
Długołęka, octobre 2026

L'ingrédient négligé

Comment un oxyde métallique discret provoque une rupture mondiale en santé au travail et en protection de l'environnement

Synthèse de l'analyse technique, édition France et Suisse

Version 1.10 · octobre 2026

Markus Sommer, expert en chromates, Les Experts du Chromate · www.chromatexperten.de

Les isolants haute température contiennent des oxydes basiques, avant tout de l'oxyde de calcium et de l'oxyde de sodium. Aucun des deux n'est classé comme cancérogène, et aucun des deux n'apparaît dans une analyse portant sur le **chrome(VI)**. Au-dessus d'environ 300 °C, ils réagissent avec la couche d'oxyde de chrome des pièces chaudes alliées au chrome pour former du chromate de calcium et du chromate de sodium. Il se forme des composés cancérogènes que personne n'a fabriqués, commandés ni installés.

L'amiante n'a jamais été simplement l'amiante. Dans le langage courant, on distinguait selon les couleurs, derrière lesquelles se trouvent le chrysotile, l'amosite, la crocidolite et trois autres minéraux. Pour le régime de protection, cela changeait peu de choses : la substance était achetée, l'origine était connue, et toutes les variétés étaient traitées de la même manière.

Avec « **chrome(VI)** », il en va autrement. Le terme générique saisit correctement le danger, car la classification européenne traite les composés du **chrome(VI)** comme un groupe. Mais il masque la cause. Derrière chaque constat établi se trouve un sel, et le préfixe de ce sel nomme le partenaire de réaction : chromate de plomb, chromate de zinc, chromate de strontium, chromate de sodium, chromate de calcium. Celui qui trouve du chromate de calcium voit l'origine du composé de **chrome(VI)**. Si l'on parle seulement de « **chrome(VI)** », l'information sur le processus déclencheur reste inutilisée, la question de l'origine n'est pas posée, et le calcium reste l'ingrédient négligé (section 3).

Une autre différence avec l'amiante tient au moment de l'apparition du danger. La fibre d'amiante était déjà un produit dangereux à l'état de livraison. Les composés de **chrome(VI)** traités ici (les chromates) se forment in situ, c'est-à-dire pendant l'utilisation. Une telle formation est souvent présentée comme une impureté ou comme une conséquence inévitable de l'exploitation. Dans le cas du chromate de calcium, le partenaire de réaction peut toutefois être nommé. Il est un constituant d'un second produit, l'isolation thermique, qui a été choisie et posée. Un isolant contenant du calcium, un joint contenant du calcium ou une pâte de montage contenant du calcium peut conduire à la formation de chromate de calcium sur une pièce chaude alliée au chrome. Un isolant, un joint ou une pâte de montage sans oxydes de métaux alcalins et alcalino-terreux ne peut pas former ces composés in situ, parce que le partenaire de réaction manque. La formation est donc une propriété de l'association de matériaux et non une conséquence inévitable de l'exploitation. L'évaluation des risques doit prendre en compte cette association de matériaux, et le contrôle de substitution prévu au paragraphe 7 alinéa 3 du règlement allemand sur les substances dangereuses (GefStoffV) ainsi qu'aux sections 4.1 et 4.2 de la TRGS 561 allemande doit être effectué avec un produit de substitution disponible.

Cette synthèse reprend le contenu de l'analyse technique complète et indique pour chaque point la section dans laquelle il est documenté. Elle constitue l'introduction au document complet et ne le remplace pas.

1. La voie de formation

La réaction requiert quatre conditions, et toutes les quatre sont remplies dans une installation chaude calorifugée en fonctionnement normal. Premièrement une source de chrome : en règle générale la couche passive d'oxyde de chrome de l'acier allié au chrome, c'est-à-dire précisément la couche qui rend l'acier résistant à la corrosion. Deuxièmement un oxyde basique comme partenaire de réaction, principalement l'oxyde de calcium, à côté des oxydes de sodium, de potassium et de magnésium. Troisièmement l'oxygène. Quatrièmement une température élevée. Le chromate de sodium se forme à partir d'environ 200 °C, le chromate de calcium à partir d'environ 300 à 350 °C (sections 9 et 12).

Le partenaire de réaction ne provient pas d'un additif que l'on pourrait omettre. Il provient du silicate de calcium, de la laine minérale et de la laine de roche, du tissu de verre E, des laines AES, des masses réfractaires, des pâtes de montage ou des résidus d'incinération. Les oxydes basiques sont des composants constitutifs du verre fondu à partir duquel la plupart des fibres haute température sont étirées. Ils entrent nécessairement dans la formulation par le calcin, le calcaire et la dolomie, et ils y remplissent une fonction technique : ils abaissent la température de fusion et rendent la fibre étirable. Moins d'oxydes basiques signifie une température de fusion plus élevée et donc une autre technologie d'installation. Le sujet n'est donc lié ni à un produit ni à un fabricant ; il est lié à une classe de matériaux. Des fibres sans oxydes basiques en quantité notable existent néanmoins depuis des décennies (section 13).

Ce qui est déterminant pour comprendre l'ensemble du processus, c'est la différence entre l'état de livraison et l'état après usage. À l'état de livraison, aucun chromate n'est présent. Il se forme lors du fonctionnement conforme à la destination, à l'interface entre l'isolant et la pièce chaude, et il s'y forme en continu aussi longtemps que les conditions subsistent. Il n'est pas libéré en fonctionnement, mais lors de la maintenance, du démontage, du nettoyage, de la révision et de la déconstruction, et ce sous forme de poussière. La poussière quitte la zone de travail sur les outils, les vêtements, les gants et les pièces démontées. Une fiche de données de sécurité qui décrit l'état de livraison est donc formellement correcte et sans portée pour l'évaluation des risques de l'opération de maintenance.

La réaction n'est pas non plus unique. Elle est cyclique. Si une pièce est nettoyée et que l'isolation contenant du calcium est reposée, les quatre conditions sont de nouveau remplies après la remise en service suivante. Chaque cycle d'exploitation produit du nouveau chromate. Les valeurs à 1 000 et à 5 000 heures issues de l'étude sur l'interface décrivent précisément cette accumulation.

2. L'état des preuves

La voie de formation n'est pas une découverte récente, elle est décrite sous forme de brevet depuis 1939. Udy a grillé à l'air du ferrochrome contenant du chrome avec de la chaux et a revendiqué expressément, dans les revendications 22 à 26, des mélanges de chromite de calcium et de chromate de calcium ainsi que de chromate de sodium. La réaction n'y était pas un effet secondaire indésirable, mais l'objectif du procédé. Celui qui conteste la base chimique conteste un brevet de procédé délivré dont toute la finalité réside dans cette réaction (sections 7 et 8).

Quatre travaux expérimentaux confirment cette voie à différents niveaux et par différentes méthodes. Paoletti a mis en évidence en 2002 au Forschungszentrum Karlsruhe, après une heure à 850 °C à l'air, du CaCrO_4 par diffraction des rayons X, alors qu'en atmosphère inerte seul du $\text{Ca}(\text{CrO}_2)_2$ trivalent a été trouvé. L'oxygène est ainsi délimité expérimentalement comme condition nécessaire. Verbinnen et al. ont atteint en 2013, avec du NaOH et après 60 minutes, 83 pour cent de lixiviation du Cr(VI) à 500 °C et 89 pour cent à 700 °C. Mao et al. ont montré en 2015 la réaction directe du Cr(III) avec le CaO entre 500 et 900 °C (section 10).

Le travail le plus proche de l'application provient de Sayano et al., de la même année. L'objet de l'étude n'était pas un mélange de poudres dans un four, mais le contact direct d'aciers contenant du chrome avec des isolants du commerce, donc la géométrie de l'installation réelle. Sur une isolation en silicate de calcium, la diffraction des rayons X a identifié du CaCrO_4 , sur une isolation contenant du sodium du Na_2CrO_4 . Après 1 000 heures à 873 K, 160 mg de Cr(VI) par mètre carré de surface de contact ont été mesurés, après 5 000 heures 940 mg/m². Une couche barrière d' Al_2O_3 de seulement 3 à 4 µm d'épaisseur a empêché la diffusion du chrome et a supprimé la formation de manière quasi complète. Cette couche barrière est la preuve matérielle que le mécanisme est compris : celui qui peut empêcher une réaction de manière ciblée connaît sa voie (section 10).

Toshiba a décrit le même processus dès 2010 et 2011 dans deux demandes de brevet, y compris l'équation de réaction, et a proposé une couche de séparation céramique ainsi qu'une feuille de nickel à titre de prévention. La problématique liée à l'application était ainsi accessible au public avant l'étude de 2015, et ce sous la forme dans laquelle les entreprises industrielles documentent un savoir lorsqu'elles le jugent économiquement important (section 11).

Il existe par ailleurs une seconde voie. Des espèces volatiles du chrome provenant d'une source chaude peuvent se déposer sur des fibres plus froides. Ce transport en phase gazeuse ne remplace pas la réaction d'interface ; les deux peuvent se produire dans la même installation, et les deux conduisent à du chromate sur l'isolation (section 14).

3. Ce que l'industrie savait et comment elle l'a formulé

L'avertissement de fabricant le plus ancien ne date pas seulement des dernières années. Babcock & Wilcox a publié en avril 1990 le Plant Service Bulletin PSB-43 à l'intention des propriétaires et exploitants de chaudières ; la version PSB-43A de mars 1994 l'a étendu expressément aux « plastics, insulation, and textiles ». On y lit que les composés du chrome peuvent se transformer en chrome hexavalent en service et que la poussière produite lors du démontage le transporte. L'extension aux isolants et aux textiles précède ainsi de trente-deux ans la première description par une autorité en Allemagne (section 16).

Année	Source	Contenu
1939	Brevet US 2 176 687 (Udy)	Production ciblée de chromate de calcium et de chromate de sodium à partir d'une source de chrome, de chaux ou de soude et d'oxygène
1990/1994	Babcock & Wilcox PSB-43 et PSB-43A	Transformation en service, transport par les poussières lors du démontage, extension aux isolants et aux textiles
2002	Paoletti, Forschungszentrum Karlsruhe	CaCrO_4 à partir de Cr_2O_3 et de CaO entre 500 et 850 °C, oxygène comme condition
2010/2011	Toshiba, deux demandes de brevet	Interface entre acier inoxydable et isolation contenant du calcium, approches de prévention
2015	Sayano et al.	Mise en évidence directe de CaCrO_4 et de Na_2CrO_4 à l'interface
2019	Correspondance de fabricant	Calcium provenant de l'isolant désigné comme cause, tous les types de moteurs concernés
2019	Energy UK, bulletin sectoriel	Les trois conditions de formation correctement nommées, dans le même document WD-40 recommandé pour absorber les résidus
2020 à 2025	Notes de service et instructions techniques	Constats sur des moteurs, des véhicules, des turbines et des isolations, en partie avec mention du chromate de calcium
2024	Thèse, Montana State University	Recherche menée à la demande de l'association européenne de fabricants ECFIA, financement partiel par ses partenaires industriels
2026	La TRGS 561 allemande et la caisse professionnelle allemande BG ETEM	Oxydes de métaux alcalins et alcalino-terreux provenant des isolants et des pâtes de montage comme facteur d'influence

La conclusion tirée en 1990 était évidente et resta sans effet : le produit contenait du chrome, donc les produits contenant du chrome ont été écartés. Les formulations elles-mêmes sont restées inchangées. La fiche de données de sécurité du Ceraform 130 indique encore, dans sa version du 23 décembre 2020, de l'oxyde de chrome(III) jusqu'à 3 pour cent. La poudre jaune continuait d'apparaître, et comme le chrome semblait retiré de l'isolation, il restait la pièce chaude comme explication. Ce qui n'a pas été reconnu, c'est de quels composés il s'agissait. Le partenaire de réaction basique n'a jamais été retiré (section 16).

Entre les groupes de fabricants, il existe à cet égard une différence frappante dans la nature de la documentation. Le fabricant de réfractaires HarbisonWalker nomme expressément la transformation dans ses fiches de données de sécurité : le chrome(III) peut se transformer en **chrome(VI)** à l'usage. La phrase se trouve toutefois à la section 13, élimination, c'est-à-dire dans la partie de la fiche que la réglementation américaine OSHA 29 CFR 1910.1200 annexe D désigne comme non contraignante. La même information a, à la section 2, dangers, une autre conséquence juridique qu'à la section 13 (section 16).

Chez les fabricants de fibres, une telle indication manque entièrement. Dans les fiches de données de sécurité des laines haute température examinées, on ne trouve aucune ligne relative au calcium, bien que l'oxyde de calcium soit contenu dans la définition de la substance de la laine d'aluminosilicate derrière le numéro CAS 142844-00-6 et qu'il y soit admis jusqu'à 18 pour cent selon le document EIGA 207. La laine de silicate alcalino-terreux est indiquée par les fabricants sous le numéro CAS 436083-99-7 ; sa définition de substance mentionne l'oxyde de calcium et l'oxyde de magnésium à hauteur de 18 à 43 pour cent. Celui qui lit la fiche de données n'apprend pas qu'il tient le partenaire de réaction entre les mains. Deux présentations coexistent ainsi : l'une qui connaît la transformation et l'inscrit dans la partie non contraignante, et l'autre qui n'indique pas le partenaire de réaction (section 16).

4. Les mythes, un par un et avec preuve contraire

Le sujet n'est pas contesté en premier lieu, il est mal classé. En sept années de travail de terrain, les mêmes hypothèses ont été avancées encore et encore à titre de justification. Chacune d'elles est vérifiable, et aucune ne résiste à la vérification.

Hypothèse	Constat
« Nous n'utilisons pas de chrome(VI) , cela ne nous concerne donc pas. »	La substance n'est pas utilisée, elle est formée dans l'exploitation même. L'évaluation des risques se rattache à la présence de la substance, non à l'achat.
« Le chrome(VI) , c'est l'acide chromique et le dichromate, pas ceci. »	Le chromate de calcium et le chromate de sodium sont des composés du chrome(VI) et sont classés comme cancérogènes. Le chromate de calcium est, dans l'expérimentation animale, le plus actif des chromates comparés.
« L'isolant est exempt de chrome, il est donc inoffensif. »	Le chrome provient de l'acier. Exempt de chrome signifie seulement que le second ingrédient manque ; le premier est fourni par l'installation elle-même.
« La fiche de données de sécurité n'indique rien. »	La fiche de données décrit l'état de livraison. Le composé ne se forme qu'à l'usage.
« L'oxyde de calcium est inoffensif, il n'est pas classé comme cancérogène. »	Sa classification harmonisée est Skin Irrit. 2 (H315), Eye Dam. 1 (H318) et STOT SE 3 (H335) ; il ne porte aucune catégorie de cancérogénicité. C'est précisément pour cela qu'il passe à travers toutes les grilles d'une analyse portant sur le chrome(VI) , alors qu'il y est le partenaire de réaction.
« Sans amiante, c'est sûr. »	La substitution de l'amiante a supprimé la fibre, non le système de matériaux. Les oxydes basiques sont restés dans la formulation.
« Il n'y a rien de jaune à voir. »	Le dépôt jaune visible est le cas extrême, non le seuil de détection. Des quantités pertinentes pour l'exposition sont invisibles.
« Le test rapide était négatif. »	Dans une étude de terrain sur des moteurs diesel et des moteurs marins, l'analyse de laboratoire a mis en évidence 869 ng de Cr(VI) au turbocompresseur, alors que le test rapide colorimétrique était négatif au même endroit.
« Le laboratoire n'a rien trouvé. »	Sans indication du taux de récupération sur la même matrice, cela ne constitue pas une affirmation sur la teneur. Dans un essai interlaboratoires, le taux de récupération était, selon le procédé, de 0,2, de 6,5 et de 35,3 pour cent.

Hypothèse	Constat
« Nous avons essuyé au WD-40. »	L'huile dégrissante ne réduit pas le chrome(VI) . Le chromate passe dans la phase apolaire et échappe à la mesure ; taux de récupération mesuré 5,8 pour cent.
« Le mécanisme n'est pas définitivement élucidé. »	Ce qui reste ouvert, ce sont les conditions quantitatives, non l'existence de la réaction. Une cinétique non élucidée n'est pas une raison de laisser une formation documentée sans considération.
« Nous avons nettoyé, l'affaire est donc réglée. »	Le nettoyage agit pour l'opération considérée. Si l'isolation contenant du calcium reste sur la pièce chaude, le chromate se forme de nouveau lors de la remise en service suivante.

5. Comment les avertissements sont formulés

Que des avertissements existent n'est pas la question. La question est leur forme de construction. Ils apparaissent majoritairement à des endroits et dans des formulations qui ne mettent pas le destinataire en mesure d'apprécier sa propre installation.

Premièrement le placement. Chez HarbisonWalker, l'indication de la transformation se trouve à la section 13 et non à la section 2. Selon l'annexe D de l'OSHA, les sections 12 à 15 ne sont pas contraignantes. L'information est présente et elle se trouve en même temps là où elle a juridiquement le moins d'effet.

Deuxièmement l'omission du partenaire de réaction. Les fiches de données des produits fibreux ne nomment pas individuellement les constituants oxydes. L'oxyde de calcium est contenu dans la définition de la substance derrière un numéro CAS qu'aucun utilisateur ne consulte. Le dossier d'enregistrement de l'ECHA mentionne expressément, pour ce groupe de substances, les oxydes de calcium, de magnésium, de sodium et de potassium, mais personne qui pose un matelas isolant ne va chercher là (sections 3 et 12).

Troisièmement le rattachement à des caractéristiques visibles. Dans les instructions de service, les mesures de protection sont liées à des dépôts jaunes et à des tests rapides positifs. Les deux caractéristiques sont peu fiables, et toutes deux reportent la mesure au moment où la contamination est déjà suffisamment élevée pour être remarquée.

Quatrièmement la recommandation d'une mesure inefficace dans le document même qui décrit correctement la chimie. Le bulletin sectoriel d'Energy UK de septembre 2019 nomme correctement les trois conditions de formation et recommande quelques pages plus loin de fixer et d'absorber les résidus de **chrome(VI)** avec du WD-40. Un rapport de laboratoire indépendant de septembre 2026 réfute tout effet de réduction : avec une extraction complète, aucune relation dose-effet n'est apparue, le taux de récupération était de 96,8 pour cent en solution, et la diminution apparente à 5,8 pour cent sur le solide s'est révélée être un artefact de solubilité. La recommandation ne produit donc pas moins de chromate, mais moins de résultat de mesure (section 26).

Cinquièmement l'origine de la recherche. La thèse de la Montana State University de 2024 a été réalisée à la demande de l'association européenne de fabricants ECFIA et a été financée en partie par ses partenaires industriels. Cela ne dévalorise pas ce travail. Cela le situe : la branche a fait examiner la question, elle connaissait donc la question.

Sixièmement le moment. La première description par une autorité en Allemagne figure dans la TRGS 561 allemande du 4 mai 2026. Le premier avertissement de fabricant date d'avril 1990. Trente-six ans séparent les deux, pendant lesquels on a effectué des maintenances, des démontages, des nettoyages et des réutilisations.

6. Pourquoi un résultat de mesure négatif ne prouve rien

La détermination du **chrome(VI)** est une analyse de spéciation. Ce qui est mesuré n'est pas un élément, mais un état d'oxydation, et celui-ci peut changer dans les deux sens pendant la préparation de l'échantillon. Le procédé américain EPA 3060A nomme expressément les deux directions d'erreur et exige des échantillons dopés avec une plage d'acceptation du taux de récupération de 75 à 125 pour cent. Cette indication fait partie du résultat, elle n'est pas une information complémentaire (section 17).

Pour les isolants thermiques, il n'existe aucune méthode normalisée. Ce n'est pas un vice de forme, mais la difficulté centrale : la matrice est elle-même le partenaire de réaction. Elle est riche en calcium, basique et, à l'état après usage, imprégnée de suie, d'huile et de produits de corrosion, donc précisément des substances qui réduisent le **chrome(VI)**. Les procédés transposés donnent donc des résultats sous-estimés jusqu'à près de zéro. L'essai interlaboratoires relatif à la norme néerlandaise NEN 5617 montre l'ordre de grandeur : dans une matrice contenant 16 pour cent de zinc, le taux de récupération était, selon le procédé, de 0,2, de 6,5 et de 35,3 pour cent. Le même matériau, trois procédés, des résultats qui diffèrent de plus de deux ordres de grandeur.

Un résultat d'analyse sans indication du taux de récupération sur la même matrice n'est donc pas une affirmation sur la teneur. Cela vaut à plus forte raison pour les tests rapides. Dans une étude de terrain française sur des moteurs diesel et des moteurs marins, l'analyse de laboratoire a mis en évidence 869 ng de **Cr(VI)** au turbocompresseur, alors que le test rapide colorimétrique était négatif au même endroit (section 19).

Une seconde voie conduit au même résultat. Si une surface est traitée avec une huile dégrippante avant le prélèvement, le chromate passe dans la phase apolaire et échappe à la mesure. Pour le WD-40, un taux de récupération de 5,8 pour cent a été mesuré. Celui qui traite ainsi et fait mesurer ensuite obtient un résultat négatif qui décrit exclusivement la préparation de l'échantillon (section 17).

La même étude de terrain montre en même temps que la mesure dans l'air ne reflète pas la voie cutanée. Les mains des travailleurs ont également été prélevées : avant le démontage, la valeur était inférieure à la limite de quantification de 40 ng, après le démontage elle était de 45,4 ng, et les auteurs constatent expressément la contamination des mains malgré le port de gants jetables en nitrile. Étaient portés en outre des demi-masques FFP3 et une combinaison de travail de type 5. Dans le même passage, les valeurs dans l'air sont restées faibles, et les valeurs urinaires des onze mécaniciens examinés étaient en moyenne de 0,26 µg par gramme de créatinine et donc inférieures à la valeur biologique de référence de 0,54. Le point faible n'est pas le gant, mais la fermeture de manche et le moment du retrait ; dans la pratique, les transitions vers la combinaison et vers les chaussures sont donc recouvertes de ruban adhésif (section 31).

Il en découle la situation en matière de charge de la preuve. Un résultat positif établit une exposition. Un résultat négatif n'établit rien tant que le taux de récupération sur la même matrice n'est pas indiqué. Ce n'est pas une interprétation stricte, mais la conséquence de la méthodologie, et c'est la raison pour laquelle la TRGS 561 allemande ne lie pas les mesures de protection à une mesure.

7. La « neutralisation » et la question de l'attribution des travaux

Dans la pratique, il est de plus en plus question de neutralisation, de décontamination ou de réduction, et de tels travaux sont régulièrement confiés au personnel de maintenance et de nettoyage existant. Cette attribution est le point le plus faible de la pratique actuelle, et ce pour trois raisons à la fois.

Premièrement, le terme est matériellement indéterminé. La réduction du **chrome(VI)** en chrome(III) est chimiquement possible, mais elle suppose un réducteur approprié, une plage de pH appropriée, un temps de contact suffisant et une preuve d'efficacité. Les conditions que mentionne le certificat de l'organisme de contrôle n'apparaissent pas dans les instructions de travail, et une preuve d'efficacité pour la matrice isolante manque dans tous les documents disponibles. Ce qui s'appelle neutralisation dans la pratique consiste majoritairement à essuyer, à aspirer ou à traiter avec un produit dont l'effet n'est pas documenté. Dans le cas de l'huile dégrissante, le contraire est documenté.

Deuxièmement, le résultat n'est pas vérifiable par le personnel. La question de savoir si une réduction a eu lieu ne peut être tranchée que par voie analytique, et avec le même problème de matrice que ci-dessus. Un collaborateur qui a traité une surface n'a aucun moyen de constater s'il a supprimé le danger ou seulement modifié la mesurabilité. Une mesure dont l'exécutant ne peut apprécier l'efficacité produit un sentiment de sécurité sans sécurité.

Troisièmement, et c'est juridiquement déterminant, l'ordre de priorité des mesures est prescrit. Le règlement allemand sur les substances dangereuses (GefStoffV) dispose au paragraphe 7 alinéa 3 que, pour les activités impliquant des substances cancérigènes, « une substitution doit être réalisée en priorité ». L'alinéa 4 classe les autres mesures dans un ordre fixe : conception des procédés et des installations, mesures de protection techniques, mesures organisationnelles, équipement de protection individuelle en dernier lieu. Un traitement en aval du composé formé n'est, dans cet ordre de priorité, ni une substitution ni une mesure de protection technique ; il relève du traitement a posteriori.

S'y ajoutent deux obligations régulièrement négligées dans la pratique. Le paragraphe 7 alinéa 7 exige de « contrôler régulièrement, et au moins tous les trois ans, le fonctionnement et l'efficacité des mesures de protection techniques ». L'alinéa 9 exige, là où il n'existe pas de valeurs limites, de contrôler l'efficacité des mesures par des méthodes appropriées. Pour les chromates formés in situ, il n'existe ni méthode normalisée pour la matrice ni valeur limite spécifique à la substance pour le composé. Celui qui présente une neutralisation comme mesure de protection doit donc pouvoir en démontrer l'efficacité, et c'est précisément ce qui, en l'état actuel de l'analytique, n'est pas possible pour cette matrice sans un effort considérable.

Les documents disponibles montrent ce qu'il en est dans la pratique. L'instruction de travail « Instructie voorkomen blootstelling aan Chroom(VI) » de Vattenfall Generation NL, première version du 18 février 2019, dernière mise à jour le 29 avril 2024, décrit correctement la voie de formation et prévoit pour le traitement un spray convertisseur et une solution d'acide ascorbique préparée sur place. Le contrôle du résultat repose entièrement sur le test rapide colorimétrique : s'il est négatif, aucune autre mesure et aucun équipement de protection ne sont requis selon le texte, l'outillage et les masques complets utilisés retournent au magasin, et les matelas isolants aspergés sont remis en service. Le partenaire de réaction revient ainsi à la pièce chaude avec le matériau (section 26).

Le certificat que l'organisme de contrôle SEEF B.V. a établi en août 2025 pour un tel produit est correct dans sa conception, parce qu'il n'affirme pas plus que ce qui a été contrôlé. Il lie l'efficacité à la solubilité des composés dans la solution, mentionne le vieillissement du produit, exige un temps d'action d'au moins 15 minutes sur un support suffisamment refroidi ainsi que la répétition en cas de test positif, et il précise, pour le contrôle, qu'un résultat négatif au frottis n'est pas fiable ; que le produit est un auxiliaire au sein d'une stratégie de sécurité et non une solution qui élimine tous les risques par elle-même. Sur la diapositive de présentation du fournisseur du 6 novembre 2025, quatre arguments publicitaires en sont repris. La condition de solubilité, le vieillissement, la répétition en cas de test positif et la phrase sur le manque de fiabilité du résultat négatif y font défaut (section 26).

Trois fournisseurs et une caisse professionnelle allemande font la même affirmation au sujet du produit de réaction. La page de la caisse professionnelle allemande BG BAU parle de composés de chrome(III) non critiques, la page produit en langue allemande d'Eco-Point de chrome-3 inoffensif, la page produit de MATInspired de non-toxic chromium-3. Les mêmes questions et réponses de MATInspired excluent expressément l'élimination complète et renvoient, pour le contrôle, à un kit de test du même fournisseur, qui constitue le critère de libération dans l'instruction de Vattenfall. Le fabricant transfère à l'utilisateur le choix des mesures de protection (sections 26 et 27).

L'instruction d'exploitation de la même caisse professionnelle allemande, établie au titre du paragraphe 14 du règlement allemand sur les substances dangereuses (GefStoffV), prévoit pour la même activité un régime de protection complet : délimitation de la zone de travail, procédés à faible émission de poussière, aspiration, dépoussiéreur de classe de poussière H, amenée d'air frais, installation noir-blanc, protection respiratoire permanente avec P3 ou FFP3, combinaison de protection jetable de type 5 et interdiction de réutiliser les produits en laine minérale démontés. Sur la page d'information accessible au public de cette même caisse professionnelle, aucun point de ce catalogue ne figure ; seul y apparaît le liant de fibres réducteur de chromate, avec l'affirmation qu'il réduit le chromate en composés de chrome(III) non critiques et abaisse ainsi l'exposition (section 26).

Le ciment montre comment une réduction documentée est organisée. L'entrée 47 de l'annexe XVII du règlement REACH limite le **chrome(VI)** soluble dans le ciment à 2 ppm de la masse sèche. Ce résultat est obtenu par un réducteur mélangé de manière homogène en excès de huit à vingt fois, avec une réaction qui ne commence qu'avec l'eau de gâchage, et contrôlé selon la norme EN 196-10. Ce qui en est transposé est la pulvérisation d'une solution sur une surface huileuse dans la salle des machines, sans contrôle du dosage, sans procédé d'essai normalisé et avec un test rapide pour réception (section 26).

La comparaison avec l'amiante montre la même lacune. Les deux substances sont cancérigènes, et dans les deux cas le danger n'apparaît que lorsque de la poussière est libérée lors de la maintenance ou du démontage. Pour l'amiante, la TRGS 519 allemande exige la déclaration des travaux au plus tard sept jours avant leur début, une personne responsable possédant la compétence technique, un surveillant et, pour les produits faiblement agglomérés, un confinement avec sas pour les personnes et pour les matériaux. Pour les chromates formés in situ, rien de tout cela n'existe. Ils ne sont pas perçus comme une substance dangereuse, mais comme une salissure, et sont traités en conséquence avec des chiffons, un aspirateur et des produits à pulvériser par le personnel en place. Personne n'irait pulvériser et essuyer de ses propres mains une plaque contenant de l'amiante ; sur une pièce chaude contaminée par du chromate, c'est la pratique courante (section 25).

Pour le contact cutané, le rapport s'inverse même. La liste des valeurs MAK et BAT 2026 de la Deutsche Forschungsgemeinschaft classe les composés de **chrome(VI)** avec la mention de résorption cutanée « H » et la mention de sensibilisation « Sh », ainsi qu'en catégorie de cancérigénicité 1 ; les exceptions prévues pour les chromates de baryum, de plomb, de strontium et de zinc ne couvrent pas le chromate de calcium ni le chromate de sodium. Une substance qui est à la fois résorbable par la peau et cancérigène relève, selon le tableau 2 de la TRGS 401 allemande, du danger élevé pour tout type de contact, sans seuil de durée ni de surface. Pour l'amiante, une telle évaluation cutanée n'existe pas, parce que la classification harmonisée n'y comporte aucune mention de danger relative à la peau. Le chromate de sodium en porte trois (H312, H314, H317), et le chromate de calcium comme le chromate de sodium sont en outre classés comme très toxiques pour les organismes aquatiques avec effets à long terme (H400, H410), ce qui n'est pas le cas de l'amiante (section 25).

La réponse à la question initiale n'est donc pas en premier lieu une question de qualification du personnel. C'est une question de mesure : tant que le contrôle de substitution prévu au paragraphe 7 alinéa 3 n'est pas effectué et tant qu'une preuve d'efficacité au sens de l'alinéa 9 fait défaut, confier une neutralisation ne constitue pas un accomplissement des obligations, mais leur report sur l'exécutant. Là où la formation peut être empêchée par un changement de matériau, c'est la mesure conforme à l'ordre de priorité. Là où elle ne peut pas être empêchée, le travail doit être organisé comme une activité impliquant une substance cancérigène, avec minimisation de l'exposition, équipement de protection individuelle, travail à faible émission de poussière, vestiaires et zones de lavage séparés et documentation, et non comme une opération de nettoyage (sections 6, 18 et 26).

8. Réglementation et obligations

C'est l'Allemagne qui fixe la référence. La TRGS 561 allemande, dans sa version du 4 mai 2026, traite expressément de la formation sur des pièces chaudes alliées au chrome. La section 3.3.4 décrit la problématique, la section 5.9.3 cite les oxydes de métaux alcalins et alcalino-terreux provenant d'isolants ou de pâtes de montage comme facteur d'influence. Les mesures de protection prévues aux sections 4.1 et 4.2, dont l'équipement de protection individuelle, le travail à faible émission de poussière et le contrôle de substitution, s'appliquent dès lors qu'une exposition au **chrome(VI)** ne peut être exclue. Aucun mesurage préalable n'est exigé. Au vu de la situation analytique, c'est la seule construction praticable (sections 6 et 18).

Avant le début des travaux, des obligations propres existent, et elles sont pour l'essentiel formulées sans référence à une substance déterminée. Le règlement allemand sur les substances dangereuses (GefStoffV) exige au paragraphe 6 alinéas 2a à 2c de vérifier si des substances dangereuses provenant de l'installation peuvent être libérées lors des activités, de faire appel à une expertise externe en l'absence de compétence technique et, si une investigation technique est nécessaire, de la réaliser comme condition de l'activité. Le paragraphe 7 alinéa 1 interdit d'entreprendre l'activité avant l'évaluation des risques et les mesures de protection, le paragraphe 6 alinéa 8 phrase 1 exige la documentation avant le début de l'activité. L'indication de l'année de construction prévue au paragraphe 5a alinéa 2 se rapporte à l'amiante et n'a aucune valeur informative pour les chromates formés in situ, parce que le composé ne se forme qu'en exploitation (section 25).

Aux Pays-Bas, l'article 4.2 de l'Arbeidsomstandighedenbesluit exige l'évaluation de la nature, de l'ampleur et de la durée de l'exposition, même lorsque de telles activités ne sont pas exercées actuellement ; l'interdiction exprime de commencer auparavant figure, pour l'amiante, à l'article 4.54a. Au Royaume-Uni, elle figure sans référence à une substance déterminée à la Regulation 6(1) des COSHH Regulations 2002, selon laquelle un employeur ne peut pas faire exécuter des travaux susceptibles d'exposer des salariés à une substance dangereuse pour la santé sans évaluation préalable appropriée et suffisante. Aux États-Unis, le 29 CFR 1926.1126(d) oblige tout employeur concerné à déterminer les moyennes de poste sur huit heures pour chaque salarié exposé ; la règle de présomption pour les isolations thermiques dont l'année de construction va jusqu'à 1980 y figure dans la norme relative à l'amiante. La TRGS 561 allemande rattache le régime de protection, à la section 5.9.3 alinéa 5, aux activités pour lesquelles une exposition au **chrome(VI)** est présente ou ne peut être exclue. L'obligation naît ainsi avant le constat (section 25).

Au niveau supérieur s'applique la directive européenne 2004/37/CE, avec une valeur limite contraignante de 0,005 mg/m³ depuis le 17 janvier 2025. Les Pays-Bas fixent 0,001 mg/m³ exprimé en chrome, le Royaume-Uni 0,01 mg/m³ selon EH40 dans sa quatrième édition 2020, mais exige en même temps, pour les substances cancérogènes, la minimisation au niveau le plus bas raisonnablement praticable au titre des COSHH Regulations. Les États-Unis fixent, selon l'OSHA 29 CFR 1910.1026, un PEL de 5 µg/m³ et un action level de 2,5 µg/m³ et prescrivent des vêtements de protection, des vestiaires et des zones de lavage ainsi que l'interdiction du soufflage à l'air comprimé. Toutes ces valeurs se rapportent à la teneur en chrome et non au composé. Pour l'Australie, la valeur limite disparaît à compter du 1er décembre 2026 au profit d'une obligation de minimisation (section 18).

Aux États-Unis s'ajoute le droit des marchés publics. La clause DFARS 252.223-7008 interdit depuis 2011 la livraison d'articles et de produits de construction contenant du **chrome(VI)** au-delà de 0,1 pour cent en masse dans un matériau homogène, et de même la livraison d'articles pour lesquels du **chrome(VI)** devrait être enlevé ou appliqué de nouveau lors de phases de maintien ultérieures. La référence est, selon la définition, la couche individuelle et non le composant, et l'exception ne vaut que pour les produits secondaires de procédés de fabrication. L'obligation de répercussion s'étend également aux sous-traitances portant sur des prestations de maintenance et de réparation (section 18).

Le fait que la réglementation allemande soit fréquemment citée dans cet exposé a deux raisons. Le travail est mené depuis l'Allemagne, et la TRGS 561 allemande décrit expressément le cas d'application. Elle ne fixe pas pour autant des exigences plus strictes que le droit européen ; elle explicite pour ce cas l'approche de la directive 2004/37/CE. Depuis plus de vingt ans, la directive exige de déterminer la nature, l'ampleur et la durée de l'exposition et de prendre en compte à cette occasion les autres voies d'exposition, y compris l'absorption par la peau, et elle s'applique dans tous les États membres. Pour les composés de **chrome(VI)**, quatre niveaux d'appréciation coexistent, par inhalation, par voie cutanée, par voie orale et du côté de l'environnement ; l'amiante ne porte ni mention de danger relative à la peau ni danger pour le milieu aquatique (section 31).

Pour l'évaluation des risques, il importe peu que le chromate ait été utilisé de manière intentionnelle ou qu'il se soit formé in situ. Est en outre déterminante la notion large d'utilisation du règlement REACH, qui englobe le stockage, la mise à disposition et le traitement. Lorsqu'une isolation contaminée ou un composant contaminé est démonté, stocké et réutilisé, cela peut constituer une utilisation soumise à autorisation. C'est précisément là qu'une future interdiction d'utilisation à l'échelle de l'Union européenne touche l'ensemble du déroulement actuel de la maintenance. La proposition de restriction de l'ECHA d'avril 2025 resserrerait encore ce cadre (sections 2 et 25).

9. Les obligations en France

La France transpose la directive 2004/37/CE dans le Code du travail ; le cas traité ici n'y est pas non plus nommé en tant que tel. L'article R. 4412-61 exige, pour toute activité susceptible de présenter un risque d'exposition à des substances cancérogènes, que l'employeur évalue « la nature, le degré et la durée de l'exposition des travailleurs », et l'évaluation couvre, selon l'exposé de l'institut français INRS, toutes les expositions y compris l'absorption par la peau (section 33).

L'ordre de priorité correspond à l'ordre allemand, l'obligation de documentation est plus explicite. L'article R. 4412-67 exige en priorité l'évitement, l'article R. 4412-66 le remplacement « dans la mesure où cela est techniquement possible » et précise : « L'employeur consigne le résultat de ses investigations dans le document unique. » L'article R. 4412-68 exige à défaut le système clos. Un contrôle de substitution non effectué constitue donc un défaut du document unique (section 33).

La valeur limite est plus basse que la valeur européenne. Selon l'article R. 4412-149, une VLEP contraignante de 0,001 mg/m³ en moyenne sur huit heures et de 0,005 mg/m³ comme valeur à court terme s'applique aux composés de **chrome(VI)**, à quoi l'INRS ajoute la mention « risque de pénétration percutanée ». Le respect doit être contrôlé au moins une fois par an par un organisme accrédité, et le dépassement d'une VLEP contraignante entraîne l'arrêt du travail aux postes concernés (section 33).

Les articles R. 4412-70 à R. 4412-75 exigent l'abaissement du risque au niveau le plus bas possible, la limitation des quantités et du nombre de salariés exposés, l'aspiration ainsi que des zones délimitées et signalées à accès restreint. L'article R. 4412-72 y interdit de manger, de boire et de fumer et exige que les vêtements de protection fournis ne soient pas portés en dehors de l'établissement. Les salariés exposés relèvent, selon les articles R. 4624-22 à R. 4624-28, du suivi individuel renforcé ; le dossier médical est conservé au moins cinquante ans après la fin de l'exposition (section 33).

Pour l'amiante, il existe en France une obligation propre d'investigation avant le début des travaux. Selon les articles L. 4412-2 et R. 4412-97, le donneur d'ordre fait réaliser la recherche d'amiante, adaptée « à sa nature, à son périmètre et au niveau de risque qu'elle présente » et achevée avant l'attribution du marché. L'obligation s'applique dans six domaines : immeubles bâtis et non bâtis, matériels roulants ferroviaires et autres véhicules, navires, aéronefs ainsi qu'installations, structures et équipements ; pour ces derniers s'applique l'arrêté du 22 juillet 2021, la partie principale étant applicable à compter du 1er juillet 2023. L'obligation d'investigation existe ainsi, pour la substance nommée, précisément dans les classes d'installations où se forment des chromates, mais non pour les chromates. Le repérage manquant ou incomplet est, selon l'exposé de l'administration française du travail, passible d'une amende de 3 750 euros et d'une sanction administrative de 9 000 euros (section 33).

En France également, la sanction se rattache à l'obligation. L'article L. 4741-1 du Code du travail prévoit une amende de 10 000 euros, « appliquée autant de fois qu'il y a de travailleurs de l'entreprise concernés », et en cas de récidive un an d'emprisonnement et 30 000 euros. S'y ajoute la faute inexcusable de l'employeur : selon la jurisprudence de la Cour de cassation, elle est constituée lorsque l'employeur « a eu ou aurait dû avoir conscience » du danger et « n'a pas pris les mesures nécessaires pour l'en préserver » ; les conséquences sont la majoration de la rente et une indemnisation complémentaire au titre des articles L. 452-1 à L. 452-3 du Code de la sécurité sociale. Le critère est le devoir de connaître, et non la connaissance effective (section 33).

C'est également de France que proviennent la seule étude de terrain publiée sur ce constat lors de la maintenance des moteurs, la traduction française du bulletin Caterpillar et l'initiative de l'Anses concernant l'oxyde de chrome(III). Je n'ai pas trouvé de publication de l'INRS, d'une Carsat ou de l'administration du travail qui traite la formation de chromates sur des pièces chaudes isolées comme un cas propre (sections 19 et 33).

10. Les obligations en Suisse

La Suisse n'est pas membre de l'Union européenne. La directive 2004/37/CE et le règlement allemand sur les substances dangereuses (GefStoffV) n'y sont pas applicables, et il n'existe pas de réglementation qui nomme le cas d'application comme le fait la TRGS 561 allemande à sa section 5.9.3. Les obligations découlent de la loi sur l'assurance-accidents et de l'ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles et sont formulées sans référence à une substance déterminée. L'article 82 alinéa 1 de la loi sur l'assurance-accidents oblige l'employeur à prendre toutes les mesures dont l'expérience a démontré la nécessité, que l'état de la technique permet d'appliquer et qui sont adaptées aux conditions données. L'article 3 alinéa 1 de l'ordonnance exige des dispositions et des mesures de protection qui répondent aux prescriptions et, au surplus, aux règles reconnues en matière de technique de sécurité et de médecine du travail ; ce renvoi n'est pas limité aux publications suisses (section 34).

Trois autres dispositions de la même ordonnance correspondent aux obligations allemandes avant le début des travaux : l'article 6 alinéa 1 exige l'information et l'instruction sur les dangers auxquels l'activité expose, l'article 8 alinéa 1 ne permet de confier des travaux présentant des dangers particuliers qu'à des travailleurs formés en conséquence et exige une surveillance en cas de travail isolé, l'article 11a alinéa 1 oblige à faire appel à des médecins du travail et à d'autres spécialistes de la sécurité au travail lorsque cela est nécessaire à la protection de la santé des travailleurs. Cela correspond en substance au paragraphe 6 alinéa 2b du règlement allemand sur les substances dangereuses (GefStoffV). Pour les substances dangereuses elles-mêmes s'applique l'article 44 alinéa 1 : lorsque des substances nocives pour la santé sont fabriquées, transformées, utilisées, conservées, manipulées ou stockées, les mesures de protection nécessaires en raison de leurs propriétés doivent être prises. La manipulation et le stockage sont expressément visés, de sorte que le démontage, le stockage intermédiaire et le remontage d'un composant contaminé par du chromate relèvent de la disposition. L'alinéa 2 exige le lavage avant les pauses de travail et après la fin du travail et compte le temps qui y est consacré comme temps de travail (section 34).

Pour la valeur limite, la Suisse suit sa propre voie. La base légale est l'article 50 alinéa 3 de la même ordonnance, selon lequel la Suva peut édicter des directives sur les concentrations maximales admissibles au poste de travail. Dans les commentaires relatifs aux valeurs MAK et BAT, la Suva relève que les composés de **chrome(VI)** sont des substances cancérigènes sans seuil d'effet cancérigène connu et qu'aucune valeur limite fondée sur la santé ne peut être déduite pour ce groupe de substances. L'obligation de minimisation selon le principe STOP, avec la substitution au premier rang, se substitue à la valeur limite ; là où des valeurs sont fixées, la Suva se réfère à un risque additionnel inférieur à 4:1000 par vie professionnelle. Le fait de rester en dessous d'une concentration dans l'air n'est donc pas la pierre de touche, et le contrôle de substitution vient au commencement (section 34).

En droit des produits chimiques, la Suisse a repris la liste d'autorisation du règlement REACH à l'annexe 1.17 de l'ordonnance sur la réduction des risques liés aux produits chimiques, avec des interdictions, des exceptions et une obligation de déclaration. Pour les composés de **chrome(VI)** s'applique l'exception relative aux procédés dans les produits finals desquels le chrome n'est pas présent sous forme hexavalente ; l'obligation de minimisation y est réputée satisfaite lorsque l'exposition moyennée sur huit heures ne dépasse pas 0,001 mg/m³, calculé en chrome. Quiconque utilise du trioxyde de chrome, les acides qui en résultent et leurs oligomères ou du dichromate de sodium doit adresser chaque année, jusqu'au 31 mars, une déclaration à l'organe de réception des notifications des produits chimiques. Sont ainsi visés les composés achetés. Le chromate de calcium et le chromate de sodium, qui se forment à l'interface entre l'isolant et la pièce chaude, ne figurent sur aucune de ces listes, et la question de savoir si le fait de manipuler, de stocker et de réutiliser un composant contaminé constitue une utilisation se pose comme sous le règlement REACH (section 34).

Pour les travaux de construction s'y ajoute l'ordonnance suisse sur les travaux de construction. L'article 3 alinéa 2 exige, en cas de soupçon de présence de substances particulièrement dangereuses pour la santé telles que l'amiante ou les polychlorobiphényles, de déterminer et d'évaluer les dangers de manière approfondie, l'alinéa 3 l'examen avant la conclusion du contrat d'entreprise, l'alinéa 4 le règlement des mesures dans le contrat d'entreprise. Le régime que déclenche une substance nommément désignée apparaît dans la directive 6503 de la Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail : investigation avant le début des travaux, méthode de travail à faible émission de poussière avec aspiration à la source, aspirateur de la classe de poussière H, protection respiratoire FFP3 ou appareil filtrant à ventilation assistée, combinaison de la catégorie 3 de type 5/6, zones séparées en dépression, sas pour le personnel et l'annonce à la Suva quatorze jours avant l'exécution. Pour la formation de chromates sur des pièces chaudes alliées au chrome et isolées, il n'existe aucune entrée correspondante. L'ordonnance sur les travaux de construction ne s'applique en outre qu'aux travaux de construction ; pour la maintenance de moteurs, de turbines et de véhicules, la loi sur l'assurance-accidents et l'ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles restent applicables (section 34).

Une publication de la Suva ou de la Commission fédérale de coordination pour la sécurité au travail qui désigne la formation de chromates sur des pièces chaudes isolées ou dans des résidus d'incinération n'existe pas, d'après mes recherches. Cela ne dit rien sur le fait que le phénomène se produise ou non dans des installations suisses ; les documents de fabricants et d'exploitants analysés concernent des moteurs, des véhicules et des systèmes d'isolation qui sont exploités et entretenus de la même manière en Suisse. La nécessité d'agir ne diffère donc pas de celle qui existe en Allemagne, la voie pour y parvenir, elle, diffère : qui renvoie à l'absence d'entrée relative à la substance renvoie à l'absence d'une désignation, non à l'absence d'une obligation (section 34).

11. Où le phénomène se produit

Sont concernés les moteurs à gaz et diesel, les moteurs de locomotive et les moteurs marins, les turbines à gaz et à vapeur, les installations de biogaz, les unités de cogénération et la production combinée de chaleur et d'électricité, l'alimentation électrique de secours dans les hôpitaux et les bâtiments publics, les centres de données disposant de leur propre production d'énergie, les véhicules, les engins de chantier et le post-traitement des gaz d'échappement ainsi que les usines d'incinération des ordures ménagères (section 4). Les communications des caisses professionnelles allemandes, en particulier BG BAU, BG ETEM et BG Verkehr, désignent expressément ces domaines.

Pour les véhicules, le constat porte sur la maintenance, la manipulation, la réutilisation de composants et le coût d'une remédiation durable. Les droits à garantie des défauts issus du droit de la vente et les obligations du fabricant issues du droit de la sécurité ouvrent dans l'Union européenne leurs propres voies d'examen (section 20).

Outre des brevets, des études et des documents de fabricants, la base est constituée de mes propres visites d'installation ainsi que de prélèvements surfaciques et de matériau effectués depuis 2019 sur des moteurs, des centrales, des installations d'incinération, des navires, des véhicules et des engins de chantier. Après sept années de travail de terrain, l'absence de contamination ne peut être constatée pour aucun des domaines mentionnés (section 28).

Sur l'ordre de grandeur, l'analyse technique contient une extrapolation des occasions, non des constats. Elle s'appuie sur des indications publiques de fabricants, des statistiques de flotte et des registres d'installations : 190 000 moteurs de la série 3500 de Caterpillar en service, plus de 100 000 moteurs vendus des séries mtu 2000 et 4000, une base installée active de 44 GW chez INNIO, plus de 7 000 turbines à gaz chez GE Vernova avec une part indiquée d'environ la moitié de la base mondiale, environ 7 300 blocs de centrales à charbon, environ 109 000 navires de 100 tonneaux de jauge brute et plus, 6,16 millions de camions de plus de 3,5 tonnes dans l'Union européenne et 2 539 usines d'incinération des ordures ménagères en Europe, aux États-Unis, en Chine et au Japon (section 32).

Avec les intervalles de maintenance et de révision retenus, il en résulte environ 58 000 à 61 000 événements par an dans les quatre segments industriels à eux seuls, auxquels s'ajoutent environ 6,9 millions de passages en atelier pour les véhicules utilitaires et environ 90 millions de réparations de voitures particulières dans l'Union européenne, dont la part pertinente n'est pas chiffrée. L'objet de l'appréciation n'est donc pas un phénomène isolé. La libération a lieu quotidiennement, dans des compartiments moteur, sur des véhicules, sur des turbines, dans des centrales et dans des installations d'incinération, dans un nombre de cas qui ne peut être chiffré, et pour l'essentiel sans être remarquée (section 32).

12. Cendres d'incinération : le même phénomène sans possibilité de substitution

Dans les isolations thermiques, la formation peut être empêchée en utilisant un isolant exempt d'oxydes de métaux alcalins et alcalino-terreux. Dans les cendres d'incinération, cela n'est pas possible. Le partenaire de réaction se trouve dans la matière brûlée elle-même, et la matière brûlée ne se choisit pas. L'oxyde de calcium est présent dans les ordures ménagères à hauteur d'environ 3 pour cent. La mesure de premier rang disparaît donc, et il reste le régime de protection applicable à une activité impliquant une substance cancérogène.

Les preuves proviennent de l'incinération des déchets elle-même. En 2002, Paoletti a étudié au centre de recherche allemand de Karlsruhe le comportement des métaux lourds formant des oxyanions dans l'incinération des ordures ménagères. Le chromate de calcium se forme entre 500 et 850 °C et est à nouveau réduit en chrome trivalent au-dessus de 850 °C ; la condition est une pression partielle d'oxygène suffisante dans la chambre de combustion. Le travail attend des réactions correspondantes également avec le sodium, le potassium, le magnésium, le strontium et le baryum. Vehlow, Paoletti, Seifert et Sirini ont présenté les résultats en 2004 lors du WTER Fall Meeting à la Columbia University (section 21).

Ce n'est pas le fonctionnement à pleine charge qui est critique, mais l'arrêt pour maintenance. Des résidus de cendres restent sur la grille et sur des pièces chaudes alliées au chrome, la température traverse la fenêtre de formation du haut vers le bas, et l'ouverture de l'installation apporte un supplément d'oxygène. Ces cendres sont remises en suspension et libérées lors de la révision suivante. D'autres travaux étayaient ce lien : Hu et al. décrivent en 2013 et 2015 l'oxydation du chrome lors du post-traitement thermique de cendres volantes et soulignent la disponibilité de l'oxyde de calcium libre, Gong et al. mesurent en 2017 une lixiviation croissante du chrome après traitement thermique, et un travail japonais de 2006 sur des cendres de fond issues de deux installations à grille montre la dépendance à la température et à la concentration d'oxygène (section 21).

La contre-épreuve est fournie par un procédé de traitement des cendres de bois selon Brill, cité dans le rapport de 2019 de l'Office fédéral allemand de l'environnement : le contact avec l'oxygène n'y est volontairement admis qu'en dessous de 200 °C, afin d'empêcher la formation de **chrome(VI)**. Qui empêche une réaction en pilotant l'atmosphère de refroidissement connaît ses conditions (section 21).

La littérature environnementale européenne désigne également la substance. Le document de référence MTD européen sur l'incinération des déchets de 2019 mentionne le **chrome(VI)** au regard de la lixiviation à partir des cendres de grille. Pour la Grande-Bretagne, des dépôts positifs au **Cr(VI)** dans les passes de chaudière 2 à 6 et l'exposition lors de la maintenance et de la révision sont décrits. Ce qui manque, ce sont des mesures comparatives directes sur des usines d'incinération des ordures ménagères avant et après l'arrêt. Cette lacune concerne l'ordre de grandeur, non le mécanisme (section 22).

Dans les deux domaines d'application, le danger des chromates n'est pas compris, ou il n'est pas pris en compte. En cela, ils se ressemblent. La situation de départ est cependant différente, car pour l'isolant la cause peut être choisie et pour les cendres elle ne peut pas l'être. La voie de formation figure depuis 1990 dans un avertissement de fabricant et depuis 2002 dans la littérature spécialisée de l'incinération des déchets. La question se pose donc de savoir si elle a été négligée ou si elle ne devait pas être prise en compte. Il convient en outre d'examiner si les évaluations des risques couvrent la révision, l'ouverture de la chaudière, l'enlèvement des dépôts, le nettoyage, la manipulation des cendres et l'entraînement de la contamination. La mesure du chrome total, l'essai de lixiviation et la mesure individuelle des poussières répondent ici à des questions différentes (section 22).

13. Signification pour la santé

Les chromates solubles dans l'eau ont la même structure que les ions sulfate et phosphate et pénètrent dans la cellule par leurs voies de transport. Le **chrome(VI)** y est réduit, en passant par des intermédiaires réactifs, en chrome(III), qui forme des adduits à l'ADN et des réticulations. La réduction génère en outre un stress oxydatif. Le fait que le **chrome(VI)** devienne du chrome(III) dans l'organisme n'est donc pas un argument rassurant, mais le mécanisme d'action (section 24).

Le Centre international de recherche sur le cancer classe les composés du **chrome(VI)** comme cancérogènes pour l'homme, groupe 1, avec un effet établi sur le poumon et des associations observées avec le cancer du nez et des sinus de la face. L'autorité américaine de protection au travail OSHA a fondé sa valeur limite de 2006 avant tout sur deux cohortes de la production de chromates, Baltimore selon Gibb et al. 2000 avec 2 357 hommes de 1950 à 1992 et Painesville selon Luippold et al. 2003 (section 24).

Tous les chromates n'agissent pas de la même manière. Dans un essai comparatif sur le poumon du rat, le chromate de calcium, utilisé comme contrôle positif, a provoqué des tumeurs pulmonaires chez 25 animaux sur 100, le chromate de zinc en revanche chez 5 et 3 sur 100 respectivement. Le chromate de calcium, produit principal de la formation in situ, compte donc parmi les chromates les plus actifs en expérimentation animale. Une évaluation qui ne saisit que « **chrome(VI)** » masque cette différence, et elle la masque dans le sens défavorable.

Le contact cutané doit être évalué de façon autonome. Les composants, isolants, outils et gants contaminés restent un danger, même lorsque la mesure dans l'air ne révèle rien. Le chromate de calcium et le chromate de sodium sont en même temps classés comme très toxiques pour les organismes aquatiques avec effets à long terme, ce qui fait relever le phénomène également du droit de l'environnement.

14. Chrome(III) : l'état final supposé

Tous les procédés de traitement mentionnés reposent sur la même hypothèse : avec la transformation du chrome(VI) en chrome(III), la partie dangereuse du phénomène serait terminée. L'instruction technique d'un fabricant de moteurs du 31 mai 2023 la développe entièrement. Le chrome-3 serait présent dans de nombreux aliments, les quantités absorbées quotidiennement en Europe se situeraient dans une plage sans risque sanitaire attendu, la question de savoir si le chrome-3 constitue réellement un oligo-élément essentiel pour l'homme ne serait pas définitivement tranchée, et, la concentration possible après application de la solution de réduction se situant très en dessous des valeurs limites en vigueur, un danger pour la santé dû au chrome-3 serait à exclure. Suit, mise en évidence, la phrase selon laquelle le chrome-3, contrairement au chrome-6, ne serait pas cancérigène. La question de l'essentialité est tranchée : l'Autorité européenne de sécurité des aliments n'a trouvé en 2014 aucune preuve d'une essentialité du chrome(III) (section 27).

La transformation n'est pas une réaction en une seule étape conduisant à une substance finale définie. La justification MAK relative aux composés du chrome(VI) décrit la réduction comme un processus passant par le chrome(V) et le chrome(IV) jusqu'au chrome(III), avec formation de composés radicalaires de l'oxygène et du soufre. L'intermédiaire qui apparaît dépend du réducteur. Sur une surface d'installation s'y ajoute ce qui s'y trouve : huiles, graisses, résidus d'isolant et pâtes de montage. Le chrome(III) forme des complexes solubles avec les acides organiques et leurs produits d'oxydation. L'oxyde de chrome(III), qui est celui visé dans les affirmations relatives aux produits, se forme par voie thermique et non par pulvérisation et essuyage (section 27).

Aucun des documents disponibles n'indique quels composés du chrome(III) sont effectivement présents après un traitement. Le test rapide colorimétrique indique la présence de chrome(VI) ou non, les méthodes de laboratoire déterminent le chrome(VI) ou le chrome total. Une analyse de spéciation des composés du chrome(III) formés n'est prévue dans aucun procédé et n'est exigée dans aucun des documents (section 27).

Cela est important, car la classification dépend de cette distinction. La liste des valeurs MAK et BAT 2026 mentionne les composés du chrome(III) avec la marque de sensibilisation Sh et la précision que cela ne vaut pas pour l'oxyde de chrome(III) ni pour les composés du chrome(III) de solubilité comparablement faible. La marque concerne donc les composés solubles, c'est-à-dire le groupe de substances que produit un traitement par voie humide. Pour l'oxyde de chrome(III), une valeur limite d'exposition professionnelle de 2 mg/m³ dans la fraction inhalable s'applique en Allemagne ; aucune classification harmonisée au titre du règlement européen CLP n'existe pour cette substance. L'agence française Anses, dans son avis du 28 juillet 2021, estime justifiée une classification de l'oxyde de chrome(III) comme sensibilisant cutané de catégorie 1, considère cela également pertinent pour d'autres composés du chrome(III), recommande l'examen d'une classification STOT RE 2 pour la voie inhalatoire ainsi que la classification harmonisée Aquatic Acute 1 et Aquatic Chronic 1 ; après évaluation globale, elle considère les critères de mutagénicité sur les cellules germinales comme non remplis (section 27).

Le fait que le chrome(III) ne soit pas un état final est documenté dans un autre cas d'application. La même justification MAK retient, à propos du tannage au chrome, que le tannage se fait certes avec des composés du chrome(III), que de faibles quantités de composés du chrome(VI) peuvent s'en former en cas de méthodes de transformation ou de stockage inadaptées, et que, lorsque le chrome(III) est formé in situ par réduction de composés du chrome(VI), du chrome(VI) soluble peut également subsister dans le cuir en cas de réduction incomplète. Les deux affirmations concernent le phénomène traité ici (section 27).

S'y ajoute le retour sur la pièce chaude. Dans le réseau de l'alliage, le chrome est lié. Après une réduction, des composés du chrome(III) se trouvent finement répartis et non liés à la surface et dans le matériau adhérent, c'est-à-dire dans l'état qui constitue la matière première de la production de chromates. Si le matériau traité est remonté et l'installation remise en service, toutes les conditions de formation sont à nouveau réunies. Comme la conversion complète n'est pas garantie et que la procédure de libération n'est pas fiable en cas de résultat négatif, le liquide produit doit être traité comme un déchet dangereux et le travail doit se faire sans écoulement (section 27).

La toxicité moindre des composés du chrome(III) par rapport aux composés du **chrome(VI)** est hors de doute ; ils ne portent de catégorie ni pour la cancérogénicité ni pour la mutagénicité sur les cellules germinales. Les affirmations selon lesquelles le produit de réaction serait non critique, sans danger ou non-toxic vont au-delà. Elles énoncent une affirmation sur des substances qui ne sont pas déterminées, et elles présupposent une transformation complète que ne garantit aucun fournisseur (section 27).

15. Conséquences juridiques en cas de non-respect

Le règlement allemand sur les substances dangereuses (GefStoffV) dispose, à son paragraphe 22 alinéa 1, que commet une contravention administrative au sens du paragraphe 26 alinéa 1 numéro 8 lettre b de la loi allemande sur les produits chimiques (Chemikaliengesetz) quiconque, intentionnellement ou par négligence, ne documente pas l'évaluation des risques (numéro 1a), fait entreprendre une activité contrairement au paragraphe 7 alinéa 1 sans évaluation ni mesures de protection préalables (numéro 3) ou ne contrôle pas, ou pas en temps utile, l'efficacité des mesures techniques de protection (numéro 5). Le plafond de l'amende s'élève, selon le paragraphe 26 alinéa 3 de la loi sur les produits chimiques, à 50 000 euros. Le paragraphe 22 alinéa 2 du règlement sur les substances dangereuses va plus loin : quiconque met en danger par un tel acte la vie ou la santé d'autrui est punissable selon le paragraphe 27 alinéas 2 à 4 de la loi sur les produits chimiques, d'une peine d'emprisonnement allant jusqu'à cinq ans en cas d'intention et jusqu'à deux ans en cas de négligence. Ce qui est punissable est la mise en danger, et non seulement le dommage survenu (section 30).

S'y ajoute l'action récursoire : selon le paragraphe 110 du livre VII du code social allemand (Sozialgesetzbuch), les personnes dont la responsabilité est limitée par les paragraphes 104 à 107 répondent envers les organismes d'assurance sociale de leurs dépenses lorsqu'elles ont causé le sinistre « intentionnellement ou par négligence grave ». Du côté environnemental, le paragraphe 326 alinéa 1 du code pénal allemand (Strafgesetzbuch) saisit la gestion non autorisée de déchets qui sont « cancérogènes, toxiques pour la reproduction ou mutagènes pour l'homme », avec une peine d'emprisonnement allant jusqu'à cinq ans, en cas de négligence jusqu'à trois ans (section 30).

Aux Pays-Bas, l'article 4.17 de l'Arbeidsomstandighedenbesluit exige le remplacement prioritaire des substances et procédés cancérogènes, dans la mesure où cela est techniquement réalisable. Le non-respect constitue, selon l'article 33 de l'Arbeidsomstandighedenwet, une overtreding ; la bestuurlijke boete s'élève, selon l'article 34 alinéa 3, au maximum au montant de la cinquième catégorie prévue à l'article 23 alinéa 4 du code pénal néerlandais, soit, depuis le 1er janvier 2026, 110 000 euros, majoré de 100 ou 200 pour cent en cas de répétition. L'article 32 de la même Wet interdit à l'employeur tout acte ou toute omission contraires à la loi lorsqu'il en résulte ou qu'il faut en attendre, comme il le sait ou doit raisonnablement le savoir, un danger pour la vie ou une atteinte grave à la santé. Par l'article 1 numéro 1 de la Wet op de economische delicten, il s'agit d'un délit économique, en cas d'intention d'un misdrijf passible d'une peine d'emprisonnement allant jusqu'à six ans (section 30).

Au Royaume-Uni, la Regulation 7 des Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002 exige la prévention de l'exposition, en priorité par substitution, et, pour les cancérrogènes, en outre le confinement, le nettoyage, l'étiquetage et une élimination sûre. Une infraction constitue un délit pénal au titre de la Section 33(1) (c) du Health and Safety at Work etc. Act 1974 ; le Schedule 3A prévoit, dans la procédure sur acte d'accusation, une peine d'emprisonnement allant jusqu'à deux ans et une amende sans plafond légal. Aux États-Unis, les amendes civiles prévues par la Section 17 de l'Occupational Safety and Health Act s'élèvent, pour les fixations postérieures au 15 janvier 2026, jusqu'à 16 550 dollars américains par infraction, jusqu'à 16 550 dollars américains par jour en cas de non-suppression et jusqu'à 165 514 dollars américains en cas de willful ou repeated violations ; la Section 17(e) soumet en outre à une sanction pénale la violation intentionnelle d'une norme ayant entraîné la mort (section 30).

Dans les quatre ordres juridiques, la sanction se rattache à l'obligation non remplie et non au dommage sanitaire survenu. Comme les mesures de protection selon la TRGS 561 allemande s'appliquent déjà lorsqu'une contamination ne peut être exclue, et comme un résultat de mesure négatif sans taux de récupération ne prouve rien, c'est la documentation qui décide : évaluation des risques, contrôle de substitution et preuve d'efficacité. Une évaluation absente ou erronée d'une exposition au **chrome(VI)** n'est donc pas une question marginale de l'organisation de l'entreprise.

16. Ce qui est établi et ce qui reste ouvert

Sont établis la voie de formation, les composés en jeu, les plages de température et l'état des connaissances chez les fabricants et les exploitants. L'étendue du parc concerné est inconnue, parce que celui-ci n'a jamais été recensé sous cet angle.

Restent ouvertes les conditions quantitatives : les seuils de température exacts dans le cas particulier, l'influence de la teneur en chrome de l'alliage, la teneur nécessaire en oxyde de calcium ou de sodium, la cinétique, l'humidité et le nombre de cycles. Ces questions concernent l'ampleur de la réaction, non son existence. Dans des prises de position, le mécanisme non définitivement élucidé est parfois invoqué pour ajourner d'autres conséquences. Cette distinction ne résiste pas à l'état des preuves : l'évaluation des risques part de l'apparition possible, non de la connaissance complète de la cinétique (section 29).

17. Les obligations en Allemagne

La section 31 nomme les raisons pour lesquelles le corpus réglementaire allemand est majoritairement cité dans cette analyse. La présente section rassemble en un seul endroit les prescriptions allemandes en vigueur et indique pour chaque énoncé sa source. Elle répète ce faisant des points qui figurent ailleurs dans leur contexte, afin qu'une entreprise en Allemagne n'ait pas à rassembler ses obligations à partir de l'ensemble de l'analyse.

La notion de substance dangereuse couvre aussi ce qui ne se forme qu'ensuite

Le règlement allemand sur les substances dangereuses (GefStoffV) ne se rattache pas à l'achat. Le paragraphe 2 alinéa 1 numéro 3 compte parmi les substances dangereuses les « substances, mélanges et articles à partir desquels, lors de la fabrication ou de l'utilisation, des substances au sens du numéro 1 ou du numéro 2 se forment ou sont libérées ». Le numéro 4 couvre en complément les substances et mélanges qui, en raison de leurs propriétés et de la manière dont ils sont présents ou utilisés au poste de travail, peuvent mettre en danger la santé et la sécurité des salariés. Un chromate qui se forme à l'interface entre l'isolation et la pièce chaude est ainsi couvert, bien que personne ne l'ait acheté et que personne n'ait voulu le fabriquer.

Substitution et ordre de priorité des mesures

Le paragraphe 7 alinéa 3 exige, sur la base du résultat du contrôle de substitution, « de procéder en priorité à une substitution », et cela par des substances, mélanges, articles ou procédés qui, dans les conditions d'utilisation respectives, ne sont pas dangereux ou le sont moins. Le paragraphe 7 alinéa 4 ordonne les étapes suivantes : conception des procédés et formes d'utilisation à faible émission selon l'état de la technique, ensuite mesures techniques collectives à la source du danger et mesures organisationnelles, et seulement ensuite mesures individuelles y compris l'équipement de protection individuelle. Le paragraphe 7 alinéa 5 phrase 2 dispose que l'utilisation d'un équipement de protection individuelle contraignant ne peut être une mesure permanente.

La valeur de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et ce qu'elle n'apporte pas

Pour les composés du **chrome(VI)**, il n'existe pas en Allemagne de valeur limite d'exposition professionnelle. La TRGS 910 mentionne au tableau 1 une concentration de tolérance de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la fraction inhalable, avec un facteur de dépassement de 8 et la mention « voir TRGS 561 » ; aucune concentration d'acceptation n'est fixée pour cette entrée. La concentration se rapporte à la teneur élémentaire du métal et est définie comme moyenne de poste sur huit heures.

Registre des expositions

Depuis la modification du 2 décembre 2024, le registre des expositions figure dans une prescription propre. Le paragraphe 10a alinéa 1 phrase 1 exige un registre des salariés qui exercent des activités avec des substances dangereuses cancérigènes, mutagènes sur les cellules germinales ou toxiques pour la reproduction de catégorie 1A ou 1B « pour lesquels l'évaluation des risques révèle une mise en danger de leur santé », avec indication de l'activité ainsi que du niveau et de la durée de l'exposition. Selon l'alinéa 2, il est à conserver, pour les substances dangereuses cancérigènes ou mutagènes sur les cellules germinales, pendant 40 ans après la fin de l'exposition ; à la fin de la relation de travail, le salarié reçoit un extrait. Selon l'alinéa 3, l'employeur peut satisfaire à ces obligations en transmettant les données à l'organisme d'assurance accidents compétent ou à sa fédération.

Surveillance et sanctions

La surveillance est une mission étatique. Le paragraphe 21 alinéa 1 de la loi allemande sur la protection au travail l'attribue aux autorités compétentes des Länder ; depuis l'année civile 2026, selon le paragraphe 21 alinéa 1a, au moins 5 pour cent des établissements présents dans le Land sont à visiter chaque année, et il n'est pas possible de s'écarter de ce quota minimal de visites par le droit du Land. Le paragraphe 22 alinéa 2 donne le pouvoir d'examiner les procédés de travail et de procéder à des mesures, le paragraphe 22 alinéa 3 le pouvoir d'injonction et, en cas d'inexécution, l'interdiction du travail concerné.

L'écart avec le régime de l'amiante

Pour l'amiante, il existe en Allemagne une procédure propre. La TRGS 519 allemande exige à la section 2.7 la preuve de la compétence technique par la participation réussie à une formation reconnue par l'autorité avec examen ; la preuve vaut six ans. Le règlement allemand sur les substances dangereuses exige au paragraphe 11a alinéa 3 un agrément administratif pour les activités dans le domaine à risque élevé, depuis le 20 décembre 2025 au paragraphe 11a alinéa 4a une autorisation pour les travaux de démolition dans le domaine à risque faible et moyen, et au paragraphe 11a alinéa 4 la déclaration au plus tard une semaine avant le début des activités. La section 14.5 de la TRGS 519 ne permet la levée des mesures de protection que lorsqu'un contrôle visuel ne montre aucune salissure résiduelle visible et qu'une mesure donne une concentration de fibres inférieure à 500 fibres par mètre cube.

Ce que le corpus réglementaire allemand nomme

L'Allemagne est, parmi les ordres juridiques examinés ici, le seul dans lequel le cas d'application dispose d'une section propre dans le corpus réglementaire infralégislatif. La TRGS 561 décrit à la section 5.9.3 que des composés du **chrome(VI)** peuvent se former sur des composants industriels alliés au chrome sollicités thermiquement, que ceux-ci peuvent se déposer dans des isolants ou des pâtes de montage et qu'une exposition peut suivre lors de travaux de démontage et de maintenance. Comme facteurs d'influence, elle nomme la température de l'acier, la part de chrome de l'alliage, le temps de réaction, la présence d'oxydes de métaux alcalins et alcalino-terreux provenant d'isolants ou de pâtes de montage ainsi que l'oxygène et l'humidité de l'air à proximité de la surface. Sur le mécanisme, elle retient qu'il n'est actuellement pas encore élucidé.

Ce qui en découle pour une entreprise en Allemagne

Des prescriptions citées résulte un ensemble de documents vérifiable. En font partie l'évaluation des risques documentée et établie avec la qualification requise pour l'appariement de matériaux formé d'une pièce chaude alliée au chrome et d'un isolant à charge basique ainsi que le contrôle de substitution réalisé et justifié selon le paragraphe 7 alinéa 3. En font partie l'information du donneur d'ordre selon le paragraphe 5a et l'investigation technique selon le paragraphe 6 alinéa 2c. En font partie la consigne d'exploitation et l'instruction annuelle selon le paragraphe 14. En font partie l'inscription au registre des expositions ou sa justification selon le paragraphe 10a combiné avec la TRGS 410, l'organisation du suivi obligatoire et la classification du déchet selon la teneur.

18. Les obligations dans l'Union européenne

Les corpus réglementaires nationaux des États membres transposent le droit de l'Union. La présente section rassemble ce que le droit de l'Union exige lui-même, en distinguant le droit de la protection au travail du droit des substances et du droit des déchets. L'exécution incombe aux États membres ; pour une entreprise, les obligations naissent du droit national respectif.

Champ d'application de la directive 2004/37/CE

La directive s'applique selon l'article 3 paragraphe 1 « aux activités dans lesquelles les travailleurs sont ou peuvent être exposés, du fait de leur travail, à des agents cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction ». Elle se rattache ainsi à l'exposition lors d'une activité. L'article 2 point a) i) définit l'agent cancérigène par les critères de classification de l'annexe I du règlement (CE) n° 1272/2008 et ne comporte aucune restriction aux substances achetées, mises sur le marché ou mises en œuvre délibérément. Le chromate de calcium et le chromate de sodium sont classés de manière harmonisée à l'annexe VI partie 3 dudit règlement comme cancérigènes de catégorie 1B.

Remplacement, système clos, minimisation

L'article 4 paragraphe 1 exige de l'employeur qu'il réduise l'utilisation, « notamment en le remplaçant, dans la mesure où cela est techniquement possible, par une substance, un mélange ou un procédé qui, dans ses conditions d'emploi, n'est pas ou est moins dangereux ». L'article 5 paragraphe 2 exige, dans le cas où la substitution n'est pas techniquement possible, la fabrication et l'utilisation en système clos. L'article 5 paragraphe 3 exige, dans le cas où cela n'est pas non plus techniquement possible, que l'exposition soit « réduite à un niveau aussi bas qu'il est techniquement possible ».

La valeur limite contraignante

L'annexe III partie A de la directive 2004/37/CE comporte l'entrée « composés du **chrome(VI)** qui sont des agents cancérigènes au sens de l'article 2 point a) i) (en chrome) » avec une valeur limite de 0,005 mg/m³ en moyenne pondérée dans le temps sur huit heures. Aucune valeur à court terme n'est fixée, et la colonne des mentions est vide. La colonne transitoire indique 0,010 mg/m³ jusqu'au 17 janvier 2025 et 0,025 mg/m³ jusqu'à la même date pour les travaux de soudage et de coupage au plasma ainsi que les procédés similaires générant des fumées.

Registre, surveillance de la santé et quarante ans

La liste des travailleurs exposés figure à l'article 12 point c). L'employeur tient selon cette disposition une liste actualisée des travailleurs occupés à des activités pour lesquelles l'évaluation révèle un risque, « avec l'indication de l'exposition à laquelle ils ont pu être soumis », dans la mesure où cette information est disponible. L'article 15 paragraphe 1 exige, pour les agents cancérigènes et mutagènes, la conservation de cette liste et du dossier médical pendant au moins 40 ans après la fin de l'exposition.

Droit des substances : classification, autorisation, restriction

La classification harmonisée figure à l'annexe VI partie 3 du règlement (CE) n° 1272/2008. Le chromate de calcium porte le numéro index 024-008-00-9 et est classé comme cancérigène de catégorie 1B avec H350. Le chromate de sodium porte le numéro index 024-018-00-3 et est classé comme cancérigène, mutagène sur les cellules germinales et toxique pour la reproduction, chaque fois de catégorie 1B. L'entrée collective 024-017-00-8 couvre les « composés du **chrome(VI)**, à l'exception du chromate de baryum et de ceux qui sont nommément désignés dans la présente annexe » avec H350i.

L'écart avec la directive sur l'amiante

La directive 2009/148/CE règle pour l'amiante des obligations que la directive 2004/37/CE ne comporte pas de manière générale pour les agents cancérigènes. L'article 11 exige, avant le début de travaux de démolition, de maintenance ou de rénovation, toutes les précautions nécessaires pour identifier les matériaux présumés contenir de l'amiante, et cela en recueillant des informations auprès du propriétaire et dans les registres pertinents. L'article 4 exige une notification à l'autorité compétente avant le début des travaux, avec l'indication notamment du nombre de travailleurs concernés et de leurs attestations de formation. L'article 13 exige un plan de travail avant le début et, à l'achèvement, la vérification qu'il n'existe plus de mise en danger. L'article 14 avec l'annexe I bis fixe des exigences minimales quant au contenu, à la durée et à la fréquence de l'instruction, l'article 15 une autorisation de l'entreprise.

Ce qui en découle

Pour une entreprise établie dans un État membre, l'obligation naît du droit national de transposition. Le critère d'examen du droit de l'Union est à cet égard plus strict que la question d'une mesure sur trois points. L'évaluation prévue à l'article 3 paragraphe 2 est liée à l'activité et doit être renouvelée lors de toute modification des conditions. L'absorption cutanée est expressément à intégrer selon l'article 3 paragraphe 3. La réduction prévue à l'article 5 paragraphe 3 n'est liée à aucun seuil ; elle s'applique dès qu'un système clos n'est pas techniquement possible. Un État membre peut prévoir des prescriptions plus strictes ; la directive fixe des exigences minimales.

19. Les obligations aux Pays-Bas

Les Pays-Bas sont membres de l'Union européenne et ont transposé la directive 2004/37/CE dans l'Arbeidsomstandighedenbesluit. Le cas d'application traité ici n'y est pas davantage nommé en tant que tel. La présente section rassemble les prescriptions néerlandaises en vigueur et indique pour chaque énoncé sa source.

La notion de substance est neutre quant à l'origine

L'article 1.1 alinéa 5 lettre b de l'Arbeidsomstandighedenbesluit définit les substances dangereuses comme « stoffen of mengsels waaraan werknemers bij de arbeid worden of kunnen worden blootgesteld die vanwege de eigenschappen van of de omstandigheden waaronder die stoffen of mengsels voorkomen gevaar voor de veiligheid of gezondheid kunnen opleveren ». La définition se rattache à l'exposition au travail et aux circonstances de la présence. L'achat, la mise sur le marché et l'utilisation intentionnelle n'y figurent pas.

Les obligations supplémentaires pour les substances cancérogènes

La section 2 du quatrième chapitre s'applique en sus, selon l'article 4.12, dès que des travailleurs sont ou peuvent être exposés à des substances cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction « of aan stoffen die vrijkomen bij kankerverwekkende of mutagene processen ». La définition de l'article 4.11 lettre b se rattache, à son point 1, aux critères de classification du règlement (CE) n° 1272/2008. Les composés du **chrome(VI)** sont ainsi couverts.

La valeur limite de 0,001 mg/m³

La valeur limite légale figure à la Bijlage XIII partie B2 de l'Arbeidsomstandighedenregeling, la liste des valeurs limites fixées selon l'approche par le risque pour les substances cancérogènes. L'entrée est « Chroom (VI)-verbindingen (als Cr) » avec 0,001 mg/m³ en moyenne pondérée dans le temps sur huit heures. Aucun numéro CAS, aucune valeur sur quinze minutes et aucune mention cutanée n'y sont inscrits. Selon l'explication relative à la Bijlage XIII, la valeur se rapporte, pour les substances qui peuvent être présentes sous forme de particules, à la fraction prélevée comme poussière inhalable.

Surveillance, amende administrative et délit économique

La Nederlandse Arbeidsinspectie peut, selon l'article 27 de l'Arbeidsomstandighedenwet, poser une eis tot naleving, donc déterminer de manière contraignante la manière dont une prescription est à respecter, assortie d'un délai. L'article 9.22 de l'Arbeidsomstandighedenbesluit admet ce moyen pour les articles du quatrième chapitre pertinents ici. Selon l'article 28, un agent de contrôle peut ordonner que certains travaux soient arrêtés ou ne puissent être entrepris lorsque, selon son appréciation raisonnable, ils constituent un danger grave pour des personnes ; ce pouvoir comprend la mise sous scellés d'équipements de travail et de lieux de travail.

Déchets

La Regeling Europese afvalstoffenlijst déclare déterminante la liste figurant à l'annexe de la décision 2000/532/CE. Pour les matériaux isolants autres que l'amiante entre en considération 17 06 03* « overig isolatiemateriaal dat uit gevaarlijke stoffen bestaat of dergelijke stoffen bevat », pour les gravats de four 16 11 03* et 16 11 05*, pour les chromates en tant que substance 16 09 02*. L'article 4 alinéa 1 attribue le déchet à l'entrée marquée d'un astérisque lorsqu'il est constaté qu'il possède une des propriétés de l'annexe III de la directive-cadre sur les déchets. L'alinéa 2 dispose que les effets de l'évaporation, de la dilution, du mélange ou de la lixiviation ne sont pas pris en compte à cet égard.

L'écart avec le régime de l'amiante

La section 5 du quatrième chapitre règle l'amiante séparément. L'article 4.54a alinéa 1 exige d'inventorier complètement la présence d'amiante avant d'entreprendre la démolition ou le démontage d'ouvrages ou d'objets dans lesquels de l'amiante a, selon une attente raisonnable, été utilisé ; l'inventaire et le rapport sont, selon l'alinéa 4, réservés à une entreprise certifiée. L'article 4.54d alinéa 1 exige, pour l'enlèvement à partir de la classe de risque 2, une entreprise disposant d'un certificat, les alinéas 5 et 7 les certificats de compétence des personnes mises en œuvre. L'article 4.47c alinéa 1 exige la déclaration à l'autorité de surveillance au plus tard deux jours avant le début des travaux. L'article 4.51a exige, avant la levée de la zone de danger, une évaluation finale avec inspection visuelle et mesure par rapport à la valeur de 10 000 fibres par mètre cube.

Ce qui en découle pour une entreprise aux Pays-Bas

Des prescriptions citées résulte un ensemble de documents vérifiable. En font partie l'évaluation écrite prévue à l'article 4.2 alinéa 1 pour l'appariement de matériaux formé d'une pièce chaude alliée au chrome et d'un isolant à charge basique ainsi que les sept indications prévues à l'article 4.13, y compris la justification des raisons pour lesquelles une substitution n'est pas techniquement réalisable. En fait partie la valeur limite fixée par l'employeur selon l'article 4.16 alinéa 2, dans la mesure où aucune valeur légale n'est pertinente. En font partie la liste prévue à l'article 4.15 avec une conservation de quarante ans, l'instruction annuelle prévue à l'article 4.19 lettre a et la description du déchet prévue à l'article 10.39 du Wet milieubeheer.

20. Les obligations au Royaume-Uni

La présente section rassemble en un seul endroit le corpus réglementaire britannique, comme le font les trois sections précédentes pour l'Allemagne, l'Union européenne et les Pays-Bas. Le Royaume-Uni n'est plus lié à la directive 2004/37/CE depuis le 1er janvier 2021. La prescription porteuse, les Control of Substances Hazardous to Health Regulations 2002, est plus ancienne que cette directive et continue de s'appliquer sans modification.

Le champ d'application territorial est divisé. Les COSHH Regulations 2002 et les Control of Asbestos Regulations 2012 portent la mention « E+W+S » et s'appliquent donc en Angleterre, au pays de Galles et en Écosse ; l'Irlande du Nord dispose, avec les Control of Substances Hazardous to Health Regulations (Northern Ireland) 2003 et les Control of Asbestos Regulations (Northern Ireland) 2012, de prescriptions propres, construites de manière identique sur le fond. En droit des déchets, les quatre parties du pays suivent chacune sa propre voie, avec des règlements propres pour l'Angleterre, le pays de Galles, l'Écosse et l'Irlande du Nord. Les indications de la présente section se rapportent, sauf mention contraire, à l'Angleterre et au pays de Galles.

La notion de substance ne dépend pas de la classification

Regulation 2(1) détermine ce qu'est une « substance hazardous to health ». La lettre a couvre toute substance qui remplit les critères de classification dans une classe de danger pour la santé au titre du règlement CLP, et cela expressément « whether or not the substance is classified under that Regulation ». La lettre b couvre les substances ayant une valeur limite d'exposition professionnelle approuvée par l'autorité britannique HSE, la lettre d la poussière de toute nature au-dessus de la concentration qui y est indiquée. Un chromate qui se forme à l'interface entre l'isolation et la pièce chaude remplit les critères des lettres a et b, sans qu'il doive exister un fournisseur, une fiche de données de sécurité ou une classification formelle.

Prévention, substitution et ce qui est raisonnablement praticable

Regulation 7(1) exige d'empêcher l'exposition ou, dans la mesure où cela n'est pas raisonnablement praticable, de la maîtriser de manière adéquate. Regulation 7(2) précise la priorité de la substitution ; Regulation 7(3) ordonne les étapes suivantes, de la conception des procédés à l'équipement de protection individuelle en passant par la maîtrise à la source. Regulation 7(4) lettre b exige expressément « the adoption of suitable maintenance procedures », la lettre c la réduction du nombre de salariés exposés, du niveau et de la durée de l'exposition et de la quantité présente au poste de travail au minimum nécessaire pour le travail. La section 30 reproduit le libellé des alinéas 1, 2 et 5.

La valeur limite de 0,01 mg/m³ et l'état des publications de l'autorité HSE

EH40/2005, dans sa quatrième édition 2020, mentionne au tableau 1 l'entrée « Chromium (VI) compounds (as Cr) » avec une moyenne sur huit heures de 0,01 mg/m³ et une valeur de 0,025 mg/m³ pour l'exposition générée par un procédé, avec les mentions Carc, sen et BMGV. La note de bas de page relative à cette entrée dispose : « 'Process generated' refers to exposures to Chromium (VI) Compounds generated as a result of a work process, such as fumes from welding. » La valeur abaissée s'applique depuis le 17 janvier 2020 ; la remarque préliminaire de l'édition mentionne les composés du **chrome(VI)** parmi les substances dont la valeur limite a été abaissée.

Les mentions de danger déclenchent les obligations

En droit britannique, les mentions de classification sont le point de rattachement. Regulation 2(1) détermine la substance dangereuse pour la santé par les critères du règlement CLP et définit celui-ci, dans la même prescription, comme le règlement (CE) n° 1272/2008, dont les articles 6 paragraphe 5, 11 paragraphe 3, 12, 14, 18 paragraphe 3 lettre b, 23, 25 à 29 et 35 paragraphe 2 ainsi que les annexes I à VII « are to be read as amended from time to time ». Regulation 7(7) lettre c nomme ensuite des mentions de danger isolées dans leur libellé. Le point i couvre une substance portant « the hazard statement H340, H350 or H350i » ou une substance mentionnée au Schedule 1 ou un procédé qui y est mentionné, le point ii une substance portant « the hazard statement H334 ».

Mesure, surveillance de la santé et quarante ans

Regulation 10(1) subordonne la mesure à une condition. Il est mesuré lorsque l'évaluation des risques révèle que la mesure est « requise » pour maintenir la maîtrise adéquate ou pour protéger la santé des salariés. Regulation 10(2) permet d'y renoncer lorsque l'employeur peut établir d'une autre manière que les exigences de Regulation 7(1) sont satisfaites. Il n'existe pas d'obligation de mesure dans son principe.

Surveillance, infraction pénale et obligation de déclaration

La surveillance travaille avec deux types d'injonction. Selon la Section 21, un inspecteur peut délivrer un improvement notice lorsqu'une prescription est violée, avec un délai pour y remédier. Selon la Section 22, il peut délivrer un prohibition notice lorsqu'une activité comporte le risque d'une atteinte grave aux personnes ; ce notice peut prendre effet immédiatement et interdit l'activité jusqu'à ce que les manquements soient corrigés. Le droit britannique ne connaît pas de déclaration à l'autorité avant le début de travaux avec des cancérogènes.

L'écart avec le régime de l'amiante

Les Control of Asbestos Regulations 2012 montrent ce qu'un ordre juridique prescrit pour un risque de procédé reconnu. Regulation 5 exige, avant des travaux de démolition, de maintenance et des travaux similaires, la détermination de la présence, de la nature et de l'état de l'amiante et dispose, pour le cas de doute, que sa présence est à supposer. Regulation 6 exige la consignation des résultats essentiels indépendamment de la taille de l'entreprise. Regulation 7 exige un plan de travail écrit avec un contenu minimal prescrit.

Ce que le corpus réglementaire britannique nomme

Aucun acte juridique britannique ne nomme la formation de chromates sur des pièces chaudes isolées alliées au chrome. La seule entrée relative au chrome dans les intervalles de mesure des COSHH Regulations concerne le chromage électrolytique, la seule entrée relative au chrome dans la surveillance de la santé la fabrication de chromate de potassium et de sodium. L'isolation, la haute température et les pièces chaudes n'apparaissent pas dans le règlement. La liste des déchets ne couvre le cas que par l'entrée miroir relative au matériau isolant, sans nommer le chrome.

Ce qui en découle pour une entreprise au Royaume-Uni

Les obligations commencent avant le travail. Regulation 6(1) interdit le début sans évaluation appropriée et suffisante, et Regulation 6(2) lettre e nomme la maintenance avec un potentiel d'exposition élevée comme objet d'évaluation propre. Une évaluation qui ne considère pas la voie de formation sur des pièces chaudes isolées alliées au chrome, bien que les matériaux des composants et les températures de service soient connus, ne satisfait pas à cette exigence.

21. Annexe : les matériaux isolants contenant des oxydes basiques et leurs lieux de mise en œuvre

Les isolants courants du commerce qui suivent contiennent les oxydes basiques décrits, lesquels peuvent déclencher une formation thermochimique in situ des composés du **chrome(VI)** décrits. Il ne s'agit pas de suppositions, mais de déductions tirées des indications des fabricants, d'avertissements d'utilisateurs et de mes propres observations de terrain.

La colonne Justificatif indique l'origine de l'information. H désigne une indication de fabricant ou de norme, W un avertissement ou une indication d'utilisateur, F une observation de terrain personnelle. Lorsqu'un fabricant ne publie pas de chiffres, le tableau le mentionne expressément.

Isolants contenant des oxydes de calcium, de sodium et d'autres oxydes basiques

Matériau et forme commerciale	Teneur documentée en oxydes basiques	Justificatif
Verre E, fil et tissu pour circuits imprimés et aéronautique	CaO 16 à 25 %, MgO 0 à 5 %, Na ₂ O et K ₂ O 0 à 2 %	H
Laine minérale, laine de roche et laine de verre : matelas, matelas grillagé, panneau, coquille	Na ₂ O, K ₂ O, CaO, MgO et BaO ensemble plus de 18 pour cent en masse ; cette valeur fait partie de l'identité de la substance selon l'annexe VI, index 650-016-00-2, et n'est pas une propriété de lot	H
Laine AES, définition de la substance par les fabricants	oxyde de calcium et oxyde de magnésium ensemble 18 à 43 %, dioxyde de silicium 50 à 82 %	H

Matériau et forme commerciale	Teneur documentée en oxydes basiques	Justificatif
Laine AES, matelas (Superwool Plus Blanket)	CaO 26 à 32 %, MgO 3 à 7 %	H
Laine AES, matelas (Insulfrax LT)	CaO 27 à 33 %, MgO 2,5 à 6,5 %	H
Laine de silicate d'aluminium et fibre céramique (ASW, RCF) : matelas, panneau, papier, module	Na ₂ O, K ₂ O, CaO, MgO et BaO ensemble inférieurs ou égaux à 18 pour cent en masse ; valeur de séparation par rapport à l'index 650-016-00-2. Les fiches techniques des fabricants ne chiffrent pas les oxydes de métaux alcalins et alcalino-terreux	H
Silicate de calcium, panneau et pièce moulée	CaO 38 à 43 %	H
Perlite expansée : vrac et pièce moulée	Na ₂ O 3,7 %, K ₂ O 5,3 %, CaO 0,5 %, MgO 0,1 %. L'analyse provient d'une perlite de filtration ; pour les isolants de tuyauteries et de réservoirs, les fabricants ne publient pas d'analyse des oxydes	H
Vermiculite expansée : vrac et panneau	MgO 21,5 à 25,5 %, K ₂ O 3 à 6 %, CaO 2,0 à 6,0 % ; la fiche technique mentionne en outre Cr ₂ O ₃ à 0,01 à 0,15 %	H
Matelas d'aérogel	aucun composé du calcium ni du sodium déclaré ; plus de 50 % de verre textile sans spécification chimique	H
Pâte de montage pour pièces chaudes, contenant du calcium	hydroxyde de calcium 10 à moins de 20 pour cent en masse	H

Applications avec ces isolants

Domaine d'application	Composants isolés, isolant et forme commerciale	Température	Justificatif
Yachts et superyachts	Conduite d'échappement, collecteur d'échappement, turbocompresseur à sec et soupapes indicatrices ; matelas isolant avec habillage en tôle riveté, habillage isolant métallique en construction à cassettes, coques isolantes textiles amovibles. Des sections amovibles sont expressément prévues pour la maintenance	surface exigée en dessous de 220 °C ; composants du compartiment moteur jusqu'à 750 °C	H
Porte-conteneurs et navires de commerce, moteur deux temps	Collecteur d'échappement et conduites d'échappement ; isolation avec recouvrement en tôle galvanisée	non indiquée dans le document	H
Porte-conteneurs et navires de commerce, moteur quatre temps	Conduite d'échappement depuis la sortie du turbocompresseur jusqu'à la cheminée en passant par la chaudière de récupération et le silencieux, ainsi que l'installation SCR ; coussins isolants au turbocompresseur, isolation continue à partir de 30 mm d'épaisseur avec tôle de recouvrement, isolation SCR réalisée de façon démontable	sortie de turbine 390 °C en fonctionnement normal, 450 °C au dimensionnement, 554 °C en fonctionnement de secours	H

Domaine d'application	Composants isolés, isolant et forme commerciale	Température	Justificatif
Navires de croisière	Diesels auxiliaires, conduites d'échappement et épuration des gaz d'échappement ; mêmes séries de moteurs et même exécution de l'isolation que dans le fonctionnement quatre temps de la marine marchande, matelas amovibles sur la robinetterie	comme pour le moteur quatre temps	F
Locomotives et véhicules ferroviaires	Turbocompresseur d'échappement, collecteur d'échappement, lignes d'échappement complètes et post-traitement des gaz d'échappement ; pièce isolante textile moulée selon la norme de protection contre l'incendie EN 45545, isolation intégrale avec coque extérieure en feuille d'acier inoxydable ou en tôle fine, matelas isolants cousus avec du silicate alcalino-terreux, du verre E ou de la silice comme isolant et feuille d'acier inoxydable ou feuille à base de nickel sur la face chaude, expressément amovibles et réutilisables	pièce moulée jusqu'à 650 °C ; types de matelas jusqu'à 816 °C et jusqu'à 1 149 °C	H
Engins de chantier et machines de travail mobiles	Turbocompresseur, collecteur, ligne d'échappement, modules de filtre à particules et de SCR, isolation de soubassement et protection thermique du compartiment moteur ; pièces moulées fibreuses tridimensionnelles avec coques extérieures en feuille d'acier inoxydable ou en tôle fine	composants jusqu'à 750 °C, réduction de la surface en dessous de 220 °C	H
Unités de cogénération et production combinée de chaleur et d'électricité	Ligne d'échappement et turbocompresseur d'échappement du moteur à gaz ; habillage isolant métallique sous forme de modules entièrement amovibles	gaz d'échappement 421 °C à pleine charge, 476 °C à mi-charge	H
Installations de remplacement du réseau et d'alimentation électrique de secours, y compris dans les centres de données	Conduite d'échappement du groupe diesel ; coquilles en silicate de calcium ou en laine minérale, posées en deux couches, avec enveloppe, frettes et fil de ligature en acier inoxydable 304. Le fabricant recommande expressément le silicate de calcium dans ce cas, parce que le liant organique de la laine minérale brûle à partir d'environ 177 °C	371 °C jusqu'à près de 538 °C	H
Turbines à gaz et à vapeur	Conduit de gaz d'échappement, pièce de transition, carter de turbine, chaudière de récupération, silencieux et cheminée ; isolation intérieure derrière des tôles de liner en acier 304 ou 409, coussins isolants flexibles, matelas isolants fibreux et modules fibreux dans la chaudière de récupération, matelas isolants sur le carter, amovibles et réutilisables	carter au-dessus de 500 °C, conduit de gaz d'échappement au-dessus de 480 °C, chaudière de récupération jusqu'à 1 093 °C	H, W

Domaine d'application	Composants isolés, isolant et forme commerciale	Température	Justificatif
Véhicules routiers, poids lourds et voitures de tourisme	Écrans thermiques, collecteur en fonte, ligne d'échappement, filtre à particules, SCR et tapis de support dans le catalyseur ; écran thermique en construction à cassettes avec tôle de recouvrement ou feuille en acier inoxydable ou en aluminium et garniture isolante intérieure, mat aiguilleté comme tapis de support	écran thermique jusqu'à 1 100 °C selon le matériau ; température de pointe au collecteur 1 000 °C	H
Fours industriels, chaudières, incinération des ordures ménagères et installations de biomasse	Parois de chaudière, conduits de fumées et tuyauteries ; matelas grillagés en laine de roche avec treillis métallique galvanisé ou en acier inoxydable	jusqu'à 640 °C, exécution lourde jusqu'à 649 °C	H
Installations chimiques et raffineries	Tuyauteries en aciers austénitiques, robinetterie et brides ; matelas grillagés, coquilles et capots amovibles	jusqu'à 640 °C, coquilles jusqu'à 650 °C	H

Les tableaux complets, avec la source indiquée pour chaque ligne, figurent en annexe de l'analyse technique.

22. Conséquence

Là où la formation peut être empêchée, elle doit l'être. Ce n'est pas une recommandation, mais l'ordre de priorité du paragraphe 7 alinéas 3 et 4 du règlement allemand sur les substances dangereuses. En France, la même chose résulte des articles R. 4412-66 et R. 4412-67 du Code du travail, en Suisse de l'état de la technique selon l'article 82 alinéa 1 de la loi sur l'assurance-accidents et de l'obligation de minimisation, la substitution venant en premier. Dans l'isolation haute température, il existe des produits de substitution qui excluent la voie de formation, parce qu'ils ne contiennent pas d'oxydes de métaux alcalins et alcalino-terreux. Le contrôle de substitution ne peut donc pas être mené sans résultat.

Là où elle ne peut être empêchée, comme dans l'incinération des déchets, il reste la reconnaissance du phénomène et l'orientation correspondante de la protection du travail et de l'environnement : minimisation de l'exposition, travail à faible émission de poussière, zones séparées, documentation.

Le nettoyage et la décontamination agissent pour l'opération concernée. Ils n'éliminent pas la cause matérielle : si l'isolation contenant du calcium reste sur la pièce chaude alliée au chrome, le chromate se forme à nouveau lors de la sollicitation thermique suivante (section 26).

Le WD-40 ne réduit pas le **chrome(VI)**. Le ramassage des résidus avec un chiffon et de l'huile dégrissante enlève de la matière de la surface, et dans cette mesure l'impression pratique est compréhensible. Le chromate reste alors chimiquement inchangé et se trouve ensuite dans le matériel de nettoyage et dans les déchets ; en même temps, il passe dans la phase huileuse et n'est plus saisi lors de la mesure (section 26).

Partout où une pièce chaude alliée au chrome entre en contact avec un oxyde basique, il faut compter avec la formation de chromates. La question de savoir si l'on n'aurait pas dû le voir se pose pour chacun des domaines traités ici, et elle se pose depuis avril 1990.

Historique des versions

Version	Date	Modification
1.0	octobre 2026	Première édition
1.1	octobre 2026	Sections 6 et 10 complétées par le constat relatif aux films d'huile et au WD-40.
1.2	octobre 2026	Entièrement reformulée et approfondie : voie de formation, état des preuves, idées reçues, formulation des avertissements, analyse et question de l'attribution d'une neutralisation.
1.3	octobre 2026	Section 7 étendue à la chaîne documentée des procédés de traitement : l'instruction de travail de Vattenfall Generation NL, le certificat de l'organisme d'essai avec ses conditions et son abrègement sur la diapositive du fournisseur, la reprise de l'instruction inchangée lors de la conférence du 6 novembre 2025 et la comparaison avec la réduction des chromates dans le ciment.
1.4	octobre 2026	Section 8 complétée par les obligations avant le début des travaux selon les droits allemand, néerlandais, britannique et américain ; section 7 étendue par la mise en regard de la consigne d'exploitation de la caisse professionnelle allemande du bâtiment avec sa page d'information publique et par les déclarations identiques des fournisseurs sur le chrome(III).
1.5	octobre 2026	Nouvelle section 12 « Chrome(III) : l'état final supposé » avec la figure argumentative des documents de fabricants, les étapes de réaction selon la justification MAK, l'absence de détermination des espèces, les classements de la liste des valeurs MAK et BAT 2026 et l'avis de l'Anses de 2021, le précédent du cuir et le retour du chrome(III) libre sur la pièce chaude ; section 7 complétée par le fournisseur MATinspired et le circuit d'essai autour du kit TKII ; sections suivantes décalées d'un numéro ; renvois à l'analyse technique mis à jour.
1.6	octobre 2026	Section 6 étendue au constat sur la main de l'étude de terrain française et à la mise en regard avec les valeurs d'air et d'urine ; section 8 complétée par la justification du choix des textes cités et les quatre niveaux d'appréciation ; section 9 étendue à l'extrapolation des occasions annuelles issue de l'analyse technique.
1.7	octobre 2026	Nouvelle annexe avec deux tableaux : les isolants du commerce et leur teneur documentée en oxydes basiques, et les domaines d'application dans lesquels ils sont posés sur des pièces chaudes en acier au chrome. Les tableaux complets avec leurs sources figurent dans l'analyse technique. Correction également apportée : le numéro CAS 142844-00-6 désigne la laine d'aluminosilicate ; la laine de silicate alcalino-terreux figure sous le numéro 436083-99-7.
1.8	octobre 2026	Trois nouvelles sections sur les obligations en Allemagne, dans l'Union européenne et aux Pays-Bas, condensées à partir des sections de même titre de l'analyse technique. Les sections complètes, avec toutes leurs références, y figurent.
1.9	octobre 2026	Une nouvelle section sur les obligations au Royaume-Uni, condensée à partir de la section de même titre de l'analyse technique. La section complète, avec toutes ses références, y figure.
1.10	octobre 2026	La valeur limite britannique est rectifiée à 0,01 mg/m³ selon EH40 dans sa quatrième édition 2020. La section condensée sur le Royaume-Uni reprend la nouvelle sous-section sur les mentions de danger. La section complète, avec toutes ses références, figure dans l'analyse technique.

Version	Date	Modification
1.7 FR	octobre 2026	Édition France et Suisse : nouvelles sections 9 (France) et 10 (Suisse) avec les obligations françaises et suisses en regard de la réglementation allemande ; sections suivantes renumérotées 11 à 17.