

(ID Modèle = 2077342)

FORMALDÉHYDE

L'objectif des fiches technico-économiques (FTE) est de décrire les enjeux posés en France par la réduction ou la suppression des émissions dans l'eau, et par la substitution de substances chimiques largement utilisées ou retrouvées dans les milieux aquatiques.

Elles présentent la réglementation de la substance, dressent un bilan de sa présence dans l'environnement, et de ses usages, dont elles situent l'importance économique.

Enfin, elles recensent les moyens de réduction des rejets (substitution, traitement...).

Ces fiches sont établies à partir de recherches bibliographiques et peuvent être complétées par des enquêtes auprès d'institutions techniques professionnelles, d'experts et d'acteurs industriels.

Responsable du programme : Jean-Marc BRIGNON

Experts ayant participé à la rédaction : Valentin CHAPON, Cynthia DENIZE, Maryse MARLIERE

Veillez citer ce document de la manière suivante :

Institut national de l'environnement industriel et des risques, FORMALDÉHYDE, Verneuil-en-Halatte : Ineris - 203228 - v1.0, 10/05/2021.

Résumé

Nom	C.A.S.	Usages principaux	Substance prioritaire dans le domaine de l'eau (DCE)	Substance soumise à autorisation dans Reach	Substance soumise à restriction dans Reach	Substance extrêmement préoccupante (SVHC)
FORMALDEHYDE , méthanal, aldéhyde formique, aldéhyde méthylique, formol, oxyméthylène, oxyde de méthylène, oxoéthane, formalin, paraform	50-00-0	<u>Usages principaux</u> : production de résines condensées utilisées dans les panneaux de bois, peintures colles et vernis, textiles, de polyols, MDI et résines POM et comme intermédiaires dans la synthèse de nombreux produits chimiques <u>Autres usages</u> : biocide, conservateur en taxidermie, bactéricide pisciculture et agroalimentaire	Non	Non	Non	Non

Volume de production - France		Volume de production - UE		Volume de production - Monde		Volume de consommation - France		Part de la consommation dédiée à l'usage principal en France
44 000	t/an (2010)	3 200 000	t/an (2019)	41 000 000	t/an (2019)	185 000	t/an (2015)	80% utilisé pour la production de résines en 2005

Présence dans l'environnement – France	
Eaux de surface	La base de données Naïades recense 6 226 mesures de formaldéhyde dans les eaux de surface en France entre 2017 et 2019. Parmi ces mesures, 1 004 (soit 16%) présentent des concentrations de formaldéhyde supérieures à la limite de quantification comprise entre 0,05 et 50 µg/L. La concentration médiane en formaldéhyde des échantillons dont la concentration est quantifiable s'élève à 2 µg/L et est inférieure à la Valeur Guide Environnementale (VGE) de 10 µg/l dans l'eau douce. La concentration maximale en formaldéhyde observée s'élève à 1 242 µg/L et correspond à un prélèvement effectué dans un cours d'eau de la région Normandie (BRGM).
Eaux souterraines	En 2011, le BRGM a mené une campagne exceptionnelle (CAMPEX) d'analyses des substances présentes dans les eaux souterraines en métropole. Le formaldéhyde a fait l'objet de 943 mesures dont 9 présentent une concentration de formaldéhyde supérieure à la limite de quantification de 5 µg/l, la concentration maximale est de 34 µg/L. La base de données ADES répertorie 4 375 mesures de formaldéhyde dans les eaux souterraines en France entre 2017 et 2019. Parmi ces mesures, 146 (soit 3 % de la totalité des mesures) présentent une concentration supérieure à la limite de quantification comprise entre 1 et 50 µg/l, une médiane de 7,2 µg/l et une concentration maximale de 493 µg/l.
Air	Il existe en France une station de mesure du formaldéhyde dans l'air, celui-ci se situe en zone urbaine et à distance de sites industriels, les mesures étant effectuées sur une année complète au moyen de tubes à diffusion par l'association de surveillance de la qualité de l'air Atmo Auvergne Rhône Alpes. La base nationale de données de qualité de l'air appelée GEOD'AIR indique qu'en 2018 et 2019, la concentration atmosphérique annuelle moyenne de formaldéhyde s'élevait pour ce site respectivement à 1,72 et 1,9 µg/m3.
Sols	Compte tenu de la valeur du Koc (37 L/kg), une adsorption du formaldéhyde au niveau des sols n'est pas attendue et sa mobilité devrait être élevée. Par conséquent, il peut être facilement mobilisé par ruissellement ou par lixiviation vers les eaux de surface ou des eaux souterraines.

Le formaldéhyde ou aldéhyde formique, de formule brute HCHO, est le plus simple des aldéhydes. À température ambiante, il est présent sous forme de gaz.

Il n'existe pas de norme de qualité environnementale (NQE) réglementaire associée au formaldéhyde au niveau communautaire et au niveau national. L'Ineris a néanmoins établi en 2011 une valeur guide environnementale (VGE) de 10 µg.L⁻¹ dans l'eau pour cette substance.

La production mondiale et européenne de formaldéhyde est en augmentation sur les dix dernières années et pourrait poursuivre sa croissance. En Europe, les principales capacités de production de cette substance se trouvent en Allemagne.

Le formaldéhyde est principalement utilisé dans la synthèse de nombreuses substances chimiques employées dans de très nombreux secteurs d'activités. C'est une substance qui est moins directement utilisée sauf pour divers usages biocides (pisciculture, élevage, médical...). Selon l'ECHA, à l'heure actuelle, 98% du formaldéhyde produit ou importé en Union Europe serait utilisé comme intermédiaire de réaction pour la production de résines, de thermoplastiques et d'autres substances chimiques (ECHA, 2019). En UE, la majeure partie de ces résines est utilisée pour la production de résines condensées : résines phénoliques (PF), résines aminoplastes (MF, UF, MUF) et résorcinols. Ces résines sont en premier lieu utilisées dans le cadre de la production de panneaux de bois.

Pour limiter les émissions de formaldéhyde, une des solutions est de réaliser une substitution par des résines à base de formaldéhyde moins émettrices. Par exemple il est possible pour certains usages de substituer les résines UF, résines les plus émettrices et les plus utilisées, par d'autres résines à base de formaldéhyde (PF, MF, MUF, RF et PRF), ou d'opter pour des résines ou des matériaux alternatifs ne nécessitant pas le recours au formaldéhyde. Une autre solution pour réduire les émissions consiste à utiliser des capteurs de formaldéhyde.

Il est également possible de substituer l'utilisation directe du formaldéhyde par d'autres substances ou par des procédés techniques (utilisation de chambres froides en thanatopraxie, cuisson des aliments dans l'élevage par exemple).

Néanmoins la substituabilité du formaldéhyde varie en fonction des utilisations. Ainsi par exemple elle semble avancée pour les peintures et les vernis contrairement à d'autres secteurs comme celui de la thanatopraxie. Divers facteurs conditionnent pour chaque usage la possibilité de substitution d'une substance par exemple : l'efficacité, la disponibilité, la faisabilité de l'utilisation (intégration dans le procédé technique, capacité des travailleurs à utiliser le substitut), la toxicité, l'écotoxicité, le coût du substitut. C'est pourquoi la substitution doit être réfléchie et mise en place au cas par cas, notamment s'il s'agit de remplacer un matériau par un autre.

On retrouve du formaldéhyde dans l'atmosphère, les eaux de surfaces et souterraines et dans l'air intérieur de bâtiments. Sa présence dans l'environnement peut provenir de plusieurs sources ; des sources naturelles d'émissions (combustion de matières organiques, oxydation dans l'air de composés organiques volatils, décomposition de résidus de végétaux ou de déchets d'animaux), des sources d'émissions non intentionnelles de formaldéhyde vers l'air issues de combustions d'origine anthropique, de la décomposition de résines à base de formaldéhyde, des sources d'émissions d'origine industrielle. Ces dernières seraient, en France sur la période 2008-2018, en baisse pour le milieu aquatique, et stables pour le milieu atmosphérique. Des émissions mineures ont aussi lieu du fait de certains usages intentionnels (agro-alimentaire, pisciculture, médical, thanatopraxie...).

Abstract

Formaldehyde, with the raw formula HCHO, is the simplest of the aldehydes. At room temperature, it is present as a gas.

There are no regulatory Environmental Quality Standards (EQS) associated with formaldehyde at EU and national level. Nevertheless, Ineris has established in 2011 an environmental guideline value (EGV) of 10 µg.L⁻¹ in water for this substance.

Global and European production of formaldehyde has been increasing over the last ten years and should continue to grow. In Europe, the main production capacities for this substance are located in Germany.

Formaldehyde is used in the synthesis of many chemical substances used for numerous industrial sectors. In its own form few uses are reported, excepted biocidal uses for various sectors (fish farming, animal husbandry, medical, etc.). According to ECHA, 98% of formaldehyde produced or imported into the European Union is currently used as a reaction intermediate in the production of resins, thermoplastics and other chemical substances (ECHA, 2019). In the EU, most of these resins are used for the production of condensed resins as for instance phenolic resins (PF), aminoplast resins (MF, UF, MUF) and resorcinols. These resins are primarily used in the production of wood panels.

One way to limit formaldehyde emissions is to substitute formaldehyde-based resins with resins which emit less. For example, for certain uses it is possible to substitute UF resins, the most emitting and widely used resins, with other formaldehyde-based resins (PF, MF, MUF, RF and PRF), or to opt for alternative resins or materials that do not require the use of formaldehyde. Another solution for reducing emissions is to use formaldehyde sensors.

It is also possible to substitute the direct use of formaldehyde with other substances or technical processes (e.g. use of cold rooms in thanatopraxy, cooking of food in animal husbandry).

Nevertheless, the substitutability of formaldehyde varies according to the use. For example, substitution seems to be advanced for paints and varnishes in contrast to other sectors such as thanatopraxy. For each use, various factors condition the substitution of the substance, as for example: efficiency, availability, feasibility of use (integration into the technical process, ability of workers to use the substitute), toxicity, ecotoxicity, cost of the substitute. For this reason, substitution must be considered and implemented on a case-by-case basis, especially if it involves replacing one material with another. In the environment formaldehyde is found in the atmosphere, surface water, groundwater compartments and indoor air in buildings. Multiple emission sources explain this presence. There are natural sources of emissions to air from the combustion of organic materials, air oxidation of volatile organic compounds or the decomposition of plant residues or animal waste. There are also sources of unintentional emissions of formaldehyde to the air from combustion of anthropogenic origin, decomposition of formaldehyde-based resins, etc. Finally, there are emissions of formaldehyde from the industrial sector. In France over the period 2008-2018, these emissions are expected to have decreased for the aquatic compartment and stabilized for the atmospheric compartment.

Table des matières

1	Glossaire	8
2	Généralités	9
2.1	Définition et caractéristiques chimiques	9
2.2	Données toxicologiques et écotoxicologiques	10
2.2.1	Données toxicologiques	10
2.2.2	Données écotoxicologiques	11
2.3	Réglementation	12
2.3.1	Textes généraux	12
2.3.2	Règlementations sectorielles	13
2.4	Valeurs et normes appliquées en France	14
2.4.1	Seuils de rejets pour les installations classées et les stations de traitement des eaux usées 14	
2.4.2	Normes de qualité environnementale (NQE) et valeur guide environnementale (VGE)	15
2.4.3	Valeurs appliquées en milieu professionnel	15
2.4.4	Valeurs appliquées pour la qualité des eaux de consommation	15
2.4.5	Valeurs appliquées dans l'air	15
2.5	Autres textes	16
2.5.1	Eaux de rejet	16
2.5.2	Eaux souterraines	16
2.5.3	Eaux de surface	16
2.5.4	Produits phytosanitaires dans l'alimentation	16
2.5.5	Contact alimentaire	16
2.6	Classification et étiquetage	17
2.7	Sources naturelles de formaldéhyde	17
2.8	Sources non-intentionnelles de formaldéhyde	18
3	Production et utilisations	19
3.1	Production et vente	19
3.1.1	Données économiques	19
3.1.2	Procédé de production	20
3.1.3	Noms commerciaux du formaldéhyde	21
3.2	Utilisations	22
3.2.1	Variétés d'utilisation	22
3.2.2	Production de résines condensées	23
3.2.3	Production de Polyols	27
3.2.4	Production de résines polyoxyméthylènes (POM)	27
3.2.5	Production de 4,4'-diisocyanate de diphenylméthylène (MDI)	27
3.2.6	Intermédiaire dans la synthèse de produits chimiques	27
3.2.7	Autres usages	28
4	Rejets dans l'environnement	30
4.1	Émissions anthropiques totales	30
4.2	Émissions atmosphériques	31
4.3	Émissions vers les eaux	34

4.4	Émissions vers les sols.....	37
4.5	Pollutions historiques et accidentelles	37
5	Devenir et présence dans l'environnement	38
5.1	Comportement dans l'environnement.....	38
5.1.1	Dans l'atmosphère.....	38
5.1.2	Dans le milieu aquatique	38
5.1.3	Dans le milieu terrestre.....	38
5.2	Présence dans l'environnement	39
5.2.1	Dans le milieu aquatique	39
5.2.2	Dans le milieu terrestre.....	39
5.2.3	Dans l'atmosphère.....	40
5.3	Présence dans l'air intérieur	40
6	Perspectives de réduction des émissions	41
6.1	Réduction des émissions de formaldéhyde.....	41
6.1.1	Substitution par des résines à base de formaldéhyde moins émettrices.....	41
6.1.2	Les capteurs de formaldéhyde	41
6.2	Alternatives aux usages du formaldéhyde.....	41
6.2.1	Substitution de l'utilisation des résines à base de formaldéhyde	41
6.2.2	Production de Polyols.....	44
6.2.3	Substitution des résines polyoxyméthylènes (POM)	45
6.2.4	Production de MDI	45
6.2.5	HTMA.....	46
6.2.6	Fertilisants	46
6.3	Autres usages.....	46
6.3.1	Elevage.....	46
6.3.2	Agroalimentaire.....	47
6.3.3	Pisciculture	47
6.3.4	Médecine	48
6.3.5	Taxidermie	48
6.3.6	Thanatopraxie.....	49
6.3.7	Coûts de la substitution	49
7	Conclusion.....	51
	Références	52
7.1	Sites internet consultés.....	52
7.2	Bibliographie	52

1 Glossaire

Glossaire « général »

UE : Union Européenne

Glossaire résines à base de formaldéhyde

Résines PF : résines phénoplastes ou résines phénol-formol

Résines PRF : résines phénol-résorcinol-formol

Résines MF : résines mélamine-formol

Résines UF : résines urée-formol

Résines MUF : résines mélamine-urée-formol

Résines POM : résines polyoxyméthylènes

MDI : 4,4'-diisocyanate de diphenylméthylène

Glossaire « toxicologie et écotoxicologie » CE50 : Concentration Efficace Médiane

CMR : Cancérogènes, Mutagènes ou toxiques pour la Reproduction

DJT : Dose Journalière Tolérable

MRL : Minimum Risk Level (niveau de risque minimum)

NOEC: "No Observed Effect Concentration"

PNEC: "Predicted No Effect Concentration"

VTR : Valeur Toxicologique de Référence

2 Généralités

2.1 Définition et caractéristiques chimiques

Le formaldéhyde ou aldéhyde formique, de formule brute HCHO, est le plus simple des aldéhydes. À température ambiante, c'est un gaz incolore, d'odeur piquante et suffocante.

Le formaldéhyde pur, sous forme de gaz anhydre, est difficile à produire et à conserver car il a tendance à se polymériser. Il n'est donc pas commercialisé sous forme gazeuse mais disponible en solutions aqueuses ou sous ses formes polymérisées : le paraformaldéhyde et le trioxane.

Les solutions aqueuses, qui portent la dénomination de formol ou formaline, sont livrées à des concentrations comprises entre 30 % à 55 % en poids et renferment de 0,5 à 15 % de méthanol comme inhibiteur de polymérisation,

Le paraformaldéhyde (CAS n°30525-89-4) polymère de 8 à 100 unités monomères, se présente sous forme de poudre ou cristaux blancs et renferme 90 à 93 % de formaldéhyde. Un simple chauffage au-dessus de 80°C libère le formaldéhyde ou, en solution aqueuse, la dépolymérisation est réalisée vers 60-70°C, en milieu basique.

Le trioxane (CAS n° 123-63-7), trimère cyclique stable du formaldéhyde, est un solide cristallin (pureté ≥ 99,5%), d'odeur de chloroforme, très soluble dans l'eau, les alcools, les cétones, l'oxyde de diéthyle, les hydrocarbures aromatiques et les hydrocarbures chlorés. En milieu non aqueux, il libère très rapidement le formaldéhyde.

• **Solubilité** : le formaldéhyde est très soluble dans l'eau (de 400 à 500 g/L) et dans les solvants polaires tels que l'éthanol, l'acétone et l'oxyde de diéthyle.

• **Réactivité** : le formaldéhyde est un composé très réactif avec les oxydants forts, les acides, les bases et il est très hygroscopique. Il se polymérise facilement en particulier à froid ou en présence de traces d'impuretés polaires (acides, alcalins) ou d'eau. En solution diluée il peut réagir avec l'hydroxyde de sodium en libérant de l'hydrogène. Les solutions d'aldéhyde formique sont légèrement corrosives vis-à-vis de la plupart des métaux.


Dans l'air, le formaldéhyde s'oxyde lentement avec formation d'acide formique ; l'oxydation complète donne du dioxyde de carbone et de l'eau. C'est un réactif très inflammable qui peut former des mélanges explosifs avec l'air (en fonction de la température, de la concentration et du milieu).

La réaction de condensation du phénol avec l'aldéhyde formique peut être violente, voire explosive.

• **Décomposition** : en l'absence de catalyseur, le formaldéhyde ne se décompose sensiblement qu'au-dessus de 300 °C ; il se forme principalement du monoxyde de carbone et de l'hydrogène.

Les sources d'émission du formaldéhyde dans l'environnement proviennent de ses multiples applications en tant que biocide, conservateur ou adhésif. Le formaldéhyde est également produit naturellement lors du métabolisme intermédiaire de la plupart des organismes vivants (microorganismes, animaux et plantes) et il joue un rôle essentiel dans la biosynthèse de certains acides aminés (Squire and Cameron 1984).

Tableau 1. Caractéristiques générales du formaldéhyde d'après (INRS 2020).

Substances chimiques	N° CAS	N° EINECS	Synonyme	Formes physiques
Formaldéhyde CH ₂ O 	50-00-0	200-001-8	Fr : aldéhyde formique ; méthanal ; formol ; formaline ; oxyméthane GB : formic aldehyde ; methyl aldehyde ; methylene oxide ; oxymethylene ; oxomethane ; paraform	Gaz (dans les conditions ambiantes habituelles)

Le code sandre pour le formaldéhyde est 1702.

2.2 Données toxicologiques et écotoxicologiques

2.2.1 Données toxicologiques

Toxicocinétique :

Le formaldéhyde est une substance endogène, résultant du métabolisme cellulaire humain et animal. La principale voie d'exposition au formaldéhyde exogène est l'inhalation. La concentration sérique physiologique en formaldéhyde chez l'homme est de l'ordre de 2,5 mg.L⁻¹. Par ingestion, le formaldéhyde est très rapidement absorbé au niveau du tractus gastro-intestinal et subit les mêmes transformations métaboliques que par inhalation. Chez l'homme, le taux d'absorption cutanée n'a pas été déterminé. Cependant, il semble que le formaldéhyde soit très peu absorbé par cette voie.

Des études par inhalation de formaldéhyde radiomarqué ont permis de montrer chez le rat un taux d'absorption proche de 100 %. Cette absorption se situe préférentiellement au niveau des cavités nasales.

La demi-vie du formaldéhyde dans le sang excède rarement 2 minutes chez l'homme.

Toxicité aiguë :

Chez l'homme, le formaldéhyde est très irritant par inhalation, pour les yeux, le nez et la gorge à de très faibles concentrations de l'ordre de 0,2 à 1,6 ppm (0,25 à 2 mg.m⁻³). Par voie orale, il peut être à l'origine de troubles respiratoires importants et de lésions viscérales sévères (estomac, intestin, reins). Le formaldéhyde est faiblement irritant pour la peau à des concentrations inférieures à 1% et corrosif à concentrations élevées.

Les études chez l'animal confirment les effets observés chez l'homme au niveau pulmonaire et cutané.

Toxicité chronique :

- Effets systémiques et locaux

Les principaux effets observés, chez l'homme, sont des effets locaux au niveau des voies aériennes supérieures avec une irritation des yeux, du nez et de la gorge, et des lésions de l'épithélium nasal. Le formaldéhyde possède également des propriétés de sensibilisation cutanée. Les études menées chez l'animal confirment la sensibilité des voies aériennes supérieures à une exposition chronique de formaldéhyde. L'exposition au formaldéhyde par voie orale n'est pas documentée chez l'homme, cependant les études menées chez l'animal ont montré un excès de mortalité chez le rat, avec des lésions au niveau du tractus digestif.

- Effets cancérogènes

Le formaldéhyde a été classé dans le Groupe 1 par l'IARC en 2004, sur la base d'une preuve épidémiologique suffisante pour démontrer qu'il peut être à l'origine de cancers du nasopharynx chez l'homme. Il existe également une forte présomption, mais non suffisante, pour établir un lien de causalité entre l'exposition professionnelle au formaldéhyde et l'apparition de leucémies.

Bien que l'excès de risque noté pour les cancers pulmonaires soit faible, le rôle du formaldéhyde ne peut être exclu définitivement.

Chez l'animal, les études disponibles fournissent une preuve suffisante du potentiel cancérogène du formaldéhyde.

- Effets génotoxiques

L'ensemble des études *in vitro* et *in vivo* montre que le formaldéhyde semble être un composé génotoxique direct pour lequel les effets sont principalement observés au niveau du site de contact et pour des concentrations élevées.

- Effets sur la reproduction et le développement

Il n'existe pas, en l'état actuel des connaissances, de preuves suffisantes permettant de conclure à la toxicité du formaldéhyde sur la reproduction et le développement embryofœtal.

Choix de Valeurs toxicologiques de référence de l'Ineris (révision 2019)

Substance chimique	Type d'effet	Voie d'exposition	Facteur d'incertitude	Valeur de référence	Année de révision
Formaldéhyde	A seuil	Inhalation (aiguë)	3	VTR = 123 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,1 ppm)	Anses, 2018
	A seuil	Inhalation (sub-chronique)	3	VTR = 123 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,1 ppm)	Ineris, 2019
	A seuil	Inhalation (chronique)	3	VTR = 123 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ (0,1 ppm)	Anses, 2018
	A seuil	Orale (sub-chronique)	100	MRL = 0,3 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$	ATSDR, 1999
	A seuil	Orale (chronique)	100	DJT = 0,15 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{j}^{-1}$	OMS, 2004
	Sans seuil	Inhalation (chronique)	pas de valeur retenue		

Informations relatives à l'utilisation des VTR : dans la mesure, où il a été démontré que le formaldéhyde présente un mécanisme de genèse de cancer à seuil, il n'est pas retenu de valeur sans seuil.

2.2.2 Données écotoxicologiques

Ecotoxicité aiguë :

- Organismes aquatiques

Les données disponibles concernant la toxicité aiguë du formaldéhyde pour le milieu aquatique indiquent que les invertébrés sont les organismes les plus sensibles. La plus faible valeur de CE_{50} valide et retenue pour ces organismes est de 5,8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Les plus faibles valeurs de CE_{50} valides pour les poissons et les algues sont de 6,7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ et 14,7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, respectivement.

- Organismes terrestres

Concernant la toxicité aiguë du formaldéhyde pour le compartiment terrestre, les informations disponibles à notre connaissance restent limitées. Cependant, certaines études ont montré que le formaldéhyde pouvait être létal pour les nématodes (179 $\text{ml}\cdot\text{m}^{-3}$ de tourbe) ou encore avoir un effet inhibiteur de la croissance de certains végétaux (*Brassica rapa*, *Pinus ellotti* : réduction de la croissance foliaire, réduction de la biomasse et de l'inflorescence).

Ecotoxicité chronique :

- Organismes aquatiques

Les données disponibles concernant la toxicité chronique du formaldéhyde pour les organismes aquatiques fournissent des valeurs de NOEC comprises entre 0,14 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (*Microcystis aeruginosa*) et 6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (*Ceriodaphnia dubia*). Ces valeurs ne peuvent cependant pas être considérées valides pour l'élaboration de la PNECaqua, à cause du manque de précisions sur la réalisation des essais.

Aucune donnée concernant la toxicité chronique du formaldéhyde vis-à-vis des organismes benthiques n'est disponible à notre connaissance.

- Organismes terrestres

Il n'existe pas de donnée long terme valide pour les organismes terrestres.

PNEC (Predicted No Effect Concentration):

Il n'existe pas de Norme de Qualité Environnementale pour cette substance. Toutefois, l'Ineris a proposé une Valeur guide environnementale en 2011¹. La moyenne géométrique (10 $\mu\text{g}/\text{L}$) des essais avec

¹ <https://substances.ineris.fr/fr/substance/getDocument/3089>

Daphnia pulex est retenue comme critère d'effet pertinent pour l'évaluation pour le compartiment aquatique. Les valeurs dans les sédiments et les sols ont été calculées à partir de la PNEC_{eau}.

Substance chimique	Compartiment	Facteur d'incertitude	Valeur de PNEC
Formaldéhyde	Aquatique	1000	10 µg.L ⁻¹
	Sédimentaire	Coeff. de partage	4,9 µg.L ⁻¹
	Terrestre	Coeff. de partage	1,9 µg.L ⁻¹

2.3 Réglementation

Les paragraphes ci-après présentent les principaux textes en vigueur à la date de la rédaction de cette fiche encadrant la fabrication, les usages et les émissions de formaldéhyde. Cet inventaire n'est pas exhaustif.

2.3.1 Textes généraux

2.3.1.1 Classification CMR

En juin 2004, l'IARC a modifié la classification du formaldéhyde le faisant passer de la catégorie « substance probablement cancérigène pour l'homme » (groupe 2A) à « substance cancérigène avérée pour l'homme » (groupe 1) pour les cancers du nasopharynx par inhalation, sur la base d'études épidémiologiques en milieu du travail.

Au niveau européen, le règlement (UE) n°605/2014 de la Commission du 5 juin 2014 classe le formaldéhyde cancérigène de catégorie 1B et mutagène de catégorie 2. Cette décision fait suite à un avis de l'ECHA de novembre 2012 et à la proposition de révision de la classification du formaldéhyde déposé en 2011 par l'Anses (Anses 2011).

2.3.1.2 Reach

Restrictions d'usage

Dans le cadre du règlement REACH concernant la mise sur le marché des substances chimiques (Règlement (CE) n° 1907/2006 du 18/12/06), le formaldéhyde fait partie de la liste des substances soumises à restrictions quant à leurs fabrication, mise sur le marché et utilisations (Annexe XVII).

La limite de concentration en poids dans des matières homogènes pour le formaldéhyde est fixée à 75 mg.kg⁻¹ par le règlement (UE) 2018/1513 de la Commission du 10 octobre 2018.

Par dérogation, pour la mise sur le marché de formaldéhyde dans les vêtements, les accessoires connexes, les textiles autres que les vêtements qui entrent en contact avec la peau humaine (par exemple tissus d'ameublement) et les chaussures, la concentration applicable est de 300 mg.kg⁻¹ du 1^{er} novembre 2020 au 1^{er} novembre 2023. Ensuite la concentration de 75 mg.kg⁻¹ sera appliquée.

Ne sont pas concernés par cette restriction :

- les vêtements, accessoires connexes et chaussures ou éléments vêtements, accessoires connexes et chaussures entièrement en cuir naturel, en fourrure ou en peau,
- les systèmes de fermeture et liens décoratifs qui ne sont pas en textile
- les vêtements, accessoires connexes, textiles autres que vêtements ou chaussures d'occasion,
- les tapis mur à mur et revêtements de sol textiles mur à mur pour une utilisation en intérieur, moquettes et passages,
- les équipements de protection individuelle (EPI),
- les dispositifs médicaux,
- les articles textiles jetables à usage unique.

En mars 2019, l'ECHA a rendu son rapport concernant sa proposition de restreindre la mise sur le marché d'articles libérant du formaldéhyde à des concentrations supérieures à 0,124 mg.m⁻³ (valeur limite d'émission) et de ne pas dépasser une concentration de formaldéhyde de 0,1 mg.m⁻³ dans

l'habitacle des véhicules routiers et des avions (ECHA 2019). Cette proposition vise des articles pour lesquels le formaldéhyde ou des substances pouvant libérer du formaldéhyde ont été utilisés au cours de leur fabrication.

Sont exclus de la proposition de restriction :

- les articles soumis à la restriction existante sur les substances CMR dans les vêtements et les chaussures (entrée 72 de l'annexe XVII de REACH),
- les articles soumis au règlement (UE) 2017/745 sur les dispositifs médicaux,
- les articles soumis au règlement (UE) 2016/425 sur les équipements de protection individuelle (EPI),
- les articles soumis au règlement 2011/10 sur les matériaux en contact avec des denrées alimentaires,
- les articles soumis à la directive 2009/48/CE sur la sécurité des jouets,
- les articles destinés exclusivement à un usage industriel et professionnel,
- les articles d'occasion
- ainsi que l'utilisation de formaldéhyde comme biocide.

Le SEAC (Committee for Socio-economic Analysis) et RAC (Committee for Risk Assessment) soutiennent la proposition de l'ECHA, mais le RAC a proposé une valeur limite d'émission de 0,05 mg.m⁻³ pour les articles libérant du formaldéhyde et de limiter la concentration de formaldéhyde à l'intérieur des véhicules routiers à 0,05 mg.m⁻³. Le RAC a recommandé d'inclure les articles à usage extérieur exclusif dans le champ d'application de la restriction, mais a estimé que les habitacles des avions devaient être exclus du champ d'application. En raison des valeurs limites de concentration inférieures, le RAC propose une période de transition de 24 mois après l'entrée en vigueur de la restriction (ECHA 2020).

Actuellement, ce projet de réglementation n'a pas encore été adopté par la Commission Européenne.

2.3.1.3 Directive cadre eau (DCE)

Le formaldéhyde ne fait pas partie des substances prioritaires listées au niveau européen pour la politique dans le domaine de l'eau citées dans la directive 2013/39/UE du 12/08/2013 modifiant les directives 2000/60/CE et 2008/105/CE.

2.3.2 Règlements sectorielles

2.3.2.1 Produits phytopharmaceutiques

Le formaldéhyde n'est plus autorisé comme pesticide au niveau européen (European Commission, 2016) et (Commission Européenne, 2009). Il était utilisé comme fongicide notamment pour le traitement du mildiou. Aucun usage n'est référencé dans la base de données Ephy (Anses).

2.3.2.2 Biocides

Au niveau européen le formaldéhyde est autorisé comme biocide² pour les utilisations suivantes :

- « Désinfectants et produits algicides non destinés à l'application directe sur des êtres humains ou des animaux » (TP2)
- « Hygiène vétérinaire » (TP3)
- « Fluides utilisés pour l'embaumement et la taxidermie » (TP22)³ (ECHA).

Néanmoins, l'utilisation du formaldéhyde en tant que biocide est actuellement cours de réévaluation au niveau européen.

² « Le « produit biocide » est défini comme toute substance ou tout mélange, sous la forme dans laquelle il est livré à l'utilisateur, constitué d'une ou plusieurs substances actives, en contenant ou en générant destiné à détruire, repousser ou rendre inoffensifs les organismes nuisibles, à en prévenir l'action ou à les combattre de toute autre manière, par une action autre qu'une simple action physique ou mécanique » (Anses, 2020).

³ Le formaldéhyde en tant que TP 22 (type de produits biocides concernant les fluides utilisés dans la taxidermie et la thanatopraxie) est en cours d'évaluation par l'Allemagne. Les conclusions de cette évaluation pourront être mises à disposition au plus tard le 31/12/2022 (Anses, 2020).

2.3.2.3 Cosmétiques

Le formaldéhyde fait partie des substances interdites dans les produits cosmétiques commercialisés pour un usage en Union Européenne (Règlementation 1223/2009/EC sur les Produits Cosmétiques, amendé par la réglementation 2019/1966/EU datant de novembre 2019) (ECHA).

2.3.2.4 Textiles

Comme mentionné ci avant dans cette fiche, le formaldéhyde est inclus dans l'appendice 12 de l'annexe XVII de Reach (Restrictions applicables à la fabrication, à la mise sur le marché et à l'utilisation de certaines substances dangereuses et de certains mélanges et articles dangereux). Cette restriction interdit la mise sur le marché de vêtements contenant du formaldéhyde à plus 75 mg/kg à partir du 1^{er} novembre 2020 sauf pour certains articles comme les vestes manteaux ou tissus d'ameublement, les vêtements entièrement en cuir naturel, dans les vêtements ou chaussures de seconde main, les textiles jetables (utilisation unique), les tapis et revêtements de sol textile (ECHA, 2020).

2.3.2.5 Panneaux de bois

Le Règlement Produits de Construction (RPC) (No 305/2011 abrogeant la Directive des Produits de Construction (n° 89/106/CEE) impose des normes européennes avant la mise sur le marché de produits utilisés dans la construction. En 2004 les normes d'émissions (EN 13986 et en France NF EN 717) définissent les classes E1 et E2 en fonction des émissions de formaldéhyde des panneaux de bois agglomérés (panneaux de fibres) non revêtus contenant des résines à base de formaldéhyde. La classe E1 est définie par des rejets dans l'air inférieurs à 0.124 mg par m³ d'air (émissions estimées dans une chambre test en suivant les conditions prescrites dans les standards européens EN 717-1). La classe E2 quant à elle est définie par des rejets supérieurs à 0.124 mg par m³ d'air.

Concernant la qualité des panneaux contreplaqués, en termes d'émission en formaldéhyde, celle-ci est définie par la norme européenne NF EN 1084. Les classes de dégagement de formaldéhyde sont définies comme suit : Classe A $\leq 3,5$ mg/m²/h, Classe B ≤ 8 mg/m²/h, Classe C > 8 mg/m²/h. Les panneaux de bois à base de résines phénoplastes appartiennent généralement à la classe A (ATMO ALSACE, 2007).

2.3.2.6 Agro-alimentaire

« L'arrêté du 19 octobre 2006 (modifié par arrêté du 22 avril 2020) autorise l'utilisation de formaldéhyde, en tant qu'auxiliaire technologique dans le procédé d'extraction du sucre de betterave, sous la forme d'une solution aqueuse de formaldéhyde à 30 % dans les conditions d'emploi de 120 g par tonne de betteraves » (Anses, 2020).

Le formaldéhyde est autorisé par le règlement (CE) n° 68/2013 pour le tannage des protéines dans les tourteaux. La teneur en aldéhyde libre est fixée à 0,12%.

L'utilisation en tant que conservateur d'ensilages, pour le lait écrémé destiné aux porcs de moins de 6 mois ainsi qu'en tant qu'agent anti-salmonelle, n'est plus autorisé en France en alimentation animale depuis le 1 juillet 2015 conformément à la décision de la Commission n°2013/204/UE.

2.4 Valeurs et normes appliquées en France

2.4.1 Seuils de rejets pour les installations classées et les stations de traitement des eaux usées

L'Arrêté du 31/01/08 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions et des transferts de polluants et des déchets modifié par l'arrêté du 11 décembre 2014 indique que les seuils de déclaration pour le formaldéhyde sont de :

- 1000 kg.an⁻¹ dans l'air,
- 300 kg.an⁻¹ dans l'eau.

Le formaldéhyde n'est pas visé par l'AM du 2/02/98 modifié fixant des VLE pour les rejets dans l'eau.

2.4.2 Normes de qualité environnementale (NQE) et valeur guide environnementale (VGE)

Actuellement il n'existe pas de normes de qualité environnementale (NQE) réglementaire associées au formaldéhyde au niveau communautaire et au niveau national.

L'Ineris a établi une valeur guide environnementale (VGE) dans l'eau pour le formaldéhyde ((Ineris 2011)).

$$VGE = 10 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$$

2.4.3 Valeurs appliquées en milieu professionnel

Le décret n° 2020-1546 du 9 décembre 2020 fixe les valeurs limites d'exposition professionnelles qui entrent en vigueur le 1^{er} février 2021 :

VLEP 8H = 0,37 mg.m⁻³ (0,3 ppm)

VLCT (15 min) = 0,74 mg.m⁻³ (0,6 ppm)

Ces VLEP sont assorties de l'observation "sensibilisation cutanée". Pour les secteurs des soins de santé, des pompes funèbres et de l'embaumement, la valeur limite est de 0,62 mg.m⁻³ (0,5 ppm) jusqu'au 11 juillet 2024.

2.4.4 Valeurs appliquées pour la qualité des eaux de consommation

L'arrêté du 11 janvier 2007 relatif aux limites et références de qualité des eaux brutes et des eaux destinées à la consommation humaine mentionnées aux articles R. 1321-2, R. 1321-3, R. 1321-7 et R. 1321-38 du code de la santé publique ne fixe pas de teneur maximale (annexe I), de valeur limite de qualité (annexe II), ni de valeur guide ou impérative (annexe III) pour le formaldéhyde.

Le formaldéhyde ne figure pas dans la directive européenne sur l'eau potable mise en vigueur à partir du 12 janvier 2021 (directive (UE) 2020/2184 du 16 décembre 2020, refonte de la directive 98/83/CE)

2.4.5 Valeurs appliquées dans l'air

2.4.5.1 Air ambiant

Le formaldéhyde est un précurseur d'ozone et il est cité à l'annexe 1 « liste des polluants réglementés » de l'arrêté du 19/04/17 relatif au dispositif de surveillance de la qualité de l'air. Le formaldéhyde fait partie du programme de mesure concerté de surveillance continue et d'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe (EMEP), dont la composante française est l'observatoire « MERA ».

2.4.5.2 Air intérieur

La loi du 1^{er} août 2008 portant engagement national pour l'environnement a rendu obligatoire la surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant un public sensible (articles L. 221-8 et R. 221-30 et suivants du code de l'environnement) et oblige à définir des "valeurs guides". Les établissements concernés sont notamment ceux accueillant des enfants :

- les établissements d'accueil collectif d'enfants de moins de 6 ans (crèches, haltes-garderies...);
- les centres de loisirs ;
- les établissements d'enseignement ou de formation professionnelle du premier et du second degrés (écoles maternelles, élémentaires, collèges, lycées...)

Le décret n2011-1727 du 2 décembre 2011 relatif aux valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène, fixe pour le formaldéhyde une valeur-guide pour l'air intérieur pour une exposition de longue durée à 30 µg/m³ au 1^{er} janvier 2015 et à 10 µg/m³ au 1^{er} janvier 2023.

Ces « valeurs-guides » ont été déterminés sur la base des expertises de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) et du Haut Conseil de la Santé publique (HCSP).

Le décret n° 2015-1926 du 30 décembre 2015 relatif à l'évaluation des moyens d'aération et à la mesure des polluants effectuées au titre de la surveillance de la qualité de l'air intérieur de certains établissements recevant du public fixe pour le formaldéhyde une concentration > 100 µg.m⁻³, valeur

pour laquelle des investigations complémentaires doivent être menées et pour laquelle le préfet du lieu d'implantation de l'établissement doit être informé.

En 2018, l'Anses a proposé des valeurs guides de la qualité de l'air intérieur (VGAI) non réglementaire pour le formaldéhyde ((Anses 2018)):

- VGAI court terme : 100 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$
- VGAI long terme : 10 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

Le Haut Conseil de Santé Publique (HCSP) a mis en jour en 2019 ses recommandations en termes de « valeurs repères d'aide à la gestion » pour le formaldéhyde ((HCSP 2019)).

Le HCSP recommande de retenir deux valeurs repères d'aide à la gestion pour prévenir des effets liés à une exposition au formaldéhyde :

- une valeur repère de qualité d'air intérieur (VRAI) fixée à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mesures réalisées sur une à quatre heures successives, tout au long de la journée, en période d'occupation).
- une valeur de gestion provisoire fixée à 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (mesures sur une période de 4,5 à 7 jours).

2.5 Autres textes

2.5.1 Eaux de rejet

Le formaldéhyde n'est pas concerné par l'action nationale de recherche et de réduction des rejets de substances dangereuses dans les eaux (RSDE), qui a pour objectif l'amélioration de l'état des milieux aquatiques, via la réduction progressive des émissions, rejets et pertes de substances dangereuses.

2.5.2 Eaux souterraines

Le formaldéhyde fait partie de l'annexe I (listes des substances dangereuse) de l'arrêté du 17 juillet 2009 relatif aux mesures de prévention ou de limitation des introductions de polluants dans les eaux souterraines.

2.5.3 Eaux de surface

Les annexes II et III de l'arrêté du 25 janvier 2010 établissant le programme de surveillance de l'état des eaux en application de l'article R. 212-22 du code de l'environnement, ne définissent pas le formaldéhyde ni comme une substance pertinente à surveiller ni comme polluant spécifique de l'état écologique.

2.5.4 Produits phytosanitaires dans l'alimentation

Il n'existe pas de Limite Maximale de Résidus concernant le formaldéhyde dans les aliments au niveau de l'Union Européenne (Union Européenne, 2011). Néanmoins il existe une limite à la présence de formaldéhyde pour certains types de tourteaux destinés à la consommation animale.

Comme précédemment expliqué dans cette fiche, le formaldéhyde n'est plus autorisé comme pesticide. Il est en revanche toujours utilisé en agriculture dans certains engrais.



2.5.5 Contact alimentaire

Selon le règlement (UE) N°10/2011 concernant les matériaux et objets en matière plastique destinés à entrer en contact avec des denrées alimentaires, le formaldéhyde peut être utilisé comme additif ou auxiliaire de production de polymères et comme monomère ou autre substance de départ ou macromolécule obtenue par fermentation microbienne.

2.6 Classification et étiquetage

Le formaldéhyde a une classification et un étiquetage harmonisé au regard du règlement 1272/2008 dit règlement CLP :

Tableau 2. Classification CLP harmonisée du formaldéhyde selon l'Echa (ECHA) consulté en 2020)

Classification		Étiquetage	
Classes et catégories de dangers	Codes des mentions de danger	Code des pictogrammes mention d'avertissement	Code des mentions des dangers
Acute Tox. 3 *	H301	GHS02	H301
Skin Corr. 1B	H311	GHS08	H311
Skin Sens. 1	H314	GHS05	H314
Flam. Liq. 3	H317	GHS06	H317
Muta. 2	H331	Dgr	H331
Carc. 1B	H341		H341
	H350		H350

Le Tableau 3 ci-après détaille les codes de danger associé au formaldéhyde.

Tableau 3. Mentions de danger du formaldéhyde, d'après le règlement CLP.

Classification Étiquetage	
Liste des classifications et des étiquetages harmonisés des substances dangereuses ; annexe VI, tableau 3.1 du règlement CLP	
H301	Toxique en cas d'ingestion
H311	Toxique par contact cutané
H314	Provoque des brûlures de la peau et des lésions oculaires graves
H317	Peut provoquer une allergie cutanée
H331	Toxique par inhalation
H341	Susceptible d'induire des anomalies génétiques
H350	Peut provoquer le cancer (indiquer la voie d'exposition s'il est formellement prouvé qu'aucune autre voie d'exposition ne conduit au même danger) – Classe 1B

2.7 Sources naturelles de formaldéhyde

Divers phénomènes naturels peuvent induire la présence de formaldéhyde dans l'atmosphère : la combustion de matières organiques, l'oxydation dans l'air de composés organiques volatils (COV) ou la décomposition de résidus de végétaux ou de déchets d'animaux (Anses 2009, Salthammer 2010).

La combustion de biomasse lors de feux de forêt ou de broussailles peut générer des émissions de formaldéhyde dans l'atmosphère avec des niveaux d'émission variant en fonction de l'activité du feu et de l'essence de bois.

A titre d'exemple, Hedberg et al. et Schauer et al. ont étudié la combustion de diverses essences de bois et rapportent des facteurs d'émissions de formaldéhyde du bouleau, du chêne, du pin et de l'eucalyptus respectivement de 180-710 mg/kg, 759 mg/kg, 1165 mg/kg et 599 mg/kg (Hedberg 2002 ;

Schauer 2001). De même, Lutes et al., Hays et al. et Andreae et al. ont évalué les facteurs d'émission du formaldéhyde lors du brûlage à l'air libre de déchets verts, de pâturage et de forêt respectivement à 453, 193 et 1210 mg/kg sur brut (Ineris 2012).

Le formaldéhyde peut être formé dans l'atmosphère par oxydation de COV d'origine naturelle : par oxydation photochimique de terpènes, du méthane, de l'isoprène ; par ozonolyse de la carvone, du carvéol, du géraniol et du citral.

En tant qu'intermédiaire métabolique, le formaldéhyde est présent à de faibles niveaux dans la plupart des organismes vivants. A titre d'exemple le niveau de concentration du formaldéhyde peut atteindre 200 mg/kg chez certaines espèces de poissons (EFSA 2014).

Le formaldéhyde est également produit par la décomposition végétale ou de déchets d'animaux. Plusieurs études ont mis en évidence la présence de formaldéhyde dans des milieux forestiers : à l'intérieur et au-dessus d'une forêt de conifères en Allemagne, dans un site forestier isolé en Amazonie centrale (Concentration_{Formaldéhyde} de l'ordre de plusieurs ppb), dans des forêts des Alpes autrichiennes ($0,24 \text{ ppb} < \text{Concentration}_{\text{Formaldéhyde}} < 0,52 \text{ ppb}$).

2.8 Sources non-intentionnelles de formaldéhyde

Les combustions d'origine anthropique, la décomposition de résines, les formations secondaires à partir de substances d'origine anthropique peuvent mener à la formation puis à la présence de formaldéhyde dans l'atmosphère. Lors de conditions météorologiques pluvieuses, le formaldéhyde peut être « lessivé » et gagner les eaux de surface ou les sols.

- La décomposition des résines et colles urée-formaldéhyde et phénol-formaldéhyde employées principalement pour fabriquer des panneaux de bois aggloméré, des produits isolants thermiques (laines minérales), des revêtements (peintures...) et de façon moindre dans les industries papetière⁴ et textile⁵ (cf. paragraphe 3.2) peut émettre du formaldéhyde dans l'air (Atmo Alsace 2007).
- La combustion incomplète des carburants ainsi que toutes les formes de combustion qu'elles aient pour origine les incinérateurs de déchets, les centrales thermiques, le chauffage des bâtiments, la cuisson des aliments, l'utilisation d'encens ou de bougies (Ineris 2017), le tabagisme représentent des sources non-intentionnelles de formaldéhyde dans l'atmosphère.
- La présence de formaldéhyde dans l'air peut provenir de réactions chimiques secondaires telles que la réaction d'oxydation des terpènes (substances présentes notamment dans les produits d'entretien et les désodorisants non-combustibles) avec l'ozone. Selon une étude de l'Ineris, les facteurs d'émission massique du formaldéhyde de divers détergents⁶ sont compris entre 0 et 220 µg/g/h durant les trente premières minutes (Ineris 2013). Une étude menée par l'Ineris sur l'utilisation de désodorisants non-combustibles a permis d'identifier le formaldéhyde parmi les substances contribuant le plus aux risques (Ineris 2020).

⁴ les résines sont utilisées afin d'augmenter la résistance du papier à l'humidité ou pour la plastification et l'imprégnation du papier « voir détails section suivante 3.2 ? »

⁵ les résines aminoplastes (urée-formaldéhyde et mélamine-formaldéhyde) et phénoplastes (phénol-formaldéhyde) à base de formaldéhyde utilisées dans l'industrie de la finition textile (impression, traitement anti-froissage, ignifugation...) « voir détails section suivante 3.2 ? »

⁶ Produits vaisselle, nettoyeurs WC, nettoyeurs vitres, dépoussiérants, nettoyeurs multi-usages... « voir détails section suivante 3.2 ? »

3 Production et utilisations

3.1 Production et vente

3.1.1 Données économiques

Le formaldéhyde a été produit pour la première fois en Allemagne à la fin du XIX^{ème} siècle. Sa production industrielle a débuté après la première guerre mondiale (ICIS). Durant la fin du XX^{ème} siècle, comme le montre le tableau 4, sa production a été en constante augmentation jusqu'à aujourd'hui. Sa production entre 1983 et 1999 en Europe de l'Ouest et aux Etats Unis (IARC, 2006) selon IARC aurait augmenté de 180%. Au vu des données consultées dans la littérature il semblerait également que les quantités produites aient augmenté au début du XXI^{ème} siècle avec le développement des capacités de production en Asie.

Tableau 4 : Production de formaldéhyde pur par région en millions de tonnes

Année	1985	1990	1994	1999	2010	2015	2019
Asie				1– 1,5 (OCDE, 2002)	5 (ECHA, 2019)		
Amérique du Nord	1,1 (IARC, 2006)	1,4 (IARC, 2006)		1– 1,5 (OCDE, 2002)			
Europe	1,4 ⁷ (IARC, 2006)	1,8 (IARC, 2006)		2 – 2,5 (OCDE, 2002)	2,5 (ECHA, 2019)	2,8 (l'élémentariu m, 2015)	3.2 (ECHA, 2019) ⁸
Monde			12 (WHO, 2002)	5 – 6 ou 7,7 (IARC, 2006)	10,7 (ECHA, 2019)	16 (l'élémentariu m, 2015)	41 (mcgroup, 2014)

En 2008, 48% du formaldéhyde était produit en Asie, 23% en Europe et 17% en Amérique du Nord (Hunt, et al., 2018). En Asie, la Chine est le principal producteur de formaldéhyde, avec en 2007 34% de la production mondiale. Le développement de ses capacités de production s'est déroulé entre 1990 et 2005, avec une multiplication de sa production par 16 (Tang, et al., 2009).

En Europe, le formaldéhyde est majoritairement commercialisé sous la forme de solution aqueuse, formaline ou formol. Les principales capacités de production de cette solution se trouvent en Allemagne avec une capacité de 2,2 millions de tonnes de formaline (formaldéhyde à 37%) en 2010. Les capacités de la France étaient de 0,5 millions de tonnes de formaline (formaldéhyde à 37%).

La répartition géographique de la consommation de formaldéhyde est proche de la répartition de sa production ; 47% est consommée en Asie, 29% en Europe et 14% en Amérique du Nord. Une des raisons expliquant cette similitude est que cette substance est peu stable, ce qui génère des coûts de transports élevés (IHS Markit, 2019).

En France les sources consultées montrent que la production a été en augmentation jusqu'à 2005 à minima. L'absence de données concernant la production actuelle ne nous permet pas de conclure sur la tendance de ces dernières années jusqu'à aujourd'hui. Néanmoins il semblerait que la consommation du formaldéhyde soit elle, en augmentation avec une très large utilisation de cette substance pour la production de résine utilisée dans le secteur du bois.

⁷ Europe de l'ouest

⁸ UE +28

Tableau 5 : Evolution de la production et de la consommation de formaldéhyde pur en France (en tonnes)

Année	1982	1986	1990	1995	2002	2005	2010	2015
Production	79 000 (WHO, 2002)	80 000 (WHO, 2002)	100 000 (WHO, 2002)	117 600	79 200	111 000 (Ineris, 2007)	44 000 (ECHA, 2019)	
Consommation						103 000 (Ineris, 2007)		185 000 (l'élémentarium, 2015)
Importations						25 000 (Ineris, 2007)		
Exportation						9 250 (Ineris, 2007)		

Selon l'OCDE le formaldéhyde a généré en 2011, 11 milliards de recettes au niveau mondial. La Chine représentait 50% de ce marché en 2011, l'Europe 23% et l'Amérique du Nord 17% (Hunt, et al., 2018). Au regard des données disponibles consultées et malgré la mise en place de mesures de restrictions de certains usages en Europe, il semblerait que le marché de cette substance sera en augmentation au cours des 10 prochaines années. Cette tendance s'explique par la demande croissante en produits à base de bois (panneaux de bois reconstitués) dans lesquels le formaldéhyde est utilisé pour la fabrication de résines utilisées comme liant (Transparency Market Research) (Acumen Research and Consulting).

3.1.2 Procédé de production

La majorité du formaldéhyde est utilisée pour la production de résines phénoliques, aminoplastes et acétals. Etant donné l'importante utilisation de formaldéhyde pour la production de résines, la production de formaldéhyde et la production des résines produites à partir de cette substance sont détaillées distinctement.

3.1.2.1 Production du formaldéhyde

Deux procédés sont utilisés pour la production de formaldéhyde :

- Par une réaction d'oxydation-déshydrogénation en utilisant de l'argent comme catalyseur. Durant cette réaction du méthanol est vaporisé avec de l'air chauffé à 650 °C, engendrant sa déshydrogénation et ainsi la formation de formaldéhyde. La chaleur de cette réaction endothermique est produite par la combustion de l'hydrogène produit par la réaction de déshydrogénation. (ICIS)
- En oxydant du méthanol (procédé Formox) avec comme catalyseurs le molybdène et fer oxydé. La réaction se fait autour de 350 °C et est fortement exothermique

Dans les deux processus, le formaldéhyde formé est isolé par absorption dans l'eau. L'augmentation de la concentration du formaldéhyde en solution (formaline) est possible par distillation (Braun, et al., 1989). Les rendements de ces deux procédés se situent autour de 90%. Bien que la seconde réaction se fasse à une température plus basse et avec des catalyseurs moins chers, il semblerait que ce soit la première qui soit la plus utilisée.

3.1.2.2 Production de résines à base de formaldéhyde

Résines phénoliques

Les résines phénoliques (ou résines phénoplastes (PF)) sont des résines synthétiques obtenues par polycondensation d'un phénol et d'un aldéhyde, généralement le formaldéhyde. Le phénol peut être substitué par d'autres substances et conduire à la formation d'autres résines : exemple crésol, résorcinol (voir ci-après). Lorsque la réaction se fait en présence d'un excès de phénol sur le formaldéhyde, et d'un catalyseur de type acide fort, on obtient des résines thermoplastiques (résines novolaques phénol-formol (PF)), alors qu'en présence d'un excès de formaldéhyde sur le phénol, et d'un catalyseur de type basique, on obtient des résines thermodurcissables appelées résols ou résitols (phénol-résorcinol-

formol (PRF), phénol-formol (PF)). Les novolaques peuvent également être transformés en matières thermodurcissables par l'ajout d'hexaméthylènetétramine. Les résines phénoliques sont particulièrement intéressantes pour leur très bonne résistance au feu et leur excellente tenue thermique (Ineris, 2013), (CHEVALIER, 1991). Les premières résines PF ont été synthétisées par Bayer en 1872. Leur commercialisation se fera un peu plus tard à la fin du XIXème siècle, une fois leur fabrication industrielle réalisable à un prix permettant de concurrencer les résines présentes sur le marché. La bakélite (nom commercial) est une des résines de type PF les plus connues.

Résines aminoplastes

Les résines aminoplastes sont des résines thermodurcissables. Ce sont des résines synthétiques produites par la réaction du formaldéhyde avec l'urée ou la mélamine : soit respectivement les résines mélamine-formol (MF), urée-formol (UF), ou encore mélamine-urée-formol (MUF) en cas d'utilisation d'un mélange urée/mélamine.

La production industrielle de résines UF est réalisée en deux phases : une étape alcaline de méthylation suivie d'une étape acide de condensation.

Résines acétals ou polyacétals

Ce sont des résines thermoplastiques. Les résines acétals sont généralement des polyoxyméthylènes (POM) obtenus par polymérisation du formaldéhyde ou des copolymères du formaldéhyde, avec l'oxyde d'éthylène. Ces acétals de polyvinylalcool et d'aldéhydes peuvent également utiliser l'aldéhyde acétique (éthanal) ou l'aldéhyde butyrique (butanal) (Ineris, 2013) et (AFFSET, 2009).

3.1.3 Noms commerciaux du formaldéhyde

Les noms commerciaux figurant dans le Tableau 6 sont issus de la page de l'Echa relative au formaldéhyde (ECHA). Par cohérence avec ces données européennes nous avons laissé les noms sont en anglais.

Tableau 6 : Synonymes et noms commerciaux extraits du site de l'Echa (ECHA)

Synonymes et noms commerciaux (ECHA)
0.02 NTU ProCal Standard
Apel d3 super transparent glue
CKA-121
CKA-1634
CKA-1636
CROPOL UF100F
CROPOL UF100H
FORMALDEHYD REIN 37%
FORMALDEHYD REIN 39%
Formaldehyde (8Cl, 9Cl)
Formaldehyde (8Cl, 9Cl)
Formaldehyde gas
Formaldehyde Solution 30 - 55%
Formaldehyde solution
Formalith
Formol
Formic
Aldehyde
Methyl aldehyde
Methylene oxide
Methanal
Oxomethane
Oxymethylene
Morbicid
Paraform

Synonymes et noms commerciaux (ECHA)
Methaldehyde
Formaldehyde (8CI, 9CI)
Formalith
Formic aldehyde
Oxomethane
Formaldehydlösung 30 - 55%
Formalin technical
Formalina techniczna 55%
KEC-2185CA75
KEC-2190
KEF-6154M85
KHI-900

3.2 Utilisations

3.2.1 Variétés d'utilisation

Le formaldéhyde est une des substances les plus utilisées par l'industrie chimique au monde, il s'agit de l'aldéhyde le plus commercialisé étant donné le large spectre des usages que la substance permet. Selon l'ECHA, aujourd'hui, 98% du formaldéhyde produit ou importé en Union Européenne est utilisé comme intermédiaire réaction pour la production de résines (majoritairement utilisées pour leurs propriétés liantes pour la fabrication de panneaux de bois) de thermoplastiques, de mousses de polyuréthane et d'autre substances chimiques (ECHA, 2019). Selon une enquête initiée en 2005 par la Direction Générale des entreprises auprès des industriels français, la production de résines constituerait 84% des usages du formol (Ineris, 2007).

En dehors de son emploi pour produire des résines ou d'autres substances, le formaldéhyde peut être utilisé en tant que tel ou comme adjuvant à un produit, et dans ce cas il remplit généralement une fonction de conservateur, ou de biocide notamment dans les secteurs de l'élevage, de la pisciculture, de la taxidermie et de la médecine. Cette substance est également utilisée dans la synthèse de nombreuses substances chimiques (sel tétrasodique d'EDTA, hexaméthylènetétramine, pyridine...).

En UE, parmi les résines produites à partir de formaldéhyde la majeure partie du formaldéhyde est utilisé pour la production de résines condensées (figure 1), c'est-à-dire les résines phénoliques (PF), les résines aminoplastes (MF, UF, MUF) et les résorcinols.

Dans les années 1990 l'utilisation de ces résines se concentrait majoritairement aux Etats Unis et en Europe. Aujourd'hui la Chine est le pays qui utilise le plus de résines à base de formaldéhyde (Tang, et al., 2009). Quelques soient les marchés, ces résines sont en premier lieu utilisées dans le cadre de la production de panneaux de bois.

Utilisations industrielles du formaldéhyde

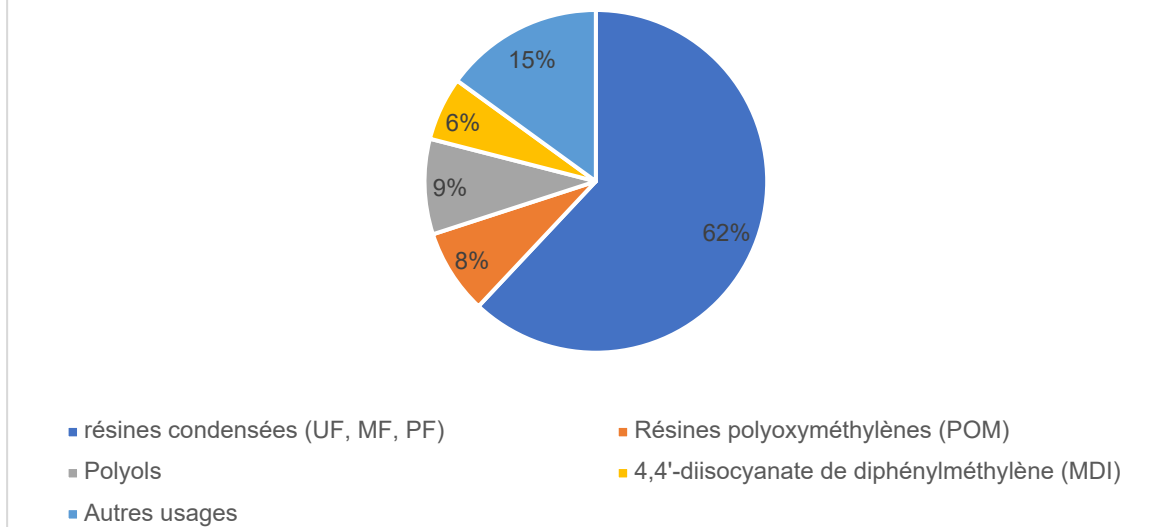


Figure 1 : Utilisations industrielles du formaldéhyde selon ECHA 2019 citant « Formacare » 2015 (ECHA, 2019)

Dans la figure 1, la catégorie « autres usages » correspond à l'utilisation de formaldéhyde comme intermédiaire de synthèse, bactéricide utilisé dans le secteur médical, agent de conservation utilisé en taxidermie, agent biocide et conservateur dans l'agroalimentaire, ingrédient pour la production d'engrais agricole.

3.2.2 Production de résines condensées

Comme expliqué ci-avant la production de résines constitue la première utilisation du formaldéhyde. Parmi les résines produites à base de formaldéhyde, les résines condensées sont les plus produites et parmi celles-ci les plus produites sont les résines UF puis les résines PF et MF (Ineris, 2007).

Les résines aminoplastes (UF, MF, MUF) sont utilisées à différentes concentrations, en solution ou en poudre, dans des secteurs variés. Avec des propriétés identiques aux résines phénoliques, leurs teintes très claires leur permettent de surcroît d'être faciles à colorer (Ineris, 2013) et (AFFSET, 2009). Les résines UF représentent 42% de la consommation de formaldéhyde en 2015 et sont utilisées (à 80%) comme adhésif (liant) dans l'industrie du bois notamment pour la production de panneaux contreplaqué à usage intérieur (dans des conditions sèches) (ECHA, 2019).

Ces résines sont utilisées comme agent liant dans de nombreux matériaux et produits, principalement les panneaux de particules, les matériaux isolants, les produits de revêtement (protection, vernis...), et des colles.

3.2.2.1 Production de produits à base de bois (panneaux de bois contreplaqué et aggloméré)

Dans le secteur du bois parmi les résines condensées ce sont les résines aminoplastes UF qui sont les plus utilisées en tant qu'adhésif (liant) pour la production de contreplaqué notamment.

Tableau 7 : Répartition des types de résines condensées utilisées comme adhésif dans le secteur du bois en 1999 en Europe de l'ouest (DUNKY, et al., no date)

Type de résines	%
UF (ktonnes)	80,8
MUF (ktonnes)	10,9
PF (ktonnes)	8,1
Phénol-résorcinol-formol (PRF) (ktonnes)	0,2

Dans les produits à base de bois les résines condensées sont présentes en tant que liant, et composants des colles. Leur fonction est aussi de libérer du formaldéhyde qui aura une action fongicide et bactéricide et donc de conservation pour le produit. Les produits-bois concernés sont les panneaux de contreplaqué / stratifié (collage du contreplaqué), les panneaux de fibres de bois, les panneaux de lamelles minces, longues et orientées (OSB), les panneaux de particules bruts ou revêtus de placage, les portes planes, les parquets contrecollés, les charpentes lamellées-collées. D'après www.egger.com citant une étude du Fraunhofer Institut WKI, 80 à 85% de panneaux bois seraient collés avec une résine au formol dans le monde. Les quantités de formol employées en France en 2006 dans ce domaine étaient de 190 000 t (AFFSET, 2009).

La distinction entre colles à base de résine, et résines n'est pas toujours faite par les professionnels, et les deux termes parfois utilisés indifféremment. Néanmoins dans ce rapport le terme résine sera utilisé pour les produits permettant la production de panneaux à bois et le terme colle sera utilisé pour les produits d'ameublement.

Les panneaux en contreplaqués sont plus ou moins résistants à l'humidité, en fonction de la résine utilisée pour lier les différentes feuilles de plaquage. Les panneaux utilisés en environnement sec intérieur sont liés avec de la résine urée-formaldéhyde (UF). Les panneaux destinés aux cuisines et salles de bains sont liés avec une résine mélamine-urée-formol (MUF), car ils doivent être résistants à l'humidité. Les panneaux fabriqués pour être totalement exposés aux intempéries et à l'eau bouillante sont assemblés avec un adhésif de couleur rouge foncé, la résorcine-formaldéhyde ou la phénol-résorcine formaldéhyde. Les contreplaqués de feuillus (bois dur) contiennent des résines à base d'urée-formaldéhyde (UF) alors que les contreplaqués de résineux contiennent des résines à base de phénol-formaldéhyde (PF), plus stables chimiquement que les résines UF et donc moins sensibles aux fluctuations de température et d'humidité. D'après l'UIPP, cette solution est la plus utilisée pour les contreplaqués (ATMO ALSACE, 2007).

D'après une enquête du Ministère de l'Industrie exploitée par l'Ineris en 2007, du formaldéhyde pur est également incorporé aux panneaux en contreplaqué (Ineris, 2007).

Les panneaux de particules agglomérées sont constitués de particules de bois (grands copeaux, particules, copeaux de rabotage, sciures) et/ou autre matériau lignocellulosique en forme de particules (amas de chanvre, amas de lin, fragments de bagasse). Ces copeaux de bois ou de résidus sont le plus fréquemment agglomérés à l'aide de résine d'urée-formaldéhyde, mais la résine mélamine-urée-formol (MUF) peut également être employée.

Les panneaux de particules orientées (OSB) sont liés avec des résines phénolformaldéhyde (PF), mélamine-urée-formol (MUF) et diisocyanate de diphenylméthane (pMDI), ou une combinaison de ces liants (ATMO ALSACE, 2007).

Les panneaux de fibres à moyenne densité (MDF), sont constitués de fibres lignocellulosiques liées à l'aide d'une résine à base de formaldéhyde (résine urée-formol ou UF). Cette résine représentant jusqu'à 9 % du poids de ces panneaux, ils dégagent plus de formaldéhyde que les panneaux de particules. Ils sont généralement reconnus comme étant les produits en bois pressé ayant l'émission de formaldéhyde la plus élevée (ATMO ALSACE, 2007). Cette information est confirmée par l'US EPA. (US EPA 2012)

Dans l'industrie de l'ameublement les colles sont utilisées pour les emplois suivants :

- Le collage de placage fin (feuille de bois noble) sur bois ou panneaux : des colles urée-formol⁹ (ou phénol-formol¹⁰) peuvent être utilisées pour le collage des chants
- L'habillage : colles à base de résines urée-formol, phénol-formol entre autres
- L'assemblage du meuble : les colles néoprènes¹¹ sont les plus utilisées

3.2.2.2 Production de revêtements de type peintures, vernis, encres, couleurs

Les revêtements de matériaux de construction et décoration utilisent des produits à base de formaldéhyde comme des peintures, des produits de protection du bois, et des vernis. Les matériaux

⁹ Également appelé colle aminoplaste

¹⁰ Également appelé colle phénoplaste

¹¹ Plus d'information partie « production de matériaux de construction dont colles »

de support concernés sont variés : ensemble des supports pour peinture, également certains plastiques, et le caoutchouc (pour certains vernis).

Vernis :

Selon le rapport de l'AFSSET (AFFSET, 2009), la majorité des vernis et laques pour meubles en bois sont sans formaldéhyde, et seule une famille d'aminoplastes, dite à catalyse acide, appelés parfois « vernis pré-catalysés » peuvent en émettre. Les vernis en phase aqueuse ou les poudres n'en contiennent pas. Les résines formoliques sont aussi employées dans des vernis pour l'émaillage des métaux.

On note également l'utilisation de vernis contenant du formaldéhyde pour isoler des câbles émaillés (Ineris, 2007).

Peintures :

Les peintures sont constituées d'un liant, de pigments, de solvants et d'additifs. Les liants utilisés peuvent contenir du formaldéhyde (résines urée-formol ou mélamineformol, phénol-formol), mais ce ne sont pas les liants les plus courants pour cette application (ATMO ALSACE, 2007). Les liants à base de formaldéhyde sont utilisés pour leurs propriétés d'adhérence sur supports difficiles (peintures pour métal, verre, faïences...), de résistances mécanique et chimique. Ils permettent de moduler la souplesse des revêtements (AFFSET, 2009). Sont également concernés par le formaldéhyde les additifs pour des peintures de revêtement de façades. Dans ce domaine, on dispose de données partielles concernant les volumes employés en France (AFFSET, 2009) :

- 4t/an pour les colorants et pigments
- 0,8 t/an pour les peintures et vernis (ce qui confirme une utilisation très restreinte mentionnée par les professionnels)

Les résines aminoplastes sont également utilisées dans la production d'encre.

3.2.2.3 Production de papier

Les résines phénoliques et les résines aminoplastes sont utilisées dans l'industrie papetière pour la production de papier spéciaux : papiers couchés¹², papiers résistants à l'humidité, papier kraft. Du formaldéhyde est également utilisé dans les serviettes en papier jetable pour leur apporter des propriétés de résistance à l'humidité notamment.

Environ 2000 tonnes de formaldéhyde seraient utilisées par an¹³ en France dans ce secteur pour la production des résines (Ineris, 2007).

3.2.2.4 Production de textile

Les résines UF sont utilisées dans l'industrie du textile¹⁴, ces résines conférant notamment des propriétés comme la stabilité, l'infroissabilité, l'apprêt, le durcissement et comme liant des impressions pigmentaires...

Des résines dites « Résorcine Formol Latex » sont utilisées pour des textiles destinés au renfort de caoutchoucs (Ineris, 2013).

3.2.2.5 Production du plastique

Les résines phénoliques et aminoplaste sont utilisées en tant que polymère dans la production de plastiques thermodurcissables. Les plastiques obtenus sont infusibles et insolubles. Ces plastiques résistent à la chaleur et sont donc utilisés pour produire des articles comme par exemple les poignées de casseroles, fer à lisser, composants électroniques, interrupteurs électriques...

¹² Le papier ou carton couché est un papier ou carton dont la surface est recouverte d'une ou plusieurs couches généralement constituées de produits minéraux en mélange avec des liants et des produits d'addition divers (source Wikipédia).

¹³ Valeur estimée en 2005

¹⁴ Environ 1300 tonnes sont utilisées annuellement en France pour cet usage selon (Ineris, 2007).

3.2.2.6 Production de matériaux de construction dont colles

Les *Résines phénoliques* sont utilisées comme liant dans des isolants en laine minérale (laine de verre et laine de roche), dans la composition de revêtements de matériaux de construction (peintures, vernis)

Les résines aminoplastes (MF et MUF) sont utilisées dans l'industrie du béton, ces résines servant à retarder ou accélérer la prise du béton. Environ 3400 tonnes seraient utilisées annuellement en France pour cet usage selon le ministère de l'industrie (Ineris, 2007).

Dans les produits divers pour le bâtiment ou le bricolage, sont concernés les colles néoprène, des colles à bois, des colles pour canalisations en plastique, des mastics, des produits d'étanchéité, et des enduits de ragréage. En dehors des applications pour les panneaux de bois, les colles formoliques sont globalement assez peu utilisées dans le bâtiment.

D'après (Techniques de l'Ingénieur, 2006) les colles basées sur les résines formoliques sont utilisées uniquement pour coller les couples de matériaux suivants :

- Bois/Bois,
- Bois/Plâtre,
- Bois/Ciment-Béton-Mortier-Brique,
- Bois/Mousses isolantes PU,
- Bois/Polystyrène expansé,
- Bois/Stratifiés,
- Mousses isolantes rigides PU/Mousses isolantes rigides PU,
- Mousses isolantes rigides PU/Polystyrène expansé
- Stratifiés/Mousses isolantes rigides PU
- Plastiques thermodurcissables/ Polystyrène expansé

Les colles néoprènes dites « de contact », sont composées généralement d'un élastomère synthétique type résine formo-phénolique (PF) dissous dans un solvant organique. La résine PF utilisée est une résine novolaque (produite par un excès de phénol sur le formaldéhyde) ou resole (produite par un excès de formaldéhyde sur le phénol). Ces colles sont utilisées dans le domaine de la décoration ou pour le bricolage, mais aussi pour les petites réparations avec différents matériaux (cuir, matériaux poreux, bois...).

Les colles en phase aqueuse (colles vinyliques, acryliques), qui sont par exemple utilisées pour coller des moquettes ou du parquet, peuvent contenir du formaldéhyde comme agent biocide.

3.2.2.7 Production de caoutchouc

Des résines phénoliques sont utilisées dans l'industrie du caoutchouc¹⁵ pour la production de pneumatiques et pièces techniques en caoutchouc (courroie, tuyaux, cylindres, bandes transporteuse...), la résine servant au collage ou au renforcement du caoutchouc.

Environ 1300 tonnes sont utilisées annuellement en France pour cet usage selon (Ineris, 2007).

3.2.2.8 Fonderie

Les résines phénoliques (PF), résines urée-formaldéhyde (UF), résorcinol- formaldéhyde (RF), mélamine formaldéhyde (MF) sont utilisées comme liants pour la fabrication de moules et de noyaux. s (AFFSET, 2009). Les quantités de formaldéhyde utilisées par ce secteur seraient négligeables en France selon (Ineris, 2007).

3.2.2.9 Production d'abrasifs

Les Résines phénoliques sont utilisées pour la production d'abrasifs appliqués pour les « meules minces » et « les meules abrasives » (Ineris, 2007).

¹⁵ Environ 1300 tonnes sont utilisées annuellement en France pour cet usage selon (Ineris, 2007).

3.2.2.10 Traitement de l'eau

Des résines cationiques utilisées pour le traitement de l'eau sont fabriquées à partir de résine mélanine-formaldéhyde (MF). En France 7000 tonnes de formaldéhyde auraient été utilisées en 2005 pour cet usage (Ineris, 2007).

3.2.3 Production de Polyols

Le formaldéhyde est utilisé pour la production des polyols¹⁶ suivants à minima ¹⁷:

- Le 1,4-Butanediol (BDO) produit à partir de la réaction de deux molécules de formaldéhyde et une molécule d'acétylène est utilisé comme intermédiaire de production des résines : tétrahydrofurane (THF) et polybutylène (PBT). La production de cette substance représente environ 4% de la consommation de formaldéhyde au niveau européen. Sa production est majoritairement située en Norvège. Les résines THF et PBT sont utilisées pour la production de fibres notamment dans l'industrie du textile, de l'automobile et de l'électronique. (ECHA, 2019) Le 1,4-butanediol peut aussi être utilisé comme solvant.
- Le pentaérythritol ; ce polyol est utilisé pour la production de résines thermodurcissables alkydes utilisées dans les peintures de voitures et pour la production d'esters de polyol utilisé dans les lubrifiants automobiles et aéronautiques. La production de pentaérythritol représente 3% de la consommation européenne de formaldéhyde. Cette substance est également utilisée pour la production de tétranitrate de pentaérythritol entrant dans la fabrication d'explosif (l'élémentarium, 2015).
- Le triméthylol propane (TMP) également précurseur des résines alkydes (voir tiret précédent) et utilisé dans des revêtements et peintures
- Le triméthyloléthane (TME) également utilisé pour la production de résines alkydes
- Le neopentylglycol (NPG) ; utilisé pour la synthèse de polyesters, de peintures, de lubrifiants et de plastifiants ainsi que dans les cosmétiques pour ses propriétés émoullientes.

3.2.4 Production de résines polyoxyméthylènes (POM)

Les résines acétals et notamment les polyoxyméthylènes (POM) sont utilisées pour la production de thermoplastiques. Cette matière détient la propriété de pouvoir se ramollir lorsqu'elle est chauffée mais de redurcir lorsqu'elle refroidit. Les thermoplastiques produits à partir de POM sont très solides, ont une forte résilience ainsi qu'une résistance à l'eau et aux produits chimiques et sont recyclables. On peut retrouver ces plastiques dans le domaine du transport (pièces de moteur de voiture), de la construction, de l'agriculture (machinerie, pompes...), dans des équipements domestiques (montres, mixeurs, appareils de cuisine...), dans des équipements sanitaires et médicaux ainsi que dans des bateaux et planches à voiles et équipement de ski (l'élémentarium, 2015) (Anses, 2016).

3.2.5 Production de 4,4'-diisocyanate de diphenylméthylène (MDI)

Le 4,4'-diisocyanate de diphenylméthylène (MDI) produit à partir de formaldéhyde est utilisé pour la production de mousses de polyuréthane utilisées pour l'isolation dans le secteur du bâtiment et de l'automobile et de certains appareils électroniques comme les réfrigérateurs, congélateurs et les appareils à air conditionné. Ces mousses sont également utilisées pour la confection de chaussures. La production de cette substance représente 6% de la consommation de formaldéhyde en Europe (Anses, 2016).

3.2.6 Intermédiaire dans la synthèse de produits chimiques

Le formaldéhyde est utilisé comme intermédiaire de synthèse pour les substances suivantes à minima (ECHA, 2019) (liste de substances présentées ci-après n'est pas exhaustive) :

- Urée formaldéhyde pour la production d'engrais à libération prolongée (d'azote), qui permet un contrôle de l'apport nutritif aux plantes et une diminution du lessivage d'éléments nutritif

¹⁶ Un polyol, ou polyalcool ou « glycol » est un composé organique caractérisé par un certain nombre de groupes (-OH)

¹⁷ Il se peut que d'autres polyols soient produits à partir de formaldéhyde, ceux présents dans cette liste sont ceux qui ont été le plus retrouvés dans la revue de littérature

- L'hexaméthylènetétramine (HMTA)¹⁸ obtenue par une réaction de condensation entre le formaldéhyde et l'ammoniac est notamment utilisée comme antibiotique pour les infections urinaires et en tant qu'additif alimentaire comme conservateur, sous le code E239 . Cette substance est aussi utilisée comme composant pour la production d'explosifs (C-4), dans des pastilles de combustible pour campeurs ou militaires (l'élémentarium, 2015)
- Le formaldéhyde est également utilisé comme intermédiaire de synthèse de composés organiques, notamment : comme le sel tétrasodique d'EDTA¹⁹ (Ineris, 2011)
- des pyridines ; précurseur pour la productions de nombreux produits comme des insecticides, des explosifs, des médicaments, des arômes alimentaires...
- Substances entrant dans la production de teintures, de parfums et vitamines...

3.2.7 Autres usages

3.2.7.1 Elevage

Le formaldéhyde est actuellement utilisé dans ce secteur quasi exclusivement pour le tannage des protéines des aliments pour ruminants, notamment des tourteaux d'oléagineux. Le tannage permet de limiter la dégradation microbienne ruminale des protéines végétales et de préserver leurs propriétés nutritives. « Le procédé consiste à faire réagir le formaldéhyde avec les protéines contenues dans un aliment pour que celles-ci ne soient pas dégradées par les micro-organismes du rumen en établissant une liaison stable au pH neutre du rumen mais soient dégradées au niveau intestinal. Le tannage permet d'accroître pour une même quantité d'aliment ingérée, la fraction de protéines effectivement disponible dans l'intestin dans le but d'augmenter les performances zootechniques de l'animal (production laitière, production de viande) ». (AFSSA, 2004) et (Anses, 2019)

Le formol est également utilisé dans l'élevage pour la désinfection des bâtiments, du matériel et des équipements de transports. La base de données Simmbad référence de nombreux produits utilisés pour l'hygiène vétérinaire.

3.2.7.2 Agroalimentaire

Selon l'Echa le formaldéhyde est utilisé dans le secteur de l'agroalimentaire comme conservateur (utilisé pour la production d'additif (voir ci avant 3.2.6)) et biocide (pour nettoyer certaines surfaces au contact avec des aliments, utilisé pour la production d'emballage).

Dans l'industrie sucrière il est utilisé comme bactéricide pour stabiliser les infestations microbiennes lors de la production de sucre de canne et betterave pour les étapes d'extraction et de stockage. Le formaldéhyde permet de préserver la qualité du produit et réduire les pertes de production. Selon une étude de l'INRS, 2600 tonnes auraient été utilisées pour cet usage en 2007 (Ineris, 2007). Selon le Syndicat National des Fabricants de Sucre la consommation annuelle de formaldéhyde s'élèverait à environ 80 tonnes/an par usine produisant du sucre à partir de betterave. Aucune estimation à ce jour n'a été réalisée au niveau national (Anses, 2020).

3.2.7.3 Traitement du cuir

Il existe des résines à base de formaldéhyde consommées par les tanneries, mégisseries, chamoiseries et pelleteries comme conservateur ainsi que pour la transformation du cuir et d'autres applications. Selon plusieurs sources, environ 15 tonnes étaient utilisées en France, pour ces usages (AFFSET, 2009).

3.2.7.4 Pisciculture

Le formol (formaldéhyde en solution aqueuse) est utilisé en pisciculture afin de lutter contre certaines parasitoses²⁰. L'utilisation du formol permet de maintenir la population parasitaire a un niveau d'équilibre favorable au développement des poissons.

L'utilisation du formol a diminué entre 1997 et 2007 passant de 77% à 55%. L'utilisation est plus importante en pisciculture marine qu'en eau douce. Selon une enquête menée par le ministère des

¹⁸ Ou méthénamine, ou hexamine ou urotropine

¹⁹ éthylènediaminetétraacétate de sodium

²⁰ Exemple : Ichthyobodo sp, responsable de la costiasse ou ichthyobodose

finances sur la période 2005 et 2015, 300 tonnes de formaldéhyde seraient utilisées dans ce secteur par an avec un formol contré en formaldéhyde à 23% (Anses, 2019).

3.2.7.5 Secteur médical

Dans le secteur médical le formaldéhyde est utilisé en tant que biocide pour désinfecter les salles d'opérations, les salles d'autopsies, les laboratoires de recherche, les instruments utilisés dans les cabinets dentaires... 1000 tonnes de formaldéhyde auraient été utilisées en 2005 en France pour la désinfection des milieux hospitaliers.

Du paraformaldéhyde (formaldéhyde dilué) peut être utilisé en chirurgie dentaire dans certains mastics.

Le formaldéhyde est également utilisé dans la confection de vaccins, comme agent de conservation²¹ (Ineris, 2007).

Le formaldéhyde est utilisé comme réactif dans les laboratoires de contrôle (contrôle des matières premières, contrôle microbiologique). Il est également utilisé pour fixer les échantillons en anatomie et cytologie médicale ; spécialité médicale qui a pour objectif d'établir le diagnostic de maladies ou d'y contribuer, par l'interprétation morphologique, macroscopique, microscopique ou moléculaire d'organes, de tissus ou de cellules analysés (cette spécialité contribue à la gestion de la totalité des diagnostics des tumeurs bénignes et malignes). Comme fixateur, le formaldéhyde possède les atouts suivants : il permet de durcir les tissus sans les rétracter, il n'hydrolyse pas les protéines comme par exemple les acides nucléiques (ADN, ARN), il peut fixer les lipides sans les solubiliser contrairement aux fixateurs alcooliques et enfin c'est un biocide qui permet une décontamination tissulaire pendant la phase de fixation (Anses, 2019).

Il est également utilisé pour la production de spécialités pharmaceutiques (VIDAL, 2013). Comme par exemple la production de gélules (capsules) de médicaments à dissolution lente, permettant une meilleure absorption de la substance active par l'organisme (ECHA, 2019). Il est également utilisé lors de la production d'antibiotiques.

Des solutions à base de formaldéhyde sont utilisées pour la conservation d'organes en recherche médicale.

3.2.7.6 Taxidermie

Des injections de solutions chimiques à base de formaldéhyde sont utilisées en taxidermie pour désinfecter et préserver la totalité ou certaines parties de cadavres d'animaux (Anses, 2020)..

3.2.7.7 Thanatopraxie

Des solutions à base de formaldéhyde sont également réalisées en thanatopraxie²² pour retarder le processus de décomposition naturelle du corps. En France en 2019, l'essentiel des fluides de conservation étaient à base de formaldéhyde. Selon un professionnel enquêté, les alternatives au formaldéhyde utilisées pour réaliser des soins mortuaires seraient plus compliquées à doser. Il est nécessaire d'adapter les techniques d'injection du produit (Anses, 2020).

3.2.7.8 Nucléaire

Le formaldéhyde peut être utilisé lors du traitement des déchets nucléaires. 2300 tonnes auraient été utilisées en 2005 (Ineris, 2007).

²¹ Vaccins à usage vétérinaire également

²² soins mortuaires

4 Rejets dans l'environnement

4.1 Émissions anthropiques totales

Le formaldéhyde ne fait pas partie des substances déclarées dans E-PRTR (European Pollutant Release and Transport Register, registre européen des rejets et transferts de polluants à partir de sites industriels), qui selon le Règlement 166/2006/CE, impose aux exploitants de sites industriels visés par ce règlement de déclarer leurs rejets, en fonction de seuils prédéfinis. Les émissions de formaldéhyde dans l'eau, le sol et l'air ne sont donc pas répertoriées au niveau européen.

En France, le formaldéhyde fait partie des substances dont les rejets dans l'air et l'eau doivent être déclarés lorsqu'ils dépassent un certain seuil²³ (cf. paragraphe 2.4.1 Seuils de rejets pour les installations classées et les stations de traitement des eaux usées). Cette déclaration annuelle se fait sur le Registre des Emissions Polluantes, via le logiciel de saisie GEREP (Gestion électronique du registre des émissions polluantes) et est gérée dans la base de données nationale du registre des émissions polluantes (BDREP, IREP²⁴). La Figure 2 et le Tableau 8 ci-dessous compilent les données d'émission industrielles du formaldéhyde vers les compartiments « Eau » et « Air » entre 2008 et 2018, notons que cette compilation n'est pas exhaustive car les données BDREP correspondent à des déclarations qui ne concernent que les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) soumises aux régimes d'autorisation et d'enregistrement, ainsi que les stations de traitement des eaux usées (STEU).

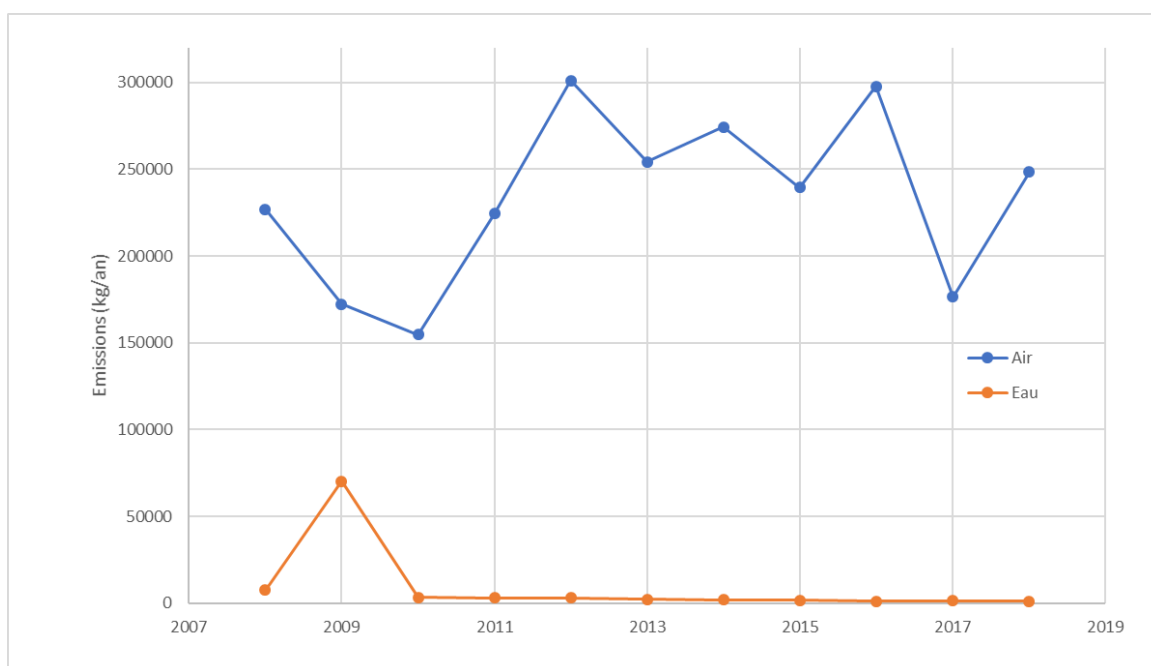


Figure 2. Evolution des émissions industrielles de formaldéhyde entre 2008 et 2018 (Source : BDREP)

²³ Arrêté du 31/01/08 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions et des transferts de polluants et des déchets modifié par l'arrêté du 11 décembre 2014

²⁴ <https://www.georisques.gouv.fr/risques/registre-des-emissions-polluantes>

Tableau 8. Emissions industrielles totales de formaldéhyde entre 2008 et 2018 (Source : BDREP)

		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	Total
Air	Kg/an	226889	172233	154850	224415	301062	254314	274196	239427	297744	176553	248498	2570181
	% Total	97	71	98	99	99	99	99	99	100	99	100	96
Eau (Total)	Kg/an	7581	70230	3451	3166	3170	2256	2125	1692	1091	1359	1220	97339
	% Total	3	29	2	1	1	1	1	1	0	1	0	4
Total général	Kg/an	234470	242462	158301	227581	304232	256570	276322	241119	298835	177912	249718	2667520

Les émissions atmosphériques de formaldéhyde déclarées entre 2008 et 2018 représentent la quasi-totalité des émissions industrielles totales de cette substance et sont relativement stables au cours de cette période.

Les émissions industrielles de formaldéhyde vers les eaux ont diminué de façon constante entre 2008 et 2018, hormis un pic en 2009 correspondant aux émissions d'un site de collecte et traitement des eaux usées (cf. paragraphe 4.3).

4.2 Émissions atmosphériques

Les flux de formaldéhyde émis dans l'atmosphère et déclarés entre 2008 et 2018 via le logiciel GEREP ainsi que le nombre de déclarants sont présentés dans le Tableau 9 et la Figure 3 ci-dessous.

Tableau 9. Emissions atmosphériques de formaldéhyde entre 2008 et 2018 (Source : BDREP)

Année	Emissions atmosphériques (Kg/an)	Nombre de déclarants	Nombre de déclarants avec Emissions > Seuil ²⁵	Emissions atmosphériques moyennes par déclarant (Kg/an)	Emissions atmosphériques maximales par déclarant (Kg/an)
2008	226889	68	14	3337	48652
2009	172233	77	12	2237	40569
2010	154850	77	14	2011	40265
2011	224415	88	17	2550	70077
2012	301062	80	17	3763	84991
2013	254314	82	21	3101	69138
2014	274196	85	18	3226	63614
2015	239427	93	20	2574	68234
2016	297744	98	20	3038	104370
2017	176553	93	21	1898	26128
2018	248498	98	27	2536	66812

²⁵ Seuil₂₀₀₈₋₂₀₁₄ = 1500 kg/an / Seuil₂₀₁₅₋₂₀₁₈ = 1000 kg/an

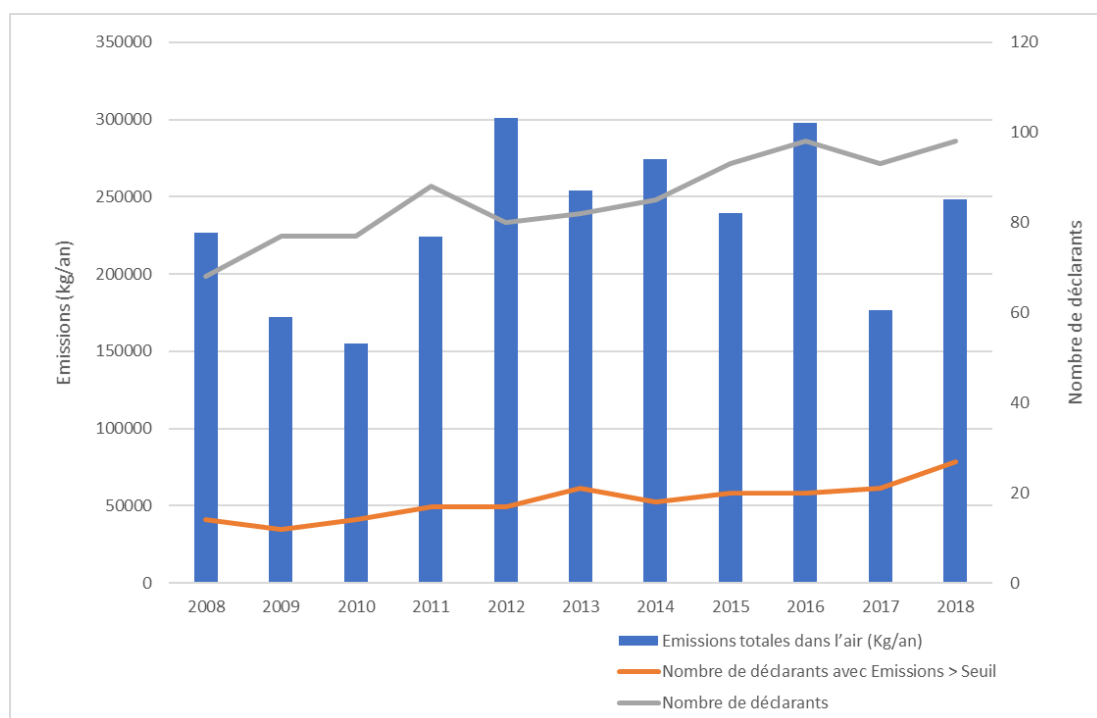


Figure 3. Evolution des émissions atmosphériques de formaldéhyde entre 2008 et 2018 (Source : BDREP)

Les flux de formaldéhyde émis dans l'atmosphère entre 2008 et 2018 sont relativement stables (compris entre approximativement 150 000 et 300 000 kg/an).

Le nombre de déclarations (compris entre 68 et 98) et le nombre de déclarations avec un niveau de rejet supérieur au seuil (compris entre 12 et 27) évoluent de façon similaire : ils augmentent régulièrement depuis 2008.

Le Tableau 10, ci-après, compile les dix secteurs d'activité les plus émetteurs de formaldéhyde dans l'atmosphère en 2018 selon les données issues de la base de données BDREP, ces données sont aussi illustrées par la Figure 4 ci-dessous. Notons que ces secteurs d'activité sont dans l'ensemble cohérents vis à vis des secteurs d'utilisation du formaldéhyde identifiés précédemment (cf. paragraphe 3.2).

Tableau 10. Dix secteurs d'activité les plus émetteurs de formaldéhyde dans l'atmosphère en 2018 (Source : BDREP)

Secteurs d'activité	Emissions atmosphériques	
	(Kg/an)	(%)
Fabrication de placage et de panneaux de bois - 16.21Z	183916	74
Traitement et élimination des déchets non dangereux - 38.21Z	25350	10
Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base - 20.14Z	10422	4,2
Fabrication d'autres produits chimiques n.c.a. - 20.59Z	6836	2,8
Fabrication d'autres produits minéraux non métalliques n.c.a. - 23.99Z	5891	2,4
Raffinage du pétrole - 19.20Z	4580	1,8
Fabrication de fibres de verre - 23.14Z	2576	1,0
Fabrication de cacao, chocolat et de produits de confiserie - 10.82Z	1756	0,7
Fabrication de papier et de carton - 17.12Z	1534	0,6
Fabrication de pesticides et d'autres produits agrochimiques - 20.20Z	1469	0,6

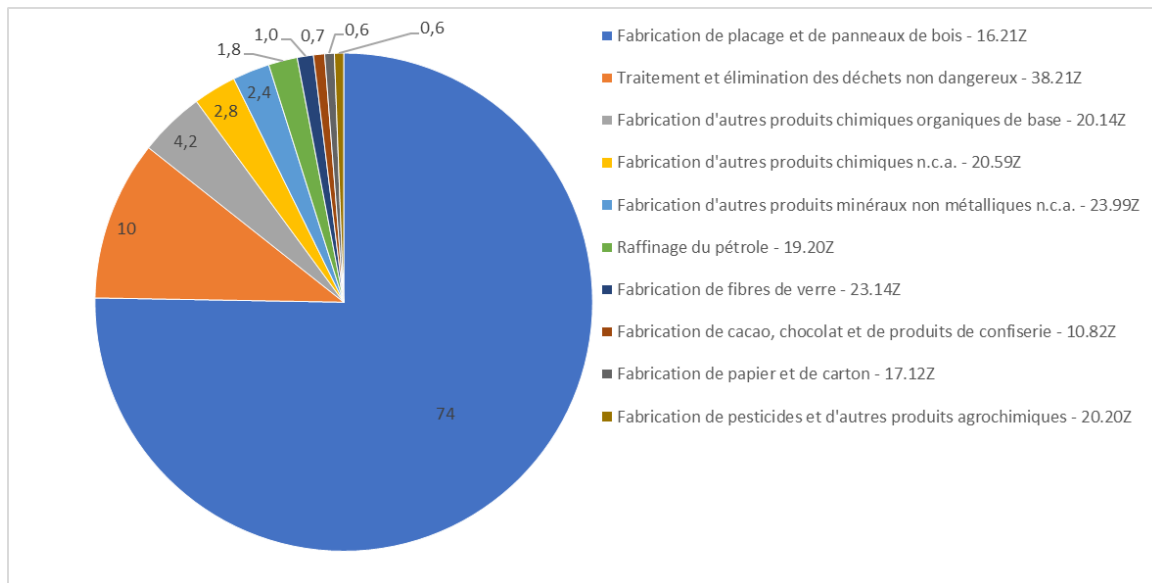


Figure 4. Répartition sectorielle des émissions atmosphériques de formaldéhyde en 2018 (Source : BDREP)

Avec une part de 74%, la fabrication de placage et de panneaux de bois représentait en 2018 près des $\frac{3}{4}$ des émissions atmosphériques de formaldéhyde.

La Figure 5, ci-après, illustre la répartition géographique des émissions de formaldéhyde déclarées en 2016 et consignées dans la base nationale BDREP.

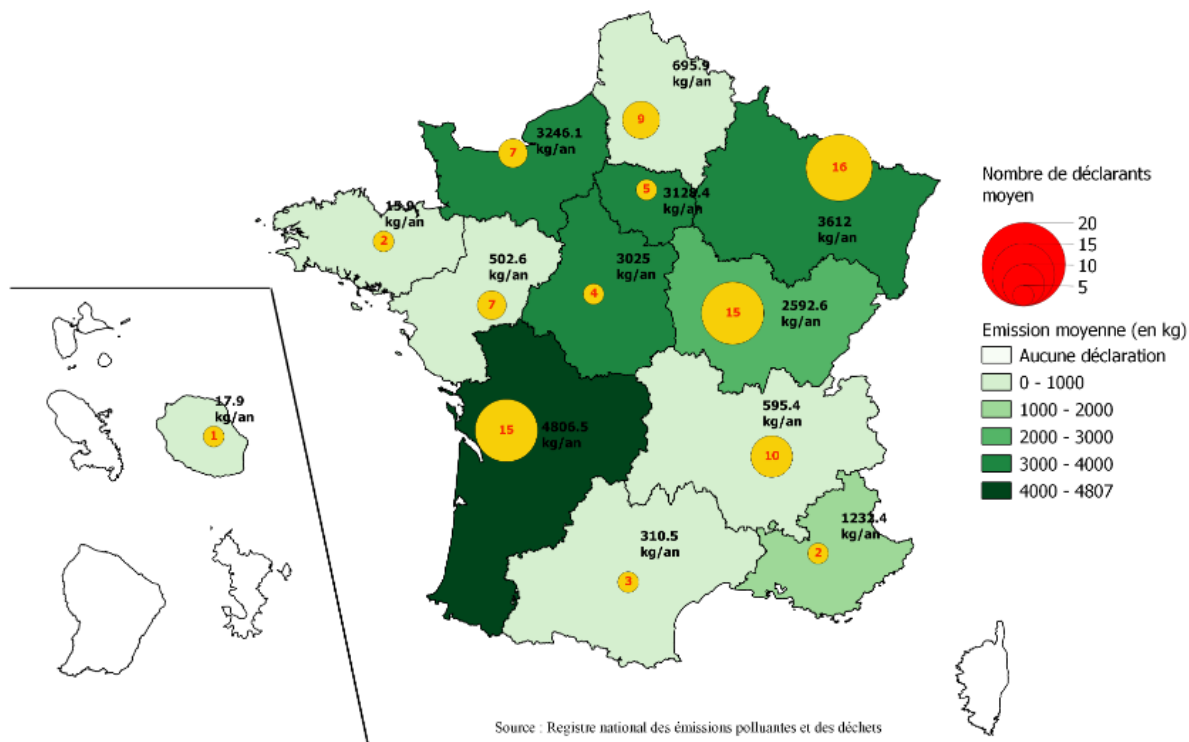


Figure 5. Répartition géographique des émissions moyennes de formaldéhyde déclarées dans l'air en France entre 2016 et 2018

Selon les flux d'émission disponibles sur la base de données BDREP, huit établissements concentraient en 2018 les $\frac{3}{4}$ des émissions de formaldéhyde dans l'atmosphère. Parmi ces huit établissements, sept ont une activité de fabrication de placage et de panneaux de bois et un établissement correspond à une usine de méthanisation. Le site le plus émetteur est un site de production de panneaux mélaminés et

de particules bruts, il représente un peu plus du quart des émissions atmosphériques de formaldéhyde en 2018 (27%).

L'Inventaire National Spatialisé des émissions de polluants dans l'air (INS) concerne les émissions d'une quarantaine de polluants émis par toutes les sources recensées (activités anthropiques ou émissions naturelles).

D'après l'INS, les 5 principales sources d'émissions atmosphériques de formaldéhyde en 2007 étaient classées comme suit (Ineris 2020) :

- Combustion hors industrie : Résidentiel (chaudières, cheminées...) avec 2255 tonnes
- Autres sources mobiles et machines : Engins spéciaux - Agriculture avec 1174 tonnes
- Combustion dans l'industrie manufacturière : Chaudières, turbine à gaz, moteurs fixes avec 450 tonnes
- Autres sources mobiles et machines : Engins spéciaux – Industrie avec 372 tonnes
- Combustion hors industrie : Commercial et institutionnel avec 300 tonnes

Notons que les émissions atmosphériques de formaldéhyde liées au transport routier, à l'agriculture, à la sylviculture, aux émissions naturelles (forêts, animaux, volcans...) et à l'extraction et la distribution de combustibles fossiles/énergie géothermique n'ont pas été recensées en 2007.

D'après l'INS, les émissions atmosphériques de formaldéhyde liées uniquement aux procédés de production industrielle (donc hors combustion) s'élevaient en 2007 à 241 tonnes, il apparaît donc que cette source d'émission ne représente qu'une minorité des quantités de formaldéhyde émises dans l'atmosphère.

4.3 Émissions vers les eaux

La base de données BDREP compte deux types d'émissions vers les eaux : les émissions directes et les émissions indirectes. Un rejet direct est défini comme un rejet isolé dans le milieu naturel avec ou sans passage par une station de traitement propre au site industriel, alors qu'un rejet indirect est défini comme un rejet raccordé à une station d'épuration extérieure au site émetteur. L'évolution des rejets de formaldéhyde industriels totaux, directs et indirects vers les eaux est présentée dans le Tableau 11 et la Figure 6.

Tableau 11. Evolution des émissions de formaldéhyde vers les eaux (Source : BDREP)

		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Emissions totales	kg/an	7581	70230	3451	3166	3170	2256	2125	1692	1091	1359	1220
Emissions "Eau direct"	kg/an	2550	69680	3035	2650	2622	2115	2034	1315	1063	1322	1171
	%/Totalité	34	99	88	84	83	94	96	78	97	97	96
Emissions "Eau indirect"	kg/an	5031	550	416	516	548	140	91	377	28	37	49
	%/Totalité	66	1	12	16	17	6	4	22	3	3	4
Nombre de déclarants	/	15	19	16	18	12	12	8	8	8	8	8
Nombre de déclarants avec Emissions > Seuil²⁶	/	/	/	/	/	/	/	/	2	1	1	1
Emissions moyennes par déclarant	kg/an	505	3696	216	176	264	188	266	212	136	170	152
Emissions maximales par déclarant	kg/an	4712	66907	1877	1999	2098	1540	1575	955	853	1073	950

²⁶ Pas de seuil jusqu'en 2014 / Seuil₂₀₁₅₋₂₀₁₈ = 300 kg/an

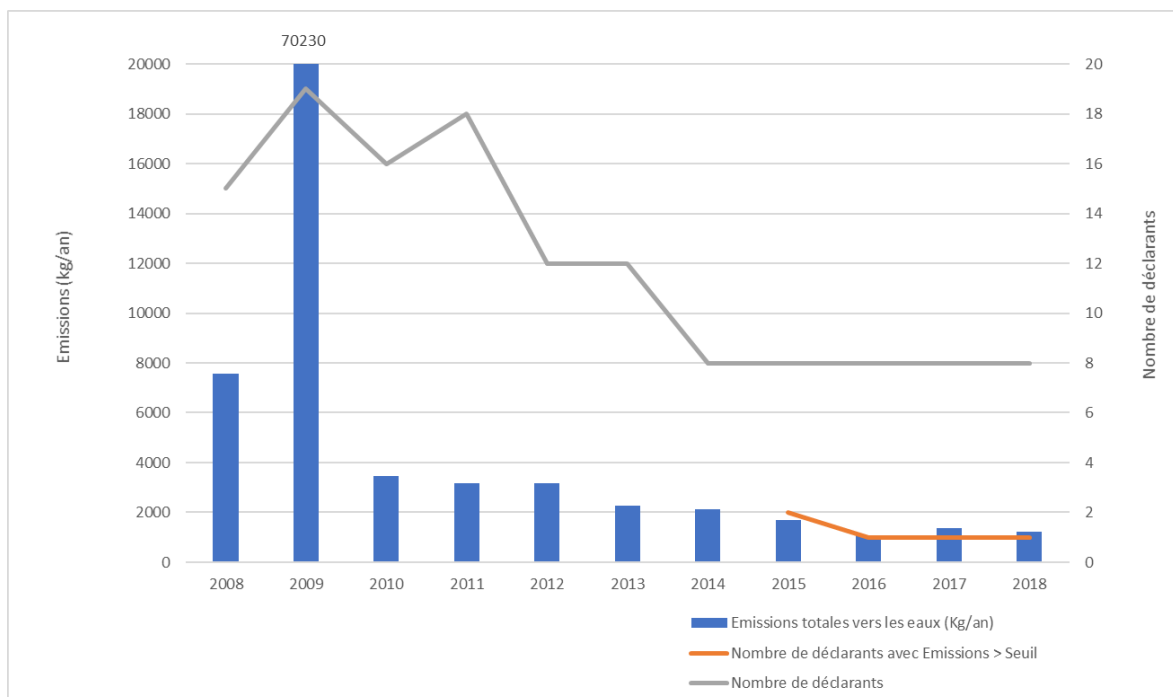


Figure 6. Evolution des émissions totales (rejets directs et indirects) de formaldéhyde vers les eaux entre 2008 et 2018 (Source : BDREP)

Le nombre de déclarants peu élevé, tend lui aussi à baisser entre 2008 et 2018 : on dénombrait 8 déclarants d'émissions de formaldéhyde vers les eaux en 2018 contre 15 en 2008. En 2009 la valeur des rejets est de 70 230 kg dont 95% correspondent aux émissions d'un seul site dont l'activité est la collecte et le traitement des eaux usées

Notons que le seuil de rejet pour le formaldéhyde a été établi en 2014, c'est pourquoi la courbe du nombre de déclarants avec des émissions supérieures au seuil ne débute qu'en 2015.

Depuis 2009, les émissions « directes » représentent la quasi-totalité des effluents aqueux formaldéhyde.

Le Tableau 12, ci-après, classe, selon les données issues de la base de données BDREP, les secteurs d'activité émetteurs de formaldéhyde vers les eaux en 2018, ces données sont aussi illustrées par la Figure 7 ci-dessous.

Tableau 12. Secteurs d'activité émetteurs de formaldéhyde vers les eaux en 2018 (Source : BDREP)

Secteurs d'activité	Emissions vers les eaux	
	(Kg/an)	(%)
Fabrication d'autres produits chimiques n.c.a. - 20.59Z	950	78
Fabrication d'autres produits alimentaires n.c.a. - 10.89Z	113	9
Fabrication de matières plastiques de base - 20.16Z	109,46	9
Fabrication d'autres produits chimiques organiques de base - 20.14Z	41,4	3
Fabrication de fibres de verre - 23.14Z	3,7	0,3
Fabrication de charpentes et d'autres menuiseries - 16.23Z	2,29	0,2

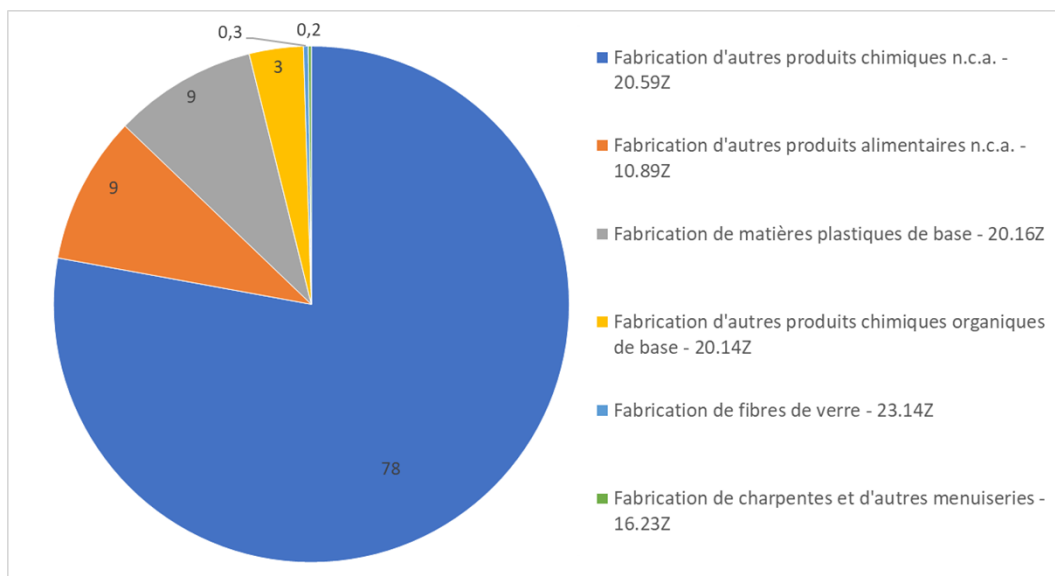


Figure 7. Répartition sectorielle des émissions de formaldéhyde vers les eaux en 2018 (Source : BDREP)

Pour rappel en 2018, le nombre de déclarants d'émissions de formaldéhyde vers les eaux s'élevait à 8, par conséquent hormis pour le secteur d'activité « Fabrication de matières plastiques de base », à chaque secteur d'activité correspond un site déclarant.

Les Figure 7 et Figure 8 représentent respectivement les répartitions géographiques des émissions moyennes des rejets directs et des rejets indirects de formaldéhyde vers les eaux entre 2016 et 2018.

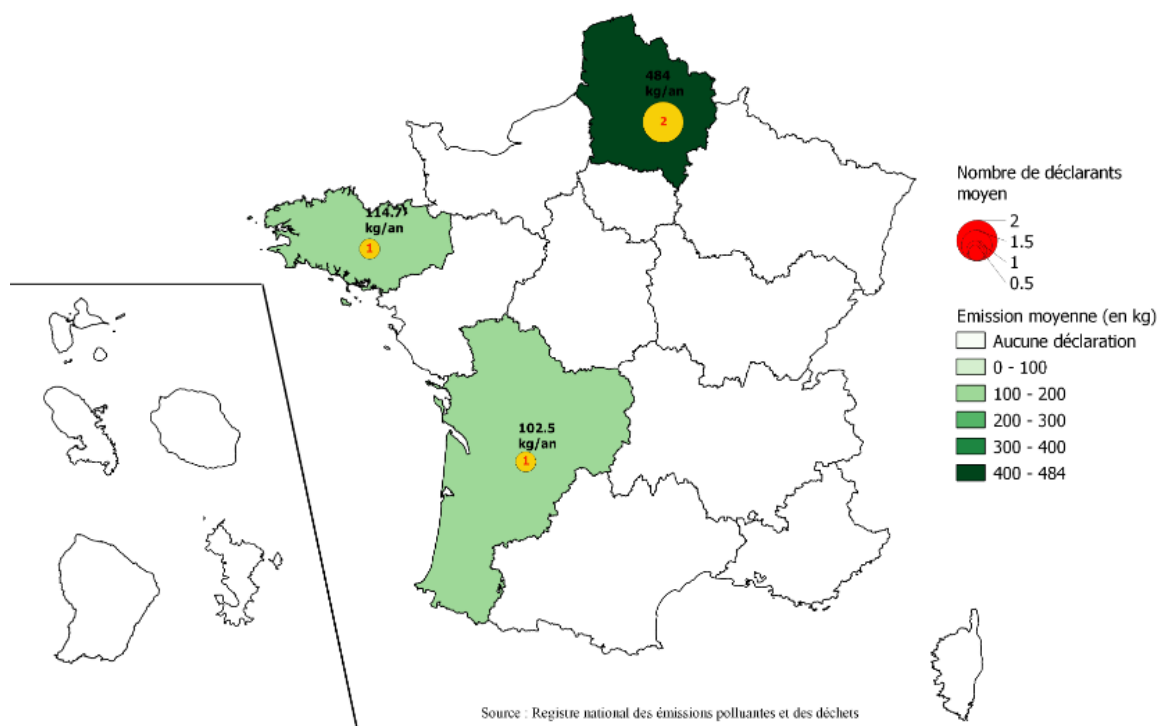


Figure 8. Répartition géographique des émissions moyennes de formaldéhyde déclarées dans l'eau (rejet direct) en France entre 2016 et 2018

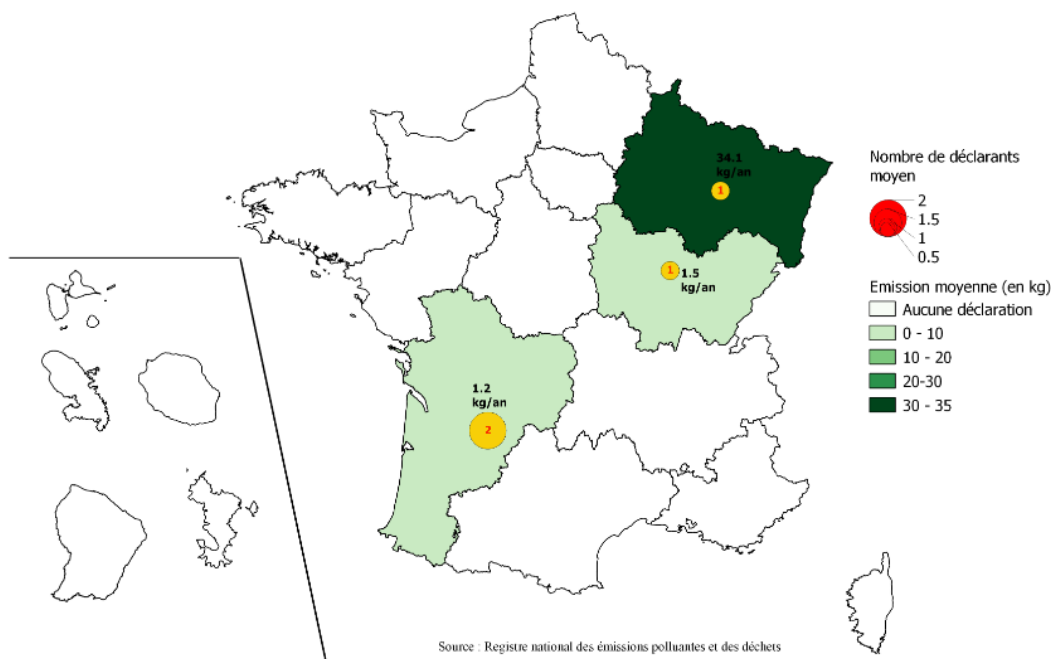


Figure 9. Répartition géographique des émissions moyennes de formaldéhyde déclarées dans l'eau (rejet indirect) en France entre 2016 et 2018

En 2018, un seul établissement représentait plus des $\frac{3}{4}$ (78% - 950 kg/an – Rejet direct) des émissions de formaldéhyde vers les eaux, il s'agit d'un site de production de résines échangeuses d'ions, de résines adsorbantes et de catalyseurs.

4.4 Émissions vers les sols

Le registre français des émissions polluantes pour les installations soumises à déclaration (BDREP) ne répertorie pas d'émission de formaldéhyde vers les sols entre 2008 et 2018.

4.5 Pollutions historiques et accidentelles

BASOL²⁷ est une base de données française qui recense les sites et sols pollués ou potentiellement pollués suivis par les services de la DREAL.

La base recense au moins 3 sites contaminés par du formaldéhyde :

- un site de fabrication de papiers imprégnés de résines synthétiques pour lequel des analyses de sol ont révélé la présence de formaldéhyde (2.6 mg/kg MS) au niveau de la zone extérieure de stockage de déchets ;
- un site de blanchiment, teinture, impression dont l'analyse des sols en 2007 a mis en évidence une contamination par du formaldéhyde au niveau des bassins de décantation ;
- un site de fabrication de panneaux contreplaqués pour lequel un diagnostic de la pollution des sols a révélé en 2012 la présence de formaldéhyde au niveau de certaines zones.

D'après les données BDREP, trois émissions accidentelles ont été déclarées depuis 2010 :

- deux émissions atmosphériques émises par le même site de fabrication de plaques, feuilles, tubes et profilés en matières plastiques en 2010 et 2011 s'élevant respectivement à 1098 kg et 1509 kg ;
- une émission de 82kg de formaldéhyde vers les eaux en 2011 par une entreprise de fabrication de matières plastiques de base.

²⁷ <https://basol.developpement-durable.gouv.fr/> (consulté en novembre 2020)

5 Devenir et présence dans l'environnement

5.1 Comportement dans l'environnement

5.1.1 Dans l'atmosphère

Avec une pression de vapeur de $5,2 \cdot 10^5$ Pa à 25 °C le formaldéhyde est très volatil en tant que produit pur. Cependant, étant donné son importante solubilité ($5,5 \cdot 10^3$ mg.L⁻¹, à 25°C) et sa constante de Henry relativement faible (0,022 – 0,034 Pa.m³.mol⁻¹), il n'est que modérément volatil en solution aqueuse.

Le formaldéhyde rejeté dans l'atmosphère est indirectement photo-dégradé par réaction avec les radicaux hydroxyles (OH) qui se forment dans la troposphère, avec une demi-vie de 1,7 jours. Le produit de réaction d'oxydation est l'acide formique. Son oxydation complète conduit à la formation de dioxyde de carbone et d'eau. Dans une moindre mesure, le formaldéhyde réagit aussi avec les radicaux nitrate (NO₃), les radicaux hydroperoxyde (HO₂), le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), l'ozone (O₃) et le chlore (Cl₂) (Santé Canada 2001).

Le formaldéhyde absorbe le rayonnement ultraviolet à des longueurs d'onde supérieures à 360 nm et est sensible à la photolyse directe, sa demi-vie est de 4,1 heures mesurées au niveau de la mer et à 40 degrés de latitude.

Le formaldéhyde a été détecté dans l'eau de pluie et adsorbé aux particules atmosphériques, ce qui indique qu'il peut être éliminé de l'air par dépôt humide et sec (HSDB 2015).

5.1.2 Dans le milieu aquatique

Le formaldéhyde est très soluble dans l'eau ($5,5 \cdot 10^3$ mg.L⁻¹, à 25°C). Dans des conditions environnementales de température et de pH, le formaldéhyde ne devrait pas subir d'hydrolyse en raison de l'absence de groupes fonctionnels. Il est cependant hydraté dans l'eau pour former du méthylène glycol (CH₂(OH)₂).

Le formaldéhyde possède un faible coefficient de partage carbone organique-eau (K_{oc}= 37 L/kg) et s'il est rejeté dans l'eau, il ne devrait pas s'adsorber sur les solides en suspension et les sédiments.

La valeur expérimentale de la constante de Henry (0,022 – 0,034 Pa.m³.mol⁻¹) indique de plus que la volatilisation du formaldéhyde du milieu aquatique à l'atmosphère est modérée.

Du fait de son faible coefficient de partition octanol-eau (log K_{ow}= 0,35), le formaldéhyde n'a pas tendance à se bioaccumuler dans les organismes aquatiques.

Dans les eaux de surface et souterraines, le formaldéhyde peut se biodégrader. Des valeurs estimées de la demi-vie de biodégradation en milieux aqueux aérobie du formaldéhyde ont été calculées et varient entre 1 et 7 jours dans les eaux de surface et entre 2 et 14 jours dans les eaux souterraines (Howard, Boethling et al. 1991).

5.1.3 Dans le milieu terrestre

Compte tenu de la valeur du K_{oc}, une adsorption du formaldéhyde au niveau des sols n'est pas attendue et sa mobilité devrait être élevée. Par conséquent, il peut être facilement mobilisé par ruissellement ou par lixiviation vers les eaux de surface ou les eaux souterraines (HSDB 2015).

On ne s'attend pas à ce que la volatilisation à partir de surfaces de sol humides soit un processus important fondé sur une constante de la loi de Henry de 0,022 – 0,034 Pa.m³.mol⁻¹. Le formaldéhyde se volatilise des surfaces sèches du sol en fonction de sa pression de vapeur.

Le formaldéhyde est biodégradable en dioxyde de carbone et en eau ou en acide formique dans des conditions aérobies et anaérobies. Il est également biologiquement actif, réagissant facilement avec les groupes fonctionnels phénol, amine, amide, sulfure, purine et pyrimidine, dont chacun peut être trouvé dans les substances humiques du sol. De plus, le formaldéhyde est sujet à une polymérisation spontanée, formant du paraformaldéhyde (ATSDR 2010).

5.2 Présence dans l'environnement

5.2.1 Dans le milieu aquatique

La base de données Naïades²⁸ recense 6 226 mesures de formaldéhyde dans les eaux de surface en France entre 2017 et 2019. Parmi ces mesures, 1 004 (soit 16%) présentent des concentrations de formaldéhyde supérieures à la limite de quantification comprise entre 0,05 et 50 µg/L. La concentration médiane en formaldéhyde des échantillons dont la concentration est quantifiable s'élève à 2 µg/L et est inférieure à la Valeur Guide Environnementale (VGE) de 10 µg/l dans l'eau douce. La concentration maximale en formaldéhyde s'élève à 1 242 µg/L et correspond à un prélèvement effectué dans un cours d'eau de la région Normandie (BRGM).

Notons que les mesures ne sont pas réparties de façon uniforme sur tout le territoire (cf. Figure 10). Une carte similaire est obtenue pour des valeurs datant de 2009 à 2019.

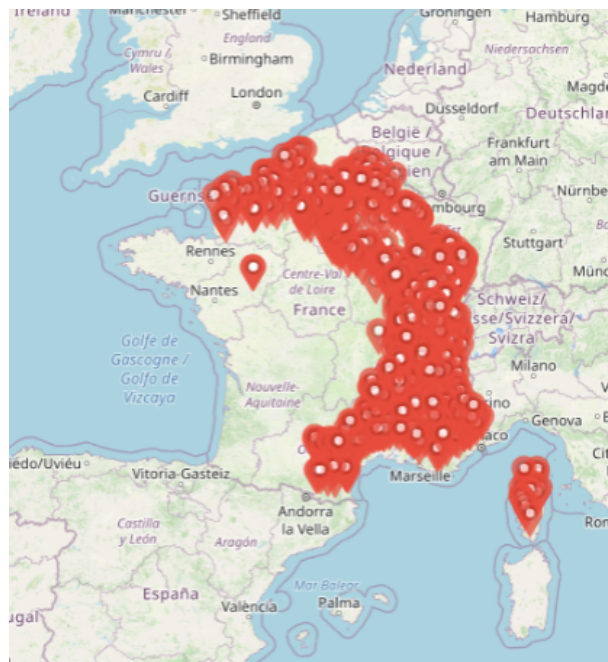


Figure 10. Répartition géographique des mesures de formaldéhyde issues de la base de données Naïades entre 2017 et 2019

Aucune mesure de formaldéhyde sur matrice solide n'a été effectuée entre 2017 et 2019.

5.2.2 Dans le milieu terrestre

La base de données ADES répertorie 4 375 mesures de formaldéhyde dans les eaux souterraines en France entre 2017 et 2019. Parmi ces mesures, 146 (soit 3 % de la totalité des mesures) présentent une concentration supérieure à la limite de quantification comprise entre 1 et 50 µg/l, une médiane de 7,2 µg/l et une concentration maximale de 493 µg/l, cette dernière correspond à un prélèvement effectué en Picardie (BRGM).

En 2011, le BRGM a mené une campagne exceptionnelle (CAMPEX) d'analyses des substances présentes dans les eaux souterraines en métropole. Le formaldéhyde a fait l'objet de 943 mesures dont 9 présentent une concentration de formaldéhyde supérieure à la limite de quantification de 5 µg/l, la concentration maximale s'élève à 34 µg/L et correspond à un prélèvement issu d'un forage effectué en Picardie (EAUFRANCE 2013).

²⁸ <http://naiades.eaufrance.fr/>

5.2.3 Dans l'atmosphère

Il existe en France un site de mesure du formaldéhyde dans l'air, celui-ci se situe en zone urbaine et à distance de sites industriels, les mesures étant effectuées sur une année complète au moyen de tubes à diffusion par l'association de surveillance de la qualité de l'air Atmo Auvergne Rhône Alpes. La base nationale de données de qualité de l'air appelée GEOD'AIR indique qu'en 2018 et 2019, la concentration atmosphérique moyenne de formaldéhyde s'élevait pour ce site respectivement à 1,72 et 1,9 µg/m³ (LCSQA 2020).

En 2015, des mesures de formaldéhyde ont été mises en œuvre par l'association de surveillance de la qualité de l'air Airparif sur un site de fond urbain et sur deux sites dits « de trafic ». Les concentrations moyennes annuelles de formaldéhyde ainsi obtenues étaient légèrement plus élevées en situation de proximité du trafic routier (2,4 et 2,7 µg/m³) qu'en fond urbain (1,9 µg/m³) (AIRPARIF 2016).

Pour mémoire, le formaldéhyde peut être produit lors de phénomènes de combustion, dont celle des carburants de véhicules.

5.3 Présence dans l'air intérieur

Les sources potentielles de formaldéhyde dans l'air intérieur sont exclusivement non-intentionnelles et ont été décrites dans le paragraphe 2.8, citons :

- Les produits de construction, de décoration et d'ameublement (panneaux bois aggloméré, isolants thermiques, revêtements, ...)
- Les combustions (fumée de tabac, bougies, cheminées à foyer ouvert, cuisinières à gaz, ...)
- Les produits d'usage courant (produits d'entretien, ...)

En 2003-2005, la « Campagne nationale Logements 1 » menée par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur dans 567 résidences principales françaises sur une durée d'une semaine avait permis d'effectuer 554 mesures de formaldéhyde (Observatoire de la qualité de l'air 2007).

Les données recueillies lors de cette campagne ont mis en évidence que :

- Le formaldéhyde était présent dans tous les logements avec des concentrations comprises entre 1,3 et 86,3 µg/m³
- L'air intérieur de 50% des logements présentait des concentrations de formaldéhyde supérieures à 19,6µg/m³

Une « Campagne nationale Logements 2 » visant entre autres à déterminer l'évolution de la qualité de l'air dans les logements en France depuis la première campagne nationale se déroulera en 2020-2022.

6 Perspectives de réduction des émissions

6.1 Réduction des émissions de formaldéhyde

6.1.1 Substitution par des résines à base de formaldéhyde moins émettrices

Pour limiter les émissions de formaldéhyde, une des solutions est de réaliser une substitution par des résines à base de formaldéhyde moins émettrices. Par exemple il est possible en fonction des usages de substituer les résines UF, résines les plus émettrices et les plus utilisées, par d'autres résines à base de formaldéhyde (PF, MF, MUF, RF et PRF). Parmi ces résines les moins émettrices sont les résines phénoplaste (RF et PRF) dont les liaisons C-C sont plus solides et s'hydrolysent moins facilement que celles des résines aminoplastes (Nwaogu, et al., 2013).

6.1.2 Les capteurs de formaldéhyde

Les capteurs de formaldéhyde dans les résines aminoplastes représentent une solution de réduction d'émission déjà utilisée aujourd'hui au niveau industriel, mais qui d'après l'UIPP ne semble pas permettre une disponibilité des panneaux en quantités suffisamment importantes pour couvrir le marché. Le capteur réagit avec le formaldéhyde libre lors de la réticulation de la résine, et peut également réagir avec le formaldéhyde émis ultérieurement (AFFSET 2009). Selon une autre source (Francis G, 2011), il existerait plus de 150 substances différentes pour jouer le rôle de capteur, comme par exemple : l'urée, la mélanine, le Kaurit®

L'UIPP ajoute qu'on n'a que de peu de recul quant aux émissions à long terme de ces panneaux, car une fois que la totalité du capteur a été "consommée", le formaldéhyde est à nouveau susceptible d'être émis. Pour cette raison, ce type de solution ne nous semble pas prioritaire en termes de substitution.

6.2 Alternatives aux usages du formaldéhyde

« En France, l'arrêté du 13 juillet 2006 a ajouté « les travaux exposant au formaldéhyde » à la liste des substances, mélanges et procédés cancérogènes au sens de l'article R. 4412-60 du code du travail. La recherche de substitution des agents cancérogènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction (CMR) de catégorie 1A ou 1B est une obligation qui s'impose à l'employeur. Elle est énoncée dans les principes généraux de prévention à l'article L. 4121-2 du code du travail et est renforcée à l'article R. 4412-66. (Anses, 2019) » Ainsi pour certains articles comme les vernis ont déjà été développés des produits sans formaldéhyde, pour protéger les travailleurs et les consommateurs. Néanmoins le formaldéhyde est toujours utilisé dans de nombreux secteurs (cf partie 2 sur les usages du formaldéhyde) et le développement de solutions de substitution est toujours une question d'actualité, dont nous présentons ci-après l'état d'avancement.

6.2.1 Substitution de l'utilisation des résines à base de formaldéhyde

6.2.1.1 Production de produits à base de bois (panneaux de bois contreplaqués et agglomérés)

Des études sur la substitution de l'utilisation des résines UF et MUF dans les panneaux de bois, ont été réalisées dans le cadre de la proposition de restriction REACH (annexe XV) (ECHA, 2019) (Anses, 2016). Les substituts sont présentés dans le tableau ci-après :

Tableau 13 : Substituts aux résines aminoplastes et phénoliques dans le secteur du bois (source Anses (Anses, 2016), (ECHA, 2019) et (Nwaogu , et al., 2013))

Substituts chimiques					
Substituts	Produit dans lequel il peut être utilisé	Disponibilité du substitut	Faisabilité technique	Coût de la substitution	Environnement et santé
Adhésif PU (pMDI)	Panneaux en contreplaqué et en aggloméré	Faible	Bonne résistance à l'humidité, adaptation industrielle nécessaire et propriétés différentes de résines UF	Coût élevé (4 fois supérieur aux résines UF)	Pas d'émission de formaldéhyde pour le consommateur mais risque potentiel pour les travailleurs si exposés au MDI et aux isocyanates
Adhésif epoxy	Panneaux en aggloméré	Faible	Longue durée de traitement mais bonne résistance à l'humidité	Coût élevé	Potentiels risques environnementaux et sanitaires pour les travailleurs
EPI (emulsion de polymères d'isocyanates)	Panneaux en contreplaqué	Faible	Bonne résistance à l'humidité et aux changements de température, difficulté technique pour certains procédés industriels	Coût élevé	Pas d'émission de formaldéhyde, potentielle exposition des travailleurs aux isocyanates
Éthylène-acétate de vinyle (PVA, EVA)	Panneaux en contreplaqué et en aggloméré	Disponible	Utilisation facile mais faible efficacité	Coût élevé	Impact environnemental et sanitaire plus faible
Substituts naturels					
Substituts	Produit dans lequel il peut être utilisé	Disponibilité du substitut	Faisabilité technique	Coût de la substitution	Environnement et santé
Colles à base de protéines (soja, sang, caséine)	Panneaux en aggloméré	Disponible pour le soja Peu disponible pour le sang et la caséine	Faible résistance à l'humidité, propriété liante plus faible que le formaldéhyde	Faible coût	Impact environnemental plus faible Potentiel impacts sanitaires en fonction des substances liantes utilisées lors de la production de panneaux (potentiellement du formaldéhyde)
Tannins	Panneaux en contreplaqué et en aggloméré	Faible	Mauvaise	Coût élevé	Impact environnemental plus faible Potentiels impacts sanitaires en fonction des substances liantes utilisées lors de la production de panneaux (potentiellement du formaldéhyde)
Colle à base de lignine	Panneaux en contreplaqué et en aggloméré	Disponible	Longue durée de traitement à forte température, besoin d'ajout de substances liantes	Faible coût	Impact environnemental plus faible Potentiels impacts sanitaires en fonction des substances liantes utilisées lors de la production de panneaux (potentiellement du formaldéhyde)

6.2.1.2 Production de revêtements de type peintures et vernis

Lors de l'étude réalisée par l'Ineris en 2013 sur la substitution du formaldéhyde, il avait été conclu à la suite d'une enquête auprès d'industriels que ; les résines à base de formol disposaient de substituts pour l'ensemble des applications, au moins pour les applications grand public et que l'utilisation de résines aminoplastes dans les peintures domestiques était très marginale (Ineris, 2013).

Le rapport de l'Anses de 2016 présente comme substituts aux peintures à base de résines aminoplastes :

- époxy ; faible résistance à la lumière, utilisation en couche primaire.
- alkyde (peintures glycerophtalique) ; peintures durables pouvant être biosourcées
- acrylique ; moins durable sur le bois, plus cher que les peinture aminoplaste
- polyester ; moins cher que les peintures aminoplastes

Les peintures alkydes, peuvent être considérées comme des alternatives aux résines basées sur le formaldéhyde. Toutefois, leur synthèse implique des polyols (de type pentaérytritol) qui comportent du formaldéhyde à l'état de trace, présent en tant que résidu de synthèse (Ineris, 2013).

Selon l'enquête réalisée par l'Ineris en 2013 auprès de producteurs français de peintures et vernis, les résines urée-formol ne seraient presque plus utilisées en France pour la fabrication de produits vitrificateurs pour parquets (Ineris, 2013). En effet, l'arrêté du 13 juillet 2006²⁹ impose aux employeurs d'utiliser une alternative aux produits entraînant l'exposition des employés utilisant ces produits au formaldéhyde. Ils ont été principalement remplacés par d'autres produits en phase solvantée (résine alkyde ou glycérophtalique, résine polyuréthane mono ou bi composants, résines photoréticulables), ou en phase aqueuse (acrylique, polyuréthane en émulsion). Selon les résultats de l'enquête cette substitution a peu d'impact économique car la majeure partie du prix de la vitrification d'un parquet provient du coût de la main d'œuvre (plusieurs phases de ponçage), c'est pourquoi l'augmentation du prix du produit vitrificateur joue un rôle mineur dans le devis global de la vitrification d'un parquet. Enfin les vernis à base de polyuréthane présentent des performances supérieures à ceux à base de résine aminoplaste. Par contre, ils peuvent contenir des isocyanates qui sont nocifs par inhalation, ainsi que des solvants. Les produits mono composant en émulsion permettent de s'affranchir de ces inconvénients, car l'isocyanate a déjà réagi avec la résine et les émissions en sont fortement diminuées. Les résines polyuréthanes étaient en 2010 les produits les plus utilisés en France. On trouve également de nombreux produits hybrides en phase aqueuse ou solvantée produits à partir d'un mélange de plusieurs résines.

6.2.1.3 Industrie du papier

L'Anses indique que les résines PAE (Polyamideamine epichlorohydrine) pourraient substituer l'utilisation des résines UF pour la production de certains papiers spéciaux. Cependant aucun substitut n'est identifié pour les résines MF et les résines phénoliques (Anses, 2016)..

6.2.1.4 Industrie du textile

Dans le rapport de l'Anses de 2016, le chitosan et l'urée diméthyle glyoxale sont présentés comme des substituts à la résine UF mais sans information concernant leurs efficacités, faisabilités et coûts (Anses, 2016).

D'après les rapports de l'AFSSET (AFFSET, 2009) et l'Ineris (Ineris, 2007) il semblait en 2009 que les principales alternatives aux résines à base de formaldéhyde étaient dans ce secteur :

- Technologie basée sur la mémoire de forme (les résines ayant un effet « repassage permanent » et résistance sur les textiles

²⁹ L'arrêté du 13 juillet 2006 classe les travaux professionnels exposant au formaldéhyde dans la catégorie des procédés cancérigènes de catégorie 1 soumis aux prescriptions du décret «CMR» daté de février 2001. Cet arrêté est entré en vigueur en France depuis le 1er janvier 2007, rendant ainsi obligatoire par l'employeur le remplacement du formaldéhyde dans la mesure où cela est techniquement possible, par une substance, une préparation ou un procédé qui n'est pas ou moins dangereux pour la santé des travailleurs

- Les acides polycarboxyliques (PCAs) - en particulier, l'acide butane-1,2,3,4-tétracarboxylique (BTCA)
- Différents types de silicones

Selon l'Union des Industries Textiles qui avait été interrogée dans le cadre de ces études, ces alternatives posaient encore des problèmes de coût et de faisabilité technique.

6.2.1.5 Industrie du plastique

Plusieurs matériaux plastiques pourraient substituer certains usages des plastiques thermodurcissables produits à partir de résines formiques. L'Anses mentionne différents thermoplastiques comme l'ABS (Acrylonitrile Butadiène Styène) et le polypropylène, des polyesters thermodurcissables, des résines en époxy et l'utilisation de silicone. Peu d'information est disponible concernant la faisabilité économique et technique de ces substituts sauf pour le polyester qui pour ces deux critères semble présenter les propriétés adéquates (Anses, 2016).

6.2.1.6 Production de matériaux de construction

La consultation du site Internet www.batiproduits.com³⁰ avec les mots clefs « colle bois » montre la disponibilité de colles sans formaldéhyde (colles à base de polyuréthane généralement) pour les parquets et d'autres besoins de bricolage. La substitution des résines phénoplastes et aminoplastes dans les colles semble possible techniquement et économiquement.

L'entreprise « URSA » commercialise des laines de roche garanties sans formaldéhyde, tout comme l'entreprise « ROCKWOOL » qui commercialise un produit garanti sans formaldéhyde (« AFB evo »). Néanmoins aucune information n'est donnée sur le liant substituant le formaldéhyde. La comparaison des prix entre un produit standard de la marque « ROCKWOOL » contenant du formaldéhyde et un produit de la marque « URSA » sur le site « l'entrepôt du bricolage » ne montre pas de différence de prix importante (rockwool) (ursa). Il semblerait au regard des sites de ces deux marques que la production de laine de roche sans formaldéhyde soit possible. Néanmoins une simple consultation des sites de ces entreprises ne permet pas de conclure quant à l'efficacité de ces produits.

6.2.1.7 Fonderie

L'Anses de 2016 présente comme substituts aux résines formiques des silicates, des isocyanates et l'acrylique et le furane. Aucune information n'est indiquée concernant la faisabilité de ces substitutions (Anses, 2016).

6.2.1.8 Autres usages des résines à base de formaldéhyde

Nous n'avons pas trouvé de solution alternative à l'utilisation résines à base de formaldéhyde pour la production d'abrasif et de caoutchouc, ou pour le traitement de l'eau dans la littérature consultée dans le cadre de cette fiche.

6.2.2 Production de Polyols

6.2.2.1 BDO

Très peu d'informations sont présentes dans la littérature concernant les substituts du BDO. Le rapport de l'Anses réalisés dans le cadre de la proposition de restriction REACH (annexe XV) (Anses, 2016) mentionne néanmoins l'oxyde de propylène, l'alcool allylique ainsi qu'un isomère du butane (n-butane) comme substitut au BDO. Il est à noter que l'oxyde de propylène est une substance cancérigène et mutagène, classée substance « SVHC » et soumise à autorisation par REACH.

6.2.2.2 Pentaérythritol

La littérature consultée présente un certain nombre de substituts du pentaérythriol variant en fonction des usages, parmi lesquels on trouve la glycérine, les polyépoxydes, l'uréthane et des huiles minérales... Cependant au vu de la littérature consultée il n'y a pas assez d'information disponible

³⁰ Consultation le 17/09/2020

permettant de conclure à un substitut disponible et compétitif avec le pentaérythriol pour la production de résines alkydes, d'explosifs, de lubrifiants et de colophane.

6.2.3 Substitution des résines polyoxyméthylènes (POM)

Le tableau 14 extrait du rapport de l'Anses présente différents substituts aux thermoplastiques produits à partir de POM.

Tableau 14 : *Substituts au POM (source Anses (Anses, 2016))*

Substituts	Produit dans lequel il peut être utilisé	Disponibilité du substitut	Faisabilité technique	Coût de la substitution
Nylon	Automobile	Oui	Oui	Coût plus élevé
	Applications industrielles		Oui	Pas d'information
	Articles de consommation		Oui	Coût moins élevé
	Electronique et électricité		Pas d'information	Pas d'information
Polystyrène	Articles de consommation	Oui	Oui	Coût moins élevé
	Electronique et électricité		Pas d'information	Pas d'information
L'acrylonitrile butadiène styrène (ABS)	Articles de consommation	Oui	Oui	Coût moins élevé
	Electronique et électricité		Pas d'information	Pas d'information
Polyesters (PET)	Automobile	Oui	Oui	Coût plus élevé
	Applications industrielles		Non	Pas d'information
Polycarbonates (PC)	Application médicale	Oui	Non	Coût plus élevé
Polyoléfines	Application médicale	Oui	Pas d'information	Pas d'information

Des métaux peuvent également substituer les thermoplastiques produits à partir de POM utilisés dans le secteur automobile, industriel et dans certains articles de consommation. Les métaux identifiés par l'Anses sont : le cuivre, l'argent et le zinc moulé sous pression. La sélection de substituts variera en fonction des usages, et plus d'éléments devraient être réunis pour comparer l'impact sanitaire environnemental global de ces différents matériaux avec le POM avant une décision de substitution. Ces substituts métalliques sont les seuls substituts identifiés par l'Anses pour les articles de plomberie.

6.2.4 Production de MDI

Le rapport de l'Anses de 2016 présente d'autres isocyanates et notamment le toluène diisocyanate (TDI) comme substituts au MDI pour son usage dans les mousses rigides et souples. Ces substances sont disponibles et apportent les propriétés recherchées aux mousses. De plus le TDI dispose d'un coût plus bas par rapport au MDI (Anses, 2016).

6.2.5 HTMA

La littérature consultée ne permet pas de conclure à un substitut disponible et techniquement et économiquement compétitif à l'hexaméthylènetétramine (HTMA) pour ces utilisations dans le caoutchouc, comme conservateur et dans les résines époxy.

6.2.6 Fertilisants

Concernant les fertilisants à libération prolongée, il existe notamment comme substituts chimiques les fertilisants à l'urée enrobée de soufre (mais qui sont plus chers), les fertilisants à l'urée-isobutylraldéhyde, et à l'urée crotonylidène diurée (CDU). Aucune comparaison de prix n'a pu être effectuée dans cette fiche compte tenu des données disponibles. Il existe également des engrais organiques qui permettent une diffusion lente de l'azote comme par exemple la corne broyée. Cette dernière solution serait moins coûteuse que les solutions chimiques proposées ci avant mais son efficacité à court terme devrait être approfondie (Anses, 2016).

6.3 Autres usages

6.3.1 Elevage

(Anses, 2019) a étudié la substitution du formaldéhyde dans différents secteurs dont l'élevage, où cette substance est utilisée pour le tannage des protéines dans des aliments pour ruminants.

Tableau 15 : Substituts au formaldéhyde identifiés pour le tannage des protéines utilisées en alimentation animale tiré de (Anses, 2019)

Critères de comparaisons	Formaldéhyde	Alternatives		
		Procédé cuisson-extrusion	Hydroxyde de sodium	Traitement thermique avec ajout de lignosulfates de calcium
Information sur les capacités techniques	Capacités techniques équivalentes	Capacités techniques inférieures	Capacités techniques inférieures	Capacités techniques équivalentes
Information sur les dangers	Substance chimique extrêmement dangereuse	Substance chimique dangereuse peu	Substance chimique dangereuse très	Substance chimique dangereuse
Information sur les conditions d'exposition	Conditions d'exposition faibles	Conditions d'exposition estimées négligeables	Conditions d'exposition estimées négligeables	Conditions d'exposition estimées négligeables
Information sur les coûts	Coûts moins importants	Coûts plus élevés	Pas de données	Coûts moins importants

Les autres usages du formaldéhyde dans le secteur de l'élevage n'ont pas été étudiés dans ce rapport. Le rapport ne conclut pas précisément à une alternative, parmi les 3 principales identifiées (procédé cuisson extrusion, hydroxyde de sodium, et traitement thermique avec ajout de lignosulfates de calcium). En revanche il recommande de cesser l'utilisation de formaldéhyde pour le tannage des protéines jugeant les alternatives présentées comme crédibles et disponibles pour substituer cet usage.

6.3.2 Agroalimentaire

(Anses, 2020) a recensé et a étudié les alternatives disponibles dans le secteur sucrier. Dans ce secteur le formaldéhyde est utilisé lors de la production de sucre (lors de l'opération de diffusion) puis lors du stockage. Pour le premier usage, 7 alternatives chimiques et 1 alternative faisant varier la température lors de l'extraction ont été identifiées comme disponibles et pouvant substituer le formaldéhyde. Les alternatives chimiques évoquées sont les suivantes ; acide peracétique en solution à 5%, acide peracétique en solution à 15%, betaStab® 10A, betastab® A, émulsion contenant 15% d'acides-β, betastab® A combiné à l'hydroxyde de sodium, solution de monochloramine. Ces alternatives sont présentées dans le tableau 15. Pour l'utilisation de formaldéhyde lors du stockage, aucun substitut n'a pu être étudié faute de donnée disponible mais (Anses, 2020) recommande tout de même de substituer le formaldéhyde par un autre bactériostatique lorsque l'utilisation d'un bactéricide est indispensable.

Tableau 15 : Comparaison des substituts au formaldéhyde identifiés pour le secteur sucrier tiré de (Anses, 2020)

Critères de comparaisons	Formaldéhyde	Alternatives							
		Acide peracétique en solution à 5%	Acide peracétique en solution à 15%	BetaStab® 10A	Betastab® A	Emulsion contenant 15% d'acides-β	Betastab® A combiné à l'hydroxyde de sodium	Solution de monochloramine	Température d'extraction
Information sur les capacités techniques	Capacités techniques équivalentes	Capacités techniques inférieures	Capacités techniques inférieures	Capacités techniques inférieures	Capacités techniques inférieures	Capacités techniques inférieures	Capacités techniques inférieures	Capacités techniques équivalentes	Capacités techniques inférieures
Information sur les dangers ³¹	Substance chimique extrêmement dangereuse	Substance chimique très dangereuse	Substance chimique très dangereuse	Substance chimique dangereuse	Substance chimique dangereuse	Substance chimique dangereuse	Substance chimique très dangereuse	Substance chimique très dangereuse	Substance chimique peu dangereuse
Information sur les conditions d'exposition	Conditions d'exposition faibles	Conditions d'exposition faibles	Conditions d'exposition faibles	Conditions d'exposition estimées négligeables	Conditions d'exposition estimées négligeables	Conditions d'exposition estimées négligeables	Conditions d'exposition estimées négligeables	Conditions d'exposition faibles	Conditions d'exposition estimées négligeables
Information sur les coûts	Coûts relatifs les moins élevés	Coûts relatifs les moins élevés	Non classé	Coûts relatifs moyennement élevés	Non classé	Non classé	Non classé	Non classé	Coûts relatifs les plus élevés

Aucun document traitant précisément de substituts au formaldéhyde utilisé comme biocide dans le secteur agroalimentaire n'était disponible à notre connaissance lors de la rédaction de cette fiche. Néanmoins il semblerait que l'acide peracétique en solution à 2 ou 5% soit un bon substitut au formaldéhyde utilisé pour désinfecter les surfaces potentiellement en contact avec des produits alimentaires. Les points négatifs de cette alternative sont : son instabilité à la chaleur et sa dégradation en présence de matière organique (INRS, 2015).

6.3.3 Pisciculture

(Anses, 2019) a étudié et recensé les alternatives disponibles dans le secteur de la pisciculture. Pour réduire l'utilisation de formaldéhyde, utilisé pour le traitement de parasitose, le rapport recommande dans un premier temps de modifier les pratiques d'élevage en diminuant la densité des poissons dans les bassins et d'améliorer le contrôle de la qualité de l'eau en travaillant en « circuit recirculé ». Il recommande enfin, lorsqu'il y a infection des bassins, de traiter avec une des 5 substances alternatives identifiées ; le chlorure de sodium, le percarbonate de sodium, le produit INCIMAXX Aquatic®, le

³¹ Evaluer par l'outil « GreenScreen »

peroxyde d'hydrogène et le sulfate de cuivre pentahydraté. Seules les 3 dernières substances disposent d'une efficacité similaire au formaldéhyde pour lutter contre la parasitose.

Tableau 16 : Comparaison des substituts au formaldéhyde identifiés pour la pisciculture tiré de (Anses, 2019)

Critères de comparaisons	Formaldéhyde	Alternatives				
		INCIMAXX Aquatic®	Peroxyde d'hydrogène à 35%	Chlorure de sodium	Percarbonate de sodium	Sulfate de cuivre pentahydraté
Information sur les capacités techniques	Capacités techniques équivalentes	Capacités techniques équivalentes	Capacités techniques équivalentes	Capacités techniques inférieures	Capacités techniques inférieures	Capacités techniques équivalentes
Information sur les dangers³²	Substance chimique extrêmement dangereuse	Substance chimique très dangereuse	Substance chimique très dangereuse	Substance chimique peu dangereuse	Substance chimique très dangereuse	Substance chimique très dangereuse
Information sur les conditions d'exposition	Conditions d'exposition moyennes	Conditions d'exposition faibles	Conditions d'exposition faibles	Conditions d'exposition estimées négligeables	Conditions d'exposition estimées négligeables	Conditions d'exposition estimées négligeables
Information sur les coûts	Coûts relatifs les plus élevés	Coûts relatifs faiblement élevés	Coûts relatifs les moins élevés	Coûts relatifs les plus élevés	Coûts relatifs les moins élevés	Coûts relatifs faiblement élevés

6.3.4 Médecine

Concernant la substitution des biocides à base de formaldéhyde utilisés pour la désinfection des locaux, de salles d'opération et d'instruments plusieurs substituts ont été identifiés mais il existe peu ou pas d'information concernant leur efficacité et leurs coûts. Les substances identifiées sont les suivantes : le peroxyde d'hydrogène, l'ortho-phthalaldehyde, l'acide peracétique, le dioxyde de chlore et l'ammonium quaternaire.

Pour substituer le formaldéhyde utilisé comme agent de conservation, deux substances ont été identifiées par l'Anses : le glutaraldéhyde, le bêta-propiolactone. L'utilisation de la chaleur ne permettrait pas substituer la conservation chimique.

Concernant l'usage comme fixateur des échantillons en anatomie et cytologie médicale, (Anses, 2019) a étudié les potentiels substituts au formaldéhyde en fonction des étapes de vie d'un échantillon. Finalement le rapport n'a pas conclu avec précision sur un substitut ou plusieurs substituts au formaldéhyde pour cet usage néanmoins il propose différentes solutions en fonction des spécificités de échantillons et des analyses. Pour la phase de préanalyse, si le temps d'ischémie³³ ne dépasse pas 72h basées, des alternatives au formaldéhyde basées sur la conservation par le froid peuvent être envisagées. En ce qui concerne la phase analytique l' (Anses, 2019) il est conseillé de substituer le formaldéhyde par d'autres fixateurs (une liste de 46 fixateurs est proposée dans le rapport) en fonction de la technique analytique pour laquelle le formaldéhyde doit être substitué. Nous invitons le lecteur intéressé à se référer au rapport (Anses, 2019) pour plus d'informations et de précisions. Les éléments consultés dans le cadre de la réalisation de cette fiche, ne permettent pas de présenter des alternatives pour les autres usages médicaux du formaldéhyde.

6.3.5 Taxidermie

Le document réalisé par l'Anses en 2020 présente un certain nombre d'alternatives pouvant substituer l'utilisation du formaldéhyde utilisé dans les liquides d'embaumement utilisés en taxidermie et en thanatopraxie (Anses, 2016). Ces substituts n'étant pas spécifiques à la taxidermie mais aux liquides

³² Evaluer par l'outil « GreenScreen »

³³ temps pendant lequel les organes ou les tissus à transplanter sont privés de sang et d'oxygène

d'embaumement en général, nous invitons le lecteur intéressé à consulter ce document pour plus de renseignement.

6.3.6 Thanatopraxie

(Anses, 2020) a étudié les possibilités de substitution au formaldéhyde pour les actes de thanatopraxie. Ce travail a conclu que pour limiter l'utilisation du formaldéhyde comme conservateur lors des soins mortuaires, les alternatives ou pratiques disponibles sont de limiter les soins de conservation (non obligatoires dans certains cas) en éclairant les familles sur les situations où des soins doivent être réalisés, de développer les toilettes thermiques permettant de conserver les corps dans certains cas ou d'utiliser des substituts chimiques au formaldéhyde. Parmi les substituts identifiés, 4 sont étudiés en détail dans cette étude parmi la trentaine de mélanges et substances identifiées, il s'agit des mélanges : « Thanadès » (à base d'acide peracétique), « Tanato-Safebalm », « Art Cav Secure » et d'un mélange à base de polyvinylpyrrolidone iodé. Néanmoins seul le mélange « Art Cav Secure » est actuellement présent sur le marché, mais nécessite une formation des thanatopracteurs (Anses, 2020). Au vu de l'état de ces alternatives (Anses, 2020) recommande aux pouvoirs publics d'interdire le formaldéhyde en thanatopraxie.

Tableau 17 : Comparaison des substituts au formaldéhyde identifiés pour la taxidermie tiré de (Anses, 2020)

Critères de comparaisons	Formaldéhyde	Alternatives			
		Le produit « Thanadès »	Le produit à base de polyvinylpyrrolidone iodée	Produit « Tanato-Safebalm »	Produit « Art Cav Secure »
Information sur les capacités techniques	Capacités techniques équivalentes	Capacités techniques inférieures	Capacités techniques inférieures	Capacités techniques équivalentes	Capacités techniques équivalentes
Information sur les dangers³⁴	Substance chimique extrêmement dangereuse	Substance chimique très dangereuse	Substance chimique très dangereuse	Substance chimique très dangereuse	Substance chimique très dangereuse
Information sur les conditions d'exposition	Conditions d'exposition fortes	Conditions d'exposition moyennes	Conditions d'exposition faibles	Conditions d'exposition fortes	Conditions d'exposition faibles
Information sur les coûts	Coûts relatifs les plus élevés	Non classé	Non classé	Coûts relatifs les plus élevés	Coûts relatifs les plus élevés

6.3.7 Coûts de la substitution

Concernant le secteur du bois, un rapport de l'Ineris réalisé en 2013 (Ineris, 2013) a estimé le coût de substitution des résines formoliques utilisées pour la production de panneaux de bois. L'estimation s'appuie sur de fortes hypothèses considérant une substitution totale et immédiate du formaldéhyde par une résine synthétique type MDI à 70% et une résine biosourcée à 30%. Au total cette estimation prend en compte la substitution de 350 000 tonnes de résines UF, 71 500 tonnes de résines MUF et 21 500 tonnes de résines PF. Le montant de cette substitution a été estimé à 160 000 millions d'euros en 2013. Des estimations de coûts de substitution de l'usage du formaldéhyde pour d'autres secteurs d'activité n'ont pas été rencontrés dans la littérature consultée.

³⁴ Evaluer par l'outil « GreenScreen »

Le rapport de (ECHA, 2020) a considéré pour son avis sur la proposition de réglementation que le cout de production des panneaux de classe E1 était 10% supérieur aux panneaux de classe E2. Pour cela ce rapport s'est appuyé sur des données fournies par la « European Panel Federation » pour des panneaux répondant aux exigences E1. Les panneaux de classe E1 sont des panneaux contenant moins de résines à base de formaldéhyde, ce qui contraint les producteurs à un temps de « durcissement » de la résine plus long et donc une augmentation des couts de production.

Aucune estimation économique complète de la substitution du formaldéhyde pour un secteur donné, incluant les impacts économiques, sanitaires et environnementaux ne semble disponible dans la littérature. Néanmoins des informations sur le coût de certains substituts au formaldéhyde lorsque celles-ci étaient disponibles, ont été recensées dans les paragraphes précédents.

7 Conclusion

Le règlement (UE) n°605/2014 de la Commission Européenne du 5 juin 2014 classe le formaldéhyde comme cancérigène de catégorie 1B et mutagène de catégorie 2. Une restriction dans le cadre du règlement chimique REACH est en cours d'instruction par l'UE, qui pourrait conduire à réduire les limites d'émissions de formaldéhyde par des matériaux, en particulier les matériaux en bois aggloméré ou stratifié.

On retrouve du formaldéhyde dans l'atmosphère, les eaux de surfaces et souterraines et dans l'air intérieur de bâtiments. Sa présence dans l'environnement peut provenir de plusieurs sources ; des sources naturelles d'émissions (combustion de matières organiques, oxydation dans l'air de composés organiques volatils, décomposition de résidus de végétaux ou de déchets d'animaux), des sources d'émissions non intentionnelles de formaldéhyde vers l'air issues de combustions d'origine anthropique, de la décomposition de résines à base de formaldéhyde, des sources d'émissions d'origine industrielle. Ces dernières seraient, en France sur la période 2008-2018, en baisse pour le milieu aquatique, et stables pour le milieu atmosphérique. Des émissions mineures ont aussi lieu du fait de certains usages intentionnels (agro-alimentaire, pisciculture, médical, thanatopraxie...).

Sur les 10 dernières années, la production mondiale et européenne de formaldéhyde est en augmentation et pourrait continuer à croître au cours des prochaines années. En Europe, les principales capacités de production se trouvent en Allemagne.

Le formaldéhyde est une substance qui intervient dans la synthèse de nombreuses substances chimiques utilisées dans de très nombreux secteurs d'activités. En UE, la majeure partie de ces résines est utilisée pour la production de résines condensées, c'est-à-dire les résines phénoliques (PF), les résines aminoplastes (MF, UF, MUF) et les résorcinols. Ces résines sont en premier lieu utilisées dans le cadre de la production de panneaux de bois. Le formaldéhyde est également utilisé pour la production de polyols, de thermoplastiques et de mousses de polyuréthane. Cette substance est également utilisée dans la synthèse de nombreuses substances chimiques : sel tétrasodique d'EDTA, hexaméthylènetétramine, pyridine... Sous sa propre forme, c'est une substance qui est peu utilisée sauf pour divers usages biocides notamment dans les secteurs de l'élevage, de la pisciculture, de la thanatopraxie et de la médecine.

Pour limiter les émissions de formaldéhyde, une des solutions est de réaliser une substitution par des résines à base de formaldéhyde moins émettrices. Par exemple il est possible pour certains usages de substituer les résines UF, résines les plus émettrices et les plus utilisées, par d'autres résines à base de formaldéhyde (PF, MF, MUF, RF et PRF), ou d'opter pour des résines ou des matériaux alternatifs ne nécessitant pas le recours au formaldéhyde. Une autre solution pour réduire les émissions consiste à utiliser des capteurs de formaldéhyde.

Il est également possible de substituer l'utilisation directe du formaldéhyde par d'autres substances ou par des procédés techniques (utilisation de chambres froides en thanatopraxie, cuisson des aliments dans l'élevage par exemple).

Néanmoins la substituabilité du formaldéhyde varie en fonction des utilisations. Ainsi par exemple elle semble avancée pour les peintures et les vernis contrairement à d'autres secteurs comme celui de la thanatopraxie. Divers facteurs conditionnent pour chaque usage la possibilité de substitution d'une substance par exemple : l'efficacité, la disponibilité, la faisabilité de l'utilisation (intégration dans le procédé technique, capacité des travailleurs à utiliser le substitut), la toxicité, l'écotoxicité, le coût du substitut. C'est pourquoi la substitution doit être réfléchie et mise en place au cas par cas, notamment s'il s'agit de remplacer un matériau par un autre.

Références

7.1 Sites internet consultés

AEGIS <http://www.aegisia.com/frequently-asked-questions/>

[Online] // www.hyprodis.fr. - juillet 2020. - <https://www.hyprodis.fr/A-4637-formol-24-biocide-20l.aspx>.

7.2 Bibliographie

Acumen Research and Consulting Formaldehyde Market (By Derivative: Urea Formaldehyde (UF) Resins, Phenol Formaldehyde (PF) Resins, MF Resins, Polyacetal Resins, 1,4-butanediol, Pentaerythritol, Methylenebis; By Application: Fibers, Solvents, Plasticizers, Drying Agents, Resins, Other Ch [Online] // www.acumenresearchandconsulting.com. - juillet 2020. - <https://www.acumenresearchandconsulting.com/formaldehyde-market>. **AFFSET** Risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde. Etude de filière. [Book]. - 2009.

AFSSA Evaluation des risques liés à l'utilisation du formaldéhyde en alimentation animale [Journal]. - 2004. **Airparif** (2016) - Surveillance & information sur la qualité de l'air en île-de-france - Bilan année 2015. https://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/bilan-2015.pdf

Anses (2009) - Risques sanitaires liés à la présence de formaldéhyde. <https://www.anses.fr/fr/content/evaluation-des-risques-sanitaires-li%C3%A9s-%C3%A0-la-pr%C3%A9sence-de-formald%C3%A9hyde>

Anses (2011) - Avis de l'Anses relatif à la classification européenne du formaldéhyde. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr/system/files/REACH2010sa0318.pdf>

Anses (2018) - AVIS et RAPPORT de l'Anses relatif à la Mise à jour des valeurs guides de qualité d'air intérieur – Formaldéhyde. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2017SA0041Ra.pdf>

Anses Alternatives au formaldéhyde en thanatopraxie [Report]. - 2020.

Anses Alternatives potentielles au formaldéhyde en alimentation animale [Report]. - 2019.

Anses Alternatives potentielles au formaldéhyde en anatomie et cytologie pathologiques humaines [Report]. - 2019.

Anses Analysis of the most appropriate risk management option (RMOA) [Report]. - 2016.

Anses Analysis of the most appropriate risk management option (RMOA) [Report]. - 2016.

Anses ephy.anses.fr [Online]. - juillet 2020. - [https://ephy.anses.fr/resultats_recherche/substance?search_api_aggregation_2=formald%C3%A9hyde&sort_by=search_api_aggregation_4&sort_order=ASC&f\[0\]=field_intrant%253Afield_etat_produit%3A10](https://ephy.anses.fr/resultats_recherche/substance?search_api_aggregation_2=formald%C3%A9hyde&sort_by=search_api_aggregation_4&sort_order=ASC&f[0]=field_intrant%253Afield_etat_produit%3A10).

Anses Études des alternatives potentielles au formaldéhyde en alimentation humaine dans le secteur sucrier [Report]. - 2020. **Anses** Etudes des alternatives potentielles au formaldéhyde en pisciculture_Rapport pour consultation publique [Rapport]. - 2019.

ATMO ALSACE Le formaldéhyde un poison domestique? [Report]. - 2007.

ATSDR (2010) - Addendum to the toxicological profile for formaldehyde. Agency for Toxic substances and Disease Registry. <https://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp.asp?id=220&tid=39>

Braun Dietrich and Ritzert Hans-Josef Urea–Formaldehyde and Melamine–Formaldehyde Polymers [Journal] // Comprehensive Polymer Science and Supplements. - 1989. - Vol. 5. - pp. 649-665.

BRGM (2020) - ADES (Portail national d'accès aux données sur les eaux souterraines). <http://www.ades.eaufrance.fr/LienLocalisation.aspx>

BRGM (2020) - Base de données NAIADES. <http://naiades.eaufrance.fr/>

CHEVALIER Michel Phénoplastes ou phénols-formols PF [Book]. - [s.l.] : Technique de l'ingénieur , 1991.

Comission Européenne Reglement (CE) n°1223/2009 Du Parlement Européen et du Conseil du 30 novembre 2009 relatif aux produits cosmétiques [Report]. - 2009.

Commission Européenne RÈGLEMENT (CE) No 1107/2009 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 21 octobre 2009 concernant la mise sur le marché des produits phytopharmaceutiques et abrogeant les directives 79/117/CEE et 91/414/CEE du Conseil [Journal] // Journal officiel de l'Union européenne . - 2009.

Dodiuk Hanna , Goodman Sydney H and al Handbook of thermoset plastics [Book]. - [s.l.] : Elsevier, 2004.

DUNKY M and PIZZI A Wood adhesives [Report]. - no date

Eaufrance (2013) - Données issues des campagnes exceptionnelles (CAMPEX 2011 - 2013). <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-issues-des-campagnes-exceptionnelles-campex-2011-2013-substances-eaux-souterraines-fichiers-bruts-producteur/>

ECHA Annexe XVII RESTRICTIONS APPLICABLES À LA FABRICATION, À LA MISE SUR LE MARCHÉ ET À L'UTILISATION DE CERTAINES SUBSTANCES DANGEREUSES ET DE CERTAINS MÉLANGES ET ARTICLES DANGEUREUX [Report]. - 2020.

ECHA Committee for Risk Assessment (RAC) Committee for Socio-economic Analysis (SEAC) Opinion on an Annex XV dossier proposing restrictions on Formaldehyde and formaldehyde releasers [Report]. - 2020.

ECHA <https://echa.europa.eu> [Online]. - novembre 2020. - <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/cl-inventory-database/-/discli/details/55163>.

ECHA <https://echa.europa.eu/fr/legislation-obligation/-/obligations/100.000.002> [Online]. - septembre 2020.

ECHA <https://echa.europa.eu/fr/substance-information/-/substanceinfo/100.000.002> [Online]. - juillet 2020.

ECHA PROPOSAL FOR A RESTRICTION Formaldehyde and formaldehyde releasers [Report]. - 2019.

ECHA Substances actives contenues dans les produits biocides [Online] // <https://echa.europa.eu/>. - juillet 2020. - <https://echa.europa.eu/fr/information-on-chemicals/biocidal-active-substances/-/disas/substance/100.000.002>.

ECHA Worker exposure to formaldehyde and formaldehyde releasers [Report]. - 2019.

EFSA (2014) - Endogenous formaldehyde turnover in humans compared with exogenous contribution from food sources. <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2014.3550>

European Commission EU Pesticides database [Online] // <https://ec.europa.eu/>. - avril 2016. - <https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/eu-pesticides-database/public/?event=activesubstance.detail&language=EN&selectedID=1414>.

Francis G Formaldehyde scavengers - Overview and Tests [Report] / Joint International Symposium on Wood Composites & Veneer Processing and Products. - Washington (USA) : [s.n.], 2011.

Howard, P.H., R.S. Boethling, W.F. Jarvis, W.M. Meylan et E.M. Michalenko (1991) - *Handbook of environmental degradation rates*, Lewis Publishers, Chelsea (Mich.)

HSDB (2015) – FORMALDEHYDE. Hazardous Substances Data Bank. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/hsdb/164>

HCSP (2019) - Valeurs repères d'aide à la gestion de la qualité de l'air intérieur – le formaldéhyde. Haut Conseil de la Santé Publique. <https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=732>

Hedberg, E.; Kristensson, A.; Ohlsson, M.; Johansson, C.; Johansson, P.-Å.; Swietlicki, E.; Vesely, V.; Wideqvist, U.; Westerholm, R. (2002) *Atmos. Environ.*, 36, 4823.

Hunt Alistair and Dale Nick Economic valuation in formaldehyde regulation [Report]. - [s.l.] : OECD, 2018.

IARC IARC Monographs on the Evaluation Formaldehyde, 2-Butoxyethanol [Report]. - 2006. - Volume 88.

ICIS [Online] // www.icis.com. - juillet 2020. - <https://www.icis.com/explore/resources/news/2007/11/05/9076014/formaldehyde-production-and-manufacturing-process/#:~:text=Formaldehyde%20is%20formed%20by%20the,of%20molybdenum%20and%20iron%20oxide..v>

IHS Markit ihsmarkit.com [Online]. - 2019. - 2020. - <https://ihsmarkit.com/products/formaldehyde-chemical-economics-handbook.html>.

Ineris Fiches Technico Economique : EDTA et ses sels [Report]. - 2011.

Ineris Filières de production et d'utilisation du formaldéhyde, produits de substitution existants et en développement [Report]. - 2007.

Ineris Identification d'actions de réduction des usages pour le formaldéhyde [Book]. - 2013.

INRS Fiche d'aide à la substitution Formaldéhyde [Report]. - 2015.

Ineris (2011) - NORMES DE QUALITÉ ENVIRONNEMENTALE – Formaldéhyde. DRC-12-118981-00284A. <https://substances.ineris.fr/fr/substance/getDocument/3089>

Ineris (2012). Facteurs d'émission de polluants de feux simulés de déchets et de produits issus de la biomasse. <https://www.ineris.fr/fr/facteurs-emission-polluants-feux-simules-dechets-produits-issus-biomasse>

Ineris (2013) - Activités domestiques et qualité de l'air intérieur : émissions, réactivité et produits secondaires. <https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/chiappini-nicolas-adoq-rf-1446454521.pdf>

Ineris (2017) - Exposition aux polluants émis par les Bougies et les Encens dans les Environnements intérieurs (Projet EBENE) - Émissions et risques sanitaires associés. https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/exposition-polluants-bougies-encens-environnements-interieurs_2017_rapport.pdf

Ineris (2020) - Utilisation de désodorisants non-combustibles et qualité de l'air intérieur : enjeux sanitaires, substances d'intérêt, bonnes pratiques ». https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Rapport-Ineris-20-200840-1997302-v1-MTES-BSE_DNC_complet.pdf

Ineris (2020) - INS Inventaire National Spatialisé. <http://emissions-air.developpement-durable.gouv.fr/>

Ineris Fiches Technico Economique : EDTA et ses sels [Report]. - 2011.

Ineris Filières de production et d'utilisation du formaldéhyde, produits de substitution existants et en développement [Report]. - 2007.

Ineris Identification d'actions de réduction des usages pour le formaldéhyde [Book]. - 2013.

INRS Fiche d'aide à la substitution Formaldéhyde [Report]. - 2015.

INRS (2020) - Fiche toxicologique n° 7 : Aldéhyde formique et solutions aqueuses http://www.inrs.fr/dms/ficheTox/FicheFicheTox/FICHETOX_7-4/FicheTox_7.pdf

LCSQA (2020) - GEOD'AIR. <https://www.lcsqa.org/fr/les-donnees-nationales-de-qualite-de-lair>

l'élémentarium <https://www.lelementarium.fr/product/formaldehyde/> [Online] // <https://www.lelementarium.fr/product/formaldehyde/>. - 2015. - juillet 2020.

mcgroup mcgroup.co.uk [Online]. - 2014. - juillet 2020. - <https://mcgroup.co.uk/news/20140627/formaldehyde-production-exceed-52-mln-tonnes.html#:~:text=China%20ranked%20first%20in%20the,and%205.12%25%20shares%2C%20respectively..>

Nwaogu T and al Analysis of the most appropriate risk management option for formaldehyde [Report]. - [s.l.] : TNO Triskelion BV and Risk & Policy Analysts, 2013.

Observatoire de la qualité de l'air (2007) - Campagne nationale logements - Etat de la qualité de l'air dans les logements français. https://www.oqai.fr/media/download/216/1_LOG_CNLI_Etat-QAI.pdf

OCDE SIDS Initial Assessment Report Formaldehyde [Report]. - 2002.

rockwool [Online] // <https://fr.rockwool.com/>. - septembre 2020.

Santé Canada (2001) - Deuxième liste des substances d'intérêt prioritaire (LSIP2) – Rapport d'évaluation : formaldéhyde. Environnement Canada. http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/psl2-lsp2/formaldehyde/index_f.html

Salthammer T et al (2010) - Formaldehyde in the Indoor Environment. Chem. Rev., 110, 2536–2572 <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/cr800399g>

Schauer, J. J.; Kleeman, M. J.; Cass, G. R.; Simoneit, B. R. T. (2001) Environ. Sci. Technol. 35, 1716

Squire R.A.et Cameron L.L. (1984) - An analysis of potential carcinogenic risk from formaldehyde. Regul. Toxicol. Pharmacol., 4, 107-129.

Tang Xiaojiang and al Formaldehyde in China: Production, consumption, exposure levels, and health effects [Journal]. - [s.l.] : Environment International, 2009. - Vol. 35.

Techniques de l'Ingénieur Collage du bois. Colles, adhésifs, liants [Report]. - 2006. - BM 7635.

Transparency Market Research Formaldéhyde Market [Online] // <https://www.transparencymarketresearch.com/formaldehyde-market.html>. - juillet 2020. - <https://www.transparencymarketresearch.com/formaldehyde-market.html>.

Union Européenne Annexe II RÈGLEMENT (CE) No 396/2005 DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 23 février 2005 [Journal] // Journal Officiel . - 2011.

ursa [Online] // <https://www.ursa.fr/>. - septembre 2020. - <https://www.ursa.fr/>.

VIDAL Formaldéhyde [Online] // www.vidal.fr. - 2013. - <https://www.vidal.fr/substances/1544/formaldehyde/#:~:text=En%20association%20%C3%A0%20la%20lidoca%C3%AFne,des%20canaux%20radiculaires%20avant%20obturation>.

WHO Concise International Chemical Assessment Document 40 Formaldehyde [Report]. - 2002.

