent de repenser l'approche de la santé et de la sécurité au travail. Lors de la 9^e conférence Euroshnet, des experts venus de toute l'Europe se réuniront pour explorer comment la normalisation, les essais et la certification peuvent évoluer afin de répondre à ces nouvelles réalités. Des produits durables et de nouvelles exigences sont nécessaires pour atténuer les effets du changement climatique et mettre en œuvre une économie circulaire,

tout en assurant la protection des travailleurs.

La transformation numérique sera au cœur des débats, avec des discussions sur les applications de l'intelligence artificielle en matière de sécurité au travail, les équipements de protection individuelle intelligents et l'utilisation sécurisée des véhicules autonomes. La manifestation sera également l'occasion d'aborder les normes de demain, les approches de test et de certification de nouvelle génération, les cadres réglementaires pour les technologies émergentes, ainsi que les meilleures pratiques à travers l'Europe.

Renseignements - inscriptions :

[+ https://www.euroshnet.eu/conference-2026](https://www.euroshnet.eu/conference-2026)



© Fabrice Dimier pour l'INRS / 2022

POUR EN SAVOIR +

- L'agenda complet des rencontres recensées par l'INRS est accessible sur : www.inrs.fr/footer/agenda.html

Sélection bibliographique

À LIRE, À VOIR

Les publications de l'INRS sont consultables et téléchargeables sur : www.inrs.fr/Rubriques « Publications et outils/Brochures et dépliants », « Affiches et autocollants » (papier/Web) ou « Vidéos ».



Conception des laboratoires de recherche en biologie

INRS, 2025, brochure ED 6552 (accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206552> ; *nouveauté*).

Les laboratoires de recherche en biologie doivent être conçus de façon à répondre aux exigences réglementaires destinées à prévenir les risques professionnels et limiter la dispersion des agents biologiques dans l'environnement. Ce document donne des solutions techniques permettant de répondre à ces exigences, en considérant les risques liés aux agents biologiques mais également aux produits chimiques et aux rayonnements. Il permet ainsi de concevoir et d'aménager les salles techniques de différents niveaux de confinement, dans différentes spécialités (microbiologie, biologie moléculaire, biochimie...), ainsi que les salles d'activités supports (laverie, stockage...).



Laboratoires de prélèvements et d'analyses d'amiante. Évaluation et prévention des risques chimiques

INRS, 2025, brochure ED 6549 (accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206549> ; *nouveauté*).

Les activités d'évaluation de la concentration en fibres d'amiante dans les prélèvements d'air et d'identification de l'amiante dans les matériaux sont réalisées par des laboratoires accrédités. Elles relèvent des interventions exposant à l'amiante dites de « sous-section 4 ».

Cette brochure décrit les principes de conception de ces laboratoires. Elle donne aussi des conseils de prévention et des bonnes pratiques en vue de réduire les risques d'exposition du personnel à l'amiante et aux autres produits chimiques lors des prélèvements d'air, de la préparation et de l'analyse des échantillons. Elle s'adresse aux responsables et au personnel de ces laboratoires ainsi qu'aux préventeurs.



Installations photovoltaïques

INRS, 2025, dossier Web (accessible sur : <https://www.inrs.fr/metiers/Energie/Installations-photovoltaïques.html> ; *nouveauté*).

La pose et la maintenance d'installations photovoltaïques sont des travaux réalisés en extérieur, très souvent en hauteur sur des équipements générateurs d'électricité. En conséquence, les salariés les réalisant sont exposés à des risques professionnels, comme les chutes de hauteur, le risque électrique ou encore ceux liés aux conditions météorologiques.



Contrôles périodiques des équipements : quelles obligations pour l'employeur ?

INRS, 2025, dossier Web (accessible sur :

<https://www.inrs.fr/publications/juridique/focus-juridiques/focus-juridique-controle-periodiques-equipements-obligations-employeur.html> ; *nouveauté*).

L'employeur est tenu de mettre en place des contrôles périodiques permettant de déceler en temps utile toute détérioration, toute usure, ou tout mauvais fonctionnement d'un équipement de travail qui pourrait être à l'origine d'un risque d'accident. Quels sont les équipements concernés ? Quand et par qui les contrôles doivent-ils être effectués ? Comment les vérifications techniques sont-elles formalisées ? Ce nouveau focus juridique propose un point complet sur le sujet.



Outil d'évaluation des risques professionnels – Restauration collective

INRS, 2025, outil Web n° 155 (accessible sur :

<https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil155> ; *nouveauté*).

Élaboré par l'INRS et l'Assurance maladie – Risques professionnels, cet outil permet aux entreprises du secteur de la restauration collective de réaliser leur évaluation des risques et d'éditer un plan d'action. Pour chaque risque identifié, une liste de mesures de prévention est proposée. Il est également possible d'ajouter des risques ou des mesures en fonction de la situation de chaque entreprise.



TutoPrév' Interactif – Métiers de la propreté

INRS, 2025, outil Web n° 154 (accessible sur :

<https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=outil154> ; *nouveauté*).

TutoPrév' Interactif est un outil complémentaire aux TutoPrév' Pédagogie et Accueil. Il permet de vérifier, au travers de quiz, les connaissances en matière de santé et de sécurité au travail ; et de proposer, en cas de lacunes, des actions d'information, de formation ou d'accompagnement.

Les situations de travail illustrées portent sur les métiers de la propreté dans les bureaux, en copropriété résidentielle et dans l'industrie agroalimentaire. Il est complété par TutoPrév' Accueil – Métiers de la propreté.



Batteries lithium-ion des équipements sur les lieux de travail. Prévention du risque incendie

INRS, 2025, fiche ED 160 (accessible sur :

<https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%20160> ; *nouveauté*).

Les batteries lithium-ion sont aujourd'hui présentes dans de très nombreux équipements. Ce document traite du risque incendie lié à la présence des batteries d'énergie intermédiaire (100 à 1 000 Wh) sur les lieux de travail, des mesures de prévention et des moyens de lutte contre un début d'incendie.



Le radon en milieu de travail

INRS, 2025, fiche ED 4322 (accessible sur :

<https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%204322> ; *nouveauté*).

Cette fiche s'adresse à tous les employeurs. Elle a pour objectif de les guider dans leur démarche d'évaluation du risque radon, qui est un enjeu majeur en matière de santé au travail.

STOP !

JE M'ARRÊTE
POUR REGARDER
MON ÉCRAN

*Les
chutes
c'est
grave!*



Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles - 65 bd Richard-Lenoir 75011 Paris - www.inrs.fr - Conception graphique : Éva Minem - © INRS 2022 - AD 880

Découvrez nos supports sur les risques
de chutes de plain-pied.

Pour en savoir plus :
www.inrs.fr/chutePP





HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL (HST)

publication éditée par
l'INRS, Institut national de
recherche et de sécurité pour
la prévention des accidents
du travail et des maladies
professionnelles

65, boulevard Richard-Lenoir
75011 Paris – France
Tél.: 01 40 44 30 00
Dépôt légal :
4^e trimestre 2025
n° 2412.0128
ISSN 0007-9952
[www.inrs.fr/publications/
hst/dans-ce-numero.html](http://www.inrs.fr/publications/hst/dans-ce-numero.html)

INRS service abonnements

Service Diffusion,
reprographie
et logistique (DRL)
Hygiène & sécurité du travail
Rue du Morvan, CS 60027
Tél.: 03 83 50 20 08 /
03 83 50 98 61
abo.revues@inrs.fr

Photogravure

Keygraphic

Impression

Corlet Imprimeur
14110 Condé-sur-Noireau
France

L'autorisation de reproduire
totalement ou partiellement
des articles parus dans
Hygiène et sécurité du travail
(HST) doit être sollicitée
à l'avance et par écrit.
Toute reproduction, quel
qu'en soit le support
(à l'exception des copies
à usage interne), qui n'aurait
pas été précédée d'un accord
préalable, serait effectuée
en violation des droits
de l'éditeur.



**Retrouvez
tous les articles sur
www.hst.fr**