Revue générale des routes et de l'aménagement
RGRA
www.rgra.fr

CONSTRUCTION ROUTIÈRE
PRENDRE EN COMPTE LE RISQUE CHIMIQUE

DOSSIER
RÉGLEMENTATION
ACTEURS
ÉTUDES ET RECHERCHE

RGRA N° 939 • SEPTEMBRE 2016

DOSSIER

CONSTRUCTION ROUTIÈRE : PRENDRE EN COMPTE LE RISQUE CHIMIQUE

P 2 Réglementation et définition

P 14 La prévention

P 30 Le cas du bitume

P 50 Recherches en laboratoire

Réglementation et définition

Réglementation européenne - Reach et CLP / 2
T. Coquin

Le risque chimique : point de vue / 12
H. Molleron

La prévention

Acteurs institutionnels / 14
P. Richard

Actions des entreprises de travaux publics / 20
J.-B. de Prémare

Collectivités territoriales : rôle des maîtres d'ouvrage / 24
M. Courbot

Le cas du bitume

Cas des fumées de bitume : contexte historique / 30
H. Molleron, V. Besse

Évaluation des risques : approche globale/spécifique / 39
C. Leroy, G. Balavoine

Exposition aux fumées de bitume : campagne nationale 2015 / 40
L. Boulangé, E. Lemonnier, F. Ollivier, L. Bobeau, J.-P. Baud

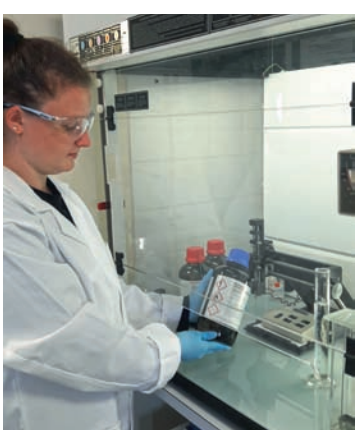
Cimarout : Centre d'informations sur les matériaux routiers / 47
C. Leroy

Recherches en laboratoire

Extraction de bitume – Impacts sanitaires des solvants et évaluation des risques / 50
L. Boulangé, L. Ziyani, A. Nicolaï, V. Mouillet

Perchloroéthylène : solvants de substitution / 58
V. Ferber, G. de Langie, F. Chaignon, V. Besse, L. Boulangé, D. Gay, C. Gueit, S. Henry

Évaluation du risque chimique et mesure de la performance / 64
L. Boulangé, E. Lemonnier



Évaluation des émissions de fumées sur les enrobés traités avec un liant bio-additivé / 68
L. Porot, V. Gaudefroy

INDUSTRIE ROUTIÈRE : UN RISQUE CHIMIQUE MIEUX COMPRIS

Jacques TAVERNIER
Président
de l'Union des
syndicats de
l'industrie routière
française
(USIRF)

Aborder la question du risque chimique, c'est aborder un sujet complexe, en constante évolution. L'impact des substances chimiques est étudié depuis de nombreuses années avec des outils globaux d'analyse. Aujourd'hui, des approches nouvelles permettent de comprendre l'effet des substances polluantes sur l'individu et l'environnement.

Face à ce danger, il est important de connaître le risque, de se protéger et de protéger les salariés. Cela passe bien sûr par la connaissance des produits utilisés, de leurs usages, de leurs impacts sur la santé et l'environnement. Les textes réglementaires relatifs au risque chimique sont nombreux et le règlement Reach (*Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals*) favorise leur harmonisation et leur évolution dans un sens beaucoup plus protecteur.

Depuis une vingtaine d'années, les entreprises routières, qui ont fait de la prévention santé-sécurité une priorité, sont passées du stade « applicateur de règlements » à un stade pro-actif pour mieux comprendre, mesurer les risques et faire évoluer la réglementation. Un des premiers cas d'étude a été celui des fluxants disponibles sur le marché. La deuxième grande étude a porté sur l'exposition aux fumées de bitume, sujet qui a mobilisé les entreprises pendant 15 années avec des mesures sur le terrain et en laboratoire, un partage des connaissances avec les organismes experts et la publication de recommandations. C'est un des thèmes forts rappelés dans ce numéro.

Ces démarches ont été entreprises dans un esprit d'ouverture et de transparence : prise en compte de chantiers répartis sur tout le territoire, mesures par les organismes spécialisés, publication des résultats. Une base de données accessible aux experts a été créée : Cimarout.

L'ensemble des études et travaux ont amélioré l'état général des connaissances sur les produits et levé des doutes sur les niveaux d'exposition réels des salariés. La vigilance doit rester de mise, mais les niveaux d'exposition réels sont connus, ce qui permet de bien calibrer les dispositifs de protection. D'autres sujets sont aujourd'hui à l'étude, en particulier les poussières : un nouveau guide de la profession a été publié en juillet 2016.

L'élimination des produits dangereux est en cours avec le développement de produits ou de procédés de substitution. Les dispositifs de protection évoluent, notamment dans le domaine du matériel. Tout cela est le résultat d'un important travail collectif qui doit être poursuivi dans le même esprit.

RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE

RÈGLEMENTS REACH ET CLP

Le 27 juin 1967, le Conseil de l'Union européenne publiait la directive substances dangereuses (DSD) relative à l'information sur les dangers des substances chimiques et leurs conditions de mise sur le marché, qui a été modifiée et adaptée au progrès technique entre 1967 et 1993 (directive 67/548/CEE, puis directive 93/567/CEE relative aux substances nouvelles). Enfin, la directive 1999/45/CE relative à la classification, l'étiquetage et l'emballage des préparations dangereuses a été publiée.

L'Union européenne (UE) disposait ainsi de son premier dispositif réglementaire pour assurer l'information sur les risques liés aux substances puis aux préparations dangereuses mises sur le marché.

Dans le même temps, des directives, transposées en droit français, relatives à la protection des travailleurs exposés aux agents chimiques sur les lieux de travail (directive 98/24/CE de 1998) et aux agents cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR) (directive 2004/37/CE) ont été mises en œuvre.

Constatant l'insuffisance du système règlementaire pour garantir la connaissance des produits, le Parlement et le Conseil de l'Union européenne adoptent, le 18 décembre 2006, le règlement Reach (*Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals*) et mettent en place l'Agence européenne des produits chimiques (ECHA : *European Chemicals Agency*) **(voir encadré 1)**.

Cet article s'intéresse plus particulièrement au règlement CE n° 1907/2006, dit Reach, en interaction avec le règlement CE n° 1272/2008, dit CLP (*Classification, Labelling, Packaging* – Classification, étiquetage et emballage), ainsi que le règlement CE n° 453/2010 relatif à l'élaboration des fiches de données de sécurité (FDS) mis en place à partir de 2012.

Cette agence, située à Helsinki, en Finlande, a pour mission de veiller à la cohérence de la gestion des substances dans toute l'Union européenne et de fournir des conseils techniques et scientifiques, des recommandations et des informations sur ces produits.
L'agence gère les procédures d'enregistrement, d'évaluation, d'autorisation et de restriction relatives aux substances chimiques.

En 2015, une nouvelle phase de déploiement des règlements a abrogé les anciennes réglementations. Aujourd'hui, la question essentielle concernant cet imposant dispositif destiné à toute l'industrie et à ses utilisateurs porte sur son application dans l'industrie routière et dans le domaine des travaux routiers.

RÉGLEMENTATION EUROPÉENNE ET PRODUITS CHIMIQUES

Les deux grands règlements européens, Reach, relatif à la mise sur le marché des produits chimiques, et CLP, relatif à la classification, l'étiquetage et l'emballage des produits chimiques, viennent compléter la réglementation française sur la prévention des risques professionnels inscrite dans le Code du travail.

Le cadre réglementaire applicable aux produits chimiques est décrit dans la **figure 1**. Au centre du cadre réglementaire, le règlement CE 453/2010 relatif à la rédaction des FDS vient articuler l'ensemble du dispositif. Il est intégré à l'annexe II du règlement Reach. Depuis le 1er juin 2015, ce règlement a été modifié, entraînant des changements dans le contenu des FDS.

Les objectifs de ce dispositif sont d'assurer :
- un niveau élevé de protection de la santé des salariés et de l'environnement ;
- la libre circulation des substances dans le marché européen ;
- la compétitivité et l'innovation des entreprises.

Ce dispositif est structuré autour de trois axes :
- collecte d'informations sur le risque des substances et évaluation (Reach) ;
- classification et étiquetage des substances et préparations dangereuses (CLP) ;
- dispositif de gestion des risques et restriction (Reach).

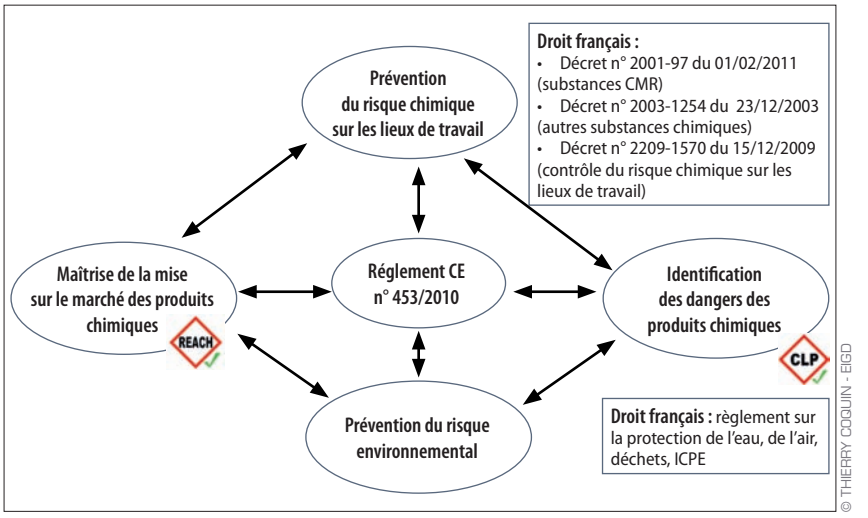
AUTEUR
Thierry Coquin
Chargé de prévention
Eiffage Infrastructures
Gestion et développement

Définition : les substances

Le règlement Reach concerne les « substances ». Selon l'article 3 de Reach et l'article 2 de CLP, une substance est « *un élément chimique et ses composés à l'état naturel ou obtenus par un processus de fabrication, y compris tout additif nécessaire pour en préserver la stabilité et toute impureté résultant du processus mis en œuvre, mais à l'exclusion de tout solvant qui peut être séparé sans affecter la stabilité de la substance ou modifier sa composition* ».

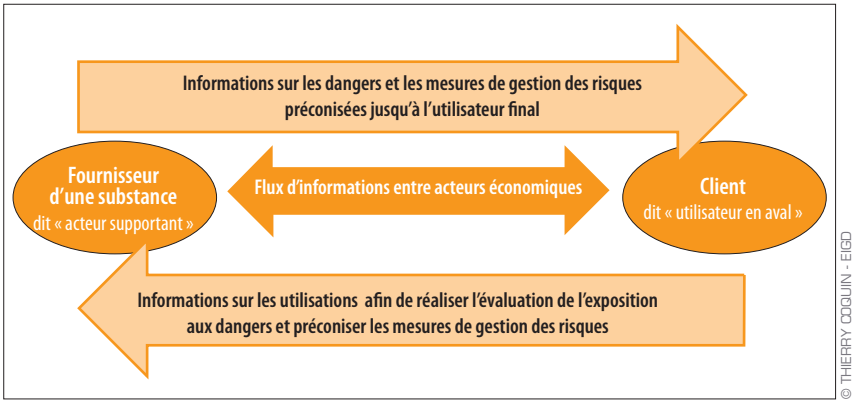
La définition ne se limite pas aux composés chimiques purs constitués d'une molécule unique. Le terme couvre tant les substances obtenues par un processus de fabrication que celles dans leur état naturel, qui peuvent toutes inclure plusieurs constituants dont il faut tenir compte autant que possible aux fins de Reach et CLP.

–Figure 1–
Cadre réglementaire français pour la mise sur le marché des produits chimiques.



© THIERRY COQUIN - EIGD

–Figure 2–
Relation client/fournisseur.



© THIERRY COQUIN - EIGD

LE RÈGLEMENT REACH

Reach s'intéresse uniquement aux substances. Il définit des obligations d'information dans le cadre de leur utilisation, en l'état ou mélangé à d'autres substances.

Il s'agit donc d'évaluer les risques sur l'ensemble du cycle de vie d'une substance et d'en informer les « utilisateurs en aval » (figure 2).

Cela entraîne :

- la formalisation des pratiques existantes ;
- une nouvelle relation client/fournisseur.

Il s'agit donc bien d'une chaîne d'informations et de sa traçabilité, qui accompagne la chaîne logistique des produits entre les acteurs d'une même filière.

La figure 3 montre une représentation de cette chaîne d'informations pour l'industrie routière.

Il est nécessaire d'identifier sa place dans la chaîne d'informations, afin de s'assurer de la pertience de l'évaluation des risques et des mesures de gestion associées.

Cette pertinence dépend de l'utilisation propre des substances ou des mélanges ou des utilisations en aval. Les entreprises de l'industrie routière, compte tenu de la diversité des métiers, peuvent être des « représentants exclusifs importateurs », des « formulateurs » ou des « distributeurs », ainsi que des utilisateurs « finaux », avec les entreprises de construction et d'entretien des chaussées.

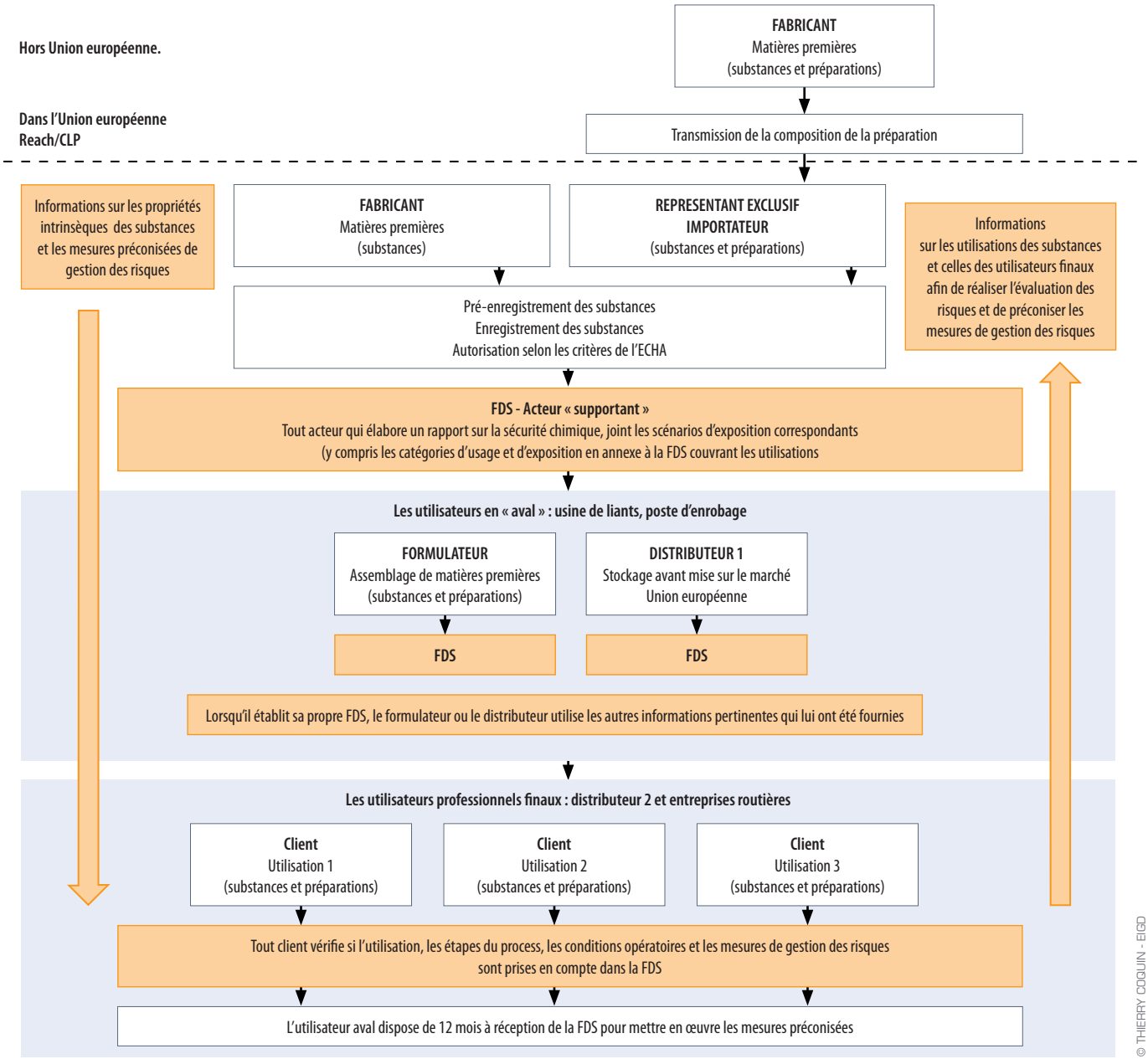
LE RÈGLEMENT CLP

En décembre 2002, afin de faciliter le commerce international et de donner des outils harmonisés d'informations sur le risque chimique, l'ONU (Organisation des Nations Unies) a établi un système harmonisé de classification et d'étiquetage au niveau international (Système global harmonisé de classification et d'étiquetage des substances et mélanges chimique (SGH)).

Acteurs non soumis aux obligations du CLP

- Transporteurs de marchandises dangereuses (sauf cas particulier sur emballage)
- Intermédiaires non isolés
- Laboratoires dans le cadre des activités de recherche (non mis sur le marché)
- Déchets (agrégats d'enrobé (AE) par exemple)
- Substances sous contrôle douanier (dépôt ou en transit)
- Substances radioactives

–Figure 3–
Chaîne d'informations pour l'industrie routière.



© THIERRY COQUIN - EIGD

Une matière essentielle : les granulats

Les granulats font partie des matières premières nécessaires à la fabrication d'enrobé et de ciment. Ce sont des minéraux définis par Reach comme étant une combinaison de constituants inorganiques tels que ceux que l'on trouve dans la croûte terrestre, avec un ensemble caractéristique de compositions chimiques, de formes cristallines (allant de fortement cristallines à amorphes) et de propriétés physicochimiques.

© DR

Les minéraux sont exemptés d'enregistrement, s'ils répondent à la définition de « *substances présentes dans la nature* » (Reach, article 3, paragraphe 39) et s'ils sont non modifiés chimiquement (article 3, paragraphe 40). Cela s'applique aux minéraux dont la structure chimique demeure inchangée, même s'ils ont été soumis à un processus ou traitement chimique ou à un processus physique de transformation minéralogique, par exemple pour éliminer les impuretés.

Certains minéraux peuvent être décrits uniquement par leur composition chimique pour les substances mono-constituant et multi-constituants, mais d'autres ne peuvent pas être identifiés par leur seule composition chimique. L'identification doit être basée sur leur composition chimique et leur structure interne (déterminée par exemple par diffraction des rayons X), parce que celles-ci représentent l'essence du minéral et déterminent ses propriétés physicochimiques.

Comme pour d'autres substances multi-constituants, le numéro CAS (*Chemical Abstracts Service* (www.ineris.fr)) du minéral doit faire partie de l'identification (c'est-à-dire la combinaison des constituants inorganiques). Les numéros CAS des constituants inorganiques tels que définis par la minéralogie systématique sont utilisés pour décrire les différents constituants. Si un constituant inorganique individuel est produit (substance mono-constituant), le numéro CAS de cette substance doit être utilisé pour l'identification de la substance.

En 2007, ce système a été intégré à la réglementation européenne : le nouveau règlement CLP a remplacé progressivement le dispositif de l'Union européenne.
Il comprend :
• des critères harmonisés pour la classification des substances et des mélanges, selon les dangers physiques, les dangers pour la santé ou l'environnement ;
• des éléments harmonisés pour la communication de ces dangers, intégrant des dispositions en matière d'étiquetage et de FDS.
Le CLP n'est pas la transposition complète du SGH. Pour les frontaliers, les « pays » sont libres de déterminer les modules qu'ils appliqueront dans leur système. Par contre, obligation est faite à tous d'utiliser les critères et éléments d'étiquetage du SGH pour un élément (danger) couvert dans le SGH. Pour le reste, la classification et l'étiquetage doivent être conformes aux règles du pays dans lequel le produit est utilisé.
Il s'agit d'une approche à 5 niveaux :
• harmonisation des règles relatives à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges ;
• obligation pour les entreprises de classer elle-même leurs substances et leurs mélanges ;
• obligation pour les entreprises de notifier les classifications de leurs substances à l'ECHA ;
• liste harmonisée et dressée par l'ECHA de substances classées au niveau communautaire à l'annexe VI du CLP ;
• inventaire des classifications et des étiquetages par substance, établi par l'ECHA.
En complément de ces nouvelles obligations, les entreprises doivent conserver les informations et les demandes d'informations (article 49 du CLP).
Tout fournisseur d'une substance ou d'un mélange doit être en mesure de transmettre les informations nécessaires à la classification et à l'étiquetage. Il assure la disponibilité de ces informations pendant une période d'au moins 10 ans après la date à laquelle il a fourni le produit pour la dernière fois et les conserve en même temps que celles exigées par Reach.

Identification des dangers

Le CLP a apporté un changement dans la classification et l'étiquetage des produits au sein de la rubrique 2 – Identification des dangers des FDS, applicable pour les substances et les mélanges depuis le 1er juin 2015.
Il introduit 28 classes de danger (nature du danger) subdivisées en 76 catégories (gravité du danger).
Une mention d'avertissement peut être ajoutée. L'étiquetage s'articule autour de 9 pictogrammes **(tableau 1)**, de mentions de danger, de phrases de danger (phrase H) et de conseils de prudence (phrase P). Enfin, des informations obligatoires dites « supplémentaires » sont ajoutées.
Parmi les 28 classes, 16 représentent les dangers physiques (5 dans le système UE), 10 représentent un danger pour la santé (9 dans le système UE) et 2 représentent un danger pour l'environnement.
Concernant les classes de danger physique, la catégorie 4 des liquides inflammables du SGH n'est pas reprise dans le CLP. Un liquide peut donc être inflammable lors du transport routier et ne pas l'être sur un poste de travail.
Les dangers pour la santé sont les suivants :
• toxicité aiguë (catégorie 5 du SGH non repris dans le CLP) ;
• corrosion cutanée/irritation cutanée ;
• lésions oculaires graves/irritation oculaire ;
• sensibilisation respiratoire ou cutanée ;
• mutagénicité sur les cellules germinales ;
• cancérogénicité ;
• toxicité pour la reproduction ;
• toxicité spécifique pour certains organes cibles/exposition unique (*Specific Toxicity on Organic Target* (STOT)) ;
• toxicité spécifique pour certains organes cibles/exposition répétée (STOT) ;
• danger par aspiration (catégorie 2 du SGH qui n'est pas reprise dans le CLP).
Toutes les classifications harmonisées ont été transférées dans l'annexe VI du CLP et sont considérées comme une classification a minima. Les règles de classification des STOT sont nouvelles et sont donc susceptibles de faire apparaître une classification sur un mélange.

Processus de classification des mélanges

Il est important de bien comprendre le processus de classification d'une substance **(figure 4)** pour rédiger ses propres FDS de mélanges. L'utilisateur en aval, rédacteur de ses FDS, doit reporter les informations adéquates dans la chaîne d'informations.
Le processus de classification des mélanges **(figure 5)** repose pour beaucoup sur le travail réalisé par les acteurs fournisseurs de substances, et les « supportants ».

Scénarios d'exposition (SE)

Les scénarios d'exposition (SE), inclus dans les FDS des mélanges, couvrent toutes les utilisations identifiées de la substance, du fabricant jusqu'aux utilisateurs. Ils décrivent, pour une utilisation identifiée, les conditions opérationnelles (durée et fréquence de l'utilisation, quantité utilisée, température du processus, PH…).
Les SE contiennent également les mesures de gestion des risques sanitaires et environnementaux :
• équipements de protection collective ;
• équipements de protection individuelle ;
• traitement des eaux usées, etc.

–Tableau 1–
Pictogrammes de danger. Principes généraux de classification selon le CLP (à partir du SGH).
Source : https://echa.europa.eu/fr/chemicals-in-our-life/clp-pictograms

Symbole	Picto	Code	Classe de danger + catégorie du SGH
Bombe explosant		**SGH01**	2.1 matières et objets explosifs
			2.8 matières autoréactives
			2.15 peroxydes organiques
Flamme		**SGH02**	2.2 gaz inflammables
			2.3 aérosols inflammables
			2.6 liquides inflammables
			2.7 matières solides inflammables
			2.8 matières autoréactives
			2.9 liquides pyrophoriques
			2.10 matières solides pyrophoriques
			2.11 matières autochauffantes
			2.12 matières qui, au contact de l'eau, dégagent des gaz inflammables
			2.15 peroxydes organiques
Flamme sur cercle		**SGH03**	2.4 gaz comburants
			2.13 liquides comburants
			2.14 matières solides comburantes
Bouteille à gaz		**SGH04**	2.5 gaz sous pression
Corrosion (métal)		**SGH05**	2.16 matières corrosives pour les métaux
Corrosion (peau, yeux)			3.2 corrosion cutanée / irritation
			3.3 lésions oculaires graves / irritation oculaire
Tête de mort sur 2 tibias		**SGH06**	3.1 toxicité aigue
Point d'exclamation		**SGH07**	3.1 toxicité aigue
			3.2 corrosion cutanée / irritation
			3.3 lésions oculaires graves / irritation oculaire
			3.4 sensibilisation respiratoire ou cutanée
			3.8 toxicité systémique pour certains organes – exp. unique
Danger pour la santé		**SGH08**	3.4 sensibilisation respiratoire ou cutanée
			3.5 mutagénicité des cellules germinales
			3.6 cancérogénicité
			3.7 toxicité pour la reproduction
			3.8 toxicité systémique pour certains organes – exp. unique
			3.9 toxicité systémique pour certains organes – exp. repétée
			3.10 danger par aspiration
Environnement		**SGH09**	4.1 dangers pour le milieu aquatique

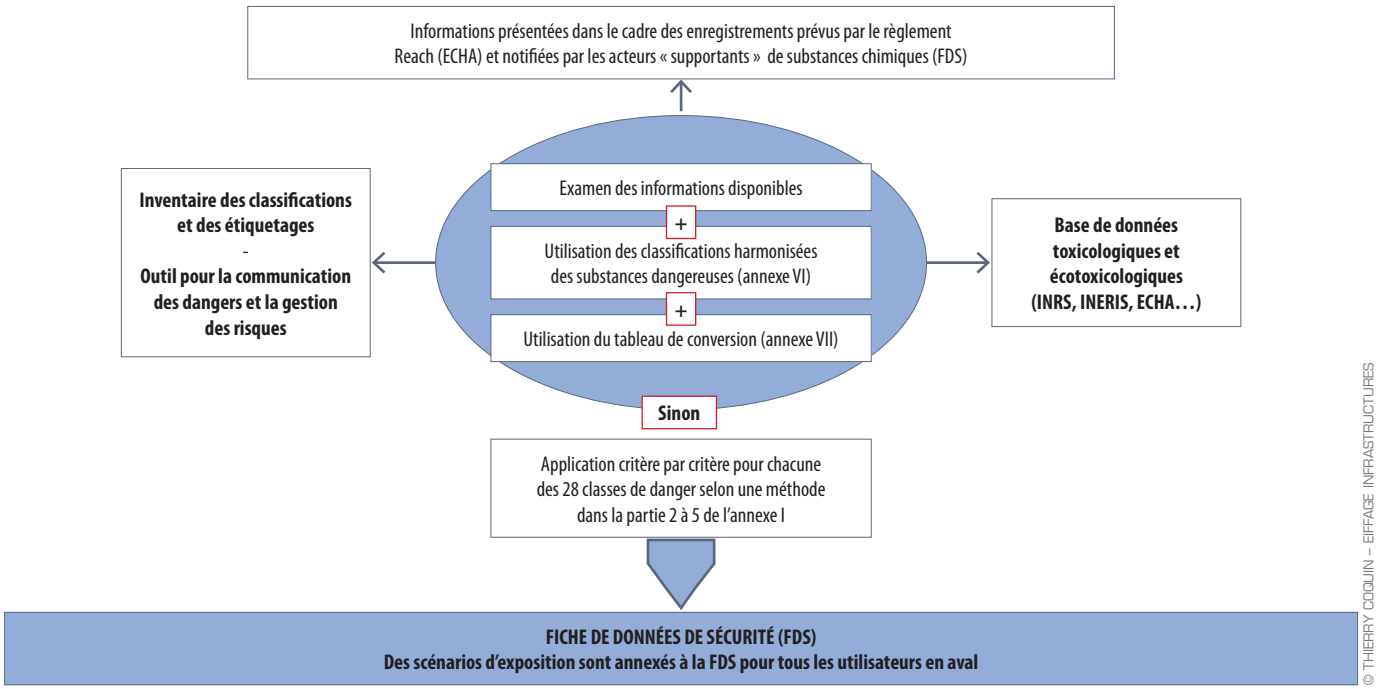
© EIFFAGE

Reach n'impose pas de format prédéfini pour les scénarios d'exposition. Ceux des substances utilisées pour la préparation d'un mélange peuvent être ajoutés à la FDS du mélange.
Si l'ensemble des informations contenues dans la FDS d'un mélange reportent toutes celles contenues dans les SE des substances, il est possible de ne pas les joindre.
L'annexe II, point 0.2.3 de Reach précise que : « *Les informations contenues dans la FDS doivent être rédigées de façon claire et concise* ».

ÉLABORATION DES FDS

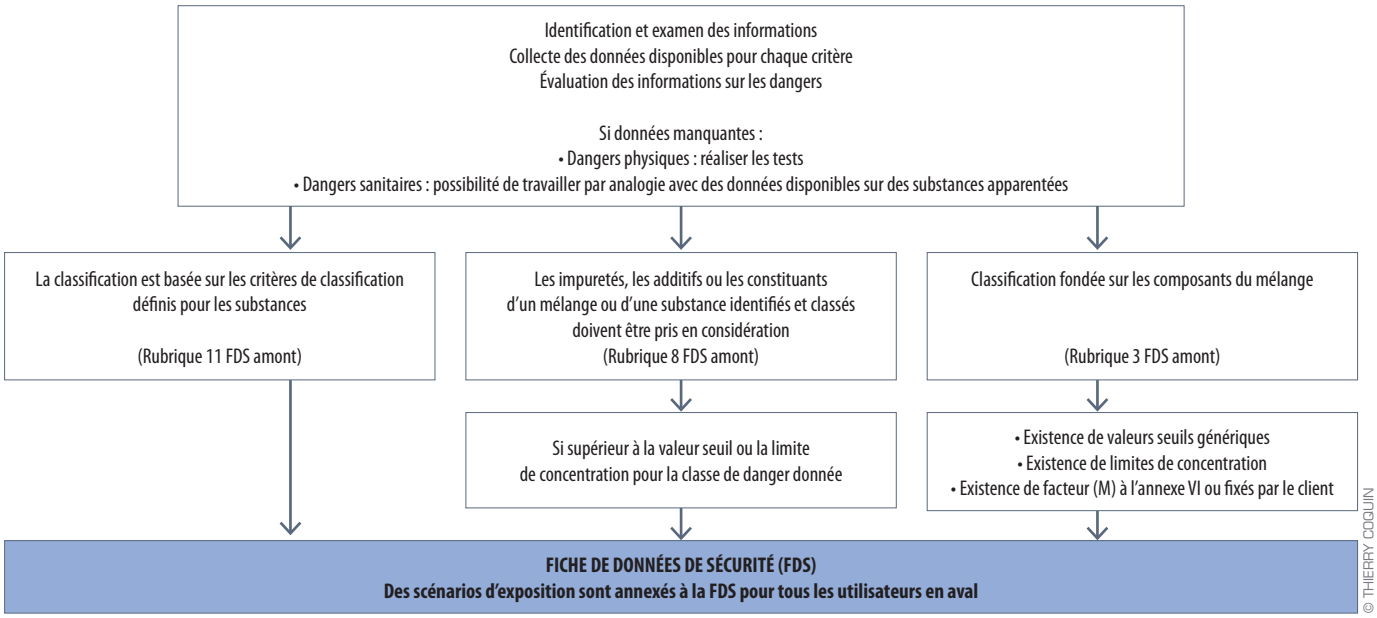
Les FDS constituent une méthode et un mécanisme de fourniture d'informations relatives à l'utilisation sécurisée des produits chimiques dangereux par les utilisateurs de substances et de mélanges dans l'Union européenne.
Les exigences en matière de FDS sont définies dans les articles 31 et 32 de Reach (figure 6). L'article 31 couvre les obligations concernant les produits

–Figure 4–
Processus de classification des substances.



© THIERRY COQUIN – EIFFAGE INFRASTRUCTURES

–Figure 5–
Processus de classification des mélanges.



© THIERRY COQUIN

chimiques classés dangereux selon le CLP, ainsi que les produits chimiques non classés mais contenant une ou des substances devant faire l'objet d'une information.

L'article 32 définit l'obligation d'information minimum relative aux produits chimiques.

Les questions suivantes sont parfois posées :

• Faut-il demander la FDS des granulats entrant dans la fabrication des enrobés ?

• Faut-il établir une FDS pour les enrobés et les émulsions ?

Pour reprendre l'exemple des granulats, il apparaît que ce sont des substances multi-constituants dont chacun des constituants peut être identifié par son numéro CAS. Si l'un d'entre eux est identifié comme ayant une valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP) sur les lieux de travail (liste figurant dans l'article R. 4412-149 du Code du travail), l'utilisateur en aval peut demander à son fournisseur les informations relatives à la gestion des risques suivant le modèle de rédaction de la FDS.

Le fournisseur de granulats aurait alors l'obligation de faire porter sur l'étiquetage ou, à défaut, sur le bon de livraison, la mention suivante : « EUH210 : Fiche de données de sécurité disponible sur demande ».

Les enrobés et les émulsions de bitume sont des mélanges et suivent le processus de la classification des mélanges. La plupart de ces produits ne sont pas soumis à l'obligation d'établir une FDS, n'étant pas classifiés comme dangereux par le CLP. Néanmoins, pour fournir des informations relatives à la sécurité aux entreprises de construction et d'entretien de chaussée, le format de la FDS a été largement utilisé comme prévu dans le règlement CE n°453/2010,même si la plupart des enrobés ou émulsions sont considérés comme des produits soumis à l'article 32.

ÉLABORATION/RÉDACTION DES FDS

Les rédacteurs de FDS doivent mentionner s'il s'agit d'un produit dangereux ou non dangereux au sens du CLP et s'il s'agit d'un produit soumis aux obligations de l'article 31 ou 32 de Reach. Les obligations réglementaires du lecteur seront différentes.

Concernant l'élaboration et la rédaction de la FDS, « *La fiche de données de sécurité doit être élaborée par une personne compétente qui tiendra compte des besoins et connaissances particuliers des utilisateurs, dans la mesure où ils sont connus. Les fournisseurs de substances et de mélanges doivent s'assurer que ces personnes compétentes ont bénéficié d'une formation appropriée, y compris de cours de recyclage.* » (Reach, Annexe II, point 0.2.3).

PERSONNE COMPÉTENTE

La rédaction d'une FDS nécessite des compétences acquises par la formation, la formation continue, l'expérience et les échanges entre professionnels.

La (ou les) « personne(s) compétente(s) » doivent faire la preuve de leurs compétences dans les domaines suivants :

• Règlement européen et réglementation française :

– Règlement Reach

– Règlement CLP

– Prévention du risque chimique sur les lieux de travail : articles R. 4412-1 à R. 4412-164 du Code du travail (décret n° 2008-244 du 7 mars 2008, transposition des directives 98/24/CE, 2004/37/CE et 83/477/CEE)

– Prévention du risque chimique : articles R. 4412-1 à R. 4412-22

– Vérification des installations et appareils de protection collective : articles R. 4412-23 à R. 4412-26 ;

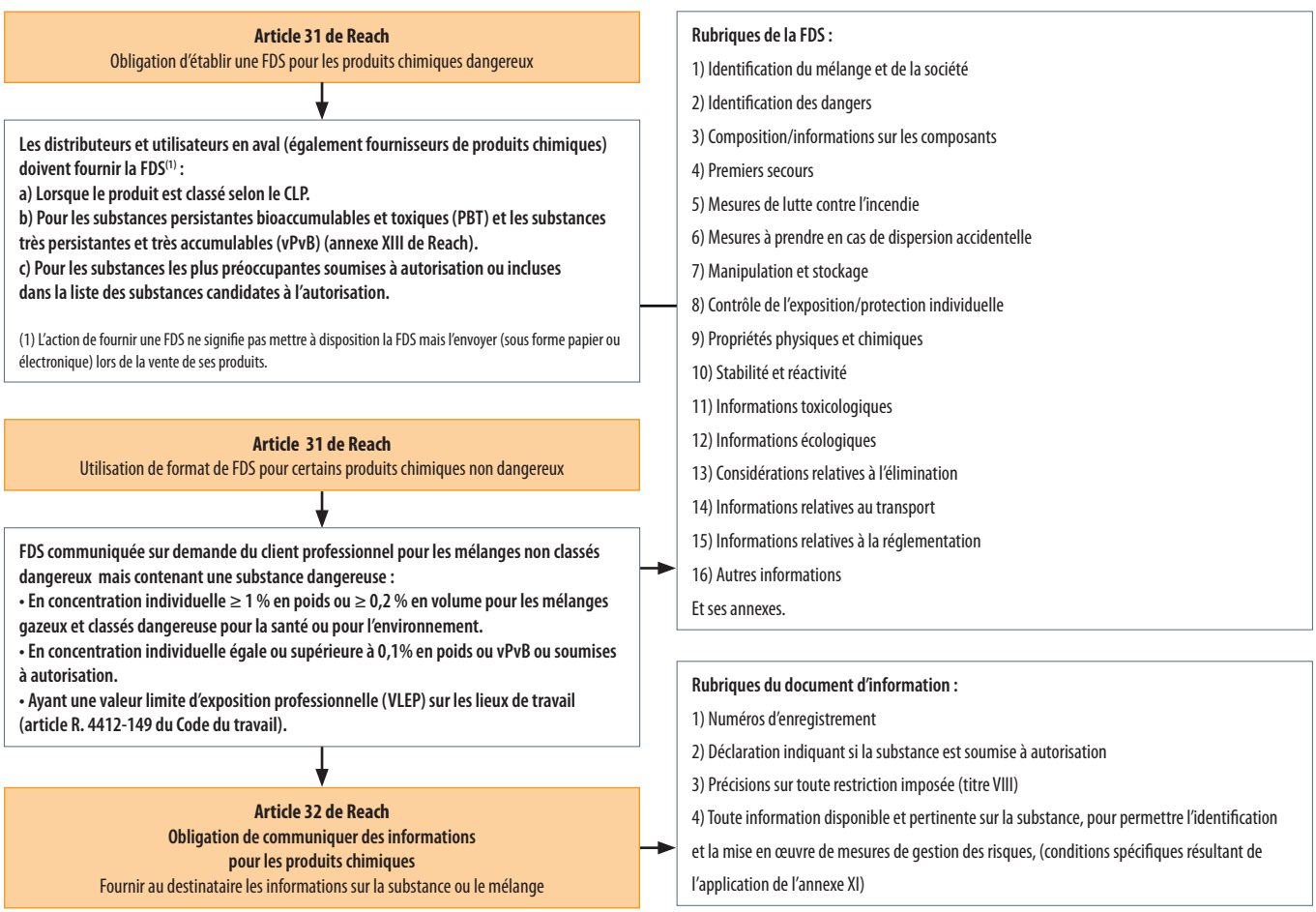
– Contrôle de l'exposition : articles R. 4412-27 à R. 4412-32 (décrets n° 2009-1570 3 du 15/12/2009 et n° 2012-746 du 9 mai 2012)

– Valeurs limites pour certains agents chimiques : articles R. 4412-149 et R. 4412-150

– Nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement

– Dispositif relatif au transport national et international

–Figure 6–
Articles 31 et 32 de Reach.



© EIFFAGE INFRASTRUCTURES

- Nomenclature chimique et propriétés physiques et chimiques
- Toxicologie/écotoxicologie
- Premiers soins
- Prévention des accidents et des sinistres, et mise en place de mesures visant à assurer une manipulation sans danger et un stockage sûr

Cette liste n'est pas exhaustive.

RUBRIQUES D'UNE FDS

La FDS est un ensemble d'informations et décrit des séquences de collectes sur un très large éventail de données organisées en 16 rubriques.

Le guide d'élaboration des fiches de données de sécurité de l'ECHA propose un exemple de séquence pour l'élaboration d'une FDS **(figure 7)**.

Pour l'utilisateur, il est important de vérifier que les mesures de gestion des risques sont adaptées à ses propres utilisations et à celles de ses clients, en particulier dans les rubriques 5, 6, 7 (manipulation et stockage), 8 (contrôle de l'exposition/protection individuelle), 13 et 14 (informations relatives au transport) ou dans le(s) scénario(s) d'exposition.

S'il existe une classification et un étiquetage pour le mélange, il est nécessaire de prendre connaissance des dangers dans les rubriques 11 (informations toxicologiques) et 12 (informations écologiques), qui regroupent les données d'entrée pour la classification de la rubrique 2 (identification des dangers). Des informations complémentaires sur les dangers se trouvent en rubriques 3 et 8.

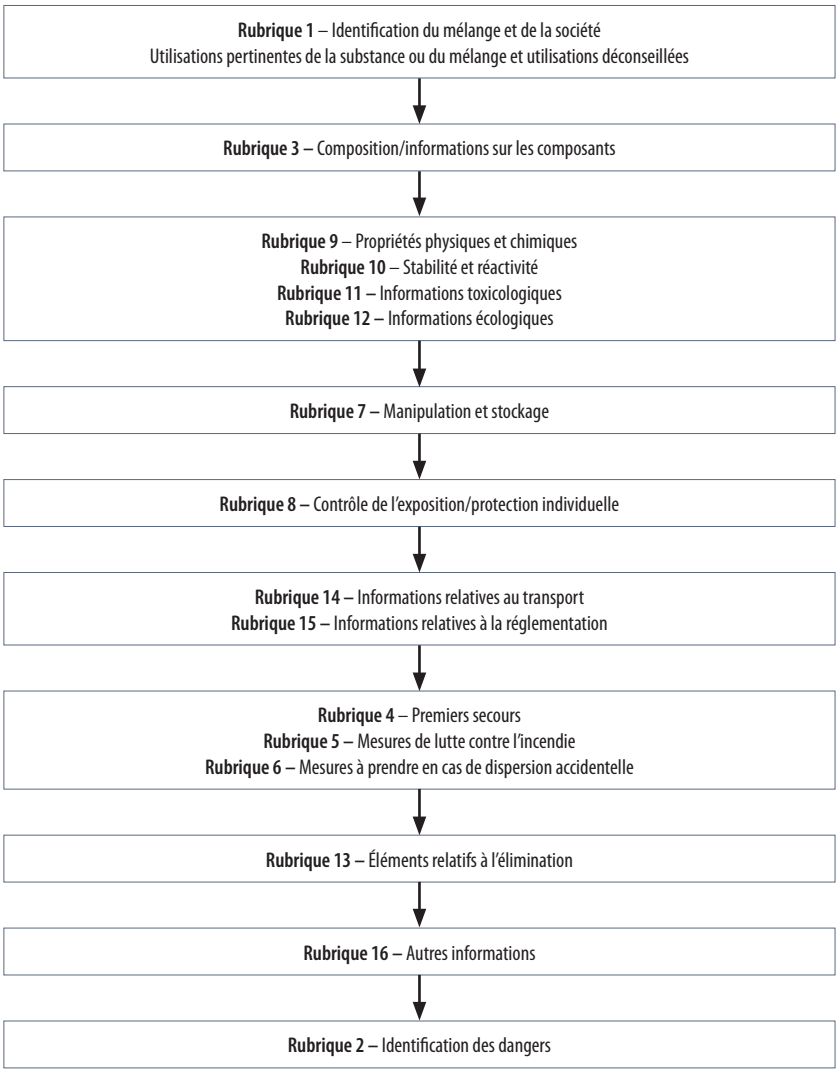
Si des informations s'avèrent incomplètes, manquantes ou incohérentes, l'utilisation ou la mise en œuvre du produit doit être arrêtée, en attendant l'expertise de la « personne compétente » **(figure 8)** et la mise en œuvre de compléments d'informations, ce qui peut prendre plusieurs mois.

Si l'utilisation du produit par l'entreprise est couverte par un scénario d'exposition mais avec une substance utilisée dans des quantités plus importantes, pendant une durée plus longue, ou avec des équipements de protection moindres que ceux prescrits, il est nécessaire de refaire l'évaluation des risques et de préconiser de nouvelles mesures de gestion des risques.

BILAN APRÈS 10 ANS

En l'espace de 10 ans, agir conformément aux exigences de Reach puis du CLP a révolutionné le secteur, depuis la filière industrielle (fabrication des émulsions de bitume et des bitumes modifiés), jusqu'à l'aval (entreprises de construction et d'entretien des chaussées).

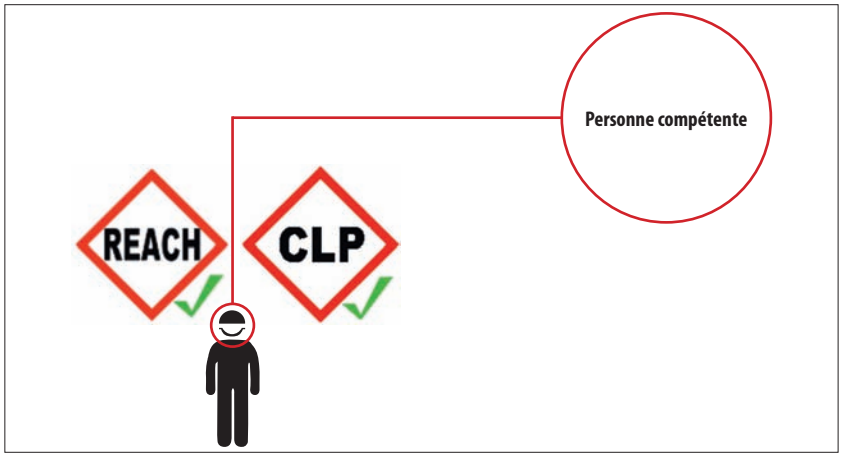
–Figure 7–
Exemple de séquence d'élaboration d'une FDS.



© ECHA

De nouveaux échanges avec les fournisseurs et les clients ont dû être mis en place, facilités par les organisations professionnelles comme l'Usirf (Union des syndicats de l'industrie routière française) et la SFERB (Section des fabricants d'émulsions routières de bitume).

–Figure 8–
La personne compétente.



© THIERRY COQUIN

Laboratoire Eiffage.

© TORDJMAN

Par ailleurs, il a fallu former ou recruter des spécialistes, former des équipes pluridisciplinaires.
Dans les entreprises, des inventaires ont été faits avec identification des substances utilisées afin d'appliquer les dispositions réglementaires de Reach d'ici à 2018. Ce recensement a permis de limiter le nombre de substances utilisées, mais aussi d'améliorer leur connaissance et la maîtrise de leurs caractéristiques techniques. Les laboratoires des entreprises routières ont été sollicités pour rechercher dans leurs préparations d'éventuels composants toxiques pour la peau ou susceptibles d'être inhalés par les utilisateurs.
Avec cette dynamique, en sachant que la plupart des produits ne sont pas reconnus comme dangereux selon le CLP, on peut assister à des reformulations dans les préparations, à la substitution de matières premières pour assurer un niveau toujours plus haut de protection de la santé et de l'environnement. ■

RÉFÉRENCES

Guides

• ECHA - Guide succinct - Évaluation de la sécurité chimique
https://echa.europa.eu/documents

• ECHA - Guide simplifié - Élaboration des fiches de données de sécurité
Version 2.0 Décembre 2015
https://echa.europa.eu/documents/10162/13643/sds_nutshell_guidance_fr.pdf

• ECHA – CLP - Guide sur l'étiquetage et l'emballage conformément au règlement (CE) n° 1272/2008
https://echa.europa.eu/fr/guidance-documents/guidance-on-clp

Directives

• Directive CEE 67/548 du 27 juin 1967, concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives relatives à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses

• Directive CEE 75/6/769 du 27 juillet 1976 concernant le rapprochement des dispositions législatives, règlementaires relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses

• Directive CEE 88/379 du 27 juillet 1976 concernant le rapprochement des dispositions législatives, règlementaires relatives à la limitation de la mise sur le marché et de l'emploi de certaines substances et préparations dangereuses.

• Directive 98/24/CE du Conseil du 7 avril 1998 concernant la protection de la santé et de la sécurité des travailleurs contre les risques liés à des agents chimiques sur le lieu de travail (quatorzième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE)

• Directive 2004/37/CE du Parlement européen et du Conseil concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail (sixième directive particulière au sens de l'article 16, paragraphe 1, de la directive 89/391/CEE du Conseil) (version codifiée)

Règlements

• REACH - Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals
Règlement (CE) n° 1907/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 décembre 2006 concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques
https://echa.europa.eu/home

• CLP – Classification, labelling and packaging
Règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges
https://echa.europa.eu/fr/regulations/clp

Règlement (CEE) n° 793/93 du Conseil, du 23 mars 1993, concernant l'évaluation et le contrôle des risques présentés par les substances existantes

Décrets

• Décret n° 2009-1570 du 15/12/2009, Contrôle du risque chimique sur les lieux de travail.

• Décret n° 2001-97 du 01/02/2011, Substances CMR

• Décret n° 2003-1254 du 23/12/2003, Autres substances chimiques

FORMATION

Sensibiliser sur les risques dans les travaux routiers et les moyens de prévention

Une formation pour :

- Savoir identifier les principaux risques liés aux HAP*, à la silice, à l'amiante, aux UV, aux TMS**
- Connaître les principales règles à suivre dans l'organisation de la prévention collective et individuelle
- Préparer les messages à transmettre aux équipes dans le cadre des travaux routiers

Durée de la formation : 1 journée
Public : Conducteur de travaux, Chef de chantier, Chef d'équipe
Formation animée par l'OPPBTP

*HAP : hydrocarbures aromatiques polycycliques
**TMS : troubles musculo-squelettiques

Inscription et information : s'adresser à la FRTP de votre région, adresse et contact sur www.usirf.com - *rubrique organisation*

USIRF
Routes de France

OPPBTP
La prévention BTP

LE RISQUE CHIMIQUE POINT DE VUE

Pour comprendre ce que recouvre le risque chimique, il convient de proposer quelques énoncés simples :
• C'est un domaine fortement réglementé.
• Cela concerne véritablement les métiers des travaux publics.
• La toxicologie est un domaine scientifique complexe et en pleine évolution. Il en résulte que ce n'est pas un sujet très simple…

© EIFFAGE

AUTEUR

Henri Molleron
Directeur Environnement
Chargé de mission Développement responsable
Colas SA

UN DOMAINE FORTEMENT RÉGLEMENTÉ

Sans remonter à l'époque où l'on posait des barreaux aux fenêtre des ateliers de fabrication de peinture pour empêcher les ouvriers, rendu fous par les vapeurs de toluène, de se défenestrer, il faut reconnaître que le domaine du risque chimique a été lent à se structurer en termes de réglementation et que c'est grâce à de grands textes de l'Union européenne qu'il a désormais atteint un niveau satisfaisant de cohérence réglementaire :

- la directive 67/548/CEE de juin 1967 ;
- la directive 76/769/CEE de juillet 1976 ;
- la directive 88/379/CEE de juin 1988 ;
- le règlement CEE n° 793/93 de mars 1993 ;
- le règlement CE n° 1907/2006 de décembre 2006, aussi appelé Reach (*Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals*) ;
- règlement CE n° 1272/2008 de décembre 2008, dit « CLP » (*Classification, Labelling, Packaging*) (Classification, étiquetage et emballage), entré en vigueur le 1er juin 2015.

Pour simplifier, on peut résumer ces grands textes à quelques principes clairs de responsabilité et de méthode :

- Les employeurs n'ont pas l'obligation de supprimer le risque ni le danger dans le monde du travail, mais ils ont l'obligation d'analyser le risque et de le minimiser.
- Pour analyser le risque, des méthodes sont décrites et des critères d'évaluation sont définis **(voir encadré)**.
- Il s'ensuit une obligation de réduire le risque au maximum, en suivant des étapes bien claires :
  – remplacer par des produits moins toxiques ;
  – puis protéger du risque résiduel en privilégiant tout d'abord des mesures organisationnelles, puis des protections collectives et en adoptant en dernier recours des mesures de protection individuelle. Ce volet de protection des salariés doit évidemment être accompagné d'un suivi des exposition (mesures), voire d'un suivi médical renforcé ;
  – informer les salariés du risque auquel ils sont exposés ainsi que des dispositions prises pour les protéger et mettre en place des mesures d'hygiène (mains, alimentation, gestion des vêtements de travail...).
- La démarche d'analyse-substitution-protection-information est évidemment itérative afin de tenir compte des remontées d'information et des avancées technico-scientifiques.
- Les producteurs et importateurs de substances chimiques ont l'obligation d'évaluer le risque lié à l'usage de leurs produits et doivent fournir à la communauté de leurs utilisateurs un étiquetage et des analyses de risques prenant en compte les conditions d'usage effectives de ces produits.
- Si les risques dépassent des seuils admissibles, la substance est interdite ou fait l'objet d'un encadrement très renforcé par les autorités, notamment en vue de pouvoir l'interdire rapidement. On notera que les autorités n'ont plus la responsabilité d'évaluer le risque et que cette responsabilité incombe aux industriels et aux employeurs, l'État exerçant pleinement son autorité de contrôle tandis que des agences ou instituts à caractère scientifique fournissent des connaissances officielles sur la toxicité des substances (Anses (Agence nationale sécurité sanitaire alimentaire nationale), INRS (Institut national de recherche et de sécurité), Ineris (Institut national de l'environnement industriel et des risques), CIRC (Centre international de recherche sur le cancer)...).

LE RISQUE CHIMIQUE DANS LES TRAVAUX PUBLICS

Dans le secteur des travaux publics, on a longtemps cru que le risque chimique ne nous concernait pas, que c'était le risque des chimistes ! C'était oublier que la chimie est partout et que l'on appelle souvent l'industrie chimique « l'industrie des industries ». Il s'ensuit que ce risque aussi est partout.
Les métiers de la construction utilisent ou ont utilisé différentes familles de composés (amines, acides, hydrocarbures variés, espèces soufrées, pigments, additifs, résines…), présents sous toutes les formes (liquides, émulsions, vapeurs et gaz, poussières et fumées). Un grand nombre de produits chimiques peut se révéler dangereux et être à l'origine d'accidents ou de maladies (maux de tête, brûlures, allergies chroniques, atteintes aux organes, insuffisances respiratoires, cancers...). D'après une étude nationale réalisée en 2010 (*Surveillance médicale des expositions aux risques professionnels* 2010, Dares Analyses, 2013), 61,5 % des salariés du BTP sont exposés à au moins un produit chimique dans leur activité. La même étude révèle que 32 % des salariés de la construction sont au contact d'agents chimiques cancérogènes (une gestion de ce risque étant évidemment bien définie). Une des particularités des métiers des travaux publics est qu'ils concernent des ouvrages durables : il s'ensuit que lors de travaux d'entretien ou de déconstruction, les professionnels sont

régulièrement exposés « à notre passé », à des substances toujours en place mais désormais interdites ou abandonnées (peinture au plomb, amiante ou goudron, par exemple).

LA TOXICOLOGIE, UNE SCIENCE COMPLEXE ET ÉVOLUTIVE

En toxicologie, on a commencé par adopter un modèle simple de relation entre la dose et les effets. En gros, ce modèle remonte à l'Antiquité :

- une dose en-dessous de laquelle on n'observe aucun effet sur l'espèce humaine ;
- une dose à partir de laquelle on observe des effets graves ou irréversibles ;
- et enfin une dose létale.

Ce modèle simple, qui peut être ensuite adapté selon l'âge, le poids, le sexe, voire le génome de chaque individu, est toujours en vigueur et on l'applique à une famille de molécules dites « à seuil ».
Un nouveau modèle est ensuite apparu au XXe siècle pour les molécules dites « sans seuil », qui sont, pour simplifier, les molécules CMR (cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques). Il s'agit ici d'un modèle statistique, car la relation dose-effets est incertaine au niveau des individus, mais bien établie au niveau des populations : nous savons tous par exemple que plus on fume de tabac, plus le risque de cancer augmente, mais nous connaissons tous de très gros fumeurs qui sont morts à un âge avancé sans développer le moindre cancer (à l'inverse d'une intoxication à l'arsenic ou l'H_2S : à partir d'une certaine dose, tout le monde meurt). On parle alors d'écart de risque unitaire (ERU) pour caractériser ce type de risque : à une exposition, on associe un chiffre de probabilité plus forte de subir la maladie (un cancer supplémentaire par millier de personnes exposées, par exemple).
Les deux modèles précédents ont une caractéristique assez simple et intuitive : le risque s'accroît quand la dose et la durée d'exposition augmentent. Or, toutes les substances ne fonctionnent pas de cette façon et c'est ainsi qu'on a pris conscience récemment d'une nouvelle famille de molécules : celles qui ont des « effets forts à faible dose », effets qui ne s'accroissent pas forcément lorsque la dose ou l'exposition augmentent (il arrive même que ce soit l'inverse). Pour simplifier, il s'agit de la famille des perturbateurs endocriniens tels que le BPA (BisPhénol A). Pour ces molécules, la notion de seuil admissible d'exposition n'a pas grand sens et les études de risques sont bien incertaines.
Si l'on ajoute que ces trois modèles de relation dose-effets s'interpénètrent (on commence à soupçonner l'existence de seuils de dose sans effet pour des cancérogènes par exemple) et que l'on ne dispose pas de connaissances suffisantes pour évaluer le risque d'exposition à un cocktail de molécules présentant des mécanismes de toxicité différents (or les molécules présentes sont toujours accompagnées d'autres molécules), on comprendra que la recherche en toxicologie a de beaux jours devant elle et qu'il existe encore un énorme déficit de connaissance scientifique pour gérer le risque chimique.

CONCLUSION

Le risque chimique est difficile à appréhender : la science est mouvante, la perception est difficile, car les effets sont souvent différés, et il s'ensuit que la lourdeur de la réglementation passe mal. La contrainte est mal vécue car ses inconvénients sont immédiats tandis que ses bénéfices sont différés et difficilement quantifiables : on se mobilise différemment selon qu'il s'agit d'une intoxication aiguë avec effet immédiat et visible sur la santé (brûlure, irritation, coma…) ou d'une intoxication chronique.
Les managers comme les salariés ont donc des difficultés à adhérer à une réglementation nouvelle et pesante alors même que son assise scientifique est encore insuffisante : c'est tellement plus difficile à « vendre » qu'un risque d'écrasement ou de chute de hauteur ! Mais le traitement d'un cancer du poumon ou de la vessie est-il moins grave ?
Autant on peut donc comprendre la difficulté à respecter ces nouvelles contraintes réglementaires, autant il n'est pas question de contester leur bien-fondé ni de céder à la tentation de tirer parti de connaissances scientifiques lacunaires.
Il me semble qu'il ne reste alors que trois boussoles pour faire notre devoir :

- la prudence ;
- la sagesse ;
- la modération.

Trois petits mots issus des tréfonds des racines antiques de notre civilisation, trois petits mots pour nous garder des tentations du juridisme, du maximalisme, du risque zéro...
Trois petits mots pour nous rappeler que nous devons piloter au mieux l'impératif de protéger la santé de celles et ceux dont nous avons la garde, sans oublier que nous devons veiller à maintenir les fondements économiques d'une activité qui assure leur subsistance.
Trois petits mots pour comprendre que nous sommes face à des responsabilités bien lourdes et que celles et ceux qui les assument avec probité méritent notre respect et notre soutien, malgré leurs imperfections inévitables.
En un mot, oublions nos certitudes tranchées, notre attente de décisions binaires et acceptons de traiter ces sujets avec un véritable humanisme. ■

Outils et méthodes d'évaluation du risque chimique

- Récemment, l'INRS a développé Seirich, un nouveau logiciel en ligne permettant d'évaluer l'exposition aux substances chimiques de chacun des salariés.
- En parallèle, Colas et l'OPPBTP ont développé une solution logicielle dédiée aux métiers du BTP.
- L'élaboration du DUER (document unique d'évaluation des risques) est une obligation du Code du travail (articles L. 4121-1 à 3 et R. 4121-1 et 2) visant à évaluer les risques pour la santé et la sécurité des travailleurs. Ce document contient des actions de prévention des risques professionnels, des actions d'informations et de formation ainsi que la mention de l'organisation et des moyens mis en place. Le DUER doit être revu tous les ans et lors de chaque changement majeur dans l'entreprise (voir article p. 42).

PRÉVENTION DU RISQUE CHIMIQUE
LES ACTEURS INSTITUTIONNELS

La prévention du risque chimique se construit au quotidien sur les chantiers, dans un équilibre subtil entre le chef d'entreprise et ses salariés. Mais de nombreux autres acteurs extérieurs concourent à la maîtrise de ce risque en développement, encore trop souvent sous-estimé.

Application mécanique de peinture routière.

J. SÉBASTIEN CLAVEL

Cet article présente le rôle majeur des principaux acteurs institutionnels, parmi lesquels l'OPPBTP (Organisme professionnel de prévention du BTP), en matière de préservation de la santé et de la sécurité des salariés du secteur.

PRINCIPAUX ACTEURS FRANÇAIS

Au regard des acteurs de la prévention, le risque chimique ne se distingue pas des autres risques professionnels. Le système français de prévention des risques professionnels repose sur deux piliers :

- D'un côté, le ministère chargé du Travail, et en particulier la Direction générale du travail (DGT), élabore les stratégies de prévention et fixe les règles d'ordre public avec, comme organe principal de contrôle, l'Inspection du travail.
- De l'autre, les organismes de sécurité sociale, sous l'égide de la Direction de la sécurité sociale (DSS) du ministère des Affaires sociales et de la Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés (CNAMTS), indemnisent les accidents du travail et les maladies professionnelles, et assurent la gestion du risque.

La réalité révèle un univers complexe articulé entre prévention et réparation, au sein duquel les partenaires sociaux, représentant les organisations d'employeurs et de salariés, sont souvent parties prenantes.

AU NIVEAU DE L'ÉTAT

Le ministère chargé du Travail

Il a notamment pour mission d'élaborer et de mettre en œuvre la politique française en matière de santé et de sécurité au travail, conformément au Plan santé au travail (PST). Il prépare la législation soumise au Parlement en lien avec le cabinet du ministre. Il établit ou révise les textes réglementaires répertoriés au sein du Code du travail pour tenir compte des évolutions sociales, sociétales, économiques, scientifiques et techniques. Il veille à leur application dans les entreprises en s'appuyant sur l'Inspection du travail et en développant des campagnes de contrôles ciblés.

Le ministère impulse la concertation avec les partenaires sociaux, notamment à travers le Conseil d'orientation des conditions de travail (COCT) et sa déclinaison régionale (CROCT).

L'Inspection du travail

Sa fonction première est de contrôler le respect des dispositions du Code du travail dans l'entreprise. Il dispose pour cela de moyens étendus. Si ses représentants constatent des manquements, l'inspection dispose d'un arsenal répressif complet, du simple rappel aux obligations du code, jusqu'à l'application de sanctions administratives. En référence à la convention n° 81 de l'Organisation internationale du travail[1], il bénéficie d'une indépendance dans le traitement individuel des dossiers. De façon moins habituelle, l'inspection développe des

AUTEUR

Patrick Richard
Directeur technique
OPPBTP

activités d'information et de conseil auprès des chefs d'entreprise, des salariés et/ou de leurs représentants.
L'Inspection du travail est généraliste, mais, désormais, les inspecteurs du travail s'appuient sur des médecins, ingénieurs ou spécialistes, notamment en matière de risque chimique, l'administration centrale développant par ailleurs l'animation des services déconcentrés.
Différentes actions ont été engagées par l'État pour moderniser l'Inspection du travail et faciliter le suivi de quelques thématiques prioritaires, en particulier le travail détaché et l'amiante, avec la création d'unités territoriales spécialisées.

Les organismes de la Sécurité sociale
La branche Accidents du travail/Maladies professionnelles (AT/MP) a une double vocation :
- elle indemnise les victimes d'AT/MP ;
- et elle mène une politique de prévention des risques dans une logique assurantielle.

L'établissement des statistiques de sinistralité est le trait d'union entre ces deux missions. Le système est entièrement financé par les employeurs « créateurs de risques ». La branche est gérée paritairement par les partenaires sociaux.
En matière de prévention, la CNAMTS est amenée à émettre des recommandations dont la reconnaissance dans le secteur est très importante, mais très peu concernent le risque chimique.

Les CARSAT/CRAMIF
Les ingénieurs conseil et les contrôleurs de sécurité des caisses d'assurance retraite et de la santé au travail (CARSAT) et de la caisse régionale d'assurance maladie d'Île-de-France (CRAMIF) disposent de droits proches de ceux de l'Inspection du travail, mais leurs missions sont davantage orientées vers le conseil aux entreprises. Les caisses disposent d'un système d'incitations financières – positives ou négatives – pour agir en prévention.

LES AGENCES D'EXPERTISE SCIENTIFIQUE ET LES ORGANISMES TECHNIQUES

La prévention du risque chimique mobilise une expertise scientifique et technique de haut niveau, indépendante et pluridisciplinaire, indispensable à l'élaboration et à la mise en œuvre des politiques de protection de la santé des travailleurs. Celle-ci s'organise à partir de différentes structures : Santé publique France, l'Anses, l'IRSN, l'INRS, l'Anact et l'OPPBTP.

Santé publique France
Santé publique France est la nouvelle agence nationale de santé publique intervenant dans les champs de la veille, de la surveillance, de la prévention, de la promotion de la santé et pour la réponse aux alertes sanitaires.

Sciage d'enrobé routier contenant de l'amiante.

OPPBTP

En tant qu'agence scientifique et d'expertise du champ sanitaire, elle a en charge :
- l'observation épidémiologique et la surveillance de l'état de santé des populations ;
- la veille sur les risques sanitaires menaçant les populations ;
- la promotion de la santé et la réduction des risques pour la santé ;
- le développement de la prévention et de l'éducation pour la santé ;
- la préparation et la réponse aux menaces, alertes et crises sanitaires ;
- le lancement des alertes sanitaires.

Santé publique France place la prise en compte des inégalités sociales de santé, très marquées entre les différentes catégories socio-professionnelles, au cœur de ses préoccupations.
Pour ce qui concerne le risque chimique, l'agence a été mandatée conjointement par la Direction générale de la santé et la Direction générale du travail pour mettre en place un dispositif de surveillance des travailleurs potentiellement exposés aux nano-objets, et à leurs agrégats et agglomérats (NOAA) manufacturés dont le volet BTP sera mis en œuvre en 2017.

L'Anses
L'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) assure des missions de veille, d'expertise, de recherche et de référence sur un large champ couvrant la santé humaine, la santé et le bien-être animal ainsi que la santé végétale.
Elle offre une lecture transversale dangers/bénéfices des questions sanitaires. Ainsi, l'Anses évalue l'ensemble des risques chimiques, biologiques, physiques… auxquels un individu peut être exposé, volontairement ou non, à tous les âges et moments de sa vie, qu'il s'agisse d'expositions au travail, pendant ses transports, ses loisirs ou via son alimentation.

Finisseur de route avec aspiration des fumées.

OPPBTP

L'Anses a également compétence dans le champ du médicament vétérinaire. Elle assure l'évaluation avant mise sur le marché des pesticides, biocides et produits chimiques. Elle délivre les autorisations de mise sur le marché, après évaluation, des produits phytopharmaceutiques, matières fertilisantes et supports de culture, et de leurs adjuvants.
Plusieurs saisines de l'agence concernent l'exposition des travailleurs du BTP à des risques chimiques très particuliers : fumées de bitume, particules minérales allongées (PMA)…

L'IRSN

Le champ de compétences de l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) couvre depuis mars 2016 l'ensemble des risques liés aux rayonnements ionisants utilisés dans un cadre professionnel ou en médecine, ainsi que les rayonnements naturels.
L'institut constitue une ressource d'expertise pour notre secteur en matière de réduction de l'exposition à travers, par exemple, des équipements de protection individuelle (EPI) dédiés à certaines substances chimiques.

L'INRS

La principale mission de l'INRS (Institut national de recherche et de sécurité) est de développer et de promouvoir une culture de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles. Cette mission répond à des exigences économiques, sociales et politiques et s'articule autour de 3 axes majeurs :

- identifier les risques professionnels et mettre en évidence les dangers ;
- analyser leurs conséquences pour la santé et la sécurité de l'homme au travail ;
- diffuser et promouvoir les moyens de maîtriser ces risques au sein des entreprises.

Ses actions en matière de prévention du risque chimique sont multiples et reconnues, les cibles visées allant des spécialistes de la prévention aux salariés des entreprises. L'INRS, dont la vocation est d'intervenir dans tous les secteurs d'activité, coopère à de nombreux programmes touchant le BTP.

L'Anact

L'Anact (Agence nationale pour l'amélioration des conditions de travail) a pour vocation d'améliorer les conditions de travail en agissant notamment sur l'organisation du travail et les relations professionnelles. Pour cela, elle conçoit et diffuse des méthodes et des outils, à destination des salariés, de leurs représentants et des directions, mais aussi de tous les acteurs qui interviennent auprès des entreprises.
L'agence pilote un réseau d'associations régionales pour l'amélioration des conditions de travail (Aract), présentes sur tout le territoire.
L'Anact aborde le risque chimique avec sa propre sensibilité en développant, par exemple, des programmes d'études-actions orientés vers la compréhension de la représentation de ce risque à effets différés chez les salariés.

L'OPPBTP

Exception sectorielle, l'OPPBTP est le préventeur du BTP français. Cet organisme paritaire a pour mission de contribuer à la promotion de la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, ainsi qu'à l'amélioration des conditions de travail. À cette fin, il participe à la veille en matière de risques professionnels, conduit les études relatives aux conditions de travail et analyse les causes des risques professionnels. Il suscite les initiatives des professionnels du secteur ainsi que de tous les acteurs qui interviennent dans les processus de construction. Il propose également aux pouvoirs publics toutes mesures résultant du retour d'expérience organisé par la profession.
L'organisme exerce aussi des actions d'information et de conseil en matière de prévention, contribue à la formation à la sécurité et participe aux travaux menés dans le cadre de l'Union européenne dans son champ de compétences.

LES SERVICES DE SANTÉ AU TRAVAIL

Afin d'assurer le suivi médical des salariés, le Code du travail impose à l'employeur d'organiser ou d'adhérer à un service de santé au travail (SST).
Les SST ont pour mission exclusive d'éviter toute altération de la santé des travailleurs du fait de leur travail. À cette fin :

- Ils conduisent les actions de santé au travail, dans le but de préserver la santé physique et mentale des travailleurs tout au long de leur parcours professionnel.

• Ils conseillent les employeurs, les travailleurs et leurs représentants afin d'éviter ou de diminuer les risques professionnels, d'améliorer les conditions de travail, de prévenir la consommation d'alcool et de drogue sur le lieu de travail, de prévenir ou de réduire la pénibilité au travail et la désinsertion professionnelle et de contribuer au maintien dans l'emploi des travailleurs.
• Ils assurent la surveillance de l'état de santé des travailleurs en fonction des risques concernant leur sécurité et leur santé au travail, de la pénibilité au travail et de leur âge.
• Ils participent au suivi et contribuent à la traçabilité des expositions professionnelles et à la veille sanitaire.

Ces missions peuvent être assurées par une équipe pluridisciplinaire comprenant des médecins du travail, des intervenants en prévention des risques professionnels (IPRP) et des infirmiers, auxquels peuvent s'ajouter des assistants de services de santé au travail (ASST), des professionnels tels que des métrologues ou un service social du travail. Les médecins du travail animent et coordonnent cette équipe pluridisciplinaire.

Un projet de service, pluriannuel, définit les priorités d'action de chaque service et s'inscrit dans le cadre plus global du contrat pluriannuel d'objectifs et de moyens (CPOM) conclu entre le service, la Direccte (direction régionale des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi) et la Carsat (caisse d'assurance retraite et de la santé au travail) après avis des organisations d'employeurs, des partenaires sociaux et des agences régionales de santé (ARS).

Depuis plusieurs années, différentes lois, promulguées ou en projet, tentent de réformer les services de santé. On peut observer sur le terrain des équipes, de moins en moins nombreuses, mais généralement très actives en matière de risque chimique : détermination de l'aptitude, surveillance médicale renforcée, conseils en matière d'élaboration de notices de postes…

PRÉVENTION DU RISQUE CHIMIQUE

L'arsenal déployé par les différents acteurs de la prévention du risque chimique est très large puisqu'il s'étend du Plan santé au travail (PST), « navire amiral » qui embarque plusieurs centaines de représentants d'organisations diverses à travers toute la France, jusqu'aux petits groupes de « référents » réunis par la DGT sous l'égide du COCT (Conseil d'orientation des conditions de travail) afin de nourrir sa réflexion sur la réforme du système de gestion des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP). Certains de ces partenariats peuvent être élargis aux organisations professionnelles.

LE 3E PLAN SANTÉ AU TRAVAIL (PST 3) (2016-2020)

C'est le niveau le plus élevé de coopération du domaine de la santé au travail. Les préoccupations du PST 3 dépassent les problématiques propres au risque chimique puisqu'il s'agit d'une démarche programmatique dont les enjeux sont de :
• rassembler et donner du sens aux actions du ministère en matière de santé au travail ;
• mobiliser les partenaires et acteurs associés ;
• donner une dynamique et une cohérence d'ensemble.

Pour la première fois, ce plan a été inspiré par les partenaires sociaux et son élaboration a été conduite, de façon participative, entre la DGT et les préventeurs institutionnels.

Le PST 3 se décline en 10 objectifs opérationnels matérialisés par 52 actions. La prévention du risque chimique est inscrite à l'objectif n° 3 « Mettre en œuvre la culture de prévention pour agir sur les risques professionnels prioritaires ».

Cinq actions prioritaires ont été inscrites :
• faire face aux enjeux liés à la dégradation de l'amiante présente dans les ouvrages pendant les 40 prochaines années ;
• accompagner les entreprises dans la mise en œuvre d'une prévention efficace et effective ;

XAVIER PIERRE

Soudage sur chantier d'une pièce de pont.

• améliorer la prise en compte de la polyexposition ;
• mieux connaître et mieux prévenir les risques émergents ;
• rechercher une amélioration du cadre réglementaire au niveau européen.

LA FEUILLE DE ROUTE INTERMINISTÉRIELLE AMIANTE

Cet exemple illustre le rapprochement de plusieurs ministères pour traiter d'un sujet commun, celui de l'amiante, préoccupation qui affecte notablement le BTP. Il est trop tôt pour en tirer des enseignements valables pour d'autres risques chimiques, mais l'initiative mérite d'être soulignée car elle porte de nombreux espoirs en matière de mise en cohérence et de clarification, voire de simplification pour les entreprises. Ceci est particulièrement utile car certains risques chimiques auxquels les salariés sont exposés ne trouvent pas leur origine uniquement dans le domaine du travail.

Le plan d'action interministériel pour améliorer la prévention du risque amiante crée en particulier une articulation entre le Plan national santé environnement (PNSE), le PST et les travaux du Groupe de travail national amiante et fibres (GTNAF).

Conçu et piloté par la Direction générale de la santé (DGS), la Direction générale de la prévention des risques (DGPR), la Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages (DHUP), et la DGT, il a vocation à mobiliser, dans une logique opérationnelle, l'ensemble des acteurs publics et privés concernés. Il s'appuie sur l'expertise des membres du GTNAF (administrations, organismes scientifiques et de prévention) et donne lieu à une information périodique des instances consultatives des administrations pilotes, par exemple le COCT au titre du PST.

LES TABLES RONDES (USIRF) ET LA CONVENTION D'AMÉLIORATION DES CONDITIONS DE TRAVAIL (FNTP)

Devant l'importance des enjeux économiques en matière de prévention du risque chimique, la DGT s'est lancée il y a quelques années dans une politique de partenariats avec les branches professionnelles pour accompagner les réformes réglementaires en cours.

Atelier de traitement de sol.

OPPBTP

C'est ainsi qu'en 2011, la DGT, la direction des risques professionnels de la CNAMTS, l'INRS, l'OPPBTP, le GNMST du BTP et l'Usirf (Union des syndicats de l'industrie routière française) se sont mobilisés pour la prévention des risques professionnels dans les travaux routiers.

Un des axes portait sur la prévention des risques liés aux substances CMR (substances chimiques cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction), sujet difficile à fort enjeu social et médiatique. Le bilan tiré par toutes les parties prenantes est très positif : chaque acteur a progressé dans la compréhension des contraintes et du point de vue de ses partenaires.

Les travaux de ces tables rondes de l'Usirf ont été repris en mars 2012 dans le cadre plus général d'une convention nationale de partenariat pour l'amélioration des conditions de travail dans les travaux publics regroupant les mêmes acteurs institutionnels. Huit domaines prioritaires de santé au travail ont été définis, parmi lesquels le risque chimique figure en bonne place. Des sujets aussi difficiles que l'amiante ajouté, l'actinolite, les fumées de diesel et la silice y sont abordés.

Ce type de partenariat réunissant toutes les parties prenantes d'une problématique semble adapté à la gestion des situations complexes car les réponses à apporter dépassent les possibilités de la seule entreprise. Néanmoins, une difficulté demeure concernant l'association des syndicats de salariés qui, à ce jour, n'a pas trouvé de réponse satisfaisante.

LE PROJET CARTO AMIANTE AJOUTÉ

Ce projet est né dans un contexte très difficile lié à la mise en place de la nouvelle réglementation de prévention du risque amiante ajouté.

Son cadrage politique a été donné par une résolution du conseil du comité national de l'OPPBTP, fixant ainsi l'objectif général : aider les entreprises du BTP à procéder à l'évaluation a priori du risque amiante, obligation réglementaire introduite par le décret du 4 mai 2012[2].

Les effets bénéfiques de ce projet au plan de la méthode peuvent se résumer ainsi :

• un dialogue permanent et constructif entre la DGT, l'INRS et l'OPPBTP, à travers le comité de pilotage du projet visant à l'effectivité de la réglementation ;
• des travaux communs, dans l'intérêt des entreprises et de leurs salariés, effectués au sein du comité technique du projet en lien avec les experts des grands laboratoires ;
• une forte mobilisation de moyens combinés des CARSAT/CRAMIF et de l'OPPBTP, à travers le réseau des superviseurs de chantiers ;
• l'expression de synergies entre les organisations professionnelles du BTP, illustrées par la production du groupe Miroir Amiante, réunissant des représentants techniques de la CAPEB (Confédération

de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment), de la FFB (Fédération française du bâtiment), de la FNTP (Fédération nationale des travaux publics) et de la FSCOPBTP (Fédération des SCOP (sociétés coopératives de production) du BTP).

Par son mode de gouvernance, le processus logistique mis en œuvre pour garantir la traçabilité et la qualité des résultats, les savoir-faire acquis en matière d'ingénierie, de communication, de métrologie, de conseil opérationnel auprès des entreprises et des laboratoires, le projet Carto Amiante ajouté constitue un modèle dont la mise en œuvre est actuellement étudiée pour d'autres problématiques majeures.

L'ouverture réussie aux maîtres d'ouvrage et donneurs d'ordre montre également à quel point le sujet doit être pris dans son ensemble. Enfin, le travail réalisé auprès des régies s'avère également bénéfique pour les entreprises, car les modalités de prévention des salariés du secteur public ne peuvent pas différer de celles du secteur privé.

L'OPPBTP, CONSTRUCTEUR DE PONTS

La prévention du risque chimique nécessite la mise en œuvre de compétences de plus en plus spécialisées, par exemple en matière d'expologie, de toxicologie ou de métrologie. Ce domaine se nourrit d'abondants travaux qui touchent les produits manufacturés, mais aussi les mélanges ou formulations réalisés en entreprise et les effluents ou nuisances issus des procédés d'intervention mis en œuvre durant le cycle de vie des ouvrages ou, plus généralement, de l'environnement des chantiers.

Dans ce cadre complexe, l'OPPBTP entend construire des ponts entre le monde scientifique de la prévention du risque chimique et celui des entreprises, en mettant à portée des chefs d'entreprise et des salariés des connaissances et des outils nouveaux, et en permettant aux chercheurs de comprendre les gestes professionnels et les réalités des chantiers de BTP.

C'est pourquoi l'OPPBTP, à travers sa direction technique, s'est doté d'un outil d'ingénierie dont les processus, certifiés ISO 9001, lui permettent d'engager et/ou de piloter des études sur l'exposition de travailleurs et de formuler des retours d'expérience qualifiés. Ces initiatives favorisent les partenariats avec les entreprises et leurs organisations professionnelles, mais aussi avec le monde académique, et les autres préventeurs.

Le plan d'action du domaine risque chimique de l'OPPBTP s'adresse en premier lieu aux entreprises à travers une approche intégrée et positive de la prévention, soulignant l'intérêt de rechercher des modes opératoires vertueux pour les conditions de travail, laissant espérer des gains économiques.

Les approvisionnements sur chantier : une des multiples sources d'émission de fumées de diesel.

OPPBTP

De nombreux projet sont ainsi initiés, parmi lesquels :

- la poursuite du projet Carto Amiante ajouté et le développement d'une base de connaissances dédiée aux PMA et à la silice, sous mandat de la DGT et en relation avec l'Anses ;
- l'inventaire périodique des substances CMR utilisées dans le BTP à partir de l'exploitation de la base de données e-Lara, outil d'évaluation du risque chimique contenant plusieurs milliers de produits, et la mise à disposition d'une bibliothèque de fiches de données de sécurité (FDS) propres au BTP ;
- le développement du projet EpiNano BTP : adaptation au BTP du dispositif de l'agence Santé publique France relatif à la surveillance épidémiologique des travailleurs manipulant des nanomatériaux en partenariat avec l'INRS, le CEA (Commissariat à l'énergie atomique) et l'Ineris (Institut national de l'environnement industriel et des risques) ;
- la poursuite d'études ergo-toxicologiques en partenariat notamment avec le laboratoire Santé, Travail et Environnement de l'université de Bordeaux dans différents contextes métiers ;
- le lancement d'une étude pluridisciplinaire relative aux enjeux opérationnels du port des EPI/APR : acceptabilité par les opérateurs, modifications organisationnelles induites, impact sur les coûts.

Ces projets, lancés par l'OPPBTP, sont autant de ponts qui réunissent des hommes et des femmes appartenant à des mondes différents, mais animés d'une même préoccupation : l'amélioration des conditions de travail sur les chantiers du BTP. ■

RÉFÉRENCES

1. Convention n° 81 concernant l'Inspection du travail dans l'industrie et le commerce, 1947.
2. Décret n° 2012-639 du 4 mai 2012 relatif aux risques d'exposition à l'amiante.

PRÉVENTION DES RISQUES
LES ACTIONS DES ENTREPRISES DE TRAVAUX PUBLICS

Dans le secteur des travaux publics, la prévention des risques, et notamment du risque chimique, est une priorité qui se concrétise par une amélioration de la sécurité sur les chantiers et une mobilisation croissante sur les sujets de la santé au travail.

© MÉTROPOLE EUROPÉENNE DE LILLE

La prévention des risques est l'affaire de tous : chefs d'entreprise, collaborateurs, maîtres d'ouvrage et maîtres d'œuvre, acteurs de la sécurité et de la santé au travail, fédérations et syndicats professionnels. Dans le secteur des travaux publics, elle est une priorité de chaque instant qui se concrétise, d'une part, par des progrès constants en matière de taux de gravité et de taux de fréquence au regard de la sécurité sur les chantiers, et, d'autre part, par une mobilisation croissante sur les sujets de la santé au travail. À cet égard, la prévention du risque chimique constitue un enjeu bien identifié par les entreprises, les syndicats de spécialités comme l'Usirf et la FNTP.

ENGAGEMENT DE LA PROFESSION DES TRAVAUX PUBLICS

De longue date, la profession des travaux publics dans son ensemble n'a pas hésité à prendre des engagements avec ses partenaires au plan national ou régional. Ainsi, en octobre 2010, l'industrie routière a initié une démarche collaborative sur la prévention des risques dans les travaux routiers avec l'Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics (OPPBTP), la Direction générale du travail (DGT), la Médecine du travail, l'Institut national de la recherche et de sécurité (INRS), la Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés (CNAMTS)[1].

Cette démarche s'est concrétisée par la publication de très nombreux documents de prévention, notamment au titre des risques chimiques, et la réalisation de campagnes de mesures d'exposition dont les résultats ont été consolidés (fumées de bitume, silice, amiante, par exemple), qui ont contribué à faire évoluer les recommandations pour des mesures de protection collective et individuelle mieux adaptées à la réalité des risques.

Quant à la FNTP, elle a signé en octobre 2012 une convention nationale de partenariat pour l'amélioration de la santé au travail, devenue pour la profession la colonne vertébrale de la politique de santé et de sécurité sur des sujets majeurs tels que les risques chimiques, les troubles musculosquelettiques (TMS), les UV, les pratiques addictives ou les risques routiers. Le risque chimique est donc au cœur de la convention nationale FNTP/DGT avec ses groupes de travail : évaluation des risques, silice, amiante, fumées de diesel.

La profession s'est organisée autour de plusieurs objectifs :

- recenser et diffuser les bonnes pratiques ;
- dialoguer avec l'ensemble des parties prenantes (entreprises, syndicats de salariés, acteurs publics, notamment les donneurs d'ordre) ;
- élaborer des documents de prévention accessibles au plus grand nombre ;
- initier des campagnes d'exposition et consolider leurs résultats ;
- insuffler une culture de la prévention de la santé au travail auprès des entreprises.

AUTEUR

Jean-Baptiste de Prémare
Délégué général
Usirf

Guide pratique de mise en œuvre et de suivi du DUER

Ce guide a été réalisé en septembre 2015 par la FNTP, en liaison avec les syndicats de salariés.
La réglementation en matière de prévention repose sur 3 principes simples et de bon sens : la responsabilité de l'employeur, l'évaluation des risques et la traçabilité de la démarche.
Responsabilité de l'employeur : dans le cadre de son pouvoir de direction, c'est l'employeur qui détermine les activités de l'entreprise et détient les moyens matériels, et qui définit donc les modalités de leur mise en œuvre. D'où sa responsabilité, administrative, civile ou pénale. C'est nécessairement sur lui que pèse l'obligation d'évaluation des risques.
Évaluation des risques : avant tout projet, le chef d'entreprise commence par réaliser un état des lieux initial qui guide l'ensemble de la réalisation du projet ; il s'agit d'un préalable indispensable. Il en va de même en matière de prévention des risques professionnels. L'identification des situations de travail existant dans l'entreprise, leur regroupement au sein d'unités de travail cohérentes, puis l'évaluation de l'exposition de ces groupes à différents facteurs de risque constituent les étapes impératives pour satisfaire à l'obligation d'évaluation des risques.
Traçabilité de la démarche : en gestion de projet comme en démarche qualité, l'habitude en entreprise est la traçabilité. Certes, elle permet de conserver une trace de ce qui a été fait, et bien fait, mais elle permet surtout de suivre l'évolution des actions lancées, d'en tirer un retour d'expérience et, ainsi, de faire évoluer les processus, ici les conditions de travail des salariés de l'entreprise.
DUER : c'est un outil essentiel de la prévention qui permet de transcrire les résultats de l'évaluation des risques et liste les solutions à mettre en œuvre. Plus qu'un simple inventaire, ce document obligatoire depuis le décret n° 2001-1016 du 5 novembre 2001 est un outil essentiel pour assurer une traçabilité des risques identifiés et de leur évolution dans le temps, et pour lancer une démarche de prévention pérenne dans l'entreprise.
Afin que le DUER existe et vive dans toutes les entreprises (petites et grandes), les partenaires sociaux de la branche ont recherché un moyen efficace et concret pour leur rappeler l'importance de sa rédaction et de son évolution. Ce sujet a été introduit à l'agenda social des travaux publics au cours de l'année 2012 et inscrit à l'ordre du jour de plusieurs réunions paritaires au cours desquelles :

- Un état des lieux des pratiques des entreprises a été effectué à l'aide d'un sondage réalisé par le service de l'identification professionnelle et des enquêtes de la FNTP ;
- L'élaboration d'un guide de bonnes pratiques a été décidée paritairement (http://www.fntp.fr/upload/docs/application/pdf/2015-09/guide_risques_professionnels.pdf). Les partenaires sociaux des travaux publics ont souhaité qu'il soit diffusé afin de devenir leur outil commun sur le document unique. Ils ont sollicité l'OPPBTP pour la réalisation de cet ouvrage. Ce guide contient une partie dédiée au rappel de la réglementation pour l'élaboration du document unique, son suivi et sa mise à jour. Il recense des témoignages d'entrepreneurs, qui, avec l'aide des salariés et des institutions représentatives du personnel, ont réussi à mieux intégrer la prévention dans leurs activités quotidiennes. Les partenaires sociaux ont ainsi souhaité partager leur conviction que l'on peut transformer une obligation réglementaire en une opportunité et démontrer aux entreprises qui ne sont pas encore entrées dans cette démarche l'intérêt de mieux intégrer la prévention dans leurs activités quotidiennes.

La mise à disposition des entreprises et de leurs collaborateurs ou partenaires de documents de prévention validés par l'ensemble des acteurs de la sécurité et de la santé au travail ou de résultats de mesures d'exposition favorise leur appropriation sur le terrain et les légitime. Ces documents ou études deviennent de fait les références communes pour tous ceux qui sont susceptibles d'intervenir sur les chantiers. Leur mise en œuvre et leur suivi permet de les faire évoluer en tant que de besoin, au fur et à mesure du développement des connaissances, des progrès issus des bonnes pratiques de terrain et des modifications de la réglementation.

GUIDE RELATIF À LA PRÉVENTION DES ÉMISSIVITÉS DES POUSSIÈRES

Les interventions sur chantiers de travaux publics sont susceptibles de générer la formation de poussières comportant des fractions très fines, peu visibles. Certaines peuvent présenter des risques pour les salariés, être dangereuses pour leur santé, notamment en cas d'émission de particules de silice cristalline ou de fibres d'amiante.

MESURES RELATIVES À LA SILICE CRISTALLINE

L'exploitation des résultats d'une campagne de mesures sur chantiers en présence de silice cristalline réalisée entre 2008 et 2011, en partenariat avec l'INRS, avait permis aux comités Matériel et Santé-Sécurité de l'Usirf d'élaborer en juillet 2012 un guide sur les mesures de prévention préconisées pour les travaux de rabotage. En effet, les opérations de rabotage produisent généralement des poussières inhalables dans lesquelles on peut trouver des poussières alvéolaires et de quartz en quantité non négligeable.
La présence de silice cristalline dans les matériaux a une influence significative sur le niveau d'exposition et peut fortement contribuer au dépassement de la valeur limite d'exposition professionnelle (VLEP). Le régleur de la raboteuse est l'opérateur le plus exposé (1,5 à 2 fois plus que le conducteur). Ce guide préconisait des mesures de prévention pour réduire l'exposition des opérateurs et signalait que le dispositif d'aspiration par captage était un bon moyen de réduire l'exposition des salariés aux poussières de silice, avec un facteur de réduction de l'ordre de 3 à 6 fois pour les poussières alvéolaires.

MESURES RELATIVES À L'AMIANTE

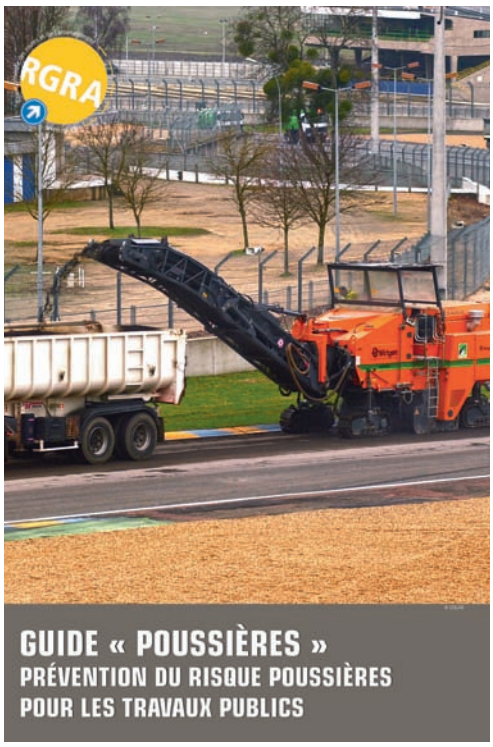
Suite à la parution du guide consacré aux travaux de rabotage, d'autres guides de prévention ont été élaborés en 2013 par l'Usirf, cette fois avec l'ensemble des partenaires de la Santé au travail pour prendre en compte, en plus du risque lié à la silice cristalline, ceux liés aux fibres d'amiante et à une teneur élevée en HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques).

Ceux-ci ont été largement diffusés auprès des entreprises par l'Usirf et les Sprir (syndicats professionnels régionaux de l'industrie routière)[2] et auprès des acteurs de la santé au travail de terrain par l'OPPBTP et ses délégations régionales, la CNAMTS et ses caisses régionales, la DGT et les Direccte (directions régionales des entreprises, de la concurrence, de la consommation, du travail et de l'emploi)[3], ainsi que par la FNTP et les FRTP.

L'actualisation de la partie de ces guides relative à l'amiante va être lancée prochainement. Elle sera nourrie des résultats de nombreuses mesures d'empoussièrement effectuées sur chantiers, notamment par les entreprises routières et l'Usirf. Ceux-ci ont été consolidés dans la base de données Cimarout (voir article p. 69) et ont fait l'objet d'une publication dans la revue *Hygiène et sécurité au travail* de l'INRS[4] et d'un article dans la RGRA[5].

MESURES RELATIVES AU RISQUE « POUSSIÈRES »

En décembre 2015, suite à la parution du premier rapport de l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) sur les effets sanitaires et l'identification d'un type d'amiante (« *fragments de clivage d'amphiboles issues des matériaux de carrières* »[6]), la profession a décidé d'élargir sa démarche de prévention du risque chimique en s'engageant avec les entreprises dans une logique de prévention globale des émissivités de poussières lors de travaux (hors amiante réglementaire, quelle que soit l'origine). Elle a donc entrepris la réalisation d'un nouveau document sur la prévention du risque « Poussières ».



Ce document a été élaboré avec l'OPPBTP en liaison avec la DGT. Ont été associés à ce travail, outre la FNTP, deux autres syndicats de spécialités : Canalisateurs de France et le SERCE (Syndicat des entreprises du génie électrique et climatique).

Le périmètre du guide « Poussières » porte pour l'instant sur la chaussée et en priorité sur les matériaux bitumineux, quelles que soient les professions amenées à intervenir sur la chaussée. Il est donc destiné à tous les acteurs réalisant des travaux sur les revêtements de chaussées. Sont ainsi visées : les opérations de fraisage/rabotage, sciage, burinage, décroûtage et carottage.

Ce guide doit d'abord permettre aux entreprises d'intégrer le risque « Poussières » dans leur document unique d'évaluation des risques (DUER, **voir encadré**). Il décrit les mesures d'organisation générale et les mesures de prévention collective qu'il est recommandé de mettre en œuvre lors des opérations réalisées sur un revêtement routier afin de limiter au maximum, voire de supprimer toute mise en suspension de poussières. Il identifie également les équipements de protection individuels (EPI) à préconiser en cas de risque d'empoussièrement résiduel.

Sont concernées par ce guide les poussières inhalables, les poussières de silice cristalline et les particules minérales allongées (PMA) non asbestiformes dont les fragments de clivage d'actinolite et de trémolite cités dans la note n° 14-906 de la DGT du 12 décembre 2014 relative à l'actinolite et aux fragments de clivage[7]. Le guide prend justement en compte les mesures de prévention recommandées par la DGT dans cette note du 12 décembre 2014 : abaissement des niveaux d'empoussièrement au plus bas niveau techniquement possible par des procédés d'humidification, gestion du risque résiduel par le port d'EPI adaptés...

L'ensemble des mesures de protection collective préconisées pour les collaborateurs des entreprises dans le cadre des chantiers permet aussi de prendre en compte la protection des riverains des chantiers. ■

RÉFÉRENCES

1. H. Decoudun, J.-B. de Prémare, « Prévention-Santé-Sécurité : la route continue d'avancer », RGRA n° 904, août-septembre 2012, p. 49.

2. Documents consultables sur le site de l'Usirf : http://www.usirf.com/prevention-des-risques-professionnels-dans-les-travaux-routiers-663/

3. Documents consultables sur le site du ministère du Travail : http://travail-emploi.gouv.fr/sante-au-travail/outils-et-guides/article/prevention-des-risques-professionnels-lors-de-travaux-routiers

4. A. Romero-Hariot, C. Eypert-Blaison, R. Vincent, « Exposition à l'amiante chrysotile lors de travaux sur chaussées amiantées », *Hygiène et sécurité au travail* n° 241, décembre 2015, p. 58.

5. F. Verhée, C. Leroy, J.-B. de Prémare, « Processus de travaux routiers - Caractérisation par les mesures d'empoussièrement sur chantier », RGRA n° 931, novembre 2015, p. 58.

6. Anses, *Effets sanitaires et identification des fragments de clivage d'amphiboles issues des matériaux de carrières*, décembre 2015.

7. RGRA n° 924, décembre 2014-janvier 2015, p. 33.

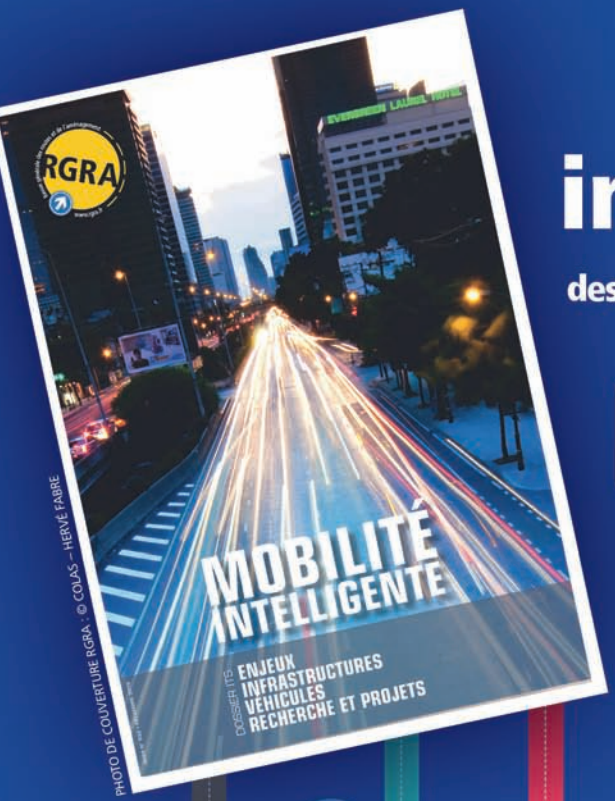


PHOTO DE COUVERTURE RGRA - © COLAS - HERVÉ FABRE

LA revue incontournable des routes et de l'aménagement

ABONNEZ-VOUS ET DÉCOUVREZ :

- des conseils sur l'entretien des infrastructures
- la présentation de matériels, produits ou procédés innovants
- des dossiers techniques répondant aux besoins des collectivités
- des retours Terrain

9 NUMÉROS PAR AN

www.editions-rgra.com

Revue générale des routes et de l'aménagement
9 rue de Berri – 75008 Paris – France
Tél. +33(0) 1 40 73 80 00

Revue générale des routes et de l'aménagement (RGRA)

Forfait 1 an bimedia :
e-mailing dépêches quotidiennes
+ 9 N° RGRA

☐ **390,00 € TTC/an**

RÈGLEMENT : ☐ Par chèque joint ☐ A réception de facture

☐ Paiement par carte bancaire
(Visa, CB, Eurocard, Mastercard, Diners, JCB,American Express)

numéro de carte
Date d'expiration

Nom, Prénom : .....

Fonction : .....

Société : .....

Adresse : .....

.....

Code postal : ..... Ville : .....

Tél. : ..... email : .....

Pays : .....

DATE :

SIGNATURE

REVUE GÉNÉRALE DES ROUTES ET DE L'AMÉNAGEMENT
9 rue de Berri - 75008 Paris
Tél. : +33 1 40 73 80 00 • Fax : +33 1 44 13 32 98
rgra@editions-rgra.com • www.rgra.fr

COLLECTIVITÉS TERRITORIALES
PRISE EN COMPTE DU RISQUE CHIMIQUE PAR LES MAÎTRES D'OUVRAGE

Les collectivités territoriales, en tant que maîtres d'ouvrage de projets d'aménagement, sont tenues de caractériser les déblais produits à l'occasion de leurs travaux. Ainsi, en termes de pollution chimique, les deux principales thématiques concernées sont la gestion des terres excavées et la prise en compte des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les agrégats d'enrobés (AE), toutes deux liées au statut de déchet conféré aux terres excavées ou aux AE à partir du moment où ces volumes sortent du site dont ils sont extraits.

© MÉTROPOLE EUROPÉENNE DE LILLE

AUTEUR

Marc Courbot
Animateur du groupe de travail Voirie, espaces publics et ouvrages d'art
Métropole européenne de Lille/AITF

En collaboration avec Yoann Dhainaut, Salah Boussada et Julien Henique (MEL)

LES TERRES EXCAVÉES

CHAMP D'APPLICATION

Préalablement à une opération d'aménagement ou un projet de tracé routier par exemple, il convient de déterminer si le site en question est susceptible d'être pollué par des activités industrielles et/ou de service (sites industriels, zones de stockage, décharges, zones de remblais…).

Cette étude préalable est définie dans la norme de service NF X 31-620-2[1], communément appelée « prestation LEVE », permettant de définir si un site relève de la politique nationale des sites pollués.

Cette étude LEVE comporte au minimum trois prestations élémentaires :

- une visite de site ;
- une étude historique, mémorielle, documentaire du site et de vulnérabilité des milieux ;
- l'examen des plans d'épandage de boues de stations d'épuration.

Elle comprend la réalisation éventuelle d'investigations de terrain, sauf si les éléments apportés par l'étude documentaire justifient l'absence d'antécédents industriels ou d'activités potentiellement polluantes ayant pu conduire à un impact sur la qualité chimique des sols.

Elle offre à tout aménageur la possibilité d'anticiper les coûts de gestion des déblais qui seront produits, grâce à l'acquisition de données de terrain dressant les caractéristiques pédo-géochimiques des sols à évacuer (photo 1).

Deux scénarios sont alors possibles : soit le site est déterminé comme relevant de la politique nationale des sites pollués, soit il n'entre pas dans ce champ et les investigations chimiques ne sont pas poursuivies (sauf si la présence de remblais est fortement soupçonnée, auquel cas un diagnostic adapté aux problématiques des remblais est recommandé).

Au-delà de cette étape préalable, en cas de projet sur un site potentiellement pollué, le producteur devra ensuite caractériser les sous-produits de terrassements, puis identifier la filière de gestion

adaptée qui pourra être la valorisation ou le traitement sur site ou en centre agréé. La traçabilité et le suivi de la gestion des déchets seront assurés grâce aux bordereaux de suivi de déchets prévus à cet effet.

CAS DES SITES POLLUÉS

Les chantiers de reconversion de sites pollués sont réalisés en tenant compte de l'usage prévu pour les sites et de la qualité des matériaux présents. La réalisation des travaux engendre, en fonction des cas, des quantités importantes de sous-produits à gérer. Ils ne peuvent pas systématiquement être réemployés sur les sites (en raison notamment du manque de place), et prennent alors le statut de déchets.
Les enjeux économiques liés au traitement des déchets ne sont pas négligeables et peuvent fortement influer l'équilibre financier d'opérations d'aménagement. Les lois Grenelle I et II ont aussi fixé des objectifs de réduction de la production de ces déchets (entre autres) tout en favorisant leur valorisation et leur recyclage. La loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte a par ailleurs récemment conforté ces objectifs.
Les contextes jurisprudentiels et réglementaires français associés à la gestion des matériaux excavés, notamment pollués, sont en constante évolution. Les seuils d'acceptation dans les centres évoluent au gré du temps et dépendent, au cas par cas, des arrêtés préfectoraux dressés au titre de la législation relative aux ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement).
Les acteurs nationaux intervenant dans le domaine se sont efforcés de bâtir des supports constituant des règles de l'art à destination des acteurs concernés, afin de déterminer les bonnes pratiques en matière de gestion des matériaux excavés. On peut citer à titre d'exemple le *Guide de réutilisation hors site des terres excavées en technique routière et dans des projets d'aménagement*[2], paru en 2012. Ces guides permettent aux collectivités disposant d'un gisement foncier non négligeable de trouver des solutions alternatives à l'enfouissement des déchets. Ainsi, des matériaux qui seraient excavés sur un site donné pourraient être réemployés en cas de compatibilité comme matériaux de modelage ou de structure d'infrastructures routières, ce qui contribuerait à limiter l'épuisement des ressources naturelles et donc à préserver les gisements de matériaux locaux très fortement exploités.
On notera que l'outil TERRASS (terres excavées réutilisées de façon raisonnée dans des aménagements en sous-structures), développé par le BRGM (bureau de recherches géologiques et minières), offre aux acteurs du BTP et des travaux publics des options intéressantes pour favoriser la réutilisation des sous-produits de chantiers, comme l'impose la directive européenne 2008/98/CE et ses textes associés.

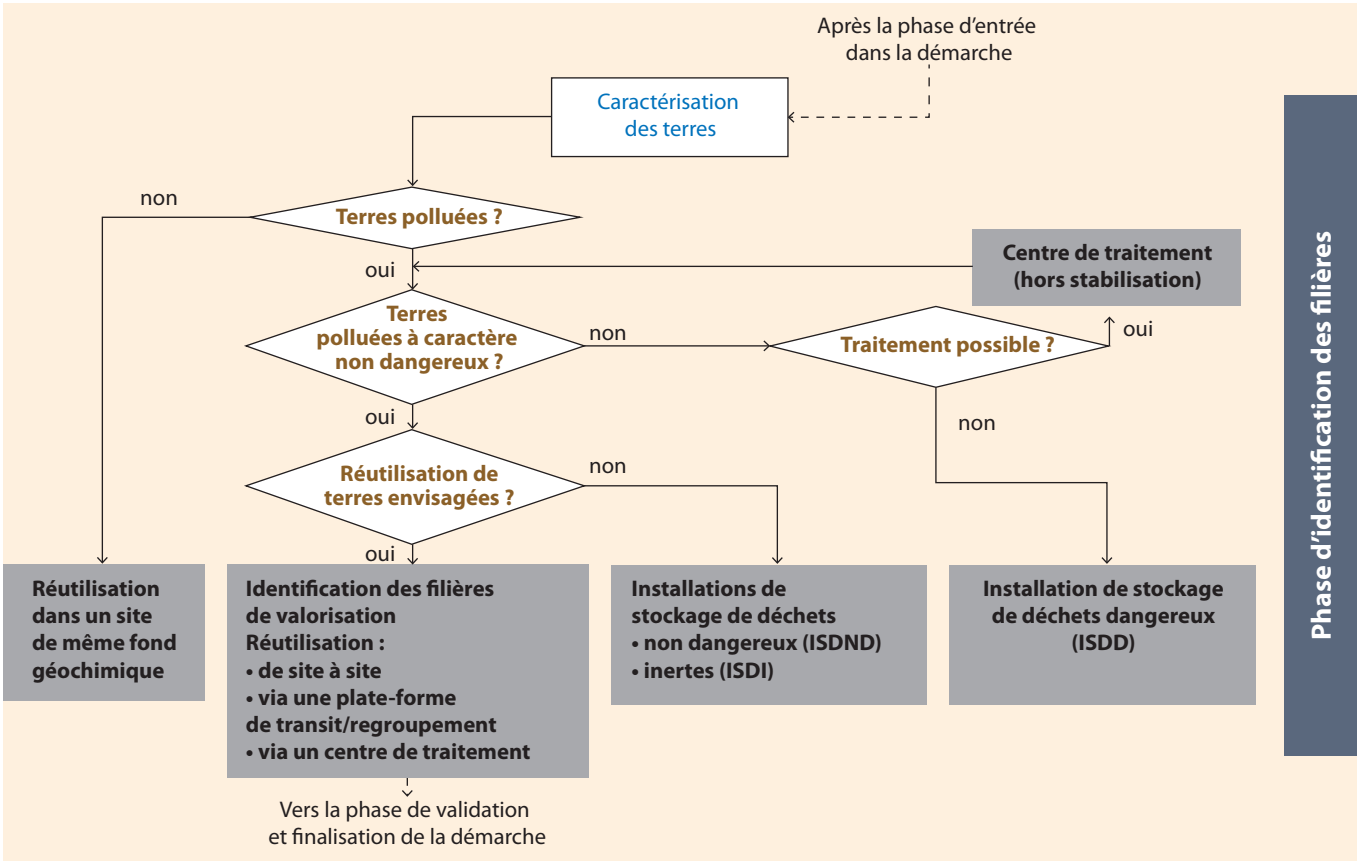
–Photo 1–
Le diagnostic préalable des sols permet d'anticiper d'éventuels surcoûts liés aux terrassements.

© MÉTROPOLE EUROPÉENNE DE LILLE

Le guide de 2012 détermine dans un premier temps le champ d'application pour la valorisation des terres.
Ainsi, sont exclues :
- les terres qui relèvent de la catégorie des déchets dangereux au sens de l'article R.541-8 du Code de l'environnement ;
- les matériaux extraits d'anciennes installations de stockage de déchets (autorisées ou non) ;
- les terres contenant, en masse et en volume :
  – plus de 1 % de matériaux non pierreux tels que du plâtre, du caoutchouc, des matériaux d'isolation, des matériaux de recouvrement de toiture ;
  – plus de 5 % de matériaux organiques tels que bois ou restes végétaux ;
  – plus de 5 % de produits tels que béton, tuiles, verre et matériaux de démolition de route ;
- les terres qui présentent une radioactivité naturelle renforcée (c'est-à-dire que le niveau de radioactivité des terres excavées dépasse le bruit de fond radiologique local) ;
- les terres amiantifères ou contaminées par de l'amiante ;
- les terres contaminées par des agents pathogènes ;
- les terres dont la siccité est inférieure à 30 % et les matériaux non pelletables ;
- les sédiments dragués dans les cours d'eau, dans les ports ou extraits des dispositifs de traitement des eaux pluviales.

Pour aider les producteurs à caractériser les terres, le *Guide de caractérisation des terres excavées dans le cadre de leur réutilisation hors site en technique routière et dans des projets d'aménagement*[3] est paru en 2013.
Les principes de réutilisation hors site des terres excavées sont ensuite exposés **(figure 1)** avec pour principal objectif de proposer des orientations qui ne sont pas de nature à porter atteinte à l'environnement et à la santé humaine.

–Figure 1–
Détermination des filières de valorisation ou d'élimination.



© BRGM

Les guides précisent les éléments fondamentaux à respecter pour valoriser les terres polluées, aussi bien en termes techniques (valeurs-seuils de polluants…) qu'en termes de responsabilité des producteurs (procédure de traçabilité, bordereau de suivi de terres réutilisables…).
Cette procédure, qui concerne des sites bien ciblés, est engagée lors de projets d'ampleur et généralement pour la création de zones d'aménagement. Cela dit, la prise en compte du risque chimique ne se limite plus à ces travaux car les collectivités territoriales sont confrontées à l'obligation de caractériser leurs enrobés bitumineux existants. Sans évoquer la problématique amiante[4], les collectivités territoriales doivent déterminer le taux de HAP présents dans leurs AE afin de déterminer les destinations possibles de ces déchets.

LES HAP

CONTEXTE

Les déchets de construction et de démolition routière peuvent représenter un problème particulier, du fait de l'utilisation intensive de goudrons depuis la fin du XIXe siècle. Le goudron, dérivé de la houille, est constitué de fortes teneurs (de 20 à 50 %) en HAP, dont les effets génotoxiques sont bien connus, et dont certains sont qualifiés de cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction.
Bien qu'ils ne soient plus utilisés (goudron ou dérivés houillers), il n'existe aucune réelle traçabilité possible sur la nature et les proportions de ces matériaux en place dans nos routes. Des caractérisations au gré des travaux se sont alors imposées aux maîtres d'ouvrage, en tant que propriétaires de ces déchets produits.

RESPONSABILITÉS ET RÉGLEMENTATION

Obligations du maître d'ouvrage
Le document de référence de base est l'article 36.1 du CCAG alinéa 4, qui précise notamment que « *le représentant du pouvoir adjudicateur transmet au titulaire, avant l'exécution des travaux, toute information qu'il juge utile pour permettre à celui-ci de valoriser ou d'éliminer les déchets conformément à la réglementation en vigueur* »[5].
Dans le même esprit, le Code du travail spécifie que le donneur d'ordres joint aux documents de consultation des entreprises tout document permettant le repérage des matériaux contenant de l'amiante, y compris ceux relevant de ses obligations au titre de l'article L. 541-1 du Code de l'environnement.
Cet article définit en effet comme déchet toute substance ou tout objet, ou plus généralement tout bien meuble, dont le détenteur se défait ou dont il a l'intention de se défaire.

–Tableau 1–
Destination des agrégats d'enrobés en fonction du taux de HAP.

	Résultats < à 50 mg/kg de MS	Résultats entre 50 et 500 mg/kg de MS	Résultats entre 500 et 1000 mg/kg de MS	Résultats > à 1000 mg/kg de MS
Type de recyclage possible	Recyclage à chaud ou à froid	Recyclage à froid uniquement	Impossible	Impossible
Lieu de stockage autorisé	ISDI (ex- classe 3)	ISDND (ex- classe 2) (confirmer seuil maximum accepté avec la décharge) ou ISDD (ex- classe 1)		ISDD (ex- classe 1)

© MEL

Désormais, la caractérisation des enrobés bitumineux par le donneur d'ordres intègre donc à la fois l'aspect amiante et l'aspect HAP. Cela a notamment été rappelé dans le guide national *Investigations préalables aux travaux de rabotage, démolition, recyclage et réutilisation d'enrobés bitumineux pour déterminer l'absence ou la présence d'amiante ou de HAP en forte teneur — Guide d'aide à la caractérisation des enrobés bitumineux*[6].

Seuils réglementaires

Le seuil caractérisant les HAP a été introduit dès l'arrêté du 15 mars 2006, confirmé dans sa version actualisée du 28 octobre 2010, et plus récemment repris dans l'arrêté du 12 décembre 2014 relatif aux conditions d'admission de produits en installation de stockage de déchets inertes (ISDI) (ex-décharge de classe 3).

En son article 3, l'arrêté du 12/12/14 spécifie que, pour être acceptés dans ces installations, tous les déchets d'enrobés bitumineux doivent avoir fait l'objet d'un test préalable montrant qu'ils ne contiennent ni goudron ni amiante.

Une valeur de 50 mg/kg de matière sèche pour la somme des 16 HAP figure en annexe 2 de cet arrêté. La quantification des HAP est établie selon la NF EN 15 527[7].

Depuis cette date, les ISDI doivent donc demander aux producteurs de déchets de démontrer que les volumes d'AE entrant dans leurs installations ne contiennent pas de quantités de HAP supérieures à ce seuil réglementaire. De même, le recyclage à chaud de ces enrobés est également interdit au-delà de ce seuil. Du point de vue de la valorisation, une tolérance a cependant été introduite dans le guide du Cerema *Acceptabilité environnementale des matériaux alternatifs en technique routière – Les matériaux de déconstruction issus du BTP*[8] dans lequel le recyclage à froid des AE présentant un taux de HAP inférieur à 500 mg/kg de matière sèche est mentionné comme filière possible de valorisation de ces déchets.

Il convient également d'évoquer qu'un seuil de 1 000 mg/kg existe afin d'affiner la destination entre les installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND) (ex-décharge de classe 2) et les installations de stockage de déchets dangereux (ISDD)(ex-décharge de classe 1).

La directive consolidée n° 2008/98/CE du 19 novembre 2008 relative aux déchets introduit en effet une valeur de 0,1 % pour définir une substance comme cancérogène. Plusieurs HAP entrant dans cette catégorie, les AE ayant une teneur supérieure à 1 000 mg/kg de matière sèche sont considérés comme dangereux et doivent être stockés en ISDD. L'ensemble de ces valeurs-seuils peut être résumée dans le **tableau 1**.

Pour caractériser leurs enrobés, les collectivités territoriales doivent donc systématiquement quantifier le taux de HAP de leurs chantiers afin de pouvoir déterminer la destination à prévoir pour leurs AE et fournir le document aux installations allant recevoir les stocks.

Comme l'évoque le guide national de caractérisation des enrobés bitumineux, un pas de 200 mètres entre les prélèvements est recommandé **(photo 2)**. Ce diagnostic préalable, généralement associé à la recherche d'amiante, représente aujourd'hui un coût non négligeable pour les collectivités territoriales. Les résultats des diagnostics engendrent eux aussi des surcoûts de mise en décharge qui grèvent le budget des collectivités, bien souvent au détriment d'opérations programmées et dont il faut reporter la réalisation.

© MEL

–Photo 2–
Les carottages préalables sur enrobés bitumineux sont devenus systématiques.

Classification des HAP et aspects cancérogènes

La classification des HAP, suite aux différentes études menées par les principales agences sanitaires internationales, montre que les 16 HAP contenus dans la liste (tableau 2) ne sont pas tous cancérogènes ou cancérogènes probables.

À ce jour, seuls 7 HAP de cette liste sont classés cancérogènes de catégorie 1 et 2 par les instances internationales, mais la réglementation exige d'exprimer les résultats d'analyse par la somme des quantités mises en évidence des 16 HAP. Un réajustement de la réglementation limitant la prise en compte des 7 HAP cancérogènes contribuerait à diminuer le coût des travaux pour les maîtres d'ouvrage, sans augmentation significative du risque environnemental.

Un résultat exprimant la somme des quantités des seuls HAP classés cancérogènes permettra, d'une part, de maîtriser le volume des déchets déposés en centre d'enfouissement et des surcoûts engendrés, et, d'autre part, les techniques de recyclage des enrobés, en constante innovation, amélioreront la valorisation des déchets de travaux routiers conformément aux exigences de la nouvelle loi sur la transition énergétique.

–Tableau 2–
Classification des HAP considérés par les agences sanitaires internationales (CIRC (international), EFSA (Europe)).

HAP	Cancérogènes CIRC	Cancérogènes EFSA
Benzo(a)pyrène	1	x
Dibenzo(a,h)anthracène	2A	x
Benz(a)anthracène	2B	x
Benzo(b)fluoranthène	2B	x
Benzo(k)fluoranthène	2B	x
Chrysène	2B	x
Indéno(1,2,3,c,d)pyrène	2B	x
Benzo(g,h,i)pérylène	3	
Anthracène	3	
Acénaphtène	3	
Acénaphtylène		
Fluoranthène	3	
Flurorène	3	
Napthalène		
Phénanthrène	3	
Pyrène	3	

© MEL

Légende des groupes du CIRC : groupe 1 : substance cancérogène ; groupe 2A : substance probablement cancérogène ; groupe 2B : substance possiblement cancérogène ; groupe 3 : substance inclassable quant à sa cancérogénicité

EXEMPLE DE CAMPAGNE DE QUANTIFICATION EN HAP

Depuis le début de l'année 2015, la Métropole européenne de Lille a systématisé la reconnaissance préalable en HAP pour tous les travaux prévus dans son programme annuel de voirie. Les mesures amiante avaient déjà été réalisées à l'échelle de l'ensemble de la voirie métropolitaine et capitalisées dans une base de données géographiques.

Travail de quantification préalable

Début 2015, une commande générale relative à 415 opérations de voirie a été mise en place en collaboration avec tous les maîtres d'œuvre de la direction Espace public et voirie.

Dans le guide national de 2013, contrairement à l'amiante, il n'est pas évoqué la possibilité de ne pas caractériser en HAP les enrobés de trottoirs. Cette campagne HAP a donc été complète (chaussées et trottoirs), tout en affinant les périmètres de travaux afin de limiter le nombre de carottages et d'éviter une campagne d'analyse trop longue. Celle-ci commençant en début d'année, il a aussi fallu prioriser les opérations de sondage selon les échéances prévisionnelles de travaux.

Ce travail préparatoire a permis de limiter les investigations et ainsi d'optimiser les dépenses. Au final, près de 750 carottages ont été programmés pour une somme avoisinant les 150 000 euros TTC.

Dans le même esprit, la programmation de travaux 2016 a fait l'objet d'une campagne d'analyse, réalisée en amont : 530 opérations et 1 300 carottages ont été réalisés pour un coût de l'ordre de 200 000 euros TTC.

Résultats des campagnes 2015-2016

Plus de 2 000 carottages ont donc été effectués au cours des deux dernières années et un bilan chiffré sur les résultats peut être dressé (figures 2 et 3).

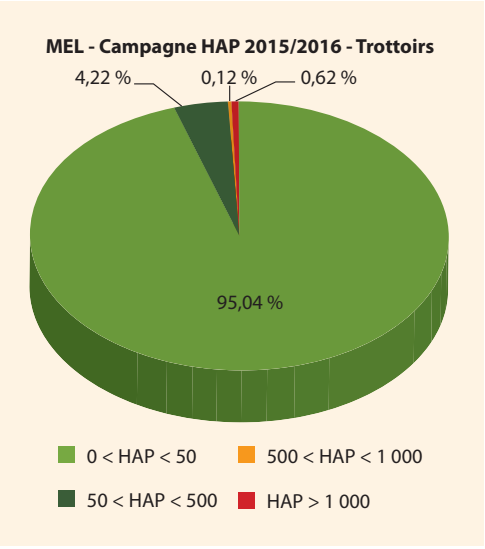
Sur un échantillon de 800 carottages en trottoirs et 1 200 carottages en chaussées, il convient de souligner que la problématique HAP est bien peu présente en trottoirs, avec uniquement 6 prélèvements présentant des teneurs supérieures à 500 mg/kg. Il est à noter que 3 de ces prélèvements concernent un même secteur constitué de petites voies en impasse très peu sollicitées et dont la date de construction des trottoirs était assez ancienne.

Il en est cependant autrement sur les prélèvements en chaussées, où seuls 70 % des carottages présentent un taux inférieur à 50 mg/kg permettant un recyclage à chaud ou un stockage dans des conditions moins contraignantes (ISDI).

Cette synthèse démontre également que la proportion de résultats entre 50 et 500 mg/kg est importante et que le guide paru en 2016 offre une issue de valorisation à froid pour ces AE.

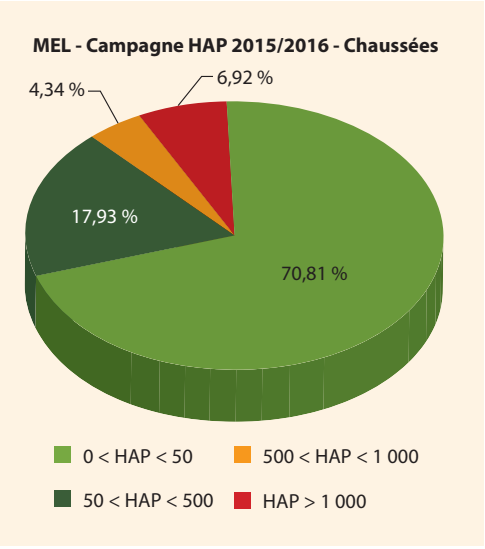
De manière générale, il n'y a pas de conclusion évidente sur des zones géographiques plus touchées que d'autres, comme cela pouvait être pressenti. Les voiries de centre-ville ancien ou les voiries péri-urbaines revêtues d'enduits superficiels d'usure (ESU) présentent malgré tout des concentrations en HAP plus importantes que sur les autres types de voies. Sur quelques opérations, des variations importantes de résultats sur de même voiries ont été relevées et ont nécessité un approfondissement des investigations ou une adaptation des zones de rabotage en phase chantier.

–Figure 2–
Résultats des quantifications HAP en trottoirs (échantillon = 800 carottages).



© MEL

–Figure 3–
Résultats des quantifications HAP en chaussées (échantillon = 1200 carottages).



© MEL

Ce bilan donne une idée des proportions de voies concernées par la problématique, qui est finalement bien plus conséquente que celle de l'amiante pour le territoire de la Métropole européenne de Lille. Afin de capitaliser les résultats, un portail géographique recense sur une même vue tous les résultats des prélèvements HAP et amiante, communiqués aux intervenants du domaine public lors de la transmission des ATP.
Ces résultats de prélèvements imposent donc, dans un tiers des opérations du programme de travaux, des réflexions quant aux destinations des enrobés. Les évacuations engendrent dans la plupart des cas un surcoût important et nécessitent un suivi de chantier encore plus rigoureux (obtention systématique des bordereaux de suivi des déchets…).

DES CHOIX TECHNIQUES OU FILIÈRES DE VALORISATION VARIÉS

En 2017, avec une anticipation encore plus grande des campagnes d'analyses préalables aux travaux, les solutions d'évacuation des AE pollués pourront être optimisées.
Ainsi, le retraitement en place pourrait être envisagé pour les voiries à fort taux de HAP. En effet, cette technique ne produisant pas de « déchet » juridiquement parlant, les déblais ne sortant pas du périmètre du chantier, elle permettrait de valoriser les AE en place et de limiter les déblais et transports inhérents à ceux-ci.
De même, plusieurs plates-formes ont commencé à mettre en place des conventions de transports transfrontaliers de déchets dans lesquelles des valorisations en co-produits à l'étranger émergent :
- réutilisations suite au processus de désorption thermique aux Pays-Bas ;
- réutilisations en remblais en Belgique ou en Suisse avec des taux supérieurs à ceux autorisés en France.

Les perspectives de valorisation des AE sont donc multiples, mais nécessitent du temps en amont, une bonne connaissance des possibilités offertes par les différentes filières et des coûts de traitement plus élevés. ■

RÉFÉRENCES

1. Norme NF X 31-620 « Prestations de services relatives aux sites et sols pollués ».

2. *Guide de réutilisation hors site des terres excavées en technique routière et dans des projets d'aménagement*, BRGM, BRGM/RP-60013-FR, février 2012.

3. *Guide de caractérisation des terres excavées dans le cadre de leur réutilisation hors site en technique routière et dans des projets d'aménagement*, BRGM, décembre 2013.

4. « Dossier Amiante », RGRA n° 924, décembre 2014-janvier 2015, pp. 25-52.

5. CCAG, article 36.1 : Principes généraux (du chapitre « Gestion des déchets de chantier »).

6. *Investigations préalables aux travaux de rabotage, démolition, recyclage et réutilisation d'enrobés bitumineux pour déterminer l'absence ou la présence d'amiante ou de HAP en forte teneur – Guide d'aide à la caractérisation des enrobés bitumineux*, Comité de pilotage national « Travaux Routiers – Risques Professionnels », novembre 2013.

7. NF EN 15 527 « Caractérisation des déchets - Dosage des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans les déchets par chromatographie en phase gazeuse/spectrométrie de masse (CG/SM) », octobre 2010.

8. *Acceptabilité environnementale des matériaux alternatifs en technique routière – Les matériaux de déconstruction issus du BTP*, Cerema, 2016.

CAS DES FUMÉES DE BITUME
CONTEXTE HISTORIQUE

Cet article s'attache à présenter en préambule les différents types d'études toxicologiques ainsi que les incertitudes intrinsèquement liées. Les explications permettent de mieux aborder l'historique des études sur les fumées de bitume. Enfin, quelques perspectives sont présentées suite au dernier avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses).

© COLAS/ALAIN MONTAUFIER

Le bitume et ses fumées ont été étudiés de nombreuses fois : la profession routière a identifié plus de 500 études sur le sujet ; aucune ne permet de remettre en question l'absence de lien entre cancer et bitume. Les professionnels de l'industrie routière soutiennent depuis longtemps les études menées par des organismes respectés et indépendants en permettant des analyses scientifiques en toute transparence. Elle a par ailleurs établi des collaborations étroites avec la Sécurité sociale (Carsat), la Médecine du travail, les organismes paritaires (OPPBTP, INRS) et le ministère du Travail, cette attitude étant déclinée de la même façon par les associations professionnelles américaines et européennes de la construction routière.

LES DIFFÉRENTS TYPES D'ÉTUDES TOXICOLOGIQUES

Si l'on se réfère aux groupes de travail méthodologique du CIRC (Centre international de recherche sur le cancer), il existe trois grands types d'études pour déterminer le caractère toxicologique d'une substance pour l'espèce humaine. Pour simplifier, on observera que ces études sont toujours indirectes quand il s'agit de substances toxiques, car il est hors de question de tester des poisons sur des êtres humains pour déterminer directement les doses de toxicité aiguës ou chroniques sur l'espèce humaine ; il s'ensuit que ces trois types d'études sont imparfaits.

LES ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES

L'épidémiologie est l'étude de la fréquence des maladies, de la dynamique des états de santé et des déterminants de ces variations dans une population humaine. C'est une discipline scientifique, mais aussi un des fondements de la politique de santé publique ; à ce titre, elle s'intéresse à un groupe d'individus (également appelé population) et non à un individu unique. Elle a donc pour objectif la détection et la prévention des problèmes de santé. Il existe deux grands types d'études épidémiologiques, selon que celles-ci sont expérimentales ou non :

- Les études expérimentales : dans ce type d'études, le chercheur influe sur un ou plusieurs facteurs d'exposition, le moment de l'exposition ainsi que sur les personnes soumises à cette exposition.

AUTEURS

Henri Molleron
Directeur Environnement
Chargé de mission Développement responsable
Colas SA

Vincent Besse
Responsable scientifique
Colas SA

Les groupes sont suivis, puis comparés entre eux. L'étude peut être randomisée si l'affectation des individus se fait dans un groupe ou l'autre de manière aléatoire. La randomisation permet de limiter le biais des études, mais nécessite que la population soit homogène et que la population présentant la pathologie étudiée soit prédominante. Ce type d'étude, généralement très long et très coûteux, pose parfois des problèmes éthiques. Dans les faits, il est réservé aux recherches qui précèdent la mise sur le marché de médicaments et il est pratiquement interdit aux études sur les polluants et autres substances toxiques.

• Les études non expérimentales : dans ce type d'études, le chercheur observe la réalité sans intervenir sur les conditions d'exposition des individus. Il en existe plusieurs types :

• Les études de prévalence, qui observent la fréquence à laquelle survient un phénomène de santé, dans une population donnée et à un moment précis. Il s'agit là d'un indicateur statique puisqu'aucun suivi des patients dans le temps n'est réalisé.

• Les études d'incidence, qui font apparaître la notion de temporalité car il s'agit d'observer une population sur une période déterminée afin d'en apprécier les modifications de l'état de santé.

Les études de cohortes

Une cohorte est un groupe d'individus suivis dans le temps. Les études de cohortes se déroulent en pratique à l'aide de deux groupes de sujets, exposés ou non au facteur de risque, qui sont suivis sur la période de l'étude, puis comparés entre eux.

Ces études, adaptées aux facteurs de risques rares, permettent d'analyser plusieurs maladies, mais présentent plusieurs inconvénients, parmi lesquels la perte de vue possible des individus, la nécessité d'avoir un échantillon de grande taille, la difficulté du suivi de maladies rares, la durée et les coûts.

Les études de cas témoins

Il s'agit là de comparer deux groupes de sujets, les uns étant malades (les « cas ») et les autres non malades (les « témoins »). Le recueil d'information est donc toujours rétrospectif du fait de la déclaration préalable de la maladie chez certains sujets. Les groupes doivent être choisis dans la même population, puis être comparés. Théoriquement, la seule différence entre les deux groupes doit précisément être la maladie.

Ce type d'études est adapté aux maladies rares ou à celles qui surviennent longtemps après l'exposition. Peu coûteuses, elles permettent d'étudier plusieurs facteurs de risque. Les inconvénients à signaler sont notamment la possibilité de biais de mémorisation (lié au fait qu'un cas se souvient généralement mieux de ses expositions passées) et de biais de sélection (choix des témoins).

Les biais

Un biais est une erreur méthodologique, indépendante de la taille de l'échantillon, qui se traduit par une surestimation ou une sous-estimation systématique de la valeur réelle. Une étude présente toujours un biais qu'il appartient aux chercheurs de minimiser et de maîtriser.

Il en existe différents types :

• le biais de population : problème lié à la constitution de l'échantillon, individus perdus de vue... ;

• le biais d'information : lié à une évaluation incorrecte de l'exposition ;

• le biais de confusion : lié à une mauvaise analyse ou à un facteur confondant n'ayant aucun lien de cause à effet avec le phénomène observé ;

• le biais lié à l'expérimentateur lui-même : lié à la conviction du chercheur et à une mauvaise revue critique.

LES ÉTUDES SUR L'ANIMAL

Les modèles animaux font l'objet d'une remise en cause éthique extrêmement vigoureuse au niveau européen, ainsi que d'une controverse scientifique[1]. Il s'agit d'utiliser un modèle animal non humain pour prédire la réaction de l'homme aux maladies, comme c'est aussi le cas pour les médicaments. Le terme prédiction est sujet à un malentendu. En effet, la valeur prédictive attribuée aux animaux est souvent confondue avec la sensibilité spécifique d'une espèce donnée vis-à-vis d'une substance chimique et d'un mode d'exposition donné. Une espèce pouvant être plus ou moins sensible à une substance, la prédiction peut exister, mais pas forcément de façon fiable.

Les modèles animaux sont fondés sur une hypothèse selon laquelle les résultats des analyses sur animaux sont directement comparables aux effets sur l'homme, autrement dit, que ces modèles animaux sont prédictifs. Il s'agit d'ailleurs du postulat classique qui permet à l'industrie pharmaceutique de sélectionner une substance plutôt qu'une autre pour la formulation d'un médicament. Bien évidemment, la prédiction n'est pas testée sur l'être humain pour des questions d'éthique. En outre, lorsque des médicaments sont mis sur le marché, des essais sur l'humain ont déjà eu lieu et des remontées d'informations sont effectuées sans cesse par les services de santé afin de prévenir toutes les réactions anormales, allergiques et autres effets indésirés.

Les études animales sont imparfaites et incertaines. En 1990, deux d'entre elles ont révélé que, dans 4 cas de toxicité sur 24, une toxicité a été signalée par les données animales et que, dans 6 cas sur 114 seulement, les toxicités cliniques étaient en conformité avec les résultats obtenus sur l'animal[2]. Plus récemment, en 1994, une étude japonaise portant sur 64 médicaments indiquait que 39 toxicités cliniques sur 91 n'avaient pas été prévues par le modèle animal[3].

Ces différences peuvent s'expliquer par la biodisponibilité des substances ou de leurs métabolites dans l'organisme. La biodisponibilité est la fraction de substance qui atteint la circulation sanguine et qui peut potentiellement atteindre une cible biologique (il peut s'agir d'un récepteur nucléaire donné, d'une enzyme ou de l'ADN). Lors d'une étude scientifique menée sur la biodisponibilité de substances chimiques dans l'organisme de l'homme et de trois espèces animales (primates, rongeurs, chiens), il a été démontré que certaines substances hautement biodisponibles chez l'homme l'étaient très peu chez le chien, et inversement. Même si certains résultats sont corrélés entre espèces, l'étude démontre qu'il n'existe pas de corrélation a priori entre les effets d'une substance sur l'homme et ceux observés sur des espèces animales, seules ou combinées.

Le cas du thalidomide est emblématique de la variance extrême que peuvent avoir les modèles animaux par rapport aux humains. Le thalidomide était un sédatif prescrit aux femmes enceintes à la fin des années 1950. Les enfants de ces femmes sont nés dépourvus de membres ou atteints de malformations. Des études a posteriori ont montré des effets tératogènes très occasionnels sur 10 souches de rats, 15 souches de souris, 11 races de lapins, 2 races de chiens, 3 souches de hamsters, 8 espèces de primates et d'autres espèces telles que chats, cobayes, porcs et furets[4]. De manière inattendue, le rat et la souris se sont montrés résistants.

LES ÉTUDES « MÉCANISTIQUES » OU « PRÉDICTIVES »

Ces études visent à reproduire les effets toxicologiques en laboratoire en analysant les mécanismes biologiques aux niveaux cellulaire et moléculaire, en exposant des échantillons de tissus humains aux substances visées. On parle alors d'essais *in vitro*, lesquels complètent souvent des études *in silico*, ces dernières reposant uniquement sur des algorithmes informatiques.

Ce type d'études est souvent regroupé sous le vocable de toxicologie prédictive[5]. C'est dans cette dernière expression que réside tout leur intérêt : elles visent à établir la toxicité d'une substance avant d'y exposer l'espèce humaine et sans passer par l'expérimentation animale, laquelle soulève de plus en plus d'opposition (critique scientifique, opposition des défenseurs des animaux...). Il n'est pas indifférent non plus que leur coût soit beaucoup plus supportable, ce qui permet d'envisager de les rendre plus systématiques.

Les études in *silico*

Dans ce contexte, les études de prédiction de toxicité *in silico* prennent de l'importance, car elles permettent de gagner temps et efficacité dans le développement d'une substance ou dans son évaluation avant sa mise sur le marché. L'utilisation de l'approche *in silico* est encouragée par Reach (*Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals*, voir article p. 24) et il existe même des guides pour l'évaluation des ingrédients et produits cosmétiques.

L'approche *in silico* ou (Q)SAR (*Quantitative Structure-Activity Relationship*) est le procédé par lequel une structure chimique est corrélée avec un effet bien déterminé, comme l'activité biologique, la réactivité chimique et la toxicité. Cette corrélation est établie via des modèles mathématiques intégrés à des logiciels spécialisés. Cette approche repose sur le postulat que des molécules chimiques similaires ont des activités biologiques semblables, ce qui permet la recherche d'analogues structuraux et l'application d'algorithmes pour prédire la toxicité d'une molécule en se basant sur sa structure (principe du « Read accross » appliqué et recommandé dans Reach). Les logiciels disponibles permettent en principe de renseigner de nombreux critères tels que l'ADME (absorption, distribution, métabolisme et excrétion), la toxicité aigüe, la génotoxicité, la cancérogénicité, l'irritation et la sensibilisation cutanée, la toxicité répétée...

Il n'en reste pas moins que ces études *in silico* ne peuvent se substituer à d'autres : malgré les espoirs qu'elles font naître, elles sont cantonnées pour longtemps à une fonction de *screening* ou de pré-étude.

Les études *in vitro*

Leur facilité de mise en œuvre, leur isolement de tout contexte physiologique, qui permet d'étudier un mécanisme d'action toxique, et, surtout, la possibilité d'utiliser des cellules humaines afin de s'affranchir des différences inter-espèces, en font un outil incontournable. Ce dernier point est particulièrement vrai pour les cellules hépatiques, car près du tiers des molécules qui se révèlent hépatotoxiques dans les essais cliniques ne provoquent aucune lésion hépatique chez l'animal.

En poursuivant sur l'exemple du foie, les modèles hépatiques humains incluent des systèmes cellulaires (tranches de foie, hépatocytes primaires et lignées de cellules hépatiques) et subcellulaires (fractions S9, microsomes, enzymes recombinantes), chaque modèle ayant ses propres intérêts et limites pour établir le profil métabolique d'une molécule, caractériser les enzymes impliquées dans sa biotransformation, démontrer une inhibition ou une induction enzymatique ou encore prédire d'éventuelles interactions avec d'autres composés. Ces données sont aujourd'hui requises par les agences réglementaires et on observe une bonne corrélation avec les résultats *in vivo* : qu'il s'agisse de prédiction ou de mécanismes d'action, l'hépatotoxicité ne peut logiquement être évaluée qu'à partir de cellules humaines compétentes au plan métabolique.

Jusqu'à présent, les études *in vitro* ont surtout été réalisées à partir d'hépatocytes primaires, exposés à un traitement unique, à des concentrations élevées à l'aide de tests conventionnels. Ceux-ci, nombreux (morphologiques, biochimiques ou métaboliques) et de sensibilité variable, ont conduit à des résultats discutables et il n'existe toujours pas de méthode de référence pour l'évaluation de la toxicité aiguë. Il est vraisemblable que des traitements réitérés (chroniques) des systèmes cellulaires *in vitro* seront nécessaires pour répondre à ce défi.

Si, pour le foie, une cellule, l'hépatocyte, est la cible majeure, dans d'autres tissus (rénal, pulmonaire, nerveux…), différents types cellulaires sont des cibles potentielles importantes. On dispose de plusieurs modèles cellulaires primaires et certaines lignées sont représentatives du néphron in vivo. En revanche, les modèles *in vitro* existants ne permettent pas d'évaluer correctement le potentiel neurotoxique de composés chimiques.

Aussi, de nouvelles stratégies de toxicologie prédictive et mécanistique sont actuellement développées, reposant sur des modèles cellulaires et des méthodologies plus adaptés. Beaucoup d'espoirs reposent sur l'obtention de lignées de différents types cellulaires provenant de la différenciation de cellules souches humaines, mais des étapes restent à franchir. De nouvelles approches reposant sur l'utilisation de puces à cellules couplée à l'imagerie sont en cours de validation. Ces puces nécessitent peu de cellules (quelques centaines par point) et permettent de visualiser 3 ou 4 marqueurs par cellule. Un tel équipement est actuellement utilisé pour le screening de nouvelles molécules anticancéreuses dérivées de produits de la mer.

Les études *in omics*

Parmi les disciplines émergentes en toxicologie, les technologies reconnaissables par le suffixe « omic » ont pris une place prépondérante au cours de ces dernières années et sont en constante évolution. Leur apparition permet d'envisager une meilleure prédiction de la toxicité des molécules. Ces technologies sont fondées sur le fait qu'un événement physiologique, pharmacologique ou toxicologique modifie la composition protéique et l'activité des cellules, donc leur fonction. Les modifications peuvent être détectées à différents niveaux cellulaires. En toxicologie, il s'agit souvent d'évaluer les profils (ou signatures) de modifications obtenus après exposition à un produit et de les comparer à des profils témoins ou caractéristiques de toxicités connues.

Les technologies « *omics* » en toxicologie s'utilisent pour des analyses à différents niveaux cellulaires : génomique, transcriptomique, protéomique, métabonomique… Un des intérêts majeurs des « *omics* » réside dans la prédiction des effets à long terme d'un produit via son utilisation dans des essais à court terme. Il est admis que des toxiques agissant par le même mécanisme d'action entraînent des profils de dérégulation génique ou métabonomique similaires et caractéristiques. En regroupant les profils de toxiques bien connus et en reliant ces dérégulations à leur expression phénotypique, une « signature » caractéristique de la toxicité considérée peut être établie et l'on peut donc prédire très tôt les éventuels effets d'une molécule. Ce type d'analyse nécessite des bases de données suffisamment importantes pour être prédictives. De nombreuses publications ont déjà établi, par exemple, des listes de gènes ou de métabolites potentiellement prédictifs de carcinogénicité. Dans ce cas, des signatures transcriptomiques discriminant un mode d'action génotoxique ou non génotoxique, obtenues après traitement de rats durant 14 jours avec des carcinogènes connus, prédisent à 88 % les résultats d'études de cancérogenèse obtenus après 2 ans de traitement.

Les « *omics* » sont également largement utilisés dans la compréhension des mécanismes de toxicité, indispensable pour évaluer la pertinence inter-espèces des effets observés ou établir des seuils de sécurité. La recherche du mécanisme peut conduire à l'identification de marqueurs précoces de toxicité.Au plan réglementaire, les agences gouvernementales américaines et européennes se montrent très attentives à l'essor de ces nouvelles techniques et ont chacune créé un groupe multidisciplinaire de réflexion et d'évaluation de ces données. Ces initiatives viennent d'aboutir à la validation de 7 nouveaux marqueurs de néphrotoxicité plus prédictifs et précoces que les traditionnels urée/créatinine pour la détection d'une atteinte rénale aiguë.

À titre de conclusion sur ces trois grands champs d'études toxicologiques, on retiendra qu'elles sont toutes imparfaites et qu'aucune n'est suffisante :

- Les études épidémiologiques sont fragiles pour détecter des toxicités faibles, nécessitent de grandes populations exposées et sont rétrospectives, ce qui est particulièrement frustrant.
- Les études sur l'animal sont discutables dans la mesure où il est toujours hasardeux d'extrapoler à l'homme les effets observés sur une ou plusieurs espèces.
- Les études prédictives sont en plein essor, mais elles manquent de recul et il paraît hasardeux de conclure sur les effets au niveau d'un organisme complexe à partir d'études menées au niveau cellulaire.

Le cas des fumées de bitume

Les études d'envergure menées au cours des dernières années au sujet des fumées de bitume sont claires : elles peuvent avoir pour effet une irritation des voies respiratoires ou des yeux. Mais aucune n'a mis en évidence de risque éventuel de cancer du poumon. Toutes ces études, consultables librement, dénotent une grande qualité scientifique fondée sur la transparence des méthodes et des protocoles.

Il convient de souligner le rôle de pionnier souvent méconnu des études anciennes, même si elles sont erronées. Il convient ainsi de rendre hommage aux premiers travaux du professeur Marcel Castegnaro en France, même si les résultats ont été infirmés par la suite : sans lui, les connaissances relatives au bitume et aux fumées de bitume n'en seraient sans doute pas au niveau actuel.

GRANDES ÉTUDES SUR LES FUMÉES DE BITUME

La première d'entre elles a été menée en 1996 par le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer). L'autorité scientifique mondiale sur la question du cancer n'a pas le statut d'autorité réglementaire, mais les administrations s'appuient sur ses travaux pour faire évoluer le cadre réglementaire sur la question du cancer. Il s'agit d'une étude épidémiologique qui a couvert une cohorte de 29 820 personnels exposés aux fumées de bitume, 32 245 dans les autres métiers du BTP et 17 757 dans des activités diverses. Huit pays y ont participé : Allemagne, Danemark, Finlande, France, Israël, Pays-Bas, Norvège et Suède. Ce travail sur les causes de mortalité par cancer a donné lieu à de nombreuses publications. Il a ensuite été complété par une étude de cas témoins publiée en 2003[6].

Les résultats de la seconde étude, menée en Allemagne par l'institut Fraunhofer, ont été publiés en 2007. Le travail, mené sur une période de deux ans, s'est appuyé sur une population de 500 rats de laboratoire. L'objectif était d'évaluer le risque de cancer aussi bien par l'exposition cutanée que par la voie respiratoire. À l'issue de cette étude, le protocole utilisé a été repris par les organismes les plus sérieux.

© ISTOCK/ALEXANDER GATSENKO

L'INRS, qui a contribué à sa mise au point, l'a ensuite utilisé dans ses propres études. Le travail a conclu à une absence de risque de cancer chez le rat et à un effet faible d'irritant pour l'œil et l'ensemble des voies respiratoires supérieures (nez, trachée, poumon). Les conclusions concordantes de l'ensemble de ces travaux ont conduit la Médecine du travail en France à prendre une première position nationale en 2006 : le bitume ne doit pas être confondu avec le goudron (cancérogène) et sa (faible) toxicité ne justifie pas un suivi renforcé des personnels exposés. En parallèle, la profession routière s'appuie sur les mêmes études pour considérer que le risque issu des fumées de bitume est faible et suffisamment réduit. Cette position l'emporte désormais au niveau international.

En décembre 2010, l'ensemble des producteurs de bitume, par l'intermédiaire du Concawe (*Conservation of Clean Air and Water in Europe*), ont achevé un inventaire des impacts sur la santé et l'environnement, conformément au protocole d'enregistrement de Reach. Le travail conclut à l'absence de risque pour la santé ou pour l'environnement.

MONOGRAPHIE DU CIRC

Le CIRC publie des monographies qui ont pour objet de faire la synthèse des connaissances établies sur la cancérogénicité de substances. Ces documents font autorité au plan international.

La monographie précise, à un instant donné, le niveau d'indication de cancérogénicité associé à la substance. Le classement est donc provisoire et régulièrement actualisé sur la base de connaissances nouvelles. Il est également basé sur une échelle de connaissance et non sur une échelle de gravité. Les études menées par le CIRC évaluent un danger intrinsèque à la substance sans le relier à un risque pour la personne exposée. À titre d'exemple, une substance cancérogène classée en catégorie 1 peut être émettrice de fumées cancérogènes à haute température sans contenir de facteur de cancérogénicité à température ambiante. Le caractère cancérogène est, par conséquent, un danger intrinsèque, alors que la température est un facteur de risque. Depuis 1971, plus de 900 substances ont été évaluées, parmi lesquelles 400 ont été classées cancérogènes ou potentiellement cancérogènes pour l'être humain. Dans le cadre de la monographie sur le bitume, le processus décisionnel a commencé par une période d'environ un an, en 2010, pour collecter toutes les études pertinentes publiées dans le monde et préparer ainsi une séance de travail qui s'est poursuivie pendant 8 jours consécutifs et a été organisée en 4 sous-groupes de travail dont les thèmes sont les suivants :

- typologie des expositions ;
- études sur l'homme (épidémiologie pour l'essentiel) ;
- études sur l'animal ;
- études bio-cellulaires dites « mécanistiques » ou « prédictives ».

La démarche consiste à statuer sur les faits et les conclusions des études publiées (récentes ou anciennes) dans la littérature scientifique. Les représentants des différentes professions sont invités à titre d'observateurs et peuvent être amenés à obtenir la parole pour éclairer les débats. Les groupes de travail votent ensuite en séance plénière sur les différents qualificatifs qui permettent d'aboutir au résultat final. Ce processus est entièrement normé et obéit à des règles strictes de procédure, de définition, de déontologie, de transparence, de gouvernance... C'est un standard pour tous les travaux de la section des monographies du CIRC.

Le CIRC classe les substances au sein de 4 groupes, qui correspondent à des niveaux de preuves de cancérogénicité pour l'être humain. Le groupe 2 est subdivisé en 2 sous-groupes, 2A et 2B. Le classement en groupe 3 ou 2B est fonction du faisceau d'indices et donc du nombre d'articles scientifiques qui traitent du sujet **(tableau 1)** :

- Groupe 1 : agent cancérogène. Les circonstances d'exposition donnent lieu à des expositions qui sont cancérogènes pour l'homme.
- Groupe 2A : agent probablement cancérogène. Les circonstances d'exposition donnent lieu à des expositions qui sont probablement cancérogènes pour l'homme.
- Groupe 2B : agent possiblement cancérogène. Les circonstances d'exposition donnent lieu à des expositions qui sont peut-être cancérogènes pour l'homme.
- Groupe 3 : agent inclassable quant à sa cancérogénicité (données insuffisantes).
- Groupe 4 : agent probablement non cancérogène (1 seul à ce jour).

C'est en 2011 que 16 experts venant de 9 pays se sont réunis pour établir une nouvelle monographie relative aux bitumes et fumées de bitume et certains hydrocarbures aromatiques polycycliques hétérocycliques[7]. Le travail des quatre groupes de travail peut se synthétiser de la façon suivante :

- Typologie des expositions : le CIRC a retenu les grandes catégories qui faisaient consensus, distinguant les bitumes (sévèrement) oxydés (bitumes dont l'indice de pénétration (IP) est supérieur à 2) des bitumes routiers et assimilés, sans statuer sur les bitumes additivés et renvoyant de facto a des analyses qui combinent la toxicité des bitumes et celles des additifs), tout en reconnaissant 3 grandes typologies d'exposition : les travaux de couverture, les travaux routiers et les travaux d'asphalte coulé.
- Études sur l'homme : la grande étude épidémiologique du CIRC (mortalité et cas témoins) a été jugée comme l'emportant sur les études précédentes, compte tenu de son caractère massif, de son ampleur internationale et de sa rigueur méthodologique. Elle est toutefois limitée aux travaux routiers, alors que les professions de l'asphalte sont plus démunies (études anciennes, de faible ampleur, avec des risques de facteurs confondants et des indications négatives peu fiables).
- Études de cancérogénicité animale, réalisées majoritairement sur le rat et plus rarement sur la souris : la grande étude du Fraunhofer a été jugée déterminante pour l'asphalte et les travaux routiers, complétée par une étude américaine sur les questions de reprotoxicité. Les débats du groupe de travail du CIRC ont permis de relativiser des études plus anciennes, comme celle qui avait observé l'exposition cutanée aux fumées de bitume en les appliquant avec des solvants à base de benzène, de toluène, d'huiles minérales ou d'acétone, ces solvants étant bien connus pour favoriser le passage transcutané, mais aussi pour provoquer eux-mêmes le cancer. Il ressort de cette analyse des études sur l'animal que l'exposition au bitume (non oxydé) ou à ses fumées n'a pas montré d'augmentation du risque de cancer.
- Études mécanistiques prédictives : un certain nombre d'études ont donné des résultats inquiétants, alignés sur des protocoles suivis pour les HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) du goudron, famille de molécules dont certaines sont cancérogènes ou fortement suspectées de l'être et qui sont très présentes dans la chimie du charbon. Ces résultats très différents de ceux des autres familles d'études ont soulevé un problème de cohérence des résultats. Il est à noter qu'il s'agit d'études peu nombreuses, avec des protocoles difficiles à mettre en place pour des substances comme le bitume ou ses fumées (lesquelles contiennent un très grand nombre de molécules différentes) et qu'on peut ainsi arguer que ces études s'inscrivent dans une courbe d'apprentissage qui reste encore longue avant de pouvoir être suffisamment conclusives.

Le comité du CIRC a pu alors appliquer ses règles de prise en compte des travaux des quatre groupes de travail et conclure ses débat en statuant sur un « niveau de preuve inadéquat » concernant la cancérogénicité pour l'homme aux expositions professionnelles aux bitumes et à leurs fumées durant les travaux de revêtement de routes ou d'asphalte. La quantité de travaux traitant du sujet a été jugée suffisamment importante pour que les bitumes de distillation ainsi que les condensats de leurs fumées durant les travaux routiers soient considérés comme « possiblement cancérogènes pour l'homme » (groupe 2B).

Le niveau de preuve étant « limité » quant à la cancérogénicité de l'exposition professionnelle aux bitumes et à leurs fumées durant les travaux d'asphalte coulé, les expositions ont été classées « possiblement cancérogènes pour l'homme » également (groupe 2B). Il est nécessaire de noter que les études sur l'animal ou l'homme n'ont pas conduit à distinguer de cancer de la peau, du poumon, de la vessie...

La réaction des professionnels de l'industrie routière peut se résumer ainsi :

- Ils ont été impressionnés par la rigueur, la méthode, la déontologie et la transparence : ils ont beaucoup appris.
- Ils ont donc salué sans réserve les résultats conformément à la démarche qui consiste à respecter l'avis indépendant de la communauté scientifique.
- Ils ont pris bonne note que de nouvelles études mécanistiques seraient lancées et qu'il était nécessaire de rester informés sur ce domaine en pleine évolution de la toxicologie prédictive, dont nous respectons sans réserve l'intérêt des perspectives qu'elle ouvre, malgré une certaine immaturité actuelle.

–Tableau 1–
Critères de classement des agents selon le degré d'indication de cancérogénicité (Source : www.cancer-environnement.fr)

Classe d'agents	Critères de détermination du degré d'indication de risque pour l'homme et pour l'animal de laboratoire	Nombre d'agents classés (au 22 février 2016)
Agent cancérogène pour l'homme (groupe 1)	• **Principe général** : indications suffisantes de cancérogénicité pour l'homme • **Exception :** indications pas tout à fait suffisantes pour l'homme associées à des indications suffisantes pour l'animal et à de fortes présomptions envers un mécanisme de cancérogénicité reconnu	118
Agent probablement cancérogène pour l'homme (groupe 2A)	• **Principe général** : indications limitées de cancérogénicité chez l'homme et suffisantes chez l'animal • **Cas particulier** : indications insuffisantes pour l'homme et suffisantes pour l'animal associés à de fortes présomptions pour une cancérogenèse selon un mécanisme identique chez l'homme • **Exceptions :** – seule base des indications limitées de cancérogénicité pour l'homme – appartenance de l'agent à une catégorie d'agents dont un ou plusieurs membres ont été classés dans le groupe 1 ou 2A	79
Agent possiblement cancérogène pour l'homme (groupe 2B)	• **Principe général (2 formes)** : – Forme 1 : insuffisantes chez l'animal – Forme 2 : indications insuffisantes chez l'homme et suffisantes chez l'animal • **Cas particuliers** : – indications insuffisantes pour l'homme et insuffisantes pour l'animal, cependant corroborées notamment par des données sur les mécanismes – seule base d'indications solides provenant de données sur les mécanismes	290
Agent inclassable quant à sa cancérogénicité pour l'homme (groupe 3)	• **Principe général** : indications insuffisantes chez l'homme et insuffisantes ou limitées chez l'animal • **Exception** : indications insuffisantes pour l'homme et suffisantes chez l'animal, associés à de fortes présomptions pour un mécanisme de cancérogénicité chez l'animal ne fonctionnant pas chez l'homme	501
Agent probablement non cancérogène pour l'homme (groupe 4)	• **Principe général** : indications suggérant une absence de cancérogénicité chez l'homme et chez l'animal de laboratoire • **Cas particulie**r : indications insuffisantes pour l'homme associés à des indications suggérant une absence de cancérogénicité pour l'animal et fortement corroborées par des données mécanistiques et d'autres données pertinentes	1 (caprolactame)

© CIRC

AVIS DE L'ANSES ET TRAVAUX CONJOINTS USIRF-INRS

En 2013, l'Anses a rendu un avis sur l'exposition aux fumées de bitume[8]. D'une grande qualité méthodologique, l'étude a proposé une réflexion très poussée entre deux voies d'évaluation toxicologique :

- par des règles de cumul de la toxicité de chaque (type de) molécule constitutive du bitume ;
- par une évaluation globale, indépendante de la toxicité des constituants.

Il faut comprendre que la première méthode est la plus classique en toxicologie et que la seconde est a priori suspecte pour une « soupe de molécules » de composition variable. L'intérêt de l'avis de l'Anses est de proposer une analyse très soignée du dilemme, d'avoir mis en place un véritable groupe de travail pour arbitrer entre les deux approches et d'avoir restitué de façon transparente et avec une grande probité scientifique ce débat qu'elle a tranché clairement en faveur de la seconde approche. En un mot, elle a jugé qu'il était scientifiquement peu fiable de proposer une règle d'additivité des toxicités pour un grand nombre de molécules, chacune étant présente à de très faibles niveaux de concentration, ce qui reviendrait presque à multiplier zéro par l'infini.

Ces conclusions ont par ailleurs repris les synthèses précédentes sur l'absence de risque cancérogène probable ou avéré et sur le caractère irritant des fumées pour l'œil et pour les voies respiratoires supérieures.

POURQUOI DE NOUVELLES MESURES D'EXPOSITION ?

Cette position de l'Anses souligne le paradoxe qui consiste à continuer la mesure de l'exposition des collaborateurs au benzo[a]pyrène, seule substance qui ait une portée réglementaire, alors que les expositions mesurées sont systématiquement très inférieures (facteur 100) à la valeur limite d'exposition professionnelle.

Face à ce constat, l'agence a exprimé la nécessité de prendre en compte l'intégralité des substances présentes dans les fumées de bitume. Il s'agit là d'une avancée majeure de la représentation complexe de la toxicité des mélanges. Malgré les avancées de la toxicologie moderne, il demeure inenvisageable de prédire

l'effet conjoint d'une dizaine de substances ; or, le bitume en compte plusieurs centaines. La structure chimique de ces substances est complexe, certaines ne peuvent être analysées en laboratoire. Il s'agit donc d'un défi pour la communauté scientifique que tente de relever l'INRS via une thèse qui a débuté cette année. Celle-ci aura pour objectif de mieux appréhender la structure chimique des différentes familles de substances présentes dans les fumées de bitume en utilisant une technique de chromatographie à deux dimensions.

Dans la foulée de l'avis publié par l'Anses, l'INRS et la profession routière ont travaillé sur le sujet de l'exposition cutanée aux fumées de bitume ainsi que sur la mise en place d'une méthode de prélèvement permettant de mesurer l'exposition globale des collaborateurs aux fumées de bitume. Les deux études touchent à leur but et ont déjà fait (ou vont faire) l'objet de communications :

- La première d'entre elles a évalué le comportement des collaborateurs face à la problématique de l'acceptation du port des équipements de protection individuelle (EPI) (particulièrement gants et t-shirt à manches longues).
- La seconde étude a entraîné la mise en place d'un protocole Metropol 123 (disponible sur la base Metropol de l'INRS), qui permet le dosage de composés organiques semi-volatils, notamment présents dans le bitume.
- Une cinquantaine de chantiers (autoroutiers, parkings, ou sous tunnel) ont fait l'objet de plus de 250 mesures individuelles à différents postes de travail (conducteurs d'engin, tireurs au râteau…). L'ensemble des mesures contribuera in fine à établir une photo des expositions à différents postes de travail et à conclure, à titre d'exemple, sur l'effet de l'abaissement des températures des enrobés ou de l'efficacité des dispositifs de captage.

Un tel travail s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue dans laquelle la profession routière s'inscrira par l'engagement de la réduction de l'exposition à une échéance qu'il reste à déterminer. Les professionnels de l'industrie routière soutiennent également une démarche d'harmonisation des résultats issus du protocole Metropol 123 et de ceux résultant de la méthode appliquée par les instances allemandes. En effet, l'Allemagne possède à ce jour la plus grande base de données d'exposition sur les fumées de bitume ; une méthode européenne ne pourra donc voir le jour sans la mise en place d'essais comparatifs outre-Rhin qui permettront, logiquement, de déterminer un facteur de conversion.

DISPOSITIFS DE CAPTAGE DES FUMÉES

Avance prise par l'Amérique du Nord

Dès 1993, les entreprises routières nord-américaines (NAPA) ont pris l'initiative d'un processus de réduction de l'exposition des personnels de chantiers vis-à-vis des fumées de bitume. Le 9 janvier 1997, la NAPA, les syndicats (AFL-CIO), les producteurs de finisseurs (Blaw-Knox [Volvo], Caterpillar, Cedarapids [Terex], Roadtec [Astec], Champion) ont finalisé un accord avec le ministère du Travail.

Dispositif de prélèvement d'un banc de chantier.

© VINCENT BESSE

Celui-ci précise qu'aucune étude ne permet de caractériser d'éventuels risques pour la santé, mais l'ensemble des participants convient que la réduction de l'exposition est une bonne mesure.

Le moyen pour atteindre cet objectif est donc simple : dès juillet 1997, tous les finisseurs routiers neufs de plus de 7 tonnes mis sur le marché devront être équipés d'un dispositif de captage des fumées dont l'efficacité aura été préalablement vérifiée. Le ministère américain du Travail salue l'initiative et incite d'autres secteurs d'activité à s'inspirer de cette démarche volontaire, proactive et pragmatique.

En 1999, le NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*, l'équivalent américain de l'INRS) reçoit le prix Nova pour avoir permis cette approche réglementaire innovante.

En 2000, l'administration américaine a publié une étude détaillée de 132 pages concernant les effets des fumées de bitume sur la santé. La conclusion tient en trois points :

- Les fumées de bitume sont un irritant pour les voies respiratoires et pour les yeux.
- La littérature ne permet pas d'identifier de relation entre le cancer du poumon et l'exposition aux fumées de bitume pour les travaux routiers.
- Des études supplémentaires sont nécessaires afin de mieux caractériser d'éventuels risques de maladies à long terme (bronchites, cancers…).

Les bénéfices liés à l'intégration d'un système de captage se résument ainsi :

- diminution effective des émissions au niveau de la table des finisseurs de 30 à 60 % ;
- réduction effective de l'exposition des personnels de 20 à 50 % ;
- bénéfice supplémentaire lié à l'évacuation d'une partie de la chaleur émise par la table du finisseur.

Quelques années plus tard, les systèmes de captage de fumées sont devenus des dispositifs banals et ne sont même plus mentionnés. L'effort porte actuellement sur les enrobés tièdes, plus à même de réduire un peu plus l'exposition du personnel.

Le cas français

L'Europe a dû repenser la conception autour de la table des finisseurs, jugée beaucoup trop encombrée en comparaison des machines américaines : il n'était pas possible d'ajouter le même dispositif de captage. Les premiers finisseurs disposant d'un dispositif de captage installé en seconde monte sont arrivés sur le marché en 2007. L'INRS a alors mené des mesures sur l'efficacité de ces dispositifs en collaboration avec la profession routière. Elle est jugée marginale, le dispositif est encombrant et bruyant, et la question d'une homologation est soulevée. Devant ce constat, les professionnels de l'industrie routière prennent la décision de concentrer leurs efforts sur le développement des enrobés tièdes, bien que leur acceptation par les clients ne soit pas unanime.

Le virage a lieu en 2011, lorsque Caterpillar décide de sauter le pas en commercialisant en Europe des finisseurs de conception américaine, mais satisfaisant les normes européennes. Cette fois-ci, l'INRS conclut à une bonne efficacité du dispositif d'aspiration, avec une réduction de 50 % de l'exposition au niveau de la table du finisseur et de 20 % au niveau du personnel.

La profession routière s'engage alors, dès 2011, pour un remplacement systématique et volontaire de ses finisseurs en fin de vie par des équipements pourvus de systèmes d'aspiration.

Au travers de cette décision, elle contribue à faire émerger une nouvelle génération de finisseurs équipés de captage de fumées de bitume en Europe, puisque Volvo, Vögele et d'autres sociétés se plient rapidement à ce nouveau cahier des charges, auquel est ajouté un pare-brise pour le/la conducteur/trice de finisseur. Le but est clair : diminuer l'exposition des collaborateurs aux fumées de bitume en déroutant les fumées à la source.

CONCLUSION

De multiples interrogations se sont développées au sujet des fumées de bitume depuis de nombreuses années. Il est vrai que l'utilisation d'un produit noir a pu créer un certain inconfort, car, dans l'image populaire, une substance aux couleurs sombres ou possédant une odeur désagréable représente intuitivement un danger. En outre, le bitume a souffert d'une grande confusion avec le goudron. Alors que le goudron est obtenu à partir de la houille, le bitume est produit à partir du pétrole. Le goudron est un produit cancérogène avéré tandis que le bitume est classé 2B par le CIRC (possiblement cancérogène pour l'homme). Rappelons, que le goudron n'est plus utilisé pour construire les routes françaises depuis des années.

Dans cette grande aventure du débat sur les fumées de bitume, on peut estimer qu'un cycle d'une vingtaine d'années s'achève : les connaissances sur la toxicité du bitume sont véritablement à jour et le classement 2B pour les travaux routiers peut être considéré comme très stable. Mais rien n'étant définitif dans un domaine scientifique qui ne cesse de progresser, il est légitime de considérer qu'un second cycle s'ouvre, pendant lequel les professions du bitume devront réactualiser les connaissances et s'intéresser de près au domaine émergent de la toxicologie prédictive.

Les professionnels de l'industrie routière exercent un métier modeste, perçu comme peu technologique, en utilisant une substance dédaignée et ordinaire : le bitume. Pourtant, cette substance pose des problèmes extrêmement complexes à la communauté scientifique des fait de sa composition riche en molécules très lourdes. Dans ce contexte, les communautés scientifiques n'ont jamais cessé de marquer leur étonnement et d'exprimer leurs félicitations pour la compétence, la déontologie, l'ouverture et le dialogue de la profession routière pourtant souvent décriée. À l'inverse, celle-ci aura beaucoup appris en « jouant ainsi le jeu » avec ces communautés.

Il ne reste donc qu'à capitaliser sur ce retour d'expérience en inscrivant ce dialogue scientifique loyal dans l'ADN de la construction routière. ■

RÉFÉRENCES

1. N. Shanks, R. Greek, J. Greek, « Les modèles animaux ont-ils une valeur prédictive pour l'homme ? », *Philosophy, Ethics, and Humanities in Medicine*, 2009, 1-24.
2. R. Heywood, « Clinical Toxicology – Could it have been predicted? Post-marketing experience », *Animal Toxicity Studies: Their Relevance for Man*, 1990: 57-67.
3. C. Spriet-Pourra, M. Auriche, *Drug Withdrawal from Sale*, New York, 2e edition, 1994.
4. J. Schardein, *Drugs as Teratogens*, CRC Press, 1976.
5. N. Claude, F. Goldfain-Blanc, and A. Guillouzo, « La place des méthodes *in silico*, *in vitro*, *in omic* dans l'évaluation de la sécurité des médicaments », Médecine/Sciences, Paris, janvier 2009, vol. 25, n° 1, p. 105-110.
6. P. Boffetta (dir.), « Cancer mortality among European asphalt workers: an international epidemiological study. I. Results of the analysis based on job titles » ; « Performance of different exposure assessment approaches in a study of bitumen fume exposure and lung cancer mortality », *American Journal of Industrial Medicine* n° 43, 2003.
7. *Bitumes et fumées de bitume et certains hydrocarbures aromatiques polycycliques hétérocycliques*, Monographies du CIRC, vol. 103, 2013.
8. *Évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation professionnelle des produits bitumineux et de leurs additifs*, Anses, 2013.

Évaluation des risques : approche globale/approche spécifique

Dans le cadre de l'élaboration du document unique d'évaluation des risques (DUER), chaque employeur doit caractériser l'exposition de ses salariés aux émissions de liants bitumineux.

Pour cela, le rapport d'expertise collective et l'avis de l'Anses « Évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation professionnelle des produits bitumineux et de leurs additifs », publié en 2013, propose très clairement de mettre en œuvre deux approches en parallèle :

• « *Une approche globale d'une part, quantifiant les grandes classes de polluants présents dans les émissions (COV, poussières, etc.), pertinente dans le cadre d'une démarche comparative de prévention des risques.* »

Henri Molleron en fait une excellente description dans son article « Cas des fumées de bitume : contexte historique » (p. 52). Cette méthode, développée par l'INRS (Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles), a été récemment publiée et mise en application sur une cinquantaine de chantiers en 2014 et 2015. Elle commence à faire ses preuves et va très probablement devenir la méthode de référence, dès que les travaux de comparaison avec la méthode allemande seront terminés.

• « *Une approche spécifique d'autre part, ciblée sur certains polluants bien identifiés (B[a]P, HAP, etc.), et utile dans une démarche de caractérisation des profils toxicologiques des liants bitumineux et de leurs émissions. Dans l'attente de nouveaux traceurs complémentaires, la mesure des HAP reste la référence actuelle.* »

C'est pourquoi les membres de l'Usirf (Union des syndicats de l'industrie routière française) ont également souhaité effectuer sur les mêmes chantiers suivis par l'INRS et les Carsat (caisses d'assurance retraite et de la santé au travail) en 2014 et 2015 des séries de mesures des HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) et ont confié cette étude au département de Toxicologie du Centre hospitalier universitaire de Grenoble, qui fait référence au niveau national en matière de toxicologie industrielle et environnementale. Cette étude, qui concerne en particulier l'évaluation des expositions aux fumées de bitume par l'analyse de 17 HAP gazeux et particulaires, a été complétée à la demande de quelques entreprises par l'analyse de 13 métabolites de ces HAP. Elle fait l'objet de l'article « Exposition professionnelle aux fumées de bitume » (p. 62), signé par Laurence Boulangé, Erick Lemonnier, Franck Ollivier, Lionel Bobeau et Jean-Pierre Baud.

Elle met aussi en évidence l'efficacité des mesures de prévention collectives : la mise en œuvre d'enrobés tièdes, l'utilisation de finisseurs avec pare-brises et systèmes d'aspiration des fumées de bitumes… ■

AUTEURS

Christine Leroy
Directrice des Affaires Techniques de l'Usirf

Georges Balavoine
Expert auprès du comité Santé-Sécurité de l'Usirf

EXPOSITION PROFESSIONNELLE AUX FUMÉES DE BITUME
PRINCIPALES CONCLUSIONS DE LA CAMPAGNE NATIONALE DE 2015

La campagne nationale menée par l'Usirf sur les fumées de bitume en 2014 et 2015 s'inscrit dans la continuité d'autres études consacrées à l'évaluation des risques professionnels. Elle couvre l'évaluation des expositions aux fumées au travers de l'analyse de 17 HAP en exposition respiratoire et de 13 métabolites de ces HAP.

© EUROVIA

Les différentes études menées depuis 2001 par la profession routière, en lien avec la Médecine du travail, les Carsat (caisses d'assurance retraite et de la santé au travail) et les CHSCT (comités d'hygiène, de sécurité et des conditions de travail) des entreprises, ont toujours démontré que les niveaux d'exposition étaient très inférieurs aux valeurs des seuils réglementaires ou recommandés et que les moyens de prévention mis en œuvre avaient conduit au fil du temps à l'abaissement continu des niveaux d'exposition des salariés de l'industrie routière aux HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques).

La campagne nationale menée par l'Usirf (Union des syndicats de l'industrie routière française) en 2014 et 2015 s'inscrit dans la continuité de l'évaluation des risques professionnels. Elle a été conduite avec le département de Toxicologie du Centre hospitalier universitaire (CHU) de Grenoble, reconnu au niveau national comme la référence en matière de toxicologie industrielle et environnementale[1-3]. Cette étude couvre l'évaluation des expositions aux fumées au travers de l'analyse de 17 HAP en exposition respiratoire et de 13 métabolites de ces HAP.

MÉTHODOLOGIE

Dans l'avis de l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) relatif à l'évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation professionnelle des produits bitumineux et de leurs additifs[4], il a été recommandé aux utilisateurs de produits bitumineux de mettre en œuvre deux stratégies d'analyse pour évaluer l'exposition des salariés aux fumées de bitume :

- l'une, dite globale, qui s'inscrit dans une démarche préventive de réduction des expositions, est l'objet des travaux du groupe de travail INRS (Institut national de recherche et de sécurité pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles) – Profession ;
- l'autre, dite spécifique, qui demeure indispensable dans une démarche d'investigation toxicologique et de caractérisation des mélanges de HAP, est l'objet de la campagne volontaire de l'Usirf initiée en 2014 et largement relayée en 2015.

ANALYSE DES FUMÉES DE BITUME

Dans la démarche dite globale, un groupe de travail a été formé en 2011, comprenant des représentants de la profession (Usirf et Office des asphaltes), de l'INRS, de l'OPPBTP (Organisme professionnel de prévention du bâtiment et des travaux publics), du GNMST-BTP (groupement national multidisciplinaire de santé au travail dans le BTP), d'Eurobitume, de la CNAM (Caisse nationale d'assurance maladie) et de la DGT (Direction générale du travail). L'objectif de ce groupe de travail était de définir une méthode globale permettant de mesurer l'émission de composés carbonés entre C9 et C36 (au-delà des seuls traceurs HAP et de tous les COV (composés organiques volatils)), étant entendu que les concentrations mesurées ne pouvaient être associées à un quelconque effet sanitaire de par la globalisation du mélange mesuré.

AUTEURS

Laurence Boulangé
Responsable Prévention
Eiffage Infrastructures

Erick Lemonnier
Directeur Prévention
Eiffage Infrastructures

Franck Ollivier
Directeur Prévention
Eurovia

Lionel Bobeau
Directeur QPE
Eurovia Centre Est

Jean-Pierre Baud
Coordinateur Santé
Eurovia

Dans cet objectif, une méthode, mise au point par le laboratoire Métrologie des expositions de l'INRS, a donné lieu à la publication du Métropol 123, accessible sur le site de l'INRS.

Dans le cadre de cette démarche spécifique, 17 HAP ont été mesurés et analysés, dont 5 HAP gazeux, 2 HAP sous formes gazeuse et particulaire et 10 HAP sous forme particulaire **(tableau 1)**. Sur proposition du CHU de Grenoble, 2 HAP isomères du benzo[a] pyrène (BaP) ont également été analysés.

Cette étude d'exposition est la plus importante jamais menée, tant sur le plan du nombre de prélèvements que sur le nombre de traceurs pris en considération. Elle vient compléter la précédente étude de l'Usirf de 2014. Les résultats présentés dans cet article concernent la campagne de 2015.

Dans le cadre de cette étude, l'ensemble des HAP émis ont donné lieu à des valeurs d'exposition et de suivi biométrique.

Dans le cadre de cette étude, la notion d'équivalent toxique a été proposée par le CHU de Grenoble afin d'intégrer toutes les valeurs de HAP particulaires cancérogènes classés C1B par l'Union européenne n'ayant pas de valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP)[9] et d'y associer un équivalent toxique (facteurs équivalents toxiques (*Toxic Equivalent Factor* (TEF)) publiés par l'Ineris[10]) selon la formule :

$$BaP_{eqT} = \sum_{[n=1]}^{n} Concentration_{HAP} * FET$$

$$BaP_{eqT} = \sum_{[n=1]}^{n} [BaP] * 1 + [Di(a,h)A] * 1 + [BbF] * 0{,}1 + [BkF] * 0{,}1 + [BaA] * 0{,}1 + [Chr] * 0{,}01$$

PROTOCOLE DE MESURE

Les mesures d'exposition professionnelle aux fumées de bitume ont pris en compte les voies respiratoires et cutanées :

• Pour prendre en compte l'exposition par voie respiratoire, 2 pompes ont été mises en place simultanément sur plusieurs salariés travaillant sur le chantier **(photos 1)** afin de réaliser des prélèvements atmosphériques, l'une pour les HAP (approche spécifique), l'autre pour l'approche globale.

–Tableau 1–

HAP étudiés en surveillance atmosphérique.
Pour l'Union européenne, les substances classées 1B sont des substances devant être assimilées à des substances cancérogènes.
Pour le CIRC, les substances classées 1 sont cancérogènes, 2A : cancérogènes probables et 2B cancérogènes possibles.

HAP		Classe EU[5]	Classe CIRC[6]	Seuils	Seuils de quantification
HAP gazeux	**Naphtalène (Naph)** CAS 91-20-3, CE 202-049-5	2	2B	[7]VLEP* = 50 mg/m³	0,30 ng / tube
	Acénaphtylène (Acen) CAS 208-96-8, CE 205-917-1	-	-	-	0,20 ng / tube
	Fluorène (Fluo) CAS 86-73-7, CE 201-695-5	-	-	-	0,10 ng / tube
	Phénanthrène (Phe) CAS 85-01-8, CE 201-581-5	-	-	-	0,10 ng / tube
	Anthracène (ant) CAS 120-12-7, CE 204-371-1	-	-	-	0,05 ng / tube
HAP gazeux et particulaires	**Fluoranthène (G-Flua)** CAS 206-44-0, CE 205-912-4	-	-	-	0,10 ng / tube 0,10 ng / filtre
	Pyrène (G-Pyr) CAS 129-00-0, CE 204-927-3	-	-	-	0,10 ng / tube 0,05 ng / filtre
HAP particulaires	**Benzo[a]anthracène (BaA)** CAS 56-55-3, CE 200-280-6	1B	2B	-	0,10 ng / filtre
	Chrysène (Chr) CAS 218-01-9, CE 205-923-4	1B	2B	-	0,10 ng / filtre
	Benzo[b]fluoranthène (BbF) CAS 205-99-2, CE 205-911-9	1B	2B	-	0,10 ng / filtre
	Benzo([k]fluoranthène (BkF) CAS 207-08-9, CE 205-916-6	1B	2B	-	0,05 ng / filtre
	Benzo[a]pyrène (BaP) CAS 50-32-8, CE 200-028-5	1B	1	[8] Valeur recommandée par la CNAMTS** = 150 ng/m³	0,05 ng / filtre
	Indéno(1,2,3-cd)pyrène (IP) CAS 193-39-5, CE 205-893-2	2	-	-	0,20 ng / filtre
	Dibenz[a,h]anthracène (DahA) CAS 53-70-3, CE 200-181-8	1B	2A	-	0,10 ng / filtre
	Benzo[ghi]perylène (BghiP) CAS 191-24-2, CE 205-883-8	-	-	-	0,10 ng / filtre
	Benzo(j)fluoranthène (BjF) CAS 205-82-3, CE 205-910-3	1B	-	-	0,05 ng / filtre
	Benzo(e)pyrène (BeP) CAS 192-97-2, CE 205-892-7	1B	-	-	0,05 ng / filtre

© CHU DE GRENOBLE

* VLEP : valeurs limites d'exposition professionnelle
** CNAMTS : Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés

–Photos 1–
Mise en place des capteurs pour les mesures d'exposition atmosphérique sur les salariés (conducteur de finisseur, régleur de finisseur et opérateur au râteau).

© EUROVIA

© EUROVIA

• Pour prendre en compte les éventuelles expositions cutanées aux HAP, des prélèvements urinaires ont été effectués sur la base du volontariat après une prescription médicale par le médecin du travail puis une consultation et une information préalables des CHSCT concernés. Les résultats individuels ont été transmis uniquement aux médecins du travail qui étaient chargés d'informer les salariés des résultats obtenus.

Cette campagne a fait l'objet de conventions d'études entre le CHU de Grenoble et les directions Prévention d'Eurovia et d'Eiffage Infrastructures d'une part et l'Usirf d'autre part. Les résultats ont été transmis sous forme d'un rapport de synthèse anonyme qui reprend les différents niveaux de HAP et de leurs métabolites dosés dans les urines en début et en fin de poste.

Les analyses des métabolites urinaires des HAP ont concerné le 1-hydroxypyrène et le 3-hydroxybenzo(a)pyrène urinaire ainsi que 11 métabolites de HAP gazeux (1- et 2-naphtols, 1- 2- 3- 4- 9- phénanthrols et 1- 2- 3- 9-fluorénols).

Pour cette étude biologique, les paramètres individuels, comme le statut tabagique ou la consommation d'aliments fumés ou de viande grillée au barbecue, ont également été pris en compte.

Les prélèvements atmosphériques ont été réalisés :

• en ce qui concerne les HAP, par deux préleveurs sur chantiers de mise en œuvre d'enrobés après formation par l'équipe du CHU de Grenoble ;

• en ce qui concerne l'approche globale, par des agents des laboratoires des Carsat participantes. Leur rôle a été de rédiger les fiches de prélèvement conformément aux recommandations de bonnes pratiques de la Société française de médecine du travail (SFMT)[11].

Des questionnaires techniques relatifs aux descriptifs et aux conditions de réalisation des chantiers, aux événements survenus pendant les journées de métrologie ainsi qu'aux températures des enrobés ont été systématiquement utilisés. Ces questionnaires étaient produits sous la forme de fiches :

• une fiche descriptive du chantier donnant les conditions définies a priori avant le chantier ;

• une fiche des prélèvements atmosphériques donnant les conditions réelles observées le jour des prélèvements atmosphériques ;

• une fiche de relevés des événements (horaire d''arrivée des camions d'approvisionnement…).

Pour cette étude, différentes typologies de chantier représentatives de l'activité de l'industrie routière ont été répertoriées et proposées : chantiers mécanisés en enrobés chauds ou tièdes, mise en œuvre manuelle, chantier en milieu semi-fermé (tunnel ou parking), chantier mécanisé avec finisseur équipé ou non d'un système de captage **(photos 2 et 3)**.

–Photo 2–
Configuration en tunnel.

© EIFFAGE ROUTE MÉDITERRANÉE

–Photo 3–
Mise en place de capteurs pour la référence environnementale.

© EIFFAGE ROUTE NORD EST

La température des enrobés bitumineux a été relevée pour chaque camion au niveau de la vis d'alimentation du finisseur par l'intermédiaire d'un thermocouple. Une moyenne arithmétique a alors été calculée, les températures minimale et maximale ont été relevées, ce qui a permis de vérifier les consignes de température données lors de la fabrication des enrobés bitumineux à la centrale d'enrobage et de s'assurer de la bonne cohérence des typologie de chantier proposées. Enfin, les systèmes de captage des fumées de bitume sur les finisseurs ont été contrôlés par l'intermédiaire d'un anémomètre en début et pendant la réalisation du chantier (photo 4).

Enfin, des sources potentielles émettrices de HAP, comme les gaz d'échappement provenant de la flotte de camions et du finisseur, ont été prises en compte dans l'étude.

RÉSULTATS

CONDITIONS D'APPLICATION DES ENROBÉS BITUMINEUX

Les conditions d'application des enrobés sont résumées dans le tableau 2.

Lors de la campagne, la température de l'air extérieur a varié entre 5 et 21 °C, avec une moyenne à 13,2 °C. On note par ailleurs un chantier réalisé en milieu fermé (tunnel), pour lequel la température était de 30 °C.

Le vent, les précipitations ainsi que l'ensoleillement lors des différents jours de métrologie ont été pris en compte : vitesse et orientation du vent (4 situations/23 concernées par un vent modéré à fort, soit 23,2 % des prélèvements), précipitations (8 chantiers/23, soit 31,6 % des prélèvements). Globalement, peu de précipitations ont été observées lors des chantiers étudiés. Les mesures réalisées sont donc représentatives d'une exposition estivale/automnale. 5 chantiers ont eu lieu de nuit et 3 ont été réalisés en milieu semi-fermé (tunnel ou parking).

EXPOSITION PAR VOIE RESPIRATOIRE

Approche globale

La campagne menée pendant la période de 2014-2015 en lien avec les Carsat et l'INRS a permis de collecter 259 mesures individuelles et d'éprouver le protocole Métropol 123. Les valeurs exprimées en mg/m³, bien que ne pouvant être corrélées à un effet sanitaire, peuvent servir d'indicateur pour évaluer l'efficacité globale des moyens de prévention. L'ensemble de ces travaux fera prochainement l'objet d'une communication.

Approche spécifique

Au total, 88 prélèvements atmosphériques de HAP gazeux et 88 prélèvements atmosphériques de HAP particulaires ont été effectués.

–Photo 4–
Contrôle du système de captage des fumées sur finisseur.

© EIFFAGE ROUTE CENTRE EST

–Tableau 2–
Synthèse des conditions d'application des enrobés bitumineux lors de la campagne volontaire de l'Usirf.

	Température de l'enrobé (°C)	% de liant bitumineux	% de recyclés d'enrobés	Tonnage d'enrobés appliqué par finisseur	Nombre de camions de chantier
Moyenne	157,9	5,1	11,6	464,3	31,4
Médiane	160	5,1	10,0	330	18
Écart-type	10,3	0,52	8,2	507,3	30,7
Minimum	136	4,1	0	15	0
Maximum	175	6,1	25	2 100	111

© CHU DE GRENOBLE

67 prélèvements individuels (76,1 %) et 21 prélèvements d'ambiance (23,9 %) correspondant aux blancs de chantier ont été réalisés (blancs de chantier positionnés à distance, en amont du chantier). Les valeurs de HAP gazeux (naphtalène, acénaphtylène, fluorène, phénanthrène, anthracène, fluoranthène, pyrène), qui correspondent à la somme de chacun des HAP, sont données par poste de travail dans le tableau 3 et en figure 1.

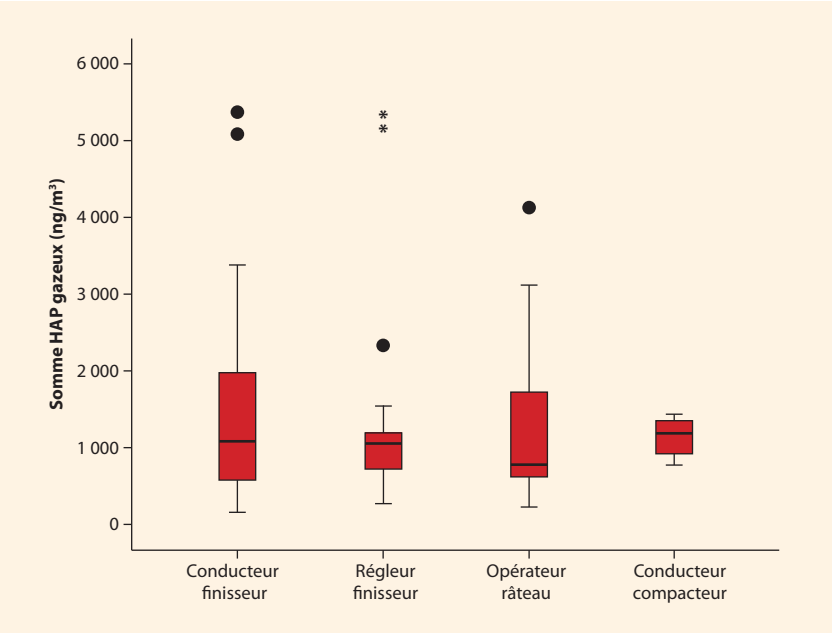
La valeur géométrique la plus haute et la valeur maximale la plus haute concernent le poste de conducteur de compacteur.

–Tableau 3–
Somme des HAP gazeux (ng/m³) en fonction des postes.
Sur l'ensemble de la campagne, une mesure aberrante a été trouvée sur un conducteur de compacteur. Bien que cette mesure ne corrobore pas l'ensemble des mesures effectuées sur ce poste de travail, elle a été conservée.

Postes	N	Moyenne géométrique	Médiane	Minimum	Maximum
Conducteur de finisseur	19	1 111	1 082	165	5 369
Régleur finisseur	21	993	1 050	268	5 347
Opérateur au râteau	22	935	780	219	4 139
Conducteur de compacteur*	5	1 732	1 265	775	10 243
Total prélèvements individuels	67	1 048	1 047	165	10 243
Blancs	21	68	68	8	847

© CHU DE GRENOBLE

–Figure 1–
Exposition en HAP gazeux en fonction des postes.



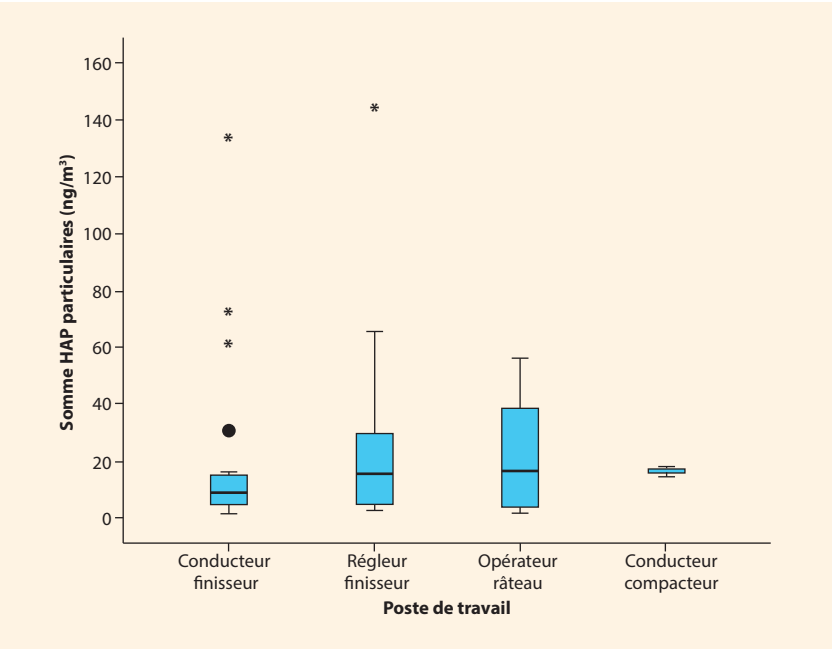
© CHU DE GRENOBLE

–Tableau 4–
Somme des HAP particulaires (ng/m³) en fonction des postes.
Sur l'ensemble de la campagne, une mesure aberrante a été trouvée sur un conducteur de compacteur. Bien que cette mesure ne corrobore pas l'ensemble des mesures effectuées sur ce poste de travail, elle a été conservée.

Postes	N	Moyenne géométrique	Médiane	Minimum	Maximum
Conducteur de finisseur	19	10	8,9	1,6	133,7
Régleur finisseur	21	13	15,3	2,7	144,3
Opérateur au râteau	22	10,5	12,3	1,5	56,1
Conducteur de compacteur*	5	39,0	17,6	14,3	1 205,1
Total prélèvements individuels	67	12,2	11,9	1,5	1 205,1
Blancs	21	2,2	2,1	0,9	9,4

© CHU DE GRENOBLE

–Figure 1–
Exposition en HAP gazeux en fonction des postes de travail.



© CHU DE GRENOBLE

Si on compare à la seule valeur de VLEP disponible du naphtalène (50 000 000 ng/m³), la médiane représente 0,003 % de la VLEP, le maximum 0,02 % de la VLEP.

Les valeurs de HAP particulaires (fluoranthène, pyrène, benzo[a]anthracène, chrysène, benzo[b] fluoranthène, benzo[k]fluoranthène, benzo[j]-fluoranthène, benzo[a]pyrène, benzo[e]pyrène, dibenzo[a,h]anthracène, benzo[ghi]pérylène, indéno[123-cd]pyrène), qui correspondent à la somme de chacun des HAP, sont données par poste de travail dans le **tableau 4** et en **figure 2**.

La valeur géométrique la plus haute et la valeur maximale la plus haute concernent le poste de conducteur de compacteur.

La somme des concentrations des HAP particulaires est comprise entre 1,5 ng/m³ et 1 205,1 ng/m³ pour l'ensemble des postes de travail. Les HAP majoritaires sont généralement le fluoranthène et le pyrène et, ponctuellement, le chrysène et le benzo[e]pyrène.

Les concentrations en BaP pour les postes de travail étudiés sont toutes largement inférieures à la valeur recommandée par la CNAMTS de 150 ng/m³ : elles sont toutes inférieures à 8 % de cette valeur recommandée, à l'exception d'un prélèvement chez un conducteur de compacteur, dont l'exposition représente 68 % de cette valeur. Les expositions mesurées dans la présente étude sont légèrement inférieures à celles rapportées dans la littérature scientifique[4]. La plupart des études mentionnent des concentrations de BaP ne dépassant pas le dixième de la valeur recommandée par la CNAMTS.

Les concentrations en benzo[a]pyrène équivalent toxique (BaPeqT), calculées à partir des HAP cancérogènes et de leurs facteurs d'équivalence toxique, sont comprises entre 0,2 et 113,1 ng/m³ pour l'ensemble des postes, soit des niveaux environ 30 % supérieurs à ceux du BaP seul. Les niveaux de BaPeqT représentent au maximum 7,4 % de la valeur recommandée par la CNAMTS.

EXPOSITION PAR VOIE CUTANÉE

L'objectif a été d'étudier, à partir de différents biomarqueurs, les profils d'exposition aux HAP lors de l'application d'enrobés bitumineux à des fins d'évaluation des risques sanitaires. Pour illustrer la démarche, l'exemple est donné pour le 1-hydroxypyrène (1-OHP) et le 3-hydrobenzo[a] pyrène (3-OHBaP), métabolites des HAP particulaires. Le 3-OHBaP est le métabolite du benzo[a] pyrène, qui est éliminé dans les urines. Il est particulièrement intéressant, car c'est le meilleur indicateur de l'exposition aux HAP cancérogènes. Le 1-OHP et le 3-OHBaP ont été analysés sur les échantillons de début et fin de poste de travail, les métabolites des HAP gazeux seulement en fin de poste **(tableau 5)**.

–Tableau 5–

Analyse statistique des mesures en 1-OHP et 3-OHBaP en fonction du statut tabagique des salariés.
Les résultats sont exprimés par rapport à la créatinine, qui est un déchet métabolique de la créatine, éliminée principalement par les reins et excrétée dans les urines. Son niveau traduit l'état fonctionnel des reins.

Métabolite	Données statistiques	Début de poste (nmol/mol créatinine)	Fin de poste (nmol/mol créatinine)
1-OHP	**Non fumeurs N**	20	20
	Moyenne géométrique	***0,046***	***0,043***
	Médiane	0,05	0,045
	Minimum	0,02	0,02
	Maximum	0,12	0,09
	Fumeurs N	10	10
	Moyenne géométrique	***0,15***	***0,18***
	Médiane	0,14	0,23
	Minimum	0,02	0,03
	Maximum	1,35	0,54
3-OHBaP	**Non fumeurs N**	20	20
	Moyenne géométrique	***0,026***	***0,024***
	Médiane	0,019	0,024
	Minimum	0,01	0,01
	Maximum	0,19	0,14
	Fumeurs N	10	10
	Moyenne géométrique	***0,042***	***0,045***
	Médiane	0,055	0,050
	Minimum	0,01	0,01
	Maximum	0,12	0,11

© CHU DE GRENOBLE

On n'observe pas de différence significative de concentrations de 1-OHP entre le début et la fin de poste de travail, que ce soit pour les sujets fumeurs ($p = 0,767$) ou non fumeurs ($p = 0,145$).

On observe des niveaux significativement supérieurs de 1-OHP chez les sujets fumeurs par rapport aux non fumeurs, tant en début de poste ($p = 0,001$) qu'en fin de poste ($p < 0,001$). Les fumées de tabac exercent donc une interférence majeure sur les concentrations de 1-OHP dans cette étude (figure 3).

Ces niveaux sont très inférieurs à la valeur de 1µmol/mol de créatinine, pour laquelle on observe l'absence d'effet génotoxique dans la population générale.

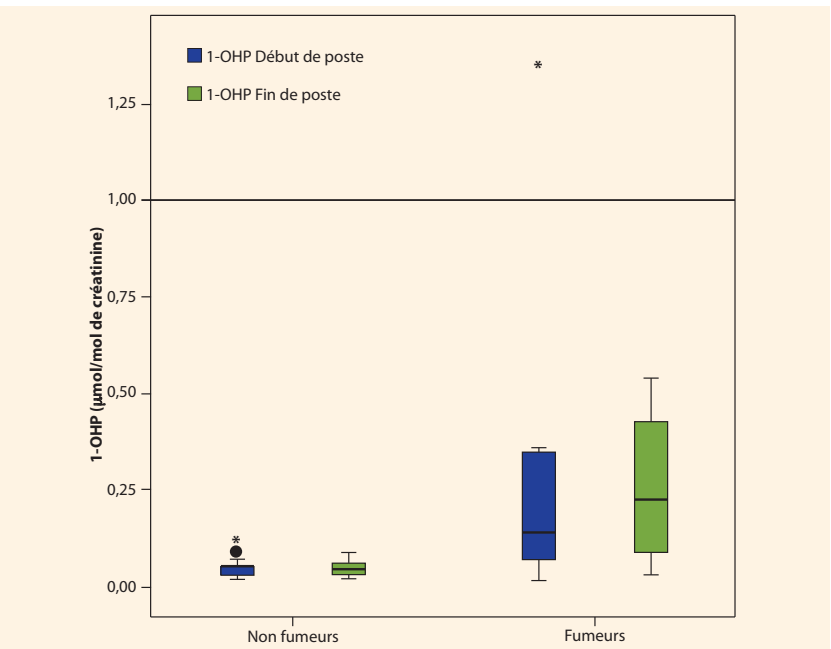
Les concentrations en 3-OHBaP de début et fin de poste sont toutes très inférieures à la valeur recommandée de 0,4 nmol/mol de créatinine. On n'observe pas de différence significative de concentrations de 3-OHBaP entre le début et la fin de poste de travail, que ce soit pour les sujets fumeurs ($p = 0,95$) ou non fumeurs ($p = 0,44$). On n'observe pas de différence significative de concentrations de 3-OHBaP en fonction du statut tabagique des sujets, que ce soit en début ou en fin de poste de travail.

Des conclusions similaires ont été produites pour les autres biomarqueurs, métabolites des HAP gazeux.

Enfin, la nouvelle version de la base Cimarout, récemment développée par l'Usirf, reprend toutes les données d'exposition professionnelle obtenues lors de cette campagne nationale en lien avec les observations de terrain relevées lors des chantiers.

–Figure 3–

Traitement statistique des données concernant le 1-OHP en début et en fin de poste en fonction du statut tabagique des salariés.



© CHU DE GRENOBLE

Cette base constitue un outil alliant des données techniques et préventives utiles à toute la profession routière (voir article p. 69).

FACTEURS INFLUENÇANT LES CONCENTRATIONS INDIVIDUELLES

Afin de déterminer les facteurs qui influencent les concentrations individuelles atmosphériques des différents HAP, des modèles de régression linéaire multivariée ont été créés. Sur cette campagne 2015, ils mettent en évidence les variables suivantes :

- variables qui influencent significativement les concentrations de HAP gazeux : nombre de camions de chantier, maintien du trafic, tonnage appliqué, température des enrobés ;
- variables qui influencent significativement les concentrations de HAP particulaires : température des enrobés, pourcentage de liant bitumineux, tonnage appliqué ;
- variables qui influencent significativement les concentrations de BaP équivalent toxique : pourcentage de liant bitumineux, nombre de camions de chantier, pourcentage de recyclés ;
- variables qui influencent significativement les concentrations de pyrène total : température des enrobés.

Ces résultats incitent à recommander l'utilisation d'enrobés tièdes qui limitent les émissions de fumées et l'intégration d'une concentration la plus faible possible de liant bitumineux. Au regard de l'ensemble des deux campagnes, le pourcentage d'intégration de recyclés dans les enrobés ne semble pas avoir d'influence sur les résultats obtenus.

CONCLUSION

Ces études d'exposition professionnelle ont montré que, selon les configurations de chantier, les expositions atmosphériques aux HAP étaient faibles à très faibles. Il est important de signaler que l'exposition cutanée a été prise en compte grâce à des analyses biologiques (métabolites urinaires du pyrène, du BaP et des HAP gazeux), ce qui a permis d'intégrer les différentes voies d'absorption des HAP chez les salariés ainsi que l'efficacité des moyens de protection individuelle.

L'exposition cutanée, réalisée sur la base d'une étude statistique anonyme, a conclu à un risque faible. Il est important de noter que le statut tabagique des salariés a une influence importante sur les concentrations de quasiment tous les métabolites des HAP. Ces analyses biologiques, effectuées à la demande des entreprises et des médecins du travail, ont fait l'objet d'un rendu individuel aux médecins du travail et collectif aux responsables de prévention.

Les systèmes de captage des fumées, en nombre limité ou dont le système était parfois colmaté, ne ressortent pas de l'étude statistique HAP, mais cela ne remet pas en cause leur intérêt, démontré dans d'autres études[4]. Il est par conséquent préconisé d'utiliser des engins de chantier équipés de systèmes de captage de fumées, dont il faut vérifier périodiquement l'efficacité (absence de colmatage). L'approche globale serait-elle plus adaptée pour évaluer l'efficacité de ce type de dispositif sur chantier ? Les premiers résultats sembleraient aller dans ce sens.

Ces études ont permis de valider les facteurs qui influencent les concentrations individuelles, comme la température des enrobés, le pourcentage en liant bitumineux, le nombre de camions, le maintien du trafic et le tonnage appliqué.

Pour limiter les émissivités, il est primordial de maîtriser la température sur toute la chaîne de fabrication des enrobés bitumineux, d'abaisser les températures d'application, de mettre en place des systèmes de captage et des pare-brises sur les finisseurs, de diminuer le pourcentage de liant bitumineux, d'utiliser des fluxants végétaux et de porter des vêtements couvrants. Du fait de l'absorption cutanée potentielle, le port de vêtements avec manches et jambes longues est recommandé afin de limiter les surfaces de peau pouvant être exposées aux HAP, mais aussi au rayonnement solaire. ■

RÉFÉRENCES

1. R. Heredia Ortiz, A. Maître, D. Barbeau, M. Lafontaine, M. Bouchard, «Use of physiologically-based pharmacokinetic modeling to simulate the profiles of 3-hydroxybenzo(a)pyrene in workers exposed to polycyclic aromatic hydrocarbons», PLoS One, 2014 Jul. 17;9(7):e102570. doi: 10.1371/journal.pone.0102570. eCollection 2014.

2. C. Genies, A. Maître, E. Lefèbvre, A. Jullien, M. Chopard-Lallier, T. Douki, «The extreme variety of genotoxic response to benzo[a]pyrene in three different human cell lines from three different organs», PLoS One, 2013 Nov. 8;8(11):e78356. doi: 10.1371/journal.pone.0078356. eCollection 2013.

3. T. Douki, Z. Ksoury, C. Marie, A. Favier, J.L. Ravanat, A. Maître, «Genotoxicity of combined exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and UVA--a mechanistic study. Photochem Photobiol», 2008 Sep-Oct;84(5):1133-40. doi: 10.1111/j.1751-1097.2008.00361.x. Epub 2008 Apr. 24.

4. *Évaluation des risques sanitaires liés à l'utilisation professionnelle des produits bitumineux et de leurs additifs*, Anses, 2013.

5. European Chemicals Agency ECHA, www.echa.europa.eu.

6. IARC, *Bitumens and bitumen emissions, and some N- and S-heterocyclic aromatic hydrocabons*, volume 103, 2013.

7. N. Bonnard, D. Jargot, D. Lafon, S. Miraval, O. Schneider, *Fiche toxicologique FT 204 Naphtalène*, INRS, 2007.

8. N. Bonnard, M.T. Brondeau, T. Clavel, M. Falcy, D. Jargot, M. Lafontaine, M. Reynier, O. Schneider, *Fiche toxicologique FT 144 Benzo(a)pyrène*, INRS, 2007.

9. R. Persoons, D. Barbeau, M. Marques, S. Montlevier, C. Hervé, F. Ollivier, J.P. Baud, A. Maitre, « Surveillance biologique de l'exposition aux hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) lors d'application d'enrobés bitumineux », *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement* n° 77, p. 476, 2016.

10. B. Doornaert, A. Pichard, Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAPs), *Évaluation de la relation dose-réponse pour des effets cancérigènes : Approche substance par substance (facteurs d'équivalence toxique - FET) et approche par mélanges*, Ineris, 2003.

11. Société française de médecine au travail, *Recommandations de bonne pratique – Surveillance biologique des expositions professionnelles aux agents chimiques*, INRS, TM 37, 2016.

CIMAROUT
LE CENTRE D'INFORMATIONS SUR LES MATÉRIAUX ROUTIERS FAIT PEAU NEUVE

Depuis plusieurs années, l'Usirf (Union des syndicats de l'industrie routière française) collabore avec les autorités publiques en matière de prévention santé-sécurité des salariés des entreprises de construction routière. Des travaux ont ainsi été menés avec différents organismes, notamment la DGT (Direction générale du travail). Pour pourvoir les documenter, l'Usirf a mis en place depuis octobre 2010 la base de données Cimarout (Centre d'informations sur les matériaux routiers), accessible sur Internet, qui répond au besoin de rassembler et diffuser un état des connaissances actuelles en matière de santé sur les matériaux de l'industrie routière.

© EUROVIA/JEAN-NOEL HERRANZ

À l'origine, Cimarout présente plusieurs « banques » d'informations :

- l'ensemble des études scientifiques, toxicologiques ou épidémiologiques publiées en France et à l'étranger concernant le bitume et les produits bitumineux ;
- les études d'exposition effectuées sur les chantiers de mise en œuvre des produits bitumineux.

Celles-ci sont complétées par une documentation concernant les agents chimiques constitutifs des produits mis en œuvre par les entreprises et les publications de l'ensemble des partenaires.

Puis deux modules ont été ajoutés, le premier concernant le matériel et ses équipements spécifiques liés à une meilleure protection des salariés (en 2013), le second concernant les mesures d'exposition à l'amiante réalisées sur les chantiers routiers (en 2015).

Cimarout reste pour l'instant une base réservée aux experts de la communauté professionnelle. En effet, pour accéder aux différentes fonctionnalités, il est nécessaire de posséder un compte utilisateur. Chacun des partenaires du comité de pilotage « Prévention des risques professionnels dans les travaux routiers » (DGT, INRS (Institut national de recherche et de sécurité), CNAMTS (Caisse nationale d'assurance maladie des travailleurs salariés), GNMST-BTP (Groupement national des médecins de santé au travail dans le BTP), OPPBTP (Organisme professionnel de prévention des risques du bâtiment et des travaux publics) et Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail)) ont aussi accès à Cimarout.

LE MODULE « MATÉRIEL »

Ce nouveau chapitre est en ligne depuis 2013. Il est uniquement destiné aux directions Matériel des entreprises adhérentes de l'Usirf.

Il concerne actuellement les finisseurs équipés de systèmes d'aspiration des fumées **(photos 1 et 2)** dont l'efficacité a été mesurée, à l'aide du mode opératoire NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*), la seule méthode reconnue par l'ensemble des constructeurs, par les utilisateurs et par l'INRS, qui effectue également ces évaluations, en attendant le résultat de travaux de normalisation ISO et européens en cours sur ce sujet.

AUTEUR

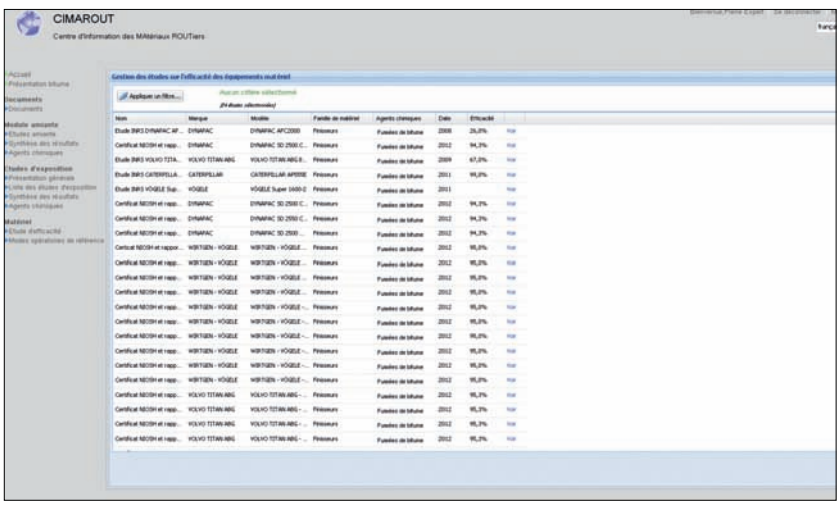
Christine Leroy
Directeur des affaires techniques
Usirf

–Photos 1 et 2–
Finisseur équipé d'un système d'aspiration des fumées.

© EAPA

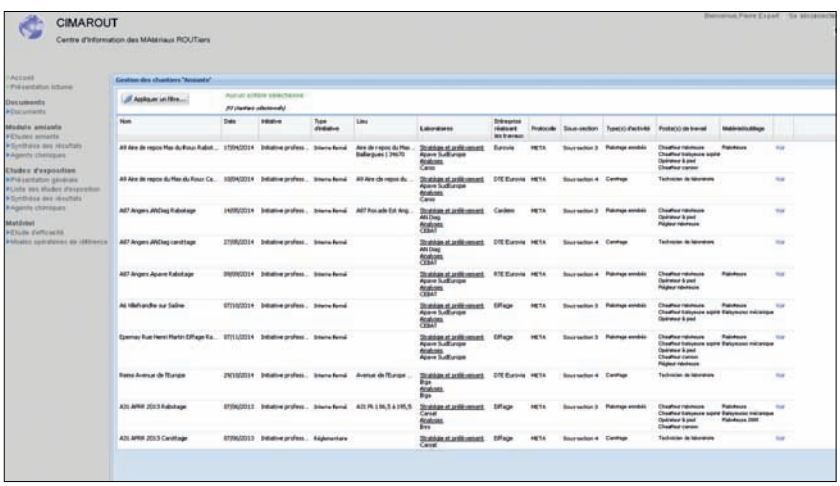
© EAPA

–Figure 1–
Le module « matériel » de Cimarout.



© CIMAROUT

–Figure 2–
Le module « amiante » de Cimarout.



© CIMAROUT

Le module « matériel » contient la plupart des certificats établis pour différents modèles et marques de finisseurs testés (figure 1), certificats sur lesquels figure la valeur mesurée obtenue pour l'efficacité de l'aspiration. Cette évaluation s'effectue à partir des mesures comparatives entre marche et arrêt du système d'aspiration. Le mode opératoire et les essais effectués par l'INRS figurent également sur Cimarout.

LES MESURES D'EXPOSITION À L'AMIANTE SUR CHANTIERS ROUTIERS

Les travaux menés en 2013 sur le recyclage en partenariat avec la DGT, la CNAMTS, l'Anses, l'INRS, GNMST-BTP, l'OPPBTP, la FNTP (Fédération nationale des travaux publics) et l'Usirf ont permis d'établir un guide des investigations préalables aux travaux de rabotage, de démolition, de recyclage et de réutilisation d'enrobés bitumineux pour déterminer l'absence ou la présence d'amiante ou de HAP (hydrocarbures aromatiques polycycliques) en teneur élevée.

Le guide et ses annexes cible plus particulièrement l'amiante chrystotile ajouté dans certaines formules d'enrobés bitumineux entre 1980 et 1993. Il indique notamment dans quelle sous-section se situent les travaux et précise les précautions opératoires à respecter (figure 2).

Un module « amiante » a donc été développé dans Cimarout afin de mutualiser l'ensemble des mesures d'exposition réalisées avec des conditions opératoires très encadrées (via l'opération Carto) et sous supervision des autorités publiques.

Comme pour l'exposition aux fumées de bitume, la mutualisation des mesures faites sur chantier a permis de présenter des résultats de mesures indiscutables et en nombre suffisant pour qualifier certains processus travaux et adapter les moyens de protection collective et équipements de protection individuelle (EPI) à la réalité du risque.

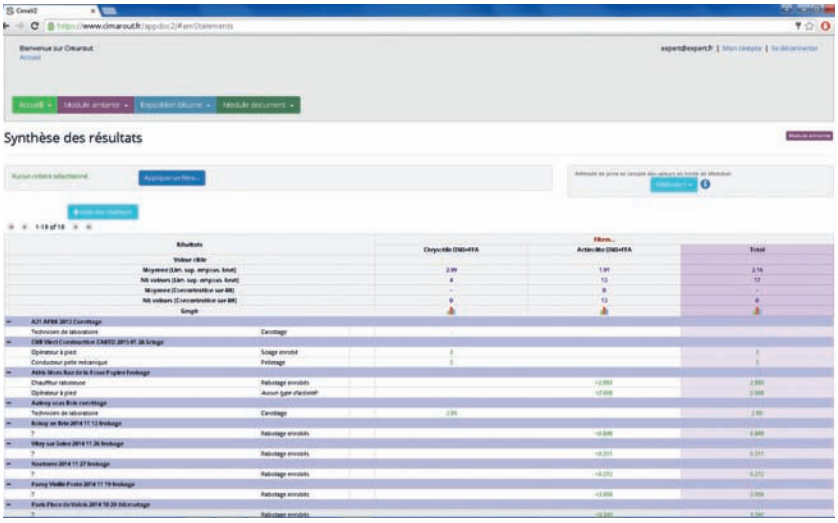
DERNIÈRE ÉVOLUTION

La présentation globale de Cimarout devrait évoluer d'ici à la fin de l'année 2016. Une interface graphique plus ergonomique, des fonctions statistiques plus complètes rendront l'exploitation des mesures prises sur les chantiers plus performante et plus complète.
Cette évolution met mieux en valeur les menus et les différentes options pour le traitement et l'affichage des données, quel que soit le module.
Cette évolution contribuera en particulier, sur le module amiante **(figure 3)**, à spécialiser les différentes mesures d'exposition en fonction du type d'amiante, du type de fibres repérées… et rendra possible la saisie des mesures prises sur les chantiers où de l'actinolite (minéral qui contient parfois des fibres asbestiformes) a été repéré.
À terme, cette nouvelle version de Cimarout intégrera un module spécifique à la silice cristalline pour accompagner les évolutions de la réglementation.

CONCLUSION

Petit à petit, Cimarout se construit pour une meilleure connaissance de l'exposition des salariés de l'ensemble des entreprises opérant sur les chantiers de construction routière avec différents types de matériaux.

–Figure 3–
Nouvelle interface graphique du module « amiante ».



© CIMAROUT

Une meilleure compréhension de l'exposition, poste par poste, en fonction des types de sites et des produits mis en œuvre, fera progresser la prévention sur les chantiers, en lien avec les autorités publiques.
Par la qualité et l'objectivité de son contenu, Cimarout a l'ambition de devenir un outil de référence indispensable aux professionnels de la prévention dans les entreprises routières, mais aussi à tous ceux qui sont amenés à vérifier régulièrement les sites : médecins du travail, inspecteurs du travail, agents des Carsat (caisses d'assurance maladie des travailleurs salariés)… ■

Remerciements

L'auteur tient à remercier Georges Balavoine, expert auprès du Comité santé-sécurité de l'Usirf pour son expertise et tout le travail accompli sur Cimarout.

EXTRACTION DE BITUME
IMPACTS SANITAIRES DES SOLVANTS ET ÉVALUATION DES RISQUES

Dans le domaine routier, la technique de l'extraction consiste à séparer le liant bitumineux de la matière minérale d'un enrobé ou d'un agrégat d'enrobé (AE) à l'aide d'un solvant organique afin de déterminer la quantité de liant présente dans l'enrobé ou l'AE après fabrication. Plusieurs études ont démontré que le type de solvant utilisé a un impact non négligeable sur les propriétés finales du liant récupéré. Cette synthèse bibliographique évalue les différentes méthodes d'extraction/récupération existantes sur plusieurs critères, tels que le choix du solvant, l'impact sur les propriétés de solubilité du bitume et la santé de l'opérateur.

Utilisation d'un système automatique pour l'extraction de bitume.

© CER CORBAS/EIFFAGE INFRASTRUCTURES

Depuis l'apparition du recyclage des enrobés bitumineux dans les années 1970, on observe une volonté de pérenniser le recyclage à fort taux. Cette technique est bien maîtrisée aujourd'hui (si les AE sont, au préalable, parfaitement contrôlés).

Dans le même temps, la promotion des techniques d'enrobage économes en énergie (enrobage tiède) n'a pas cessé de croître dans le secteur, qui a retenu le couplage de ces deux techniques comme réponse aux enjeux du développement durable. Prise séparément, chacune de ces techniques est bien maîtrisée. Mais pratiquées ensemble, elles soulèvent des questions techniques et scientifiques auxquelles le projet de recherche national collaboratif Mure tente de répondre depuis son lancement officiel en mars 2014[1].

Les AE sont considérés comme des constituants à part entière et, à ce titre, doivent être caractérisés le mieux possible pour être utilisés à des taux de recyclage plus importants.

L'extraction et la récupération du liant sont donc des étapes critiques préliminaires à la détermination des caractéristiques des composants de l'AE qui sont spécifiées en Europe au travers de 2 normes :

- la norme européenne NF EN 12697-1[2] : elle préconise différentes méthodes d'extraction et solvants pour la détermination de la teneur en liant soluble ;
- la norme européenne NF EN 12697-3[3] : elle indique un choix possible de différents solvants, températures et pressions de distillation à des fins de récupération du liant pour caractérisation ultérieure.

Le choix de la méthode et/ou du solvant peut avoir un impact sur les propriétés finales du liant récupéré et être l'objet de restrictions sanitaires en termes d'utilisation de certains solvants au sein de l'Union européenne.

MÉTHODES D'EXTRACTION ET DE RÉCUPÉRATION DU BITUME

EXTRACTION DU BITUME

Dans le domaine routier, l'extraction possède toutes les caractéristiques de l'extraction solide-liquide classiquement pratiquée en chimie organique. La technique permet de vérifier la courbe granulométrique des granulats après lavage et tamisage. À la fin de l'opération, le mélange entre le bitume et le solvant est obtenu. Une étape de récupération est effectuée afin de séparer le bitume du solvant et de déterminer les propriétés conventionnelles, rhéologiques et physico-chimiques du liant. Dans le cas des AE, cette caractérisation est nécessaire pour évaluer le degré de vieillissement du liant.

Un des premiers documents traitant de l'extraction date de 1969[4]. Les articles évoquant l'extraction dans la littérature concernent soit la technique en elle-même, soit des études sur les enrobés bitumineux ou les AE pour lesquelles la méthode est précisée.

Il existe une multitude de méthodes d'extraction du liant bitumineux d'un AE. Aucune n'est imposée au niveau de la profession routière française.

AUTEURS

Laurence Boulangé
Responsable Prévention
Eiffage Infrastructures

Layella Ziyani
Enseignant-chercheur
École Spéciale des Travaux Publics - Institut de recherche en constructibilité

Aurélia Nicolaï
Chef de projet R & D
Malet

Virginie Mouillet
Directrice de recherche
Direction territoriale Méditerranée
Cerema

De plus, aucun consensus n'a été trouvé concernant le choix du solvant. Pourtant, quelques études ont montré que le type de solvant utilisé a un impact non négligeable sur les propriétés finales du liant récupéré.

À l'échelle mondiale, les deux normes servant de référence pour la technique d'extraction sont la norme européenne EN 12697-1 et la norme américaine ASTM D2172. Il est à noter que la norme EN 12697-4[5] est également dédiée à l'extraction, mais elle s'applique pour des matériaux bitumineux contenant des matières volatiles, ce qui n'est pas le cas des AE en France.

Après lecture des deux normes de référence, dix méthodes d'extraction ont été listées. Elles ont été regroupées en fonction de la température du solvant lors de la procédure : on distingue des méthodes dites à chaud (figure 1) et à froid (figure2).

En rassemblant les deux normes, huit solvants ont été répertoriés : le dichlorométhane, le 1,1,1-trichloroéthane, le benzène, le trichloroéthylène, le xylène, le toluène, le tétrachloroéthylène et le bromopropane.

Méthodes à chaud

Les méthodes à chaud sont majoritairement des extractions à reflux, au cours desquelles un échantillon bitumineux, chauffé pour extraire les granulats enrobés, est introduit dans un récipient de type panier, contenant un filtre en papier ou en fibre naturelle. Le solvant est versé sur l'échantillon et l'ensemble est chauffé jusqu'à ce que les granulats soient complètement désenrobés et que tout le bitume soit mélangé avec le solvant.

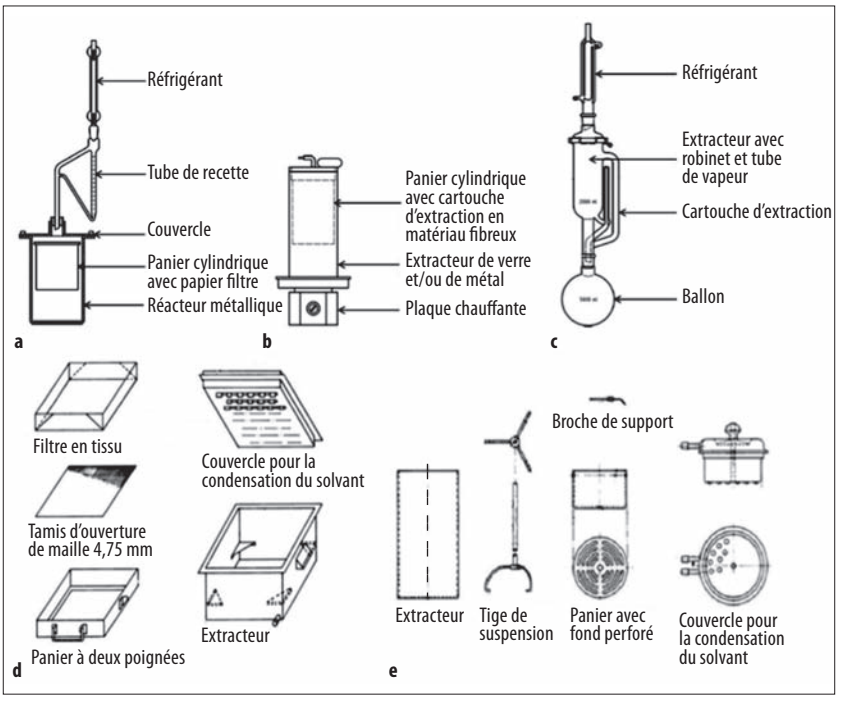
L'autre technique, l'extraction au Soxhlet, est couramment employée en chimie organique. Dans la profession routière, la pratique de la méthode Kumagawa, une variante du Soxhlet, est répandue. La procédure est identique, hormis l'utilisation de verrerie différente (extracteur et tube de recette).

Méthodes à froid

En l'absence de source de chaleur pour les méthodes à froid, le solvant est versé sur un échantillon bitumineux chauffé contenu dans un récipient en verre ou en métal et l'ensemble est agité mécaniquement. Dans le cas de la machine tournante à bouteilles ou de l'agitation simple, le bitume associé au solvant est récupéré après 20 à 30 minutes. Lors de la centrifugation ou de l'extraction sous vide d'un matériau bitumineux, le solvant est ajouté jusqu'à ce qu'il soit incolore, le changement de couleur indiquant la fin de l'extraction. En France, la méthode de Rouen, répondant à la procédure par agitation, est souvent pratiquée.

–Figure 1–

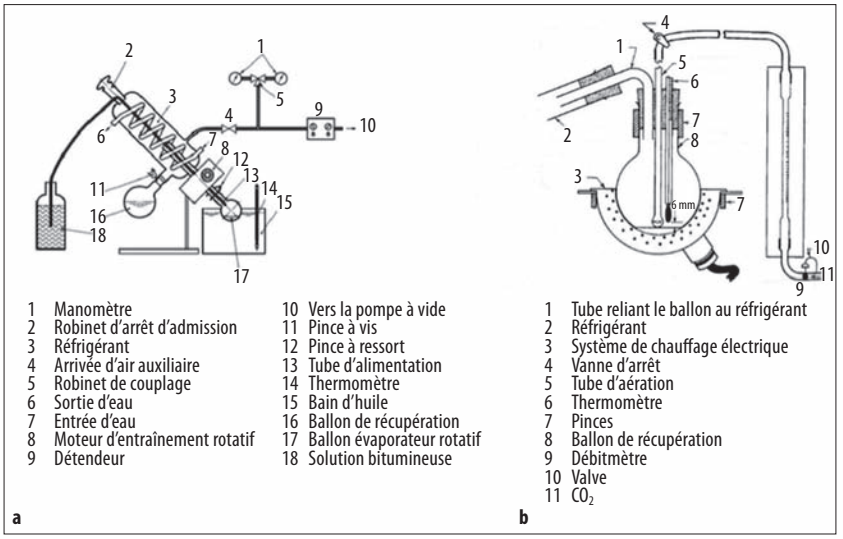
Principales techniques d'extraction à chaud utilisées dans les laboratoires routiers. 1a : extraction sur papier filtre. 1b : extraction à reflux sur panier ou cône métallique. 1c : extraction Soxhlet. 1d : extraction à reflux sur récipient. 1e : extraction à reflux sur bouilloire.



© NF EN 12697-1 (A, B ET C), ASTM D2172 (D ET E)

–Figure 2–

Principales techniques d'extraction à froid utilisées dans les laboratoires routiers. 2a : récupération à l'évaporateur rotatif. 2b : récupération selon la méthode Abson.



© NF EN 12697-3 (A), ASTM D1856 (B)

Autres méthodes

Les méthodes automatiques utilisent différentes machines disponibles dans le commerce, dont certaines sont équipées de tamis cylindriques permettant l'analyse granulométrique des granulats pendant l'extraction. Ces machines sont de plus en plus utilisées par les entreprises de la profession routière française, pour les raisons suivantes : rapidité d'essai, conditions de travail expérimental sécurisées (les machines automatiques étant généralement installées sous hotte aspirante ou sorbonne).

L'approche de Hansen et Redelius

L'approche de Hansen est utilisée depuis des décennies pour prédire la compatibilité polymère/solvant. Elle a ensuite été adaptée aux bitumes par Per Redelius.
Elle introduit la notion de solubilité partielle δ, définie par la relation :

$$\delta^2 = \delta_D^{\ 2} + \delta_p^{\ 2} + \delta_H^{\ 2},$$

où δ_D est la composante dispersive du bitume, δ_P la composante polaire et δ_H la composante liée aux liaisons hydrogènes. Ces composantes sont déterminées à partir d'essais expérimentaux de solubilité de bitume sur un nombre important de solvants organiques d'affinité chimique différente, puis calculées selon différentes méthodes numériques.
Pour mettre en évidence l'affinité bitume/solvant, des représentations graphiques telles que les sphères de solubilité sont utilisées. Celles-ci se dessinent en choisissant un repère orthonormé d'axes δ_D, δ_P et δ_H. Le bitume est repéré dans l'espace en un point dont les coordonnées correspondent à ses paramètres de solubilité. Le point constitue le centre d'une sphère de rayon R_0. Les « meilleurs » solvants sont les plus proches du centre de la sphère de solubilité du bitume.
La méthode de Hansen a été employée sur des bitumes de différentes sources, mais pas sur des liants vieillis extraits d'AE. Le travail réalisé dans le cadre du groupe de travail GT4 du projet national Mure a permis de comparer la solubilité d'un liant vieilli par rapport aux solvants employés dans les techniques d'extraction/récupération.

Classification et étiquetage des substances dangereuses

La directive 67/548/CE était applicable depuis 1994 pour la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances dangereuses. Depuis 2009, le règlement CLP (*Classification, Labelling, Packaging*)[16] est entré en vigueur et abroge le système européen précédent à compter du 1er juin 2015. Il suit les recommandations du SGH (système général harmonisé)[17], développé aux Nations unies et permettant l'harmonisation de la classification, l'étiquetage et l'emballage des substances dangereuses au niveau international.
Ce changement de norme a impliqué des modifications des représentations graphiques et des recommandations écrites. Auparavant, des phrases de risques R étaient notées ; elles sont désormais identifiées par la lettre H.

RÉCUPÉRATION DU BITUME

Si l'objectif est de caractériser les propriétés finales du liant, une récupération est nécessaire après extraction. Elle consiste à séparer le solvant du liant selon des conditions opératoires bien définies. La méthode servant de référence au niveau européen est la norme EN 12697-3. Au niveau américain, les normes ASTM D5404 et D1856 font référence dans la profession.
La norme européenne et la norme américaine D5404 sont équivalentes : le liant est récupéré au moyen d'un évaporateur rotatif, puis chauffé dans le bain d'huile et mis sous pression. La solution bitumineuse est transférée de son récipient d'origine vers le ballon évaporateur. Après transfert complet, la température du bain est augmentée et la pression diminuée afin d'évaporer entièrement le solvant. Quand le bitume cesse de bouillonner, la rotation du ballon est arrêtée et le système est mis à pression atmosphérique. La température initiale du bain varie selon le solvant utilisé.
Il est à noter que la norme américaine recommande l'utilisation d'azote ou de dioxyde de carbone pour éviter le durcissement du bitume récupéré, alors que la norme européenne se contente de la conseiller.
Dans la méthode ASTM D1856 (appelée méthode Abson), le bitume associé au solvant est obtenu après extraction par centrifugation selon la norme ASTM D2172 – méthode A. La solution est transférée dans le ballon de récupération où le système est porté à distillation à haute température et avec une circulation de dioxyde de carbone.

CHOIX DES SOLVANTS

En France, un des solvants les plus employés est le perchloroéthylène (PCE). Il présente certains risques chimiques, mais demeure un des plus efficaces. Le défi actuel de la profession routière est de pouvoir mener les opérations d'extraction et de récupération dans des conditions de sécurité adéquates.

L'étude de solubilité des bitumes selon le principe de Redelius (encadré 1) a permis de confirmer que les solvants les plus utilisés pour les opérations d'extraction et de récupération (PCE, 1,1,1-trichloroéthane...) sont efficaces d'un point de vue technique. Cependant, ils sont étiquetés, c'est-à-dire susceptibles de présenter des risques sanitaires, environnementaux et sécuritaires.
Il convient donc d'identifier chacun des risques présentés par tous ces solvants et de vérifier qu'une utilisation dans de bonnes conditions de laboratoire réduit les risques d'exposition.

ÉTIQUETAGE ET PHRASES DE RISQUES LIÉES À L'UTILISATION DU PCE

Les 11 solvants recensés dans le cadre de l'extraction et la récupération de liant sont regroupés dans le tableau 1. Ils sont étiquetés selon les deux systèmes (directive 67/548/CEE et SGH) (encadré 2).
Ce tableau a été réalisé à partir des fiches toxicologiques (FT) établies par l'INRS. Les FDS de produits sont établis par chaque fournisseur, qui prend la responsabilité de l'étiquetage de son produit (règles CLP-SGH). Selon les procédés de fabrication (et/ou de distillation), il est possible que des compositions chimiques différentes amènent à des étiquetages différents, par exemple pour le White Spirit. Pour une meilleure lisibilité, ce travail se basera sur l'étiquetage fourni dans les FT de l'INRS[6-15].
Les produits cancérigènes, mutagènes et reprotoxiques (CMR) comme le toluène, le benzène, ou le trichloréthylène ont été listés dans un premier temps.
Le benzène présente des dangers à tous les niveaux et de nombreux accidents industriels impliquant ce produit ont eu lieu. Il n'a pas été pris en compte pour la suite de l'étude sur la substitution.
Le toluène ne sera pas pris en compte en raison de sa grande inflammabilité et de son point éclair (4 °C). Le trichloroéthane et le dichlororéthane ne seront pas étudiés, le premier étant voué à disparaître des laboratoires et l'utilisation du second en laboratoire étant problématique du fait de son faible point d'ébullition.

RISQUE INCENDIE/EXPLOSION

Le règlement CLP a induit quelques changements vis-à-vis du risque incendie des produits. Certains solvants comme le xylène sont étiquetés produits inflammables (pictogramme SGH02) avec la réglementation SGH. Cette augmentation de risque est due à l'abaissement de la valeur seuil du point.
Certains solvants sont étiquetés liquides inflammables du fait des points éclairs bas, comme le xylène, le bromopropane, le disulfure de carbone et le mélange Dexcel.

–Tableau 1–

Solvants listés dans les méthodes d'extraction au niveau de la littérature internationale. Les nouveaux pictogrammes SGH 02, 07, 08 et 09 indiquent respectivement les dangers suivants : « Produit inflammable », « Toxique, irritant, sensibilisant, narcotique », « Sensibilisant respiratoire, CMR, toxique pour certains organes » et « Danger pour le milieu aquatique ».

Nature du solvant	N° CAS	N° CE	CMR	Directive 67/548/CEE Risques			Règlement 1272/2008 SGH – CLP Risques		
				Incendie	Santé	Environnement	Incendie	Santé	Environnement
Perchloroéthylène	127-18-4	204-825-9	C	2.1.1			-		
Dichlorométhane	75-09-2	200-838-9	C	-		-	-		-
1,1,1-trichloroéthane	71-55-6	200-756-3	-	-			-		-
Toluène	108-88-3	203-625-9	R			-			-
Benzène	71-43-2	200-753-7	CM			-			-
Xylène	95-47-6 (o) 108-38-3 (m) 106-42-3 (p) 1330-20-7 (mél)	202-422-2 (o) 203-576-3 (m) 203-396-5 (p) 215-535-7 (mél)	-	-		-			-
Bromopropane	106-94-5	203-445-0	R			-			-
Disulfure de carbone	75-15-0	200-843-6	R			-			-
Dexcel d312 (substitut au TCE)	-	-	-	-	-	-			
White Spirit Solvant Stoddard	8052-41-3 64742-82-1	232-489-3 265-185-4	-	-		-	-		-

Un liquide inflammable est un liquide ayant un point éclair ne dépassant pas 60 °C. Les normes de référence pour la détermination du point éclair par la méthode en vase clos et du point initial d'ébullition sont données dans le règlement CLP18.

Sur 11 solvants, 4 sont étiquetés facilement inflammables (R11) : le toluène, le benzène, le bromopropane et le disulfure de carbone. Deux autres solvants, comme le xylène et le Dexcel d312, ne sont pas représentés par un pictogramme, mais restent classés inflammables (R10).

Selon la nouvelle réglementation, les 6 solvants cités ont tous le même pictogramme SGH02. Les 4 solvants R11 sont aujourd'hui étiquetés H225 (liquide et vapeurs très inflammables), les 2 autres R10 sont maintenant étiquetés H226 (liquide et vapeurs inflammables).

RISQUE SANTÉ

Parmi les 11 solvants initialement retenus, 7 sont classés CMR, comme le perchloroéthylène (PCE), le trichloréthylène, le dichlorométhane, le toluène, le benzène, le bromopropane ou le disulfure de carbone (tableau 1).

Solvants C

Les solvants cancérigènes (C) classés R40 selon l'ancienne réglementation deviennent H351 pour le PCE et le dichlorométhane. Les solvants qui étaient étiquetés R45 sont classés H350 pour le trichloréthylène et le benzène.

Solvants M

Les solvants mutagènes (M) classés R46 deviennent H340 (le benzène notamment). En revanche, le trichloréthylène, qui n'était pas classé mutagène, est maintenant étiqueté H341. La réglementation actuelle est plus sévère quant à l'utilisation du trichloréthylène.

Solvants R

Les solvants reprotoxiques (R) classés auparavant R63 (« Susceptibles de nuire au fœtus »), sont étiquetés H361d dans la nouvelle réglementation. C'est le cas du toluène.

Les solvants présentant des risques potentiels à la fois pour la fertilité et le fœtus, classés R62 et R63 selon l'ancienne réglementation (disulfure de carbone), sont aujourd'hui classés H361fd.

Le bromopropane, qui était classé R60 et R63 (« Risque avéré sur la fertilité et risque possible sur le fœtus »), est aujourd'hui classé H360fd. La nouvelle réglementation est plus sévère vis-à-vis du risque de malformation fœtale.

Solvants T/N

Dans l'ancienne réglementation, les produits présentant un risque pour la santé étaient signalés par les lettres T (« Toxique ») ou N (« Nocif ») associés aux anciens pictogrammes définis par une tête de mort pour les solvants toxiques ou une croix pour les solvants nocifs. La réglementation SGH regroupe ces deux risques dans un pictogramme unique indiquant un danger pour la santé (SGH08).

Solvants étiquetés SGH07 (toxiques, irritants, sensibilisants, narcotiques)

Certains produits n'étaient pas étiquetés « Toxiques, irritants, sensibilisants, narcotiques », mais le deviennent avec la nouvelle réglementation SGH. C'est le cas de la plupart des solvants recensés ici, excepté le PCE, le dichlorométhane et le White Spirit. Il est à noter que la plupart des solvants présentant le pictogramme SGH07 étaient nocifs au sens de l'ancienne réglementation.

RISQUES ENVIRONNEMENTAUX

Selon l'ancienne réglementation, le PCE était étiqueté « Toxique pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique » (phrases R51/53) et le 1,1,1-trichloroéthane « Dangereux pour la couche d'ozone » (phrase R59). Désormais, il est étiqueté SGH09 (« Danger pour l'environnement ») et présente le risque « Toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme » (phrase H411).

Le 1,1,1-trichloroéthane reste classé H420 (« Nuit à la couche d'ozone »), mais n'est plus étiqueté vis-à-vis du risque environnement.

Le Dexcel d312 était non étiqueté, mais il est répertorié SGH09, H411 aujourd'hui.

ASPECT ENVIRONNEMENTAL

L'utilisation du PCE est très répandue dans les laboratoires de l'industrie routière française, notamment en raison de son fort pouvoir solvant sur le bitume et de son caractère ininflammable. Ainsi, il permet aisément de remplir le cahier des charges d'un grand nombre de protocoles d'essai.

Toutefois, étant un déchet chloré, il présente un risque pour l'environnement. Ainsi, il est étiqueté SGH09 (« Danger pour l'environnement ») avec la phrase de risque associée H411 (« Toxique pour les organismes aquatiques, entraine des effets néfastes à long terme »). De ce fait, la gestion de ce solvant est primordiale pour la préservation de l'environnement. Le code réglementaire du PCE est 140602* (« Autres solvants et mélanges de solvants halogénés »)[19]. Il fait partie de la catégorie « Déchets dangereux » (DD).

Le regroupement sur site avant envoi vers les filières d'élimination doit se faire selon un tri spécifique par famille de produits. Le PCE souillé est récupéré dans des bidons préalablement identifiés et fermés hermétiquement. Leur stockage est réalisé dans un local clos et couvert avec bac de rétention.

Il existe deux filières de traitement pour ce type de déchet : la régénération et l'incinération s'il est combustible ; sinon, il sera stocké dans une installation de stockage de déchets dangereux (ISDD). La régénération est définie comme étant un procédé physique ou chimique, ayant pour but de redonner à un déchet les caractéristiques qui permettent de l'utiliser en remplacement d'une matière première neuve. La filière d'élimination se fera en incinérateur si le déchet est combustible ; sinon, elle se fera en ISDD.

Le fait que le PCE soit remplacé dans les pressings[20] va diminuer les quantités de PCE à synthétiser sur le marché et à recycler, ce qui risque d'induire des coûts de production plus importants du fait de la baisse de volume induite.

Dans le cas d'installations de nettoyage à sec, les solvants de substitution possibles sont l'éther tert-butylique du dipropylèneglycol (Rynex® 3E), le dibutoxyméthane (Solvon K4), les hydrocarbures en C9-C13 (KWL) et le décaméthylcyclopentasiloxane (D5). Ils peuvent être utilisés en nébulisation, ou dans un procédé de nettoyage au trempé (ou en plein bain). Les essais de désenrobage réalisés avec ce type de solvants ne se sont pas révélés efficaces.

ÉVALUATION DES RISQUES ET MESURES DE PRÉVENTION

Les solvants chlorés sont très fréquemment utilisés en laboratoire routier, aussi bien pour l'extraction du bitume des enrobés bitumineux ou des AE à recycler que lors d'opérations de nettoyage et de protocoles spécifiques dédiés à l'analyse chimique. Une évaluation du risque chimique, fondée sur la méthode publiée par l'INRS en 2004, a été réalisée[21].

DÉMARCHE

Le principe d'évaluation s'appuie à la fois sur la hiérarchisation des risques potentiels liée à l'étiquetage des produits chimiques et sur des techniques simplifiées de modélisation d'exposition professionnelle et de méthode de calcul de score pondéré[19].

D'une part, tous les étiquetages et phrases de risque des solvants de cette étude ont été répertoriés, ce qui permet une hiérarchisation des risques au niveau santé, environnement et incendie/explosion. D'autre part, les calculs de score d'exposition par inhalation et par voie cutanée prennent en compte, respectivement, la volatilité du produit, les protections collectives, le procédé utilisé et la surface de peau exposée, la fréquence d'exposition.

Le calcul de score incendie/explosion, prend en compte la quantité de produit stockée en laboratoire et l'origine possible de source d'allumage d'incendie et/ou d'explosion. Enfin, le score environnemental est calculé à partir de la quantité de produit stocké et du coefficient de transfert du produit chimique dans l'environnement (eau/air/sol).

Les figures 3 et 4 rappellent le principe de calcul des scores de risque sanitaire, environnemental et incendie/explosion.

RÉSULTATS DES ÉVALUATIONS DE RISQUE

Trois scénarii ont été bâtis à partir des activités de recherche portées par le groupe de travail 4 du projet national Mure.

- Le premier scénario reprend les points principaux liés à l'extraction et à la récupération du bitume par solvants chlorés en automate utilisant un circuit fermé.
- Le deuxième scénario est dédié au nettoyage de petites pièces utilisées dans des protocoles spécifiques comme l'analyse par infrarouge. Le système est considéré comme ouvert.
- Le troisième scénario reprend l'analyse de risque lors de l'étape de recyclage du solvant chloré utilisé en laboratoire routier (tableau 2).

Il est impératif de procéder au remplacement du PCE dans les protocoles d'analyses d'échantillons où la manipulation s'effectue en système ouvert, comme la préparation d'échantillons en spectroscopie infrarouge (IR). Ce scénario se rencontre principalement en laboratoire de recherche sur les liants. Si les solvants chlorés sont utilisés en système clos, l'évaluation du risque sanitaire est faible.

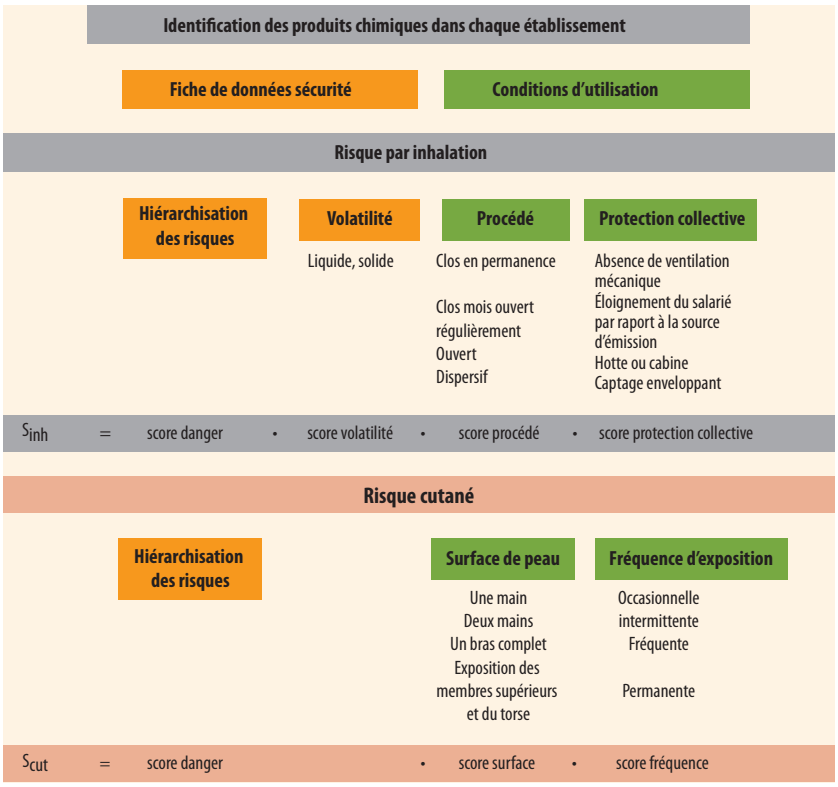
MESURES DE PRÉVENTION ET RETOUR D'EXPÉRIENCE

Plusieurs solutions de nettoyage de substitution ont été testées récemment en laboratoire de recherche ou en laboratoire technique régional.

Elles permettent de travailler sans produits CMR en système ouvert ou en système de nettoyage automatique (photos 1 et 2).

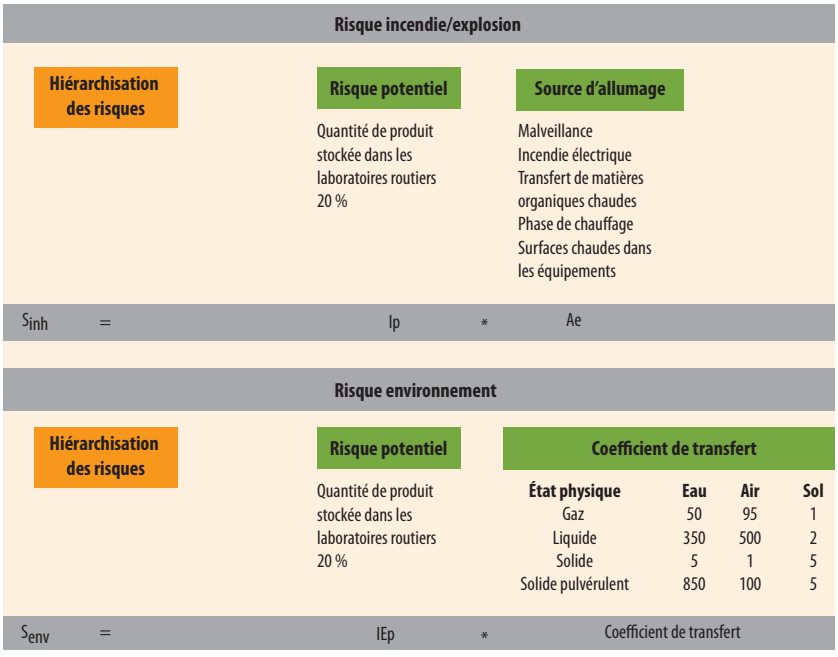
Enfin, lors de l'utilisation de PCE pour l'extraction du bitume, en système clos, le raccordement de pompes au système automatique d'extraction élimine tout contact cutané avec le produit CMR (photos 3).

–Figure 3–
Principe du calcul de score santé.
L'impact est faible si Sxx < 100, modéré si 100 ≤ Sxx < 1 000, et élevé si Sxx ≥ 1000 (avec xx pour cut ou inh).



© EIFFAGE ROUTE

–Figure 4–
Principe du calcul de score environnemental et incendie/explosion.
L'impact est faible si Sxx < 100, modéré si 100 ≤ Sxx < 1 000 et, élevé si Sxx ≥ 1 000 (avec xx pour env ou inc).



© EIFFAGE ROUTE

–Tableau 2–
Résultats des évaluations de risque pour les solvants candidats à la substitution.

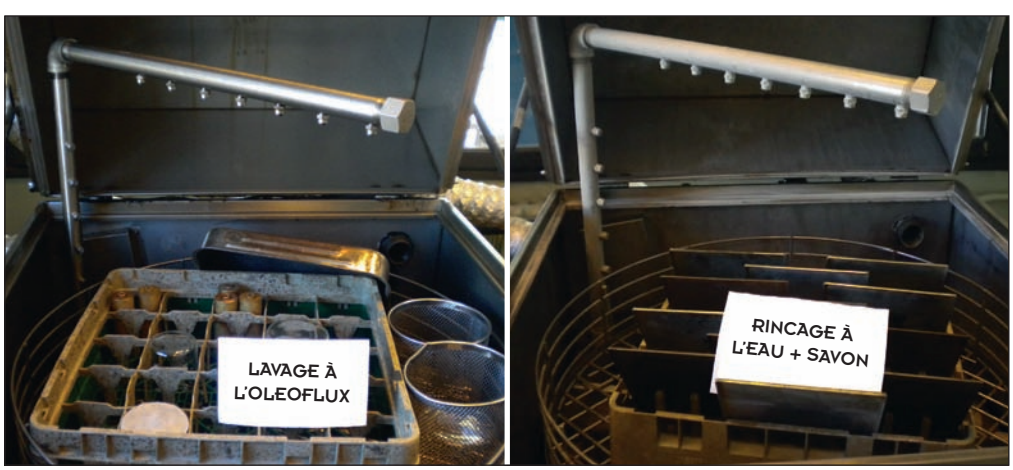
Scénario	Solvant	Impact santé		Impact environnement	Risque incendie
		Inhalation	cutané		
Système clos avec extraction du bitume en automate	Perchloroéthylène	Faible	Faible	Modéré	Faible
	1,1,1-Trichloroéthane	Faible	Faible	Modéré	Faible
	Xylène	Faible	Faible	Faible	Modéré
	Bromopropane	Faible	Élevé	Modéré	Élevé
	Disulfure de carbone	Faible	Modéré	Modéré	Élevé
	Dexcel d312	Faible	Faible	Faible	Modéré
	White-spirit/Solvant Stoddard	Faible	Faible	Faible	Faible
Système ouvert avec préparation d'échantillons pour analyses physico-chimiques du bitume	Perchloroéthylène	Modéré	Faible	Modéré	Faible
	1,1,1-Trichloroéthane	Modéré	Faible	Modéré	Faible
	Xylène	Modéré	Faible	Faible	Modéré
	Bromopropane	Élevé	Élevé	Modéré	Élevé
	Disulfure de carbone	Élevé	Modéré	Modéré	Élevé
	Dexcel d312	Modéré	Faible	Faible	Modéré
	White-spirit/Solvant Stoddard	Modéré	Faible	Faible	Faible
Système clos avec recyclage du solvant	Perchloroéthylène	Faible	Faible	Modéré	Faible
	1,1,1-Trichloroéthane	Faible	Faible	Modéré	Faible
	Xylène	Faible	Faible	Faible	Faible
	Bromopropane	Faible	Élevé	Modéré	Élevé
	Disulfure de carbone	Faible	Modéré	Modéré	Élevé
	Dexcel d312	Faible	Faible	Faible	Faible
	White-spirit/Solvant Stoddard	Faible	Faible	Faible	Faible

© EIFFAGE ROUTE

–Photos 1–
Suppression du PCE utilisé pour le nettoyage. Trempage des cubes et supports pour la cohésion mouton pendule, ainsi que le petit matériel d'essais pour le DSR grâce au couplage d'utilisation d'un solvant non CMR Orasolv E et d'un bain à ultrasons permettant un gain de temps et de productivité.

© CER CORBAS/EIFFAGE INFRASTRUCTURES

–Photos 2–
Nettoyage optimisé en laboratoire routier avec suppression du PCE. Utilisation de solvant végétal dans une machine à laver type industriel, suivi du rinçage à l'eau savonneuse dans une deuxième machine du même type.



© LABORATOIRE STR DE TROYES, EIFFAGE ROUTE NORD EST

–Photos 3–
Raccordement des containers de PCE au système automatique d'extraction.

© LABORATOIRE STR DE MAXÉVILLE, EIFFAGE ROUTE NORD EST

CONCLUSION

Du fait de leur fort pouvoir de solubilité, les solvants chlorés sont des produits de référence très efficaces dans les techniques analytiques de caractérisation des bitumes dans les AE et enrobés bitumineux.
Cependant, ce sont des produits étiquetés en matière sanitaire, qui demandent des précautions d'utilisation et du personnel qualifié et habilité. Les instructions dispensées lors des protocoles d'extraction et de récupération sont généralement bien suivies, mais demandent à être respectées pour les nombreuses utilisations annexes comme le nettoyage de petites pièces.

Actuellement, il n'existe pas de produits de substitution aussi efficaces dans les conditions techniques d'utilisation, ce qui ouvre la voie à de nouvelles recherches au sein de la profession et des institutions de santé pour remplacer les produits chlorés (voire modifier les méthodes d'extraction et de récupération).
Le projet national Mure a proposé un protocole unique pour tous les chantiers expérimentaux en préconisant l'utilisation d'un système automatique d'extraction avec aspiration intégrée et de récupération, un nombre de personnes habilitées restreint, le port d'EPI (équipements de protection individuels) et la limitation des quantités de matériaux à manipuler par rapport à la quantité de solvants utilisés. ■

RÉFÉRENCES

1. Projet national Mure (Multi-recyclage et enrobés tièdes) – GT4 – Méthode de caractérisation des agrégats d'enrobés.
2. Norme NF EN 12697-1 « Mélanges bitumineux - Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 1 : Teneur en liant soluble », août 2012.
3. Norme NF EN 12697-3 « Mélanges bitumineux - Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud - Partie 3 : extraction des bitumes à l'évaporateur rotatif », août 2013.
4. G. Jones, M. Wiley, R. Smith, « Vacuum Extraction of Bitumen from Pavement Mixture », in *Rapid Test Methods for Determination of Bitumen Content in Bituminous Mixtures*. ASTM International, 1969.
5. Norme NF EN 12697-4 « Mélanges bitumineux - Méthodes d'essai - Partie 4 : récupération des bitumes à la colonne à distiller », octobre 2015.
6. Fiche toxicologique FT 29 Perchloroéthylène, INRS, 2016.
7. Fiche toxicologique FT 34 Dichlorométhane, INRS, 2016.
8. Fiche toxicologique FT 26 111 Trichlororéthane, INRS, 2016.
9. Fiche toxicologique FT 74 Toluène, INRS, 2016.
10. Fiche toxicologique FT 49 Benzène, INRS, 2016.
11. Fiche toxicologique FT 77 Xylène, INRS, 2016.
12. Fiche toxicologique FT 250 Bromopropane, INRS, 2016.
13. Fiche toxicologique FT 12 Disulfure de carbone, INRS, 2016.
14. Fiche toxicologique FT 94 White Spirit, INRS, 2016.
15. Fiche toxicologique FT 22 Trichloroéthylène, INRS, 2011.
16. Règlement (CE) 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges.
17. Système général harmonisé de classification et étiquetage des produits chimiques (SGH), Nations unies, 2013, édition révisée.
18. A. Maison, « Mémento du règlement CLP – Classification, étiquetage et emballage des produits chimiques ED6207 », INRS, 2015.
19. Annexe II de l'article R.591-8 du Code de l'environnement, 2012.
20. Fiche d'aide à la substitution, « FAS 2 Perchloroéthylène », INRS, 2013.
21. R. Vincent, F. Bonthoux, G. Mallet, J.-F. Iparraguirre, S. Rio, « Méthodologie d'évaluation simplifiée du risque chimique », ND 2207-195-04, pp. 7-29, 2004.

PERCHLOROÉTHYLÈNE
SOLVANTS DE SUBSTITUTION

Le contrôle de la qualité des enrobés bitumineux repose sur leur désenrobage. Le perchloroéthylène s'était imposé au fil du temps comme le solvant le plus efficace, le moins dangereux et le plus économique pour ces extractions de bitume. Il est cependant classé CMR (cancérogène et/ou mutagène et/ou reprotoxique) de classe 2 (substance suspectée d'être cancérogène)[1].

Réalisation d'essai avec un appareil d'extraction semi-automatique.

© EUROVIA MANAGEMENT-DTE CENTRE EST

Depuis des années, les entreprises adhérentes à l'Usirf (Union syndicale de l'industrie routière française) ont mis en œuvre des moyens de prévention et de protection des salariés des laboratoires pour réduire au maximum le risque lié au caractère dangereux du perchloroéthylène. Entre 2015 et 2016, dans le cadre de la section Technique routier de l'Usirf, elles ont entrepris de nouvelles études destinées à évaluer l'usage d'autres solvants non CMR.

APPROCHE THÉORIQUE DE PRÉSÉLECTION DES SUBSTITUANTS

IDENTIFICATION DES SUBSTITUANTS POSSIBLES

La première approche a consisté à établir une liste élargie de substituants potentiels selon 3 axes :

- Les solutions préconisées par l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) pour la substitution des produits CMR. Sept solvants ont ainsi été identifiés comme substituts potentiels au perchloroéthylène (les dénominations commerciales ne sont pas mentionnées) : le cyclométicone, le butylal, le di(propylène glycol) tert-butyl ether, un mélange de naphta lourds, le 1,3-dioxolane, le 2,5,7,10-tétraoxaundécane et le méthylal (diméthoxyméthane).
- La norme NF EN 12697-1[2], qui énumère différents solvants capables de dissoudre le bitume : le dichlorométhane (DCM), le 1,1,1-trichloroéthane, le benzène, le trichloroéthylène (TCE), le xylène, le toluène et le perchloroéthylène (PCE) y sont mentionnés. Parmi ceux-ci, le DCM, le PCE, le TCE et le benzène sont classés cancérogènes d'après le CIRC (Centre international de recherche sur le cancer) (respectivement groupe 2 pour les 2 premiers et groupe 1 pour les 2 derniers). Quant aux 3 autres solvants, ils sont considérés comme inclassables quant à leur cancérogénicité pour l'homme (groupe 3).
- Les publications – peu nombreuses, d'autant plus que le trichloroéthylène a été identifié comme l'un des meilleurs solvants d'extraction par le *Strategic Highway Research Program*. Cependant des essais comparant l'efficacité du trichloroéthylène avec le 1-bromopropane (nPB), un mélange toluène/éthanol (85/15 % vol.), et la décaline ont été réalisés, montrant que la récupération du liant est plus rapide avec le trichloroéthylène qu'avec les autres solvants[3]. Le nPB est classé CMR reprotoxique catégorie 1B (substance présumée toxique pour la reproduction humaine) et le toluène catégorie 2 (substance suspectée d'être toxique pour la reproduction humaine).

Ces produits ne sont donc pas forcément moins toxiques que le perchloroéthylène et une approche, basée sur les propriétés de solubilité, s'est avérée nécessaire.

AUTEURS

Valéry Ferber
Directeur Environnement & Innovation
Entreprise Charier

Guillaume de Langie
Assistant technique
Eurovia Normandie

François Chaignon
Directeur technique France
Colas SA

Vincent Besse
Responsable scientifique
Direction Environnement
Colas SA

Laurence Boulangé
Responsable Prévention
Eiffage Infrastructures

Denis Gay
Responsable du service Unités de production
Eurovia Management – DTE Centre Est

Carole Gueit
Adjointe chef de service Chimie routière
Colas Campus scientifique et technique

Sylvain Henry
Adjoint technique chef des laboratoires
Colas Rhône-Alpes Auvergne

Tous les auteurs sont membres du groupe de travail « Substitution du perchloroéthylène dans les laboratoires routiers » missionné par la section Technique routière de l'Usirf.

PARAMÈTRES DE SOLUBILITÉ DE HANSEN

Charles M. Hansen[4] a décomposé le paramètre de solubilité de Hildebrand, noté d, en 3 composantes (les paramètres de solubilité de Hansen) :

- δD : décrit les forces de dispersion (ou interactions de London). Elles sont produites par des polarisations instantanées et locales de certaines molécules. Ces interactions sont en partie responsables des forces attractives entre molécules, relatives à leur taille, et présentes dans chaque molécule.
- δP : décrit les forces polaires (interactions de Keesom et de Debye). Ces forces sont créées par les différences d'électronégativité des atomes présents dans une même molécule polaire. D'une part, elles sont responsables des orientations des molécules polaires et, d'autre part, elles créent des moments dipolaires induits dans les molécules apolaires se trouvant à proximité des molécules polaires.
- δH : décrit les interactions causées par les atomes d'hydrogène d'une molécule vis-à-vis des atomes d'une autre molécule. En effet, un atome d'hydrogène lié à un atome très électronégatif (au sein d'une même molécule) aura tendance à interagir avec un autre élément électronégatif d'une autre molécule.

Les paramètres de solubilité de Hansen sont reliés à ceux de Hildebrand de la façon suivante :

$$\delta^2 = \delta_D^2 + \delta_P^2 + \delta_H^2$$

Sur cette base, la solubilité d'un solvant vis-à-vis d'un produit peut être évaluée à l'aide des équations faisant intervenir les différents paramètres de solubilité, « la distance » entre les composés (Ra) ainsi que le rayon d'interaction du produit à solubiliser (R_0).

La distance Ra (basée sur la différence des paramètres de solubilité) traduit le fait que des composés ayant des similitudes auront plus facilement tendance à se solubiliser et s'écrit comme suit :

$$Ra = \sqrt{4 * (\delta_{D2} - \delta_{D1})^2 + (\delta_{P2} - \delta_{P1})^2 + (\delta_{H2} - \delta_{H1})^2}$$

où δ_{D1}, δ_{P1} et δ_{H1} correspondent aux paramètres de solubilité du composé 1, et δ_{D2}, δ_{P2} et δ_{H2} aux paramètres de solubilité du composé 2. Plus cette distance est faible, plus les composés auront une forte affinité.

Enfin, la différence d'énergie relative (*Relative Energy Difference* (RED)) est calculée comme étant le rapport de la distance Ra avec le rayon d'interaction R_0 :

$$RED = \frac{R_a}{R_0}$$

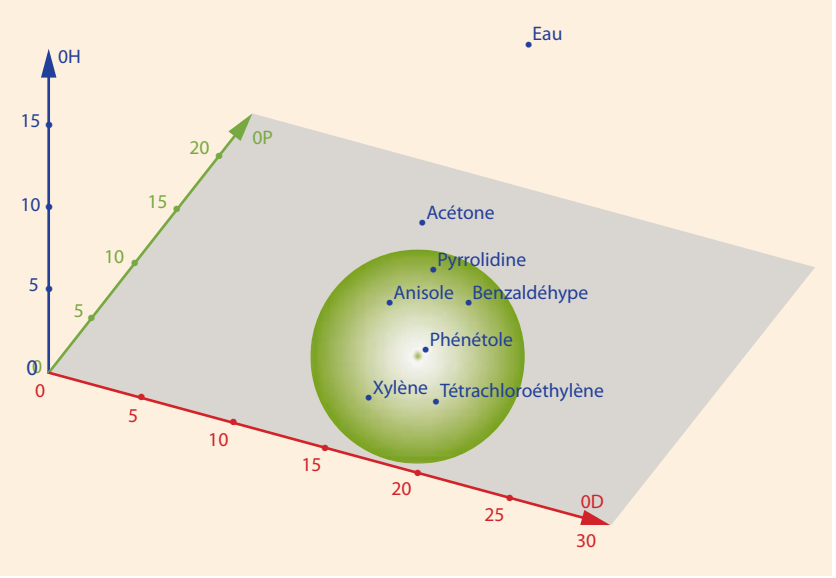
- RED = 0 : il n'y a pas de différence d'énergie relative entre les composés, qui sont identiques du point de vue des interactions.
- RED < 1 : les composés présentent des affinités.
- RED ~ 1 : c'est une condition limite de solubilité.
- RED > 1 : les composés présentent des différences.

Plus le RED sera élevé, moins il y aura d'affinités entre ces composés et donc de chance de solubilisation[4-5]. Connaissant les divers paramètres du bitume[6-9] (paramètres de solubilité et rayon d'interaction) et des substituants potentiels[10-11], le calcul du RED permet de dresser une liste des éventuels candidats à la substitution du perchloroéthylène. Cette valeur de RED a été le premier critère de sélection des solvants de substitution potentiels. À titre d'exemple, le trichloroéthylène et le perchloroéthylène possèdent respectivement des RED égaux à 0,45 et 0,71. Selon l'origine du bitume, les paramètres de solubilité diffèrent. D'une source à une autre, les compositions de ses 2 parties (asphaltènes et maltènes) sont variables, modifiant ainsi les comportements vis-à-vis des solvants. Les paramètres du bitume sélectionnés sont ceux présentant le plus de restrictions (δ_D = 18,0 MPa$^{1/2}$; δ_P = 4,5 MPa$^{1/2}$; δ_H = 3,5 MPa$^{1/2}$ et R_0 = 5,2 MPa$^{1/2}$).

En plaçant chacune des 3 composantes de solubilité sur un axe propre, il est alors possible de faire figurer un solvant sur un point précis du graphique (le perchloroéthylène sera par exemple représenté par un point de coordonnées (18,3 ; 5,7 ; 0,0)). Quant au produit à solubiliser, il s'apparente à une sphère (le bitume sera représenté par exemple par une sphère de centre (18,0 ; 4,5 ; 3,5) et de rayon 5,2). Ainsi, la distance Ra correspond à la distance entre 2 points δ à un facteur près dans un repère :

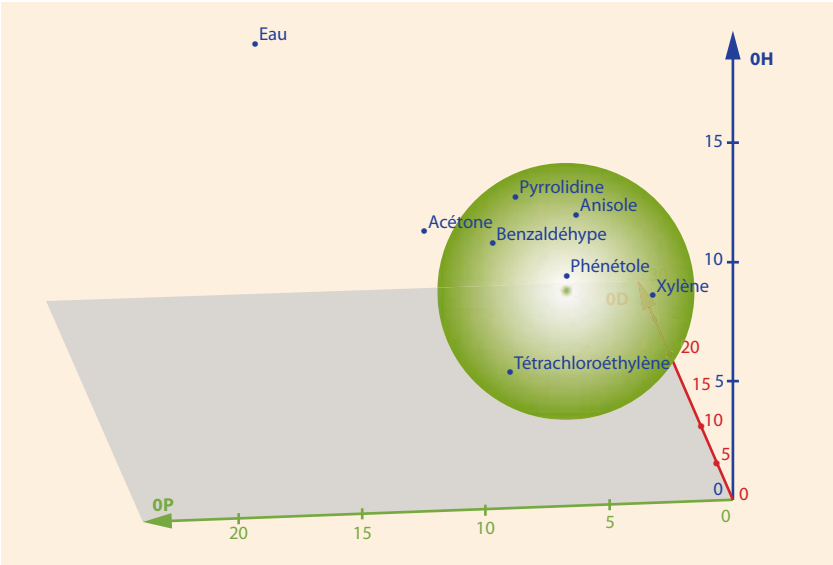
$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Le facteur « 4 », intervenant dans l'équation du calcul de Ra, modifie la forme de la sphère en un sphéroïde. Un RED < 1 signifie que le solvant (représenté par un point) se situe à l'intérieur du sphéroïde. L'utilisation d'un logiciel de géométrie dynamique permet de représenter les résultats sous forme de graphique (figures 1 et 2).



–Figure 1–
Représentation des paramètres de solubilité de Hansen de certains solvants.

–Figure 2–
Représentation des paramètres de solubilité de Hansen de certains solvants.



La liste des substituants intéressants a été établie en vérifiant les points suivants :

- le critère RED ≤ 1 ;
- l'absence de risque CMR ;
- l'absence de phrase de risque jugée grave ;
- une température d'ébullition < 180 °C (pour éviter de dénaturer le bitume lors de sa récupération) ;
- la disponibilité du solvant sur le marché.

Les solvants finalement sélectionnés sont le xylène, le carbonate de diéthyle (DEC) et un mélange commercial à base de trans-1,2-dichloroéthylène, que l'on appellera « solvant S ». Les propriétés et caractéristiques de ces mélanges sont précisées dans le **tableau 1**.

–Tableau 1–
Propriétés et caractéristiques des produits sélectionnés.

Propriétés/caractéristiques	Xylène	Carbonate de diéthyle	Solvant S
Composition	o-xylène ; m-xylène ; p-xylène	Carbonate de diéthyle	trans-1,2-dichloroéthylène ; méthoxytridécafluoroheptène
Formule	C_8H_{10}	$C_5H_{10}O_3$	$C_2H_2Cl_2$ $C_8H_3OF_{13}$
RED	0,68	0,78	≈ 0,79
Aspect	Incolore	Incolore	Incolore
Température d'ébullition (°C)	136	126	48
Point d'éclair (°C)	25	25	< 22*
Température d'auto-inflammabilité (°C)	460	455	Donnée non disponible
Pression de vapeur (kPa) (à 20 °C)	0,8	1,1	44,1 (à 25° C)
Masse volumique (g/cm³)	0,87	0,98	1,26
Mentions de danger	H226 ; H304 ; H312 ; H315 ; H319 ; H332	H226 ; H315 ; H319 ; H335	H315 ; H318 ; H336 ; H412
Étude des risques cancérogènes	Sur des rats et souris Sur des cas témoins Résultats incertains[12]	Aucune	Aucune (tous les éthylènes chlorés sont CMR sauf celui présent ici car non testé)[13-14]

*Après vérification, il s'avère que le produit est inflammable à température ambiante (mesure du point d'éclair en vase ouvert) alors que la fiche technique de ce produit indique l'absence de point d'éclair en coupelle ouverte et fermée selon normes ASTM.

ÉVALUATION TECHNIQUE DES SUBSTITUANTS PRÉSÉLECTIONNÉS

MÉTHODE D'EXTRACTION

En France, les principales méthodes employées pour le désenrobage des enrobés bitumineux sont l'utilisation d'une machine analyseur de bitume et la méthode de Rouen. D'autres méthodes existent, comme le montage extracteur de Kumagawa (plus rare), ou encore la calcination (couramment employée aux États-Unis et au Canada).

La méthode de Rouen, considérée comme la méthode de référence, est décrite dans la norme NF EN 12697-1. Son principe repose sur une différence de masse entre le matériau enrobé de liant et le même matériau désenrobé. Le désenrobage est réalisé en deux temps, en agitant l'enrobé, puis les fines recouvertes de bitume avec le solvant d'extraction.

ESSAIS

Les différents solvants (xylène, DEC, solvant S) ont été testés en adoptant la méthode de Rouen. Les résultats ont été comparés, si possible, à ceux obtenus avec du perchloroéthylène via la même méthode.

Des essais préliminaires ont permis d'évaluer rapidement l'efficacité des solvants testés et de fixer un temps d'agitation pour une extraction complète. Le DEC a alors été éliminé car les teneurs en liant obtenues étaient trop faibles par rapport aux résultats de référence (2,34 % au lieu de 5,04 % sur un BBSG (béton bitumineux semi-grenu) 0/10 et 2,61 % contre 5,05 % sur des agrégats d'enrobés (AE)).

Ces essais ont montré que le critère RED était une condition nécessaire mais insuffisante pour assurer un désenrobage efficace dans des conditions de laboratoire classiques. Par ailleurs, il a été remarqué que les matériaux se collaient sur les parois du bocal durant les essais préliminaires avec le xylène, ce qui a conduit à modifier le protocole pour ce solvant. Par conséquent, une étape d'agitation manuelle des bocaux toutes les 15 minutes a été ajoutée.

Il s'est avéré qu'après avoir ajouté cette étape, le temps de mélange n'influençait pas les valeurs des teneurs en liant. Le temps d'agitation a donc été fixé à 30 minutes pour l'ensemble des essais (avec une étape d'agitation manuelle à 15 minutes).

Les essais principaux ont cherché à comparer l'efficacité du xylène et du solvant S avec le perchloroéthylène sur les enrobés suivants : BBSG **(tableau 2)** ; BBSG maniable avec des AE **(tableau 3)** ; AE purs **(tableau 4)** ; un enrobé à liant modifié (ELM) **(tableau 5)**. Trois essais de désenrobage ont été réalisés avec chaque solvant (sauf avec le perchloroéthylène) pour l'ensemble des matériaux.

Essai	Matériau	Méthode	Solvant	Temps de mélange (min)	TL (%)	Moyenne TL (%)		
Référence	BBSG 0/10 n° 3	Asphalt-Analysator	Perchloro-éthylène	/	5,27	5,27	±	0,00
Référence	BBSG 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Perchloro-éthylène	30	5,27 5,33	5,30	±	0,03
Essai 9	BBSG 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Xylène	30	5,40 5,61	5,39	±	0,11
Essai 10	BBSG 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Xylène	30	5,36 5,40			
Essai 11	BBSG 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Xylène	30	5,32 5,26			
Essai 12	BBSG 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Solvant S	30	5,54 5,58	5,71	±	0,12
Essai 13	BBSG 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Solvant S	30	5,72 5,76			
Essai 14	BBSG 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Solvant S	30	5,88 5,79			

–Tableau 2–
Comparaison des désenrobages entre xylène, perchloroéthylène et solvant S sur un BBSG 0/10.

Référence	BBSG 0/10 M + 10 % AE	Asphalt-Analysator	Perchloro-éthylène	/	5,42	5,42	±	0,00
Référence	BBSG 0/10 M + 10 % AE	Méthode de Rouen	Perchloro-éthylène	30	5,59 5,53	5,56	±	0,03
Essai 15	BBSG 0/10 M + 10 % AE	Méthode de Rouen	Xylène	30	5,61 5,70	5,69	±	0,13
Essai 16	BBSG 0/10 M + 10 % AE	Méthode de Rouen	Xylène	30	5,57 5,59			
Essai 17	BBSG 0/10 M + 10 % AE	Méthode de Rouen	Xylène	30	5,73 5,96			
Essai 18	BBSG 0/10 M + 10 % AE	Méthode de Rouen	Solvant S	30	6,02 5,98	6,02	±	0,05
Essai 19	BBSG 0/10 M + 10 % AE	Méthode de Rouen	Solvant S	30	6,02 5,98			
Essai 20	BBSG 0/10 M + 10 % AE	Méthode de Rouen	Solvant S	30	6,12 6,00			

–Tableau 3–
Comparaison des désenrobages entre xylène, perchloroéthylène et solvant S sur un BBSG 0/10 maniable + 10 % AE.

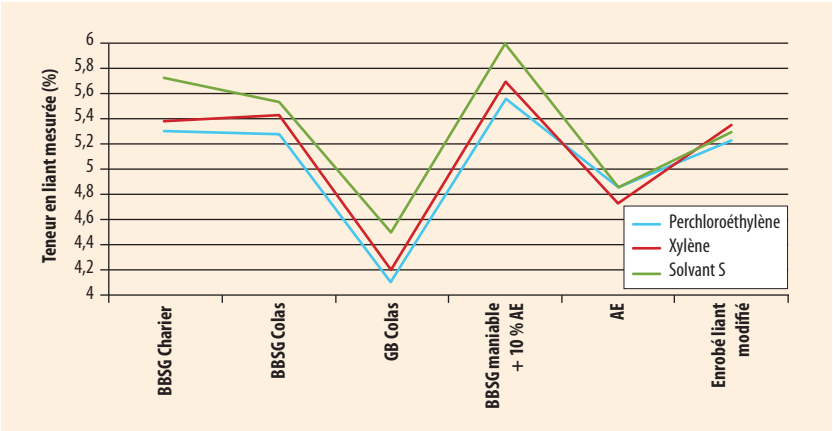
Référence	AE 0/10 n° 3	Asphalt-Analysator	Perchloro-éthylène	/	4,81	4,81	±	0,00
Référence	AE 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Perchloro-éthylène	30	4,78 4,92	4,85	±	0,07
Essai 21	AE 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Xylène	30	4,71 4,79	4,73	±	0,04
Essai 22	AE 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Xylène	30	4,75 4,76			
Essai 23	AE 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Xylène	30	4,71 4,68			
Essai 24	AE 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Solvant S	30	4,86 4,87	4,87	±	0,03
Essai 25	AE 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Solvant S	30	4,92 4,83			
Essai 26	AE 0/10 n° 3	Méthode de Rouen	Solvant S	30	4,89 4,85			

–Tableau 4–
Comparaison des désenrobages entre xylène, perchloroéthylène et solvant S sur des AE 0/10.

Référence	ELM 0/10	Asphalt-Analysator	Perchloro-éthylène	/	5,31	5,31	±	0,00
Référence	ELM 0/10	Méthode de Rouen	Perchloro-éthylène	30	5,25 5,18	5,22	±	0,04
Essai 27	ELM 0/10	Méthode de Rouen	Xylène	30	5,43 5,32	5,35	±	0,04
Essai 27	ELM 0/10	Méthode de Rouen	Xylène	30	5,32 5,31			
Essai 29	ELM 0/10	Méthode de Rouen	Xylène	30	5,35 5,34			
Essai 30	ELM 0/10	Méthode de Rouen	Solvant S	30	5,37 5,29	5,29	±	0,06
Essai 31	ELM 0/10	Méthode de Rouen	Solvant S	30	5,35 5,28			
Essai 32	ELM 0/10	Méthode de Rouen	Solvant S	30	5,22 5,22			

–Tableau 5–
Comparaison des désenrobages entre xylène, perchloroéthylène et solvant S sur un ELM 0/10.

–Figure 3–
Synthèse des résultats d'extraction par la méthode de Rouen avec le perchloroéthylène, le xylène et le solvant S.



RÉSULTATS

L'efficacité des différents solvants a été évaluée principalement en fonction des résultats des teneurs en liant obtenues.

Le xylène présente de bons résultats, qui sont cohérents avec les valeurs de référence obtenues avec le perchloroéthylène par la méthode de Rouen ou avec l'Asphalt Analysator (appareil d'extractions semi-automatique utilisé majoritairement), bien que ces valeurs soient régulièrement plus élevées (sauf pour les AE). L'efficacité du xylène pour le désenrobage par méthode de Rouen a été confirmée par des essais complémentaires du laboratoire Rhône-Alpes-Auvergne de Colas.

Quelques difficultés sont apparues lors de l'utilisation du solvant S. En raison de son importante pression de vapeur (44,1 kPa), ce produit se volatilise facilement, ce qui fausse certains résultats. De plus, sa récupération est complexe puisque l'échauffement créé dans la centrifugeuse à flux continu est suffisant pour le vaporiser, laissant le bitume dans l'appareil.

Hormis ces problèmes, le solvant S s'est révélé efficace pour le désenrobage par méthode de Rouen. Les résultats sont globalement cohérents avec les valeurs de référence (sauf concernant les désenrobages sur le BBSG 0/10 maniable avec 10 % d'AE dont les valeurs sont anormalement élevées pour les 3 essais).

SYNTHÈSE

Les mesures réalisées par la méthode de Rouen avec le perchloroéthylène, le xylène et le solvant S sont représentées dans la figure 3.

La teneur en liant mesurée avec le solvant S est systématiquement supérieure à celle mesurée avec le perchloroéthylène par la méthode de Rouen. Cet écart peut atteindre près de 0,5 point, soit près de 10 % de la teneur en liant mesurée au perchloroéthylène. Il pourrait s'expliquer à la fois par la forte volatilité de la fraction chlorée du solvant S (qui fausse les pesées) et par la faible volatilité de la fraction fluorée (qui est susceptible de rester dans le bitume après extraction et évaporation).

Les valeurs obtenues avec le xylène sont en revanche beaucoup plus proches des mesures avec le perchloroéthylène, même si elles restent généralement supérieures. L'écart maximal observé est de + 0,15 point de bitume, soit 3 % de la teneur en liant mesurée avec le perchloroéthylène.

ÉTUDE DE LA DANGEROSITÉ DES SUBSTITUANTS EFFICACES

L'objectif était de rechercher un produit de substitution au perchloroéthylène du fait de sa dangerosité. Une évaluation approfondie des produits candidats à la substitution a été réalisée afin que la substitution ne conduise pas à un transfert de risque (tableau 6).

–Tableau 6–
Comparaison des propriétés entre perchloroéthylène, xylène et solvant S.

Propriété	Perchloroéthylène	Xylène	Solvant S
Efficace dans l'Asphalt Analysator (à froid)	?	?	Oui
Utilisation à froid (méthode de Rouen)	Oui	Oui	Difficultés à la centrifugeuse
Teneur en liant sur liant modifié	Oui	Oui	Oui
Caractérisation du liant après extraction	OK	?	?
Détection par spectroscopie IR	Oui	Oui	Oui
Étiquetage CMR	Oui	Non, mais possible évolution	Non, mais possible évolution
Point d'éclair (°C)	/	25	22 et probablement moins
Température d'ébullition (°C)	121	136	48
Risque en cas d'incendie	Connu	Connu	Dégagement de produits fluorés
Recyclabilité	Oui	Oui	Oui
Gestion du déchet	Solvant chloré	Solvant non chloré	Solvant chloré et signaler produit fluoré
Présence dans les normes	Oui	Oui	Non
Odeur	Marquée	Marquée	Marquée
Légende	Point fort	Point faible	Point à vérifier

© LABORATOIRE STR DE MONT-SAINT-ELOI-EIFFAGE ROUTE NORD EST

Opération d'enfournement.

L'intégration des critères de sécurité dans l'analyse s'est avérée cruciale, ayant mis en évidence un risque fort lié à la température de point d'éclair, qui est inférieure ou proche de la température ambiante, aussi bien pour le xylène que pour le solvant S.
Par ailleurs, la présence de composés fluorés dans le solvant S génère un risque majeur pour la santé en cas d'incendie.

CONCLUSION

Cette étude n'a pas permis de mettre en évidence une solution de substitution au perchloroéthylène, du moins avec les produits qui paraissaient les plus prometteurs (xylène et solvant S notamment), qui conduisent à un transfert de risque et dont on peut craindre un classement CMR à terme.

Trois voies peuvent être explorées pour poursuivre la démarche vers une élimination totale ou partielle du perchloroéthylène dans les laboratoires routiers :

- évaluer un solvant d'origine végétale en cours de développement par un fabricant de matériel de laboratoire ;
- réévaluer l'intérêt de la calcination, qui est largement pratiquée en Amérique du Nord et dans certains pays européens, et n'est utilisée que ponctuellement en France ;
- en cas d'impasse sur les solutions précédentes, développer une nouvelle solution basée sur un process physique différent (à base d'eau chaude sous pression par exemple).

On notera que la recherche de solvant de substitution fait l'objet de travaux complémentaires dans le projet de recherche national Mure (multi-recyclage des enrobés)[15]. ■

RÉFÉRENCES

1. Le règlement CE n° 1272/2008 dit « règlement CLP » (*Classification, Labelling and Packaging of substances and mixtures*), entré en vigueur le 20 janvier 2009, est réglementaire en France (notamment pour l'application du Code du travail). Il introduit des catégories de dangers qui définissent le niveau de preuve de l'effet CMR observé (1A, 1B ou 2).

2. NF EN 12697-1 « Mélanges bitumineux. Méthodes d'essai pour mélanges hydrocarbonés à chaud », Partie 1 : Teneur en liant soluble.

3. S. Zhao, B. Huang, « Investigation on binder homogeneity of RAP/RAS mixtures through staged extraction », *Construction and Building Materials*, vol. 82, 2015, p. 184-191.

4. C. M. Hansen, *Hansen Solubility Parameters*: *A User's Handbook*, Second edition, CRC Press, 2007.

5. J. Burke, *Cleaning with Solvents: Science and Technology*, Elsevier, 2014.

6. P. Redelius, « Bitumen Solubility Model Using Hansen Solubility Parameter », *Energy* & *Fuels*, vol. 18, 2004, p. 1087-1092.

7. P. Redelius, « Solubility parameters and bitumen », Fuel, vol. 79, 2000, p. 27-35.

8. P. Redelius, H. Soenen, Relation between bitumen chemistry and performance ». 2015. Fuel, vol. 140, p. 34-43.

9. T. Sato, S. Araki, M. Morimoto. *Comparison of Hansen Solubility Parameter of Asphaltenes Extracted from Bitumen Produced in Different Geographical Regions*. 2014. Energy & Fuels, vol. 28, p891-897.

10. E.A. GRULKE. *Solubility Parameter Values*. 1999. Polymer Handbook, Part VII, p675, Wiley, 4th Edition.

11. J. DURKEE. *Cleaning with solvents: Science and Technology*. 2014. William Andrew, 1st Edition.

12. INRS. *Fiche toxicologique* 77 – Xylènes. 2009.

13. INRS. *Fiche toxicologique* 79 – 1,2-dichloroéthylène. 2004.

14. IRIS Toxicological *review of cis*-1,2-*dichloroethylene and trans*-1,2-*dichloroethelene*. 2010. IRIS. U.S. EPA.

15. J.-E. Poirier, S. Pouget, C Leroy, B. Deleporte, « Projets Mure et Improvmure : bilan à mi-parcours », RGRA n° 937, mai-juin 2016, p. 38.

16. G. DE LANGIE. *Substitution du perchloroéthylène dans les laboratoires routiers*. Synthèse de stage de specialisation de l'Ecole Nationale Supérieure de Chimie, de Biologie et de Physique, INP Bordeaux, 2015.

ÉVALUATION DU RISQUE CHIMIQUE ET MESURE DE LA PERFORMANCE

De nombreux produits chimiques sont utilisés dans les différentes activités de l'industrie routière : bitume dans les enrobés et les liants bitumineux, tensioactifs généralement aminés dans la formulation de toutes les émulsions de bitume[1], autres additifs (agent de maniabilité, d'adhésivité…) dans les enrobés bitumineux[2-3], perchlororéthylène dans les laboratoires routiers[4-5]…

© CER CORBAS/EIFFAGE INFRASTRUCTURES

Évaluation du risque chimique en laboratoire.

AUTEURS

Laurence Boulangé
Responsable Prévention
Eiffage Infrastructures

Erick Lemonnier
Directeur Prévention
Eiffage Infrastructures

Les décrets n° 2001-97 et 2003-1254 (Règles particulières de prévention des risques d'exposition aux substances chimiques) et n° 2009-1570 (Contrôle du risque chimique sur les lieux de travail) imposent à l'utilisateur d'évaluer le risque pour chacun des produits chimiques répertoriés sur les sites, puis de prendre des mesures de précaution renforcées ou de remplacer les produits en cas de résultats indiquant un impact sanitaire élevé.

MÉTHODOLOGIE

Le système développé par Eiffage depuis septembre 2005 est fondé sur l'évaluation du risque chimique d'après la méthode simplifiée publiée par l'INRS[6].

Le principe d'évaluation s'appuie sur :

- la hiérarchisation des risques potentiels basés sur l'étiquetage des produits chimiques ;
- des techniques simplifiées de modélisation d'exposition professionnelle et de calcul de score d'exposition pondéré **(figure 1)**.

D'une part, tous les étiquetages et phrases de risque des produits chimiques sont répertoriés, ce qui permet une hiérarchisation des risques sanitaires, environnementaux et en matière d'incendie/explosion. D'autre part, les calculs de score d'exposition par inhalation et par voie cutanée prennent en compte, respectivement :

- la volatilité du produit, les protections collectives et le procédé utilisé ;
- la surface de peau exposée et la fréquence d'exposition.

Dans son protocole d'évaluation, Eiffage a fait le choix de ne pas retenir le critère de quantité de produit utilisé, qui minore abstraitement le résultat d'impact.

ÉVALUATION DU RISQUE SANITAIRE PAR VOIE CUTANÉE ET PAR INHALATION

Dans une première phase, chaque établissement (agence, usine, carrière, laboratoire…) au niveau national identifie les produits présents et répertorie les fiches de données de sécurité (FDS) associées. L'analyse de la FDS permet à la fois de hiérarchiser les dangers au niveau de la santé et d'évaluer le risque chimique à partir des données physico-chimiques. Grâce au point d'ébullition des liquides, on pourra classer leur volatilité, utilisée pour évaluer le risque sanitaire par inhalation.

Les conditions d'utilisation définies pour chaque produit contribuent également à intégrer le procédé industriel et l'usage d'équipements de protection collective dans cette évaluation où leur efficacité est pondérée. Du produit de ces différents scores résulte le score d'exposition par inhalation (S_{inh}).

L'évaluation du risque cutané prend en compte la hiérarchisation des dangers sanitaires **(figure 1)**. Dans les conditions d'utilisation sont intégrées à la fois les données/informations sur la surface de peau exposée à l'agent chimique et la fréquence d'exposition à ce produit. Du produit de ces différents scores résulte un score d'exposition cutanée (S_{cut}).

IMPACT SANITAIRE

L'évaluation simplifiée du risque chimique prend en compte les voies par absorption cutanée et par inhalation.

L'impact sanitaire est le suivant :

- faible si S_{inh} et $S_{cut} < 100$;
- modéré si $100 \leq S_{inh}$ ou $S_{cut} < 1\,000$;
- élevé si S_{inh} ou $S_{cut} \geq 1\,000$.

En cas de résultat d'évaluation « impact modéré », des investigations complémentaires sont réalisées pour déclasser ou surélever le résultat.

Différentes conditions d'utilisation liées aux métiers de la route répertoriées intègrent les données sur les protections collectives, les procédés industriels, les fréquences d'exposition ou encore la surface de peau exposée.

Eiffage a choisi d'utiliser prioritairement des produits à impact sanitaire faible afin d'éviter l'exposition, d'assurer la protection de la santé des collaborateurs, de l'environnement des sites de production, de la santé des riverains et du public, et de garantir à ses clients la neutralité des produits utilisés.

Eiffage a décidé, dès lors que cela est techniquement possible, d'éliminer et/ou de remplacer les produits CMR (cancérigène, mutagène, reprotoxique) et les produits à impact sanitaire élevé par des produits classés en impact sanitaire faible.

–Figure 1–
Évaluation sanitaire du risque chimique par inhalation et par voie cutanée.

Identification des produits chimiques dans chaque établissement

Fiche de données de sécurité	Conditions d'utilisation	Fiche technique*

Risque par inhalation

Hiérarchisation des risques	Volatilité	Procédé	Protection collective
	Liquide, solide	Clos en permanence Clos mois ouvert régulièrement Ouvert Dispersif	Absence de ventilation mécanique Éloignement du solarié par raport à la source d'émission Hotte ou cabine Captage enveloppant

S_{inh} = score danger • score volatilité • score procédé • score protection collective

Risque cutané

Hiérarchisation des risques	Surface de peau	Fréquence d'exposition
	Une main Deux mains Un bras complet Exposition des membres supérieurs et du torse	Occasionnelle Intermittente Fréquente Permanente

S_{cut} = score danger • score surface • score fréquence

* La fiche technique du produit chimique s'avère très utile pour la recherche de produits chimiques de substitution.

© EIFFAGE ROUTE

APPLICATION DE LA DÉMARCHE AUX DIRECTIONS RÉGIONALES

Quelque 1 400 produits chimiques sont utilisés par les directions régionales d'Eiffage Route qui regroupent les activités des industries et carrières, des agences et de leurs ateliers et laboratoires. Après l'évaluation du risque chimique pour chaque produit, une synthèse a été réalisée par type d'activité (figure 2).

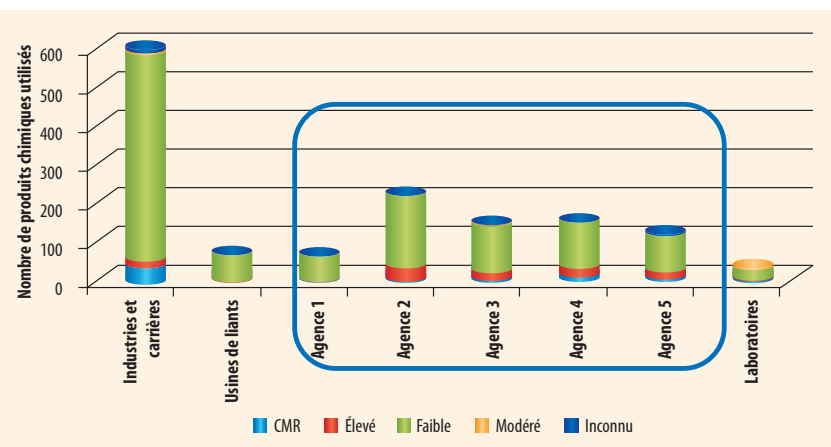
TYPES D'ACTIVITÉS

On dénombre une centaine de produits chimiques, généralement classés en impact faible pour la santé dans les activités de l'industrie, des usines et des laboratoires, et plusieurs centaines pour ce qui concerne les carrières.
La proportion de produits à impact sanitaire élevé est moindre en laboratoire et en industries et carrières. L'utilisation de produits chimiques reste plus diffuse dans les agences qui utilisent des catalogues locaux de produits chimiques renouvelés très fréquemment, pour lesquels l'évaluation peut être réalisée a posteriori.
Selon les activités routières, on répertorie des produits chimiques de natures et d'utilisations différentes (tableau 1).

© TP PROVENCE - EIFFAGE ROUTE MÉDITERRANÉE

–Photo 1–
Gestion des stocks de produits chimiques en atelier.

–Figure 2–
Répartition des produits chimiques par type d'activité routière. Les usines de liants ont été identifiées à part dans l'analyse, du fait de leur spécificité.



© EIFFAGE ROUTE

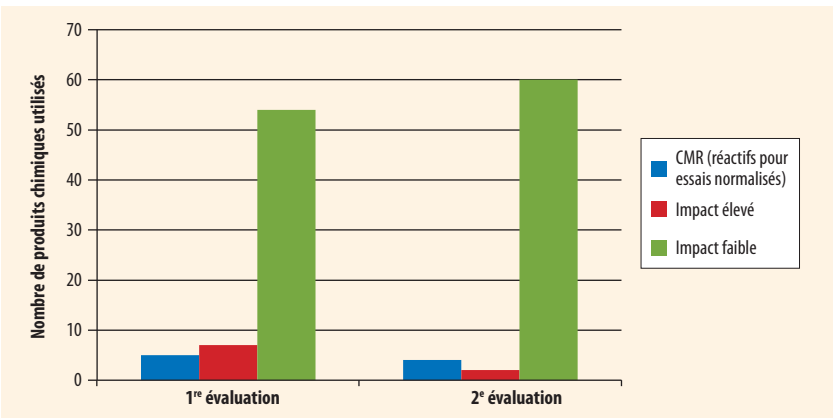
–Tableau 1–
Principaux produits répertoriés et utilisés par type d'activité routière.

Activités	Familles de produits	Sous-familles de produits
Agences	Mécanique et engins (57 %)	Graisse (12 %) Liquide et lubrifiant système (20 %) Lubrifiant dégrippant (13 %) Nettoyage véhicules et engins (15 %)
Industries et carrières	Mécanique et engins (64 %)	Liquide et lubrifiant système (22 %) Lubrifiant dégrippant (14 %) Huile hydraulique (14%) Huile moteur (13 %)
	Nettoyage et entretien (17 %)	Entretien matériel (62 %)
	Peinture vernis (15 %)	Aérosol (26 %) Galvanisation (26 %) Peinture (29 %)
Usines de liants	Produits routiers : additifs pour liants hydrocarbonés (75 %) et liants hydrocarbonés (25 %)	Additifs pour émulsions (27 %)
Laboratoires	Produits laboratoire (68 %)	Solvants/nettoyants (13 %)

© EIFFAGE ROUTE

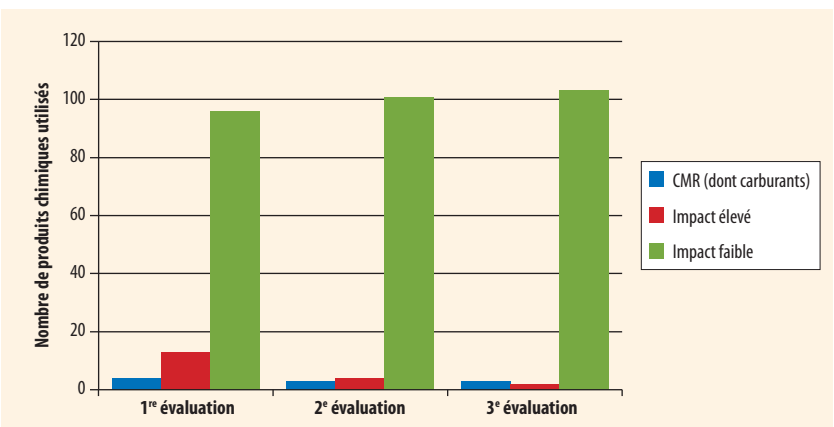
Les agences industries et carrières sont grandes consommatrices de produits chimiques liés à la mécanique et aux engins, comme les graisses (12 %), les liquides et lubrifiants (22 %).
Les carrières utilisent également de nombreuses peintures et produits dérivés pour l'entretien des engins et machines (15 %). En usine de liants, on rencontre de nombreux additifs, notamment pour la formulation et la mise au point d'émulsions de bitume.
Enfin, dans les laboratoires régionaux, différents solvants nettoyants sont répertoriés, du fait de l'activité technique liée à l'utilisation de produits bitumineux, difficiles à solubiliser.

–Figure 3–
Évolution de l'évaluation du risque chimique en laboratoire régional.



© EIFFAGE ROUTE

–Figure 4–
Évolution de l'évaluation du risque chimique en atelier mécanique.



© EIFFAGE ROUTE

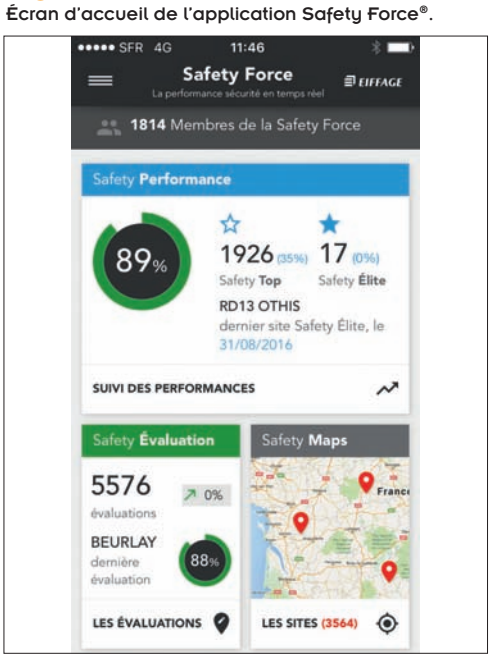
ÉLIMINATION/SUBSTITUTION

Suite aux évaluations du risque chimique dans les différents établissements, l'utilisation de produits chimiques à impact sanitaire faible est privilégiée et l'élimination des produits CMR et des produits à impact sanitaire élevé est recherchée.
En laboratoire régional, il est possible d'éliminer une grande partie des produits à impact élevé. Toutefois, la substitution de produits chimiques CMR n'est pas toujours possible, car certains de ces réactifs sont préconisés dans des essais normalisés pour le domaine routier et définis par le référentiel Laboroute (par exemple, le toluène ou le perchloroéthylène) (figure 3).
En atelier, la même démarche a été engagée. Les seuls produits CMR encore utilisés après différentes évaluations et recherche de substitutifs à impact sanitaire faible sont les carburants nécessaires à l'activité des agences et industries (figure 4). Ils sont cependant utilisés en cycle fermé.

MESURE DE PERFORMANCE DE LA DÉMARCHE

En 2016, la direction Prévention d'Eiffage a développé une application pour smartphone, Safety Force®, afin de mesurer en continu et en temps réel le niveau de performance sécurité de tous les sites de la branche Infrastructures du groupe.
Les résultats sont notamment obtenus à partir d'évaluations réalisées suivant une grille croisée des 20 exigences fondamentales de sécurité et de 6 niveaux de score de performance : [0-20], [20-40], [40-60], [60-80], [80-100] et Élite (110 %, soit un niveau de performance supérieur aux attentes) (figure 5).

–Figure 5–
Écran d'accueil de l'application Safety Force®.



© EIFFAGE ROUTE

L'algorithme de l'application calcule et affiche un score de maîtrise de la prévention pour chacune des 20 exigences et pour chaque site. Les résultats s'agrègent en temps réel pour chaque niveau d'organisation de l'entreprise. Chaque publication sur l'application alimente l'algorithme qui analyse en permanence les probabilités de survenance d'événements indésirables. Il les anticipe en émettant automatiquement des alertes destinées aux utilisateurs pour les secteurs concernés.

Entre février et mai 2016, 1 561 évaluations ont été réalisées sur le périmètre d'Eiffage Route (6 régions en France). L'analyse a porté sur le score obtenu en termes d'évaluation du risque chimique. Dans les 6 régions, la répartition des scores est homogène et suit une loi normale asymétrique **(figure 6)** avec un maximum de scores à 90 %.

Les évaluations publiées sur l'application ont porté principalement sur les chantiers d'Eiffage Route. Le pourcentage de scores « Élite » tous métiers confondus est de 7 %. Quelques dizaines d'évaluations ont été faites en agences, industries (carrières, usines de liants et postes) et laboratoires routiers régionaux et nationaux où les proportions de scores « Élite » peuvent varier de 6,6 à 33,3 % selon les métiers **(tableau 2)**.

Le calcul de la fluctuation sur les données issues de l'application permet de vérifier si ces scores suivent la même loi statistique binomiale B (*n, p*) que celle observée globalement sur le périmètre d'Eiffage Route.

Si p est en dehors de l'intervalle de confiance, c'est une autre hypothèse qui peut être appliquée, répondant ainsi à une logique d'amélioration de la performance sécurité, et non à une logique statistique.

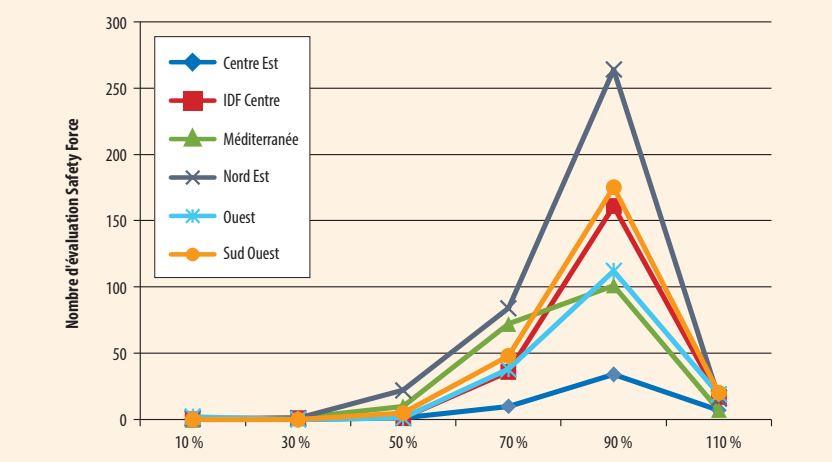
Les scores obtenus suivent une loi binomiale avec B (*n, p*) où n = nombre d'observations et p = pourcentage de scores « Élite » pour chaque type de métier.

Le niveau de performance par rapport à la maîtrise du risque chimique est plus élevé en laboratoires et en industrie et carrières, la proportion de sites « Élite » étant nettement supérieure à la proportion de sites totaux évalués par catégorie (p > 95 %).

Sur ces activités identifiées comme performantes, la démarche du risque chimique a été mise en place de façon coordonnée et suivie par des responsables QSE (qualité-sécurité-environnement).

–Figure 6–

Répartition des scores de performance risque chimique sur les 6 régions d'Eiffage Route.



© EIFFAGE ROUTE

–Tableau 2–

Nombre de sites « Élite » sur le périmètre d'Eiffage Route en fonction des activités et intervalles de fluctuation au seuil de 95 %.

Sites	Chantiers	Industrie et carrières	Agences	Laboratoires
Nombre (n)	1219	24	9	10
Proportion de score « Élite » (p en %)	6,6	16,7	11,1	33,3
Intervalle de fluctuation - Seuil 95 %	[2,4 ; 13,6]	[0 ; 16,6]	[0 ; 22,2]	[0 ; 30,0]

© EIFFAGE ROUTE

Ces métiers bénéficient de conditions de recensement des produits chimiques plus aisées du fait de leur activité sédentaire, contrairement aux chantiers.

CONCLUSION

L'utilisation de l'application Safety Force® permet de vérifier en temps réel l'avancée de la démarche d'évaluation du risque chimique mise en place dans le périmètre d'Eiffage Route et d'orienter les actions de prévention sur les sites et établissements qui n'ont pas encore totalement intégré la démarche d'évaluation du risque chimique.

Quel que soit le domaine lié aux activités routières, il est possible, grâce à un travail de substitution et d'élimination, de supprimer les produits chimiques classés CMR et ceux classés en impact sanitaire élevé. ■

RÉFÉRENCES

1. 1. L. Boulangé, F. Sterczynski, « Study of interfacial interactions between bitumen and various aggregates used in road construction », *Journal of Adhesion Science and Technology*, 26: 1-3, 2012, pp. 163-173.

2. L. Boulangé, E. Bonin, M.Saubot, « Physicochemical characterisations of the bitumen–aggregate interface to get a better understanding of stripping phenomena », *Road Materials and Pavement Design*, 14, 2013, pp. 384-403.

3. S.D. Capitao, L.G. Picado-Santos, F. Martinho, « Pavement engineering materials : review on the use of warm-mix asphalt », *Construction and Building Materials*, 36, 2012, pp. 1016-1024.

4. Norme NF EN 12697-1 « Méthodes d'essai pour mélange hydrocarboné à chaud – Partie 1 : Teneur en liant soluble », 2012.

5. Fiche toxicologique n° 29, Tétrachloroéthylène, INRS, 2016.

6. R. Vincent, F. Bonthoux, C. Mallet, J.-F. Iparracurre, S. Rio, « Méthodologie d'évaluation simplifiée du risque chimique », ND 2207 – 195 – 04, INRS, 2004.

ÉVALUATION DES ÉMISSIONS DE FUMÉES SUR LES ENROBÉS TRAITÉS AVEC UN LIANT BIO-ADDITIVÉ

La prise en compte des risques sanitaires est désormais une priorité pour les professionnels de tous les secteurs d'activité, y compris celui de la construction routière. Dans ce domaine, le développement des technologies conduit à l'introduction de nouveaux produits dont il est primordial d'évaluer les impacts techniques, économiques et sanitaires.

© ARIZONA CHEMICAL

Synthèse de bio-additif en laboratoire.

AUTEURS

Laurent Porot
Responsable technique application routière
Arizona Chemical

Vincent Gaudefroy
Chargé de recherche
Ifsttar

Le développement de la valorisation des agrégats d'enrobés (AE) dans la construction routière suscite l'apparition de nouvelles techniques et notamment l'utilisation d'agents de régénération pour faciliter l'intégration de plus forts taux, ce qui présente des avantages sur le plan économique et environnemental grâce à une meilleure gestion des ressources naturelles.

Si l'évaluation technique suit un cadre normatif bien défini selon des spécifications données, l'évaluation des risques sanitaires se fait encore au cas par cas, sans protocole normalisé, malgré l'existence de la classification Reach (*Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals*) qui propose déjà une base robuste et reconnue pour appréhender la nature des produits (voir article p. 24).

Lors de la fabrication d'enrobés hydrocarbonés à chaud, les émissions de fumées en centrale doivent être surveillées et évaluées. Dans ce cadre, l'Ifsttar a développé, depuis quelques années, un protocole de laboratoire pour évaluer les émissions de fumées durant les différentes phases de fabrication et de mise en œuvre des enrobés à chaud[1-2]. Ce protocole a été utilisé pour mesurer l'impact d'un agent de régénération sur les émissions à l'air générées lors de la fabrication d'enrobés.

Dans l'étude du présent article, l'objectif était d'identifier l'impact quantitatif et qualitatif de l'additif sur les différents composés des émissions de fumées, et plus particulièrement sur les émissions d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)[3]. Afin d'isoler l'effet de l'additif, les essais présentés ont été menés sur un enrobé neuf avec un bitume frais sans AE. En effet, compte tenu de la variabilité de la ressource en AE, il est difficile à ce jour de bien appréhender leur contribution dans les émissions, qui pourrait faire l'objet d'une autre étude.

MÉTHODOLOGIE

AGENT RÉGÉNÉRANT

En vieillissant, le bitume voit sa composition chimique évoluer, principalement par une diminution des maltènes et une augmentation des asphaltènes, composés de masse moléculaire élevée et polaire[4]. Dans le passé, les huiles de type aromatique utilisées, avec des dosages de l'ordre de 10 à 20 %, permettaient, par un phénomène de dilution, de modifier la proportion d'asphaltènes dans le bitume et donc de ramollir le liant sans en changer réellement les interactions dans la matrice du liant. L'agent de régénération utilisé dans cette étude, SYLVAROAD™ RP1000 Additive[5], de par sa structure chimique amphiphatique, avec un dosage très faible (de l'ordre de 5 %), produit un effet de dispersion des asphaltènes, ce qui limite leur agglomération et augmente le pouvoir peptisant des maltènes, composés de plus faible masse moléculaire.

Le dosage typiquement utilisé, compris entre 3 et 7 % de la teneur en liant vieilli, dépend des caractéristiques du liant des AE. Le **tableau 1** présente les principales propriétés de l'additif.

–Tableau 1–
Propriétés de l'agent de régénération.

Propriétés	Valeurs typiques
Point d'éclair	> 280 °C
Viscosité à 60 °C	22 cSt
Densité relative	0,93
Point trouble	< - 25 °C

ENROBÉS

Afin d'éviter les émissions non contrôlées à partir d'une source inconnue d'AE, l'évaluation a été réalisée sur des enrobés sans AE, avec un bitume standard de type 35/50 selon la norme NF EN 12591[6]. Cette méthodologie permet de mieux comparer l'impact réel de l'additif seul par rapport à un liant de référence.

Pour l'enrobé, une formule classique type BBSG 0/14 a été sélectionnée. Sa composition granulaire est reportée dans le (tableau 2). Les granulats, de type diorite, provenaient de la carrière La Noubleau.

Pour cette étude, un dosage en additif plus élevé que les pratiques usuelles a été retenu afin d'amplifier artificiellement son effet sur les émissions et de mieux mettre en évidence son impact éventuel. L'additif a ainsi été dosé à 10 % du bitume d'apport, dosage qui ne correspond pas aux pratiques usuelles : pour un enrobé avec 50 % d'AE et 5 % d'additif par rapport au liant, le dosage devrait être de 50 % d'AE x 5 % = 2,5 % du poids total de liant dans le mélange final, soit un niveau 4 fois plus faible que celui retenu pour cette étude.

Deux types d'enrobés ont été testés et, pour chaque formule, les mesures ont été faites sur deux échantillons :

- un enrobé avec le bitume vierge non additivé ;
- un enrobé pour lequel 10 % du bitume a été remplacé par le bio-additif.

Les deux mélanges ont été fabriqués et mélangés à la même température (160 °C).

Le principe de régénération de l'additif réduit la viscosité du liant et nécessiterait donc, en principe, une température plus faible pour la fabrication et le mélange. Pour un dosage de 10 %, la réduction de température est de l'ordre de 20 °C. Pour une comparaison rigoureuse, les essais auraient dû être réalisés à équiviscosité. Cependant, dans le cadre de l'étude, la même température a été retenue pour les deux formules afin d'amplifier artificiellement les effets sur les émissions.

ÉQUIPEMENT DE LABORATOIRE

L'équipement se compose d'un malaxeur thermorégulé pour enrobés (photo 1), qui permet la préparation de gâchées de 80 kg dans une enceinte close. Les aggrégats et le liant sont mélangés dans le malaxeur fermé, maintenu à la température de malaxage, pendant une durée déterminée. Durant toute la durée du test, le malaxeur est maintenu à température constante.

–Tableau 2–
Formule de référence de l'enrobé.

Passant (mm)									Teneur en liant
0,063	0,250	0,5	2	4	8	10	14	16	4,76 %
6,4 %	11,7 %	16,4 %	33,1 %	42,6 %	61,8 %	72,3 %	96,5 %	100,0 %	

–Photo 1–
Banc de fumées d'enrobés.

© IFSTTAR

Il est supposé que, pendant les phases de malaxage, le liant lui-même est mélangé et génère ainsi des émissions de fumées. Afin de recueillir ces fumées, une cheminée en acier inoxydable est reliée au malaxeur. Deux ouvertures sont aménagées dans la cheminée pour collecter les émissions grâce à 2 sondes distinctes. La cheminée et les sondes sont équipées de ligne chauffante afin d'éviter toute condensation ou surchauffe des fumées.

La première sonde prélève en continu la concentration en composés organiques totaux (COT). Les COT incluent à la fois les aérosols organiques de la phase particulaire des fumées et les composés organiques volatils et semi-volatils issus de la phase gazeuse. Les mesures sont réalisées en continu afin d'évaluer la concentration instantanée et la masse cumulée tout au long de l'essai. Les concentrations sont exprimées en mg eqC/Nm^3 tonne d'enrobé et la masse cumulée en mg eqC/ tonne d'enrobé.

La seconde sonde collecte et piège les composés de type HAP dans les fumées émises. Le système de piégeage est composé de deux filtres, l'un collecte les HAP contenus dans les aérosols (HAP particulaires plutôt lourds), l'autre les HAP gazeux (plutôt légers). L'ensemble des HAP est collecté pour chaque séquence de malaxage et analysé par chromatographie.

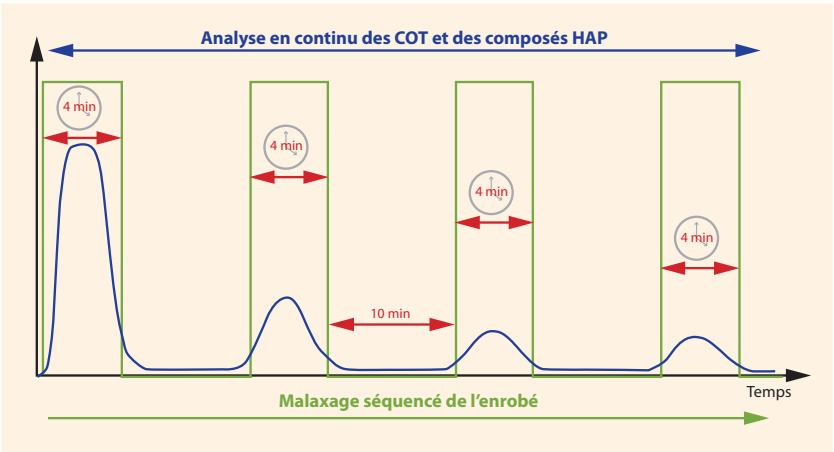
L'analyse présentée dans cet article porte sur le cumul des séquences de malaxage 1 et 4 (figure 1). Les composés de type HAP analysés (16 molécules) sont issus de la liste retenue par l'Agence de protection environnementale des États-Unis (*Environmental Protection Agency* (EPA – US)).

PROTOCOLE DE MESURES

Le protocole de malaxage suit une méthodologie qui cherche à reproduire au plus près les différentes étapes de fabrication et de mise en œuvre des enrobés susceptibles de favoriser les émissions de fumées. Pour cela, 4 séquences principales de 4 minutes de malaxage sont retenues, avec 10 minutes de repos entre chaque séquence, ce qui correspond aux 4 grandes étapes durant lesquelles les enrobés sont mélangés ou mis en mouvement :

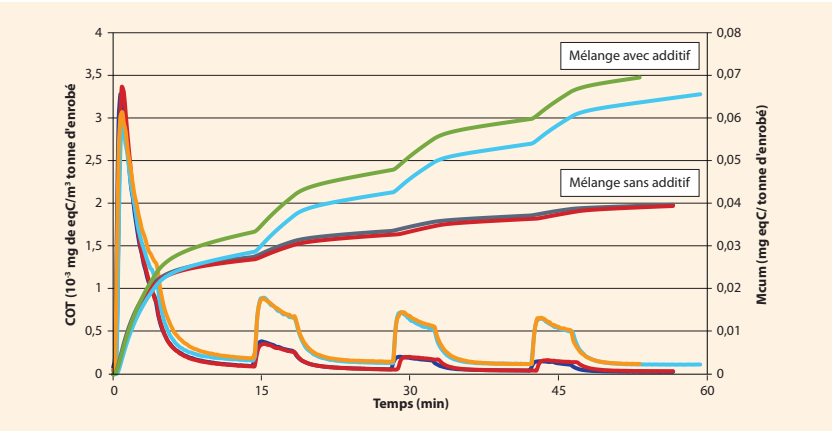
- malaxage à la centrale d'enrobés ;
- chargement dans les camions à la centrale d'enrobés ;
- déchargement des camions dans la trémie d'alimentation du finisseur ;
- alimentation et répandage au niveau du finisseur.

–Figure 1–
Diagramme des 4 séquences de malaxage et des mesures d'émissions.



© ARIZONA CHEMICAL

–Figure 2–
Concentration instantanée et masse cumulée de COT en fonction du temps pour les 2 formules d'enrobé.



© ARIZONA CHEMICAL

–Tableau 3–
Masse cumulée de COT (exprimée en mg eqC/tonne d'enrobé) pour chaque cycle de mélange et pour les différentes formules d'enrobé.

Formule	1er cycle	2e cycle	3e cycle	4e cycle
Non additivé	0,021	0,030	0,035	0,038
Additivé	0,021 – 0,023	0,037 – 0,041	0,050 – 0,055	0,060 – 0,066

© IFSTTAR

RÉSULTATS

EFFET SUR LES ÉMISSIONS DE COT

La figure 2 présente les concentrations instantanées et cumulées de COT ramenées à une tonne d'enrobés, pour les 2 formules d'enrobé (non additivé et additivé) en fonction du temps. Les résultats de chaque échantillon pour les différentes formules montrent une bonne répétabilité des mesures.

À la fin de la première séquence, les concentrations maximales et cumulées pour les 2 formules sont du même ordre de grandeur. Pour les séquences de malaxage suivantes, les émissions ont tendance à être plus faibles que lors de la première séquence. Les courbes de la formule additivée présentent une aptitude passive, au-delà du 1er cycle, à émettre plus de COT que la formule non additivée.

EFFET SUR LES ÉMISSIONS DE HAP

La figure 3 présente les résultats cumulés des HAP, et plus particulièrement du naphtalène, émis au cours des séquences de malaxage 1 et 4 pour les 2 formules d'enrobé étudiées à 160 °C. Clairement, le naphtalène contribue pour près de 95 % des HAP totaux, ce qui représente entre $0{,}5.10^6$ et $0{,}6.10^6$ ng/m³, alors que les limites d'exposition en France sont de 50.106 ng/m³.

Entre les 2 formules, il apparaît que la formule additivée a tendance à émettre légèrement plus d'émissions, comme constaté précédemment lors de l'analyse des COT.

Une analyse plus détaillée des émissions de naphtalène entre les cycles 1 et 4 est présentée dans la figure 4. La majeure partie des émissions apparaît au cours du 1er cycle de mélange, qui correspond à l'étape de malaxage sur le site de la centrale d'enrobés. La différence entre les 2 formules pour le cycle 4 (qui correspondrait à la séquence de mise en œuvre des enrobés) reste marginale. En tout état de cause, les valeurs restent très inférieures aux valeurs limites admises.

La figure 5 montre une analyse plus détaillée des différents HAP (hors naphtalène) émis pour le cumul des cycles de malaxage 1 et 4 tels que mesurés pour les deux formules évaluées à 160 °C. Hormis l'acénaphtylène, tous les HAP de la liste EPA sont détectés et mesurés. Les HAP classés « légers » correspondent aux 5 premières classes (sur la gauche) ; ceux classés « lourds » aux 6 dernières classes (sur la droite). La formule additivée émet plus de HAP légers que la formule non additivée ; en revanche, les émissions de HAP lourds sont plus faibles.

ANALYSE DES RÉSULTATS

Les émissions générées au cours des différents cycles de malaxage peuvent être favorisées par la réduction de viscosité du film de liant, lié au bio-additif dans la formule d'enrobé additivée. L'interface entre le liant et l'air est modifié par l'additif qui facilite les émissions de composés organiques. Ce phénomène pourrait être associé à un effet de peau déjà constaté dans des études similaires[8].

Par ailleurs, en cas de mélange de deux composants, le point d'ébullition du liquide de référence peut être affecté par l'addition d'un autre liquide (l'additif). Cet effet, connu sous le nom d'effet azéotrope, explique l'augmentation des émissions de HAP légers à la température de malaxage en présence de l'additif.

Il faut toutefois garder à l'esprit que les conditions de l'expérimentation étaient volontairement plus sévères que celles de conditions réelles :

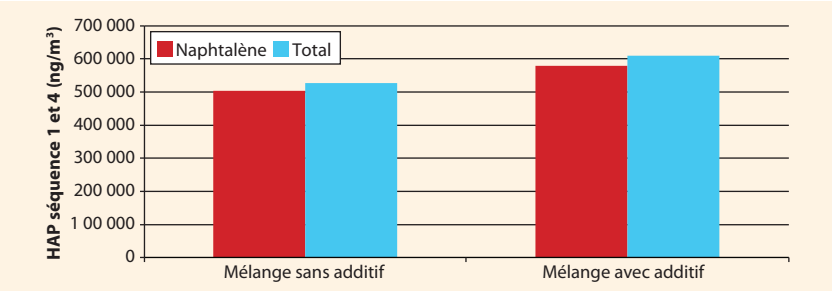
- D'une part, le dosage en additif préconisé représente généralement entre 3 et 7 % du poids du liant des AE, ce qui correspond, pour un enrobé à 50 % d'AE, à un dosage de 2,5 % d'additif sur le liant total (liant d'apport et liant des AE). Avec une teneur en liant constante, cela correspond à un taux 4 fois plus faible que celui retenu dans l'étude. En supposant un effet linéaire sur les émissions, l'impact devrait être 4 fois plus faible.
- D'autre part, les mesures ont été faites à la même température de fabrication pour les 2 formules, sans tenir compte de la réduction de viscosité liée au bio-additif. En principe, un ajustement de la température de mélange devrait être appliqué, ce qui aurait pour conséquence de réduire les émissions de fumées.
- Enfin, les expérimentations en laboratoire se font dans une enceinte close alors que, dans les conditions réelles, à la centrale d'enrobés et sur les sites de mise en œuvre, les émissions sont canalisées à l'échelle de la centrale et rejetées par la cheminée à plusieurs mètres de hauteur. À l'échelle de la mise en œuvre, les émissions, diffuses (milieu non confiné), conduisent à des concentrations moindres du fait d'un plus grand volume environnant.

Ces résultats devraient être validés en conditions réelles, avec une production en centrale d'enrobés, en comparant un enrobé à 0 % d'AE et un autre enrobé avec le bio-additif correctement dosé. Cependant, les principaux résultats présentés ici montrent que l'ordre de grandeur de la différence serait extrêmement faible et difficile à détecter.

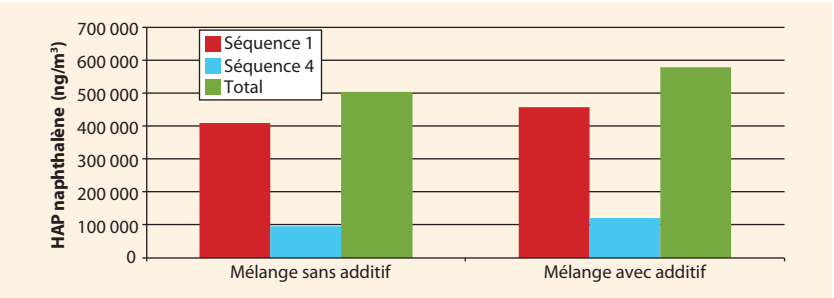
CONCLUSION

Cette étude présente un protocole d'évaluation des mesures des émissions de fumées des enrobés lors de l'utilisation d'additif pour la régénération des AE.

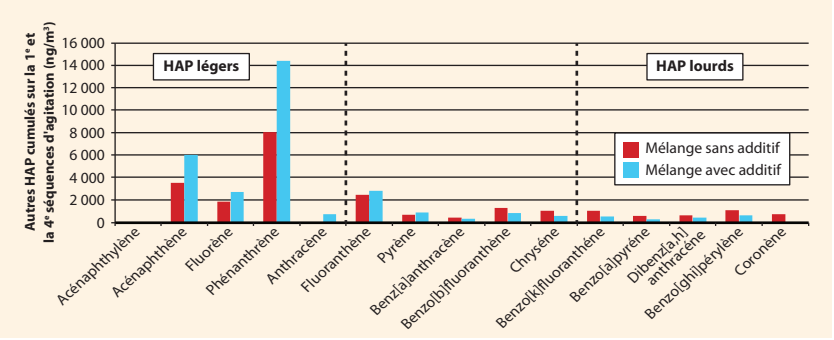
–Figure 3–
Concentration cumulée en HAP et naphtalène pour les cycles de malaxage 1 et 4.



–Figure 4–
Concentration en naphtalène pour les cycles 1 et 4.



–Figure 5–
Résultats des différents HAP émis et cumulés sur les cycles 1 et 4.



Ce protocole, développé par l'Ifsttar et déjà utilisé dans le cadre de projets de recherche français et européen[7], permet de fournir des résultats tangibles et répétables. À ce titre, il peut être utilisé de façon bénéfique pour évaluer l'usage de nouveaux additifs développés pour les applications routières.

Le protocole retenu pour cette étude portait sur une comparaison entre 2 formules d'enrobé : l'une sans additif et l'autre dans laquelle 10 % du liant était remplacé par le bio-additif. Pour les 2 formules, les conditions de l'essai, notamment la température de mélange, étaient constantes. Si ce protocole présente des conditions différentes de pratiques en conditions réelles, il permet de comparer les émissions des matériaux entre eux et d'amplifier artificiellement les différences éventuelles.

Les résultats concernant l'impact du bio-additif régénérant SYLVAROAD™ RP1000 sur les émissions de fumées montrent une augmentation légère des émissions de COT. L'analyse particulière des HAP confirme ces résultats, mais met en évidence des émissions plus fortes pour les HAP légers, vraisemblablement en raison de la réduction de viscosité. A contrario, elle montre un effet positif avec une réduction des émissions de HAP lourds. ■

RÉFÉRENCES

1. 1 V. Gaudefroy, V. Viranaiken, R. Paranhos, A. Jullien and C. de La Roche, «Laboratory assessment of fumes generated by bituminous mixtures and bitumen», *International Journal of Road Materials and Pavement Design*, vol. 11, p. 83, 2010.
2. V. Gaudefroy, R. Paranhos, P. Monéron et C. de la Roche, « Systèmes de mesure d'émissions de fumées pour la caractérisation environnementale d'enrobés bitumineux et de bitumes en laboratoire », RGRA n° 865, p. 33, 2008.
3. L. Porot, D. Scott and V. Godefroy, « Laboratory evaluation of emissions from asphalt binder and mixes using a bio-rejuvenating agent », 8th Eurasphalt & Eurobitume, Prague, 2016.
4. J. C. Petersen, «A review of the fundamentals of asphalt oxidation», *Transportation Research Circular* E-C140, octobre 2009.
5. L. Porot et B. Vuillier, « SYLVAROAD RP1000 Additive : un régénérant bio pour AE à forts taux », RGRA n° 933, p. 54, janvier 2016.
6. NF EN 12591 « Bitumes et liants bitumineux - Spécifications des bitumes routiers », décembre 2009.
7. ReRoad: http://re-road.fehrl.org/
8. V. Gaudefroy, F. Olard, E. Beduneau, C. de La Roche, « Influence of the low-emission asphalt (LEA) composition on total organic compounds emissions using the factorial experimental design approach», Proceedings of the 2nd International Conference on Environmentally Friendly Roads, Varsovie, Pologne, octobre 2009.

Publication novembre 2016

www.usirf.com

Rubrique "prévention"

LES TRAVAUX PUBLICS FÉDÉRATION NATIONALE

USIRF Routes de France

SERCE SYNDICAT DES ENTREPRISES DE GÉNIE ÉLECTRIQUE ET CLIMATIQUE

CANALISATEURS DE FRANCE

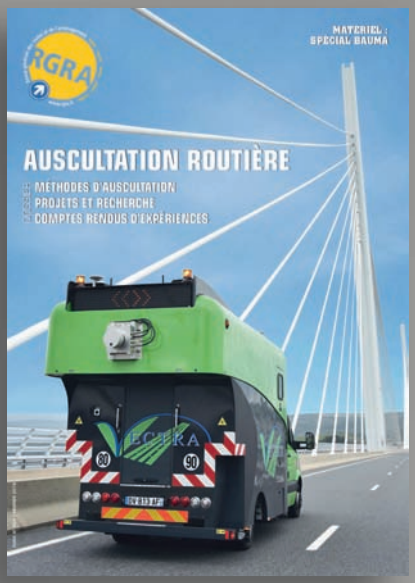
OPPBTP La prévention BTP

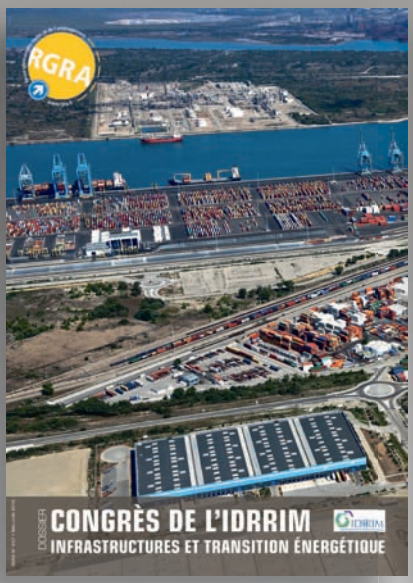
Revue générale des routes et de l'aménagement

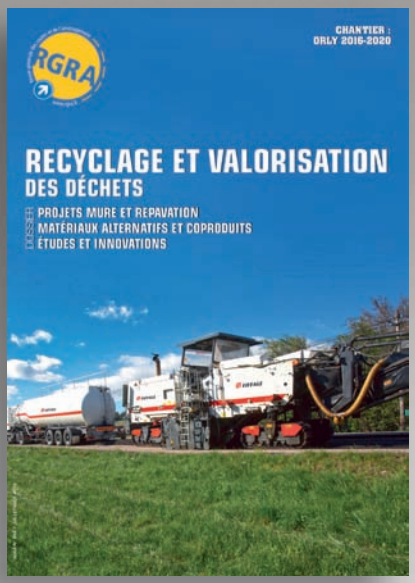
RGRA

www.rgra.fr

LA REVUE DE RÉFÉRENCE DES INFRASTRUCTURES DE MOBILITÉ







www.editions-rgra.com

Revue générale des routes et de l'aménagement

RGRA

www.rgra.fr

USIRF

Routes de France

www.usirf.com