Étude d'impact de l'interdiction de la créosote sur les projets de réseaux

Mai 2023
N° 70

Rapports techniques

Auteur Eric Morel
Coordination Florent Germain, Nicolas Jacotot, Stéphane Madou, Huihui Zhou (AFD)

Eric Morel
Mach&Team

AFD
éditions
AGENCE FRANÇAISE DE DÉVELOPPEMENT

Étude d'impact de l'interdiction de la créosote sur les projets de réseaux

Résumé **3**

Glossaire **4**

Introduction **6**

1. Qu'est-ce que la créosote et pourquoi est-elle utilisée dans les poteaux électriques ? **7**

1.1. La créosote 7

1.2. La créosote : un biocide utilisé depuis longtemps pour la protection des poteaux électriques 7

2. Les inconvénients de la créosote **9**

2.1. La créosote, danger pour les personnes 9

2.2. La créosote, polluant invasif, danger pour l'environnement 11

3. La chaîne de valeur de la créosote **13**

3.1. La production de la créosote (de goudron de houille) 13

3.2. Les procédés d'imprégnation du bois à la créosote 14

4. Les mesures prises ou à venir, lors des phases du cycle de vie des poteaux électriques pour faire face aux dangers de la créosote **16**

4.1. Mesures concernant la phase de production 16

4.2. Mesures concernant la phase de stockage 17

4.3. Mesures concernant la phase d'exploitation 18

4.4. Mesures concernant la gestion de fin de vie 18

5. La réglementation concernant la créosote **20**

5.1. Plusieurs organismes reconnaissent la dangerosité de la créosote 20

5.2. En Europe 20

5.3. En France 22

5.4. Aux États-Unis 23

5.5. En Afrique du Sud 24

6. Financement de projets contenant de la créosote **25**

6.1. À la Banque mondiale 25

6.2. À la Banque européenne d'investissement (BEI) 26

6.3. À la Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) 26

7. État des lieux concernant l'utilisation de la créosote **28**

7.1. Production de créosote 28

7.2. Production de poteaux traités à la créosote 29

7.3. Marché des poteaux électriques 31

7.4. Exemples de marchés locaux de poteaux électriques en bois 32

7.5. Le lobbying et les associations professionnelles 33

8. Solutions de substitution de la créosote **34**

8.1. Les traitements alternatifs du bois 34

8.2. L'acier 62

8.3. Le béton 67

8.4. Les matériaux composites 72

8.5. Chemisage des poteaux 75

9. ACV comparative des différentes solutions **76**

9.1. Durée de vie des poteaux 76

9.2. ACV menée par le WEI-IEO 77

9.3. ACV menée en 2012 par le Treated Wood Council (TWC) 81

9.4. ACV menée en 2009 et 2012 par Martin Erlandsson 82

10. Comparaison de prix entre les technologies **84**

11. Évolution de quelques exemples de marchés **85**

11.1. Des marchés établis de longue date avec un mix complet 85

11.2. Des marchés de poteaux en bois plutôt résistants 86

11.3. Des marchés de poteaux en bois en phase ou en nécessité d'évolution 86

11.4. Des marchés de poteaux en bois sans perspective de changement à très court terme 87

12. Tableau récapitulatif **88**

Annexe

Estimation du nombre de poteaux électriques dans chaque pays **91**

Liste des sigles et abréviations **100**

Agence française de développement

Rapports techniques

Les nombreux rapports, études de faisabilités, analyses de cas et enquêtes de terrain produits par l'AFD contiennent des informations très utiles, en particulier pour les praticiens du développement. L'objectif de cette série est de partager des informations techniques, géographiques et sectorielles sur une dimension du développement et d'en faire un retour d'expérience.

Les opinions exprimées dans ce papier sont celles de son (ses) auteur(s) et ne reflètent pas nécessairement celles de l'AFD. Ce document est publié sous l'entière responsabilité de son (ses) auteur(s) ou des institutions partenaires.

AFD Technical reports

The various reports produced by AFD (feasibility, case studies and field surveys) contain very useful informations, especially for development practitioners. This series aims to provide technical, geographic and sectoral informations on development issues and to share experiences.

The opinions expressed in this paper are those of the author(s) and do not necessarily reflect the position of AFD. It is therefore published under the sole responsibility of its author(s) or its partner institutions.

Étude d'impact de l'interdiction de la créosote sur les projets de réseaux

Auteur

Eric Morel
Mach&Team

Résumé

Dans le monde, une grande majorité des poteaux de distribution électrique sont en bois. Pour accroître la durée de vie de ces poteaux et améliorer leur résistance face à divers types d'agression (insectes, intempéries, humidité), ils sont imprégnés de produits fongicides et insecticides, souvent dangereux pour la santé humaine et pour l'environnement.

Parmi eux, la créosote, produit dérivé de la fabrication de l'acier, issu du charbon, est le plus répandu.

Son impact sur la santé humaine (il est cancérogène, mutagène et reprotoxique) et sur l'environnement (il est très toxique pour les organismes aquatiques) ont conduit la Commission européenne à l'interdire.

Cette décision s'inscrit dans une lignée de textes règlementaires qui tendent à stopper l'usage de produits chimiques trop dangereux pour l'homme et l'environnement.

La question des solutions alternatives pour fabriquer des poteaux électriques se pose donc pour les gestionnaires de réseaux de distribution comme pour les banques de développement qui, à l'image de l'AFD, financent la construction de réseaux de distribution électrique.

Divers traitements du bois, présentant tous des dangers plus ou moins importants pour la santé humaine et l'environnement, sont disponibles et permettent la fabrication de poteaux économiques, facilement installables, fabriqués en bois, une ressource naturelle, renouvelable, présente dans de nombreuses régions, au bilan sur le cycle de vie plutôt favorable.

Les poteaux en acier sont légers, peuvent être installés et transportés facilement, sont résistants mais peuvent être sujets à la corrosion, sont chers, puisent dans nos ressources en métal et ne peuvent pas être fabriqués localement facilement.

Les poteaux en béton peuvent être aisément fabriqués dans de nombreux pays, affichent un prix raisonnable et une résistance élevée mais ils sont lourds (donc difficilement transportables), peuvent par ailleurs être sensibles à certaines atmosphères agressives et présentent un bilan CO_2 défavorable sur leur cycle de vie.

Les poteaux en matière composite sont légers, très résistants, ont une durée de vie longue mais sont très chers et ont un bilan ACV plutôt moyen.

Ce rapport montre que le choix d'une technologie de fabrication des poteaux de distribution électrique nécessite de se positionner dans une opposition entre :

- **d'une part, des objectifs économiques ou de réduction des émissions de CO_2**, favorables aux poteaux en bois traités ;

- **d'autre part, des objectifs de protection de la santé humaine et de l'environnement**, favorables aux poteaux en acier, en bois ou en matériau composite.

Pour un gestionnaire de réseau, ce positionnement doit être nuancé suivant l'endroit où est implanté chaque poteau car des paramètres vont interdire ou rendre difficile le recours à certaines technologies : l'infrastructure de transport disponible, le climat, le type de sol dans lequel le poteau est installé, l'exposition aux incendies, aux tempêtes ou aux inondations, le risque de vandalisme et de dégradation ou encore la volonté de produire localement.

Chaque acteur devra orienter et affiner ses choix pour atteindre le meilleur compromis possible entre le coût du réseau (au sens coût de possession complet), les impacts sur la santé des personnes et sur l'environnement et la maîtrise des émissions de CO_2 sur la durée de vie des poteaux.

Glossaire

ACV L'Analyse du cycle de vie (ACV) est une méthode normalisée (ISO 14040) permettant de réaliser un bilan environnemental multicritère d'un produit, d'une organisation ou d'un système, cumulé sur l'ensemble de son cycle de vie.

CAS Le numéro CAS d'une substance chimique est son numéro d'enregistrement auprès de la banque de données mondiale américaine de *Chemical Abstracts Service* (CAS). Cette base de données recense à ce jour près de 150 millions de substances.

CASE Le Comité d'analyse socio-économique prépare les avis de l'ECHA sur l'impact socio-économique de mesures législatives potentielles à l'égard de substances chimiques dans le cadre des procédures REACH : les décisions finales étant prises par la Commission européenne.

CCA Le CCA est un mélange de cuivre, de chrome et d'arsenic.

CER Le Comité d'évaluation des risques prépare les avis de l'ECHA sur les risques des substances pour la santé humaine et l'environnement dans le cadre des procédures REACH et CLP : les décisions finales étant prises par la Commission européenne.

CIRC Le Centre international de recherche sur le cancer est une agence intergouvernementale de recherche fondée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS).

CLP Règlement CLP européen relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances chimiques et des mélanges (CLP en anglais : *Classification, Labelling, Packaging*).

CMR Parmi les substances chimiques seules ou en mélanges pouvant présenter divers effets nocifs pour la santé humaine, certaines d'entre elles peuvent être cancérogènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction ; elles sont alors dites « CMR ».

Demi-vie La demi-vie est le temps mis par une substance pour perdre la moitié de son activité physiologique.

ECHA *European Chemicals Agency* ou Agence européenne des produits chimiques.

EPA *Environmental Protection Agency* est l'agence gouvernementale états-unienne pour l'environnement.

FIFRA *Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act* est une loi fédérale américaine qui constitue la base réglementaire états-unienne sur les pesticides en vue de la protection des personnes et de l'environnement.

HAP Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont une sous-famille des hydrocarbures aromatiques (constitués d'atomes de carbone et d'hydrogène) très étudiée en raison de la toxicité des substances la constituant.

Lixiviation désigne tous les moyens d'extraction de produits solubles par un solvant, à commencer par l'eau circulant dans le sol ou dans un substrat contenant des produits toxiques.

PBT Une substance est dite « PBT » si elle est persistante, bioaccumulable et toxique. Par exemple, les polluants organiques persistants (POP) sont des PBT.

REACH *Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals.* L'enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques (réglementation de l'UE, Union européenne).

Introduction

Face à une pression règlementaire croissante sur les aspects de protection de la santé humaine et de protection de l'environnement, il est tout à fait légitime que les grands investisseurs publics tels que l'Agence française de développement (AFD), cherchent à en mesurer les effets sur les projets qu'ils financent.

L'interdiction récente, en Europe, de la créosote, comme produit de traitement des poteaux électriques, a conduit l'AFD à étudier les alternatives possibles pour la fabrication des poteaux de distribution électrique. Répondre à cette interrogation est l'objet du présent document.

Ce document est une synthèse la plus complète et la plus fidèle possible des données aujourd'hui publiées et accessibles librement.

En ce qui concerne l'analyse des produits chimiques de traitement des poteaux électriques, le document propose une lecture structurée des données officielles publiées, notamment par les agences publiques européennes et américaines : en revanche, ce n'est pas un document écrit par des chimistes experts, compétents pour donner un avis éclairé sur l'ensemble des substances évoquées.

1. Qu'est-ce que la créosote et pourquoi est-elle utilisée dans les poteaux électriques ?

1.1. La créosote

La créosote n'est pas un produit clairement défini mais plutôt une famille de produits. Ce nom désigne diverses huiles, à la composition complexe, extraites de goudrons résultant de la distillation de matières végétales (plantes, bois) ou minérales (charbon).

La créosote la plus répandue, dont il va être question dans ce document, est la créosote de goudron de houille. **Ce produit n'existe pas à l'état naturel : c'est un produit industriel dérivé du charbon.**

Pour la simplicité de la lecture, nous utiliserons désormais le terme **« créosote »** pour désigner cette créosote de goudron de houille.

La créosote provient de la distillation, à des températures comprises entre 200 et 400°C des goudrons produits dans un four à coke. Sa composition, toujours complexe, car elle est constituée de 150 à 300 éléments différents, est variable selon l'origine de la houille et la méthode de distillation.

Elle est souvent commercialisée, mélangée à de l'huile ou à un solvant, ce qui lui confère un aspect de liquide huileux de couleur sombre à l'odeur caractéristique.

La créosote est une substance référencée par les deux principaux organismes de gestion des substances chimiques : l'*Environmental Protection Agency* (EPA) aux États-Unis et l'*European Chemicals Agency* (ECHA) en Europe.

Créosote	**ECHA**	100.029.468	**CAS**	8001-58-9

1.2. La créosote : un biocide utilisé depuis longtemps pour la protection des poteaux électriques

Depuis l'origine de la distribution électrique au 19e siècle, le matériau le plus naturel et le plus évident pour la fabrication des poteaux électriques est le bois.

Nous le verrons à plusieurs reprises dans le document, le bois a de multiples avantages qui justifiaient son usage par le passé, et encore aujourd'hui, dominant dans cette fabrication :

- le bois est disponible en abondance dans de très nombreux pays ;
- le bois est un matériau peu coûteux ;
- les poteaux en bois sont faciles à fabriquer et à mettre en œuvre, principalement grâce à leur poids, suffisamment faible pour être peu contraignant.

La production de poteaux électriques répond aujourd'hui à des normes exigeantes mais accessibles : la grande majorité des scieries spécialisées peuvent produire des poteaux bruts conformes.

En revanche, les poteaux en bois sont sujets à de multiples agressions, d'autant plus nombreuses dans les atmosphères chaudes et humides :

- par les insectes xylophages, termites en particulier,
- par les champignons lignivores,
- par les pics.

Depuis une centaine d'années, l'enjeu de rallonger la durée de vie de ces poteaux, d'éviter leur usure et leur remplacement trop fréquent a conduit à protéger le bois contre la plupart de ces agressions. La durée de vie des poteaux a ainsi pu être rallongée de 5 à 10 ans pour varier de 40 à 60 ans selon les espèces de bois et le climat.

La créosote est, avec le sulfate de cuivre, l'une des matières pesticides, fongicides et sporicides utilisées depuis très longtemps pour assurer le traitement des poteaux électriques.

Pour ses qualités, la créosote a aussi été utilisée depuis longtemps pour protéger :

- les traverses de chemin de fer,
- les poteaux électriques et télégraphiques,
- les bois marins.

Grâce au traitement à la créosote, les poteaux en bois peuvent supporter davantage d'humidité permanente, peuvent être plantés directement dans le sol, sont protégés contre les insectes, notamment les termites, et sont protégés des moisissures.

2. Les inconvénients de la créosote

La Commission européenne, *via* ECHA, et les États-Unis, *via* EPA, ont conduit et partagé de nombreuses études concernant la créosote. Leurs conclusions sont en tous points convergentes.

2.1. La créosote, danger pour les personnes

La créosote est un mélange de plusieurs centaines de composés qui appartiennent à divers groupes de substances :

- hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) qui peuvent constituer jusqu'à 85 % de la créosote,
- phénols,
- composés hétérocycliques,
- amines aromatiques.

Parmi ces substances, on trouve de nombreux dérivés toxiques pour les humains, en particulier des HAP, constituants naturels du charbon mais aussi produits d'une combustion incomplète de carburants ou de bois.

Les HAP toxiques les plus importants présents dans la créosote sont :

- acénaphtène : base de fabrication d'herbicides ;
- acénaphtylène : base de fabrication d'herbicides et de matières plastiques ;
- anthracène : base de fabrication d'insecticides et de conservateurs pour le bois – classé « PBT » (persistant, bioaccumulable et toxique) ;
- benzanthracène : présent sur la liste des cancérogènes du Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) ;
- benzopyrène : polluant de l'air persistant, bioaccumulé par certains animaux marins – classé « Très PBT » ;
- benzo[k]fluoranthène : substance cancérogène très toxique pour les organismes aquatiques ;
- fluoranthène : présent sur la liste des cancérogènes du CIRC – classé « Très PBT » ;
- fluorène : base de fabrication de pesticides et de matières plastiques ;
- naphtalène : base de fabrication d'insecticides et de résines ;
- phénanthrène : un des polluants organiques persistants (POP) – classé « Très PBT ».

Compte tenu de sa composition complexe, les études disponibles sur la créosote sont scientifiquement insuffisantes pour prouver ses effets sur la santé humaine. La documentation actuelle disponible à son propos se base essentiellement sur des études réalisées sur ses principaux composants.

Les effets sur la santé humaine, prouvés pour les composants de la créosote, sont supposés être identiques ou proches pour la créosote. Cette généralisation des conclusions incite à la prudence. Cependant, certaines études épidémiologiques complémentaires conduites sur des ouvriers régulièrement exposés à la créosote, ont pu confirmer certaines conclusions ainsi obtenues.

La créosote, produit cancérogène, mutagène et reprotoxique, présente de réels dangers pour la santé humaine.

La créosote est un irritant de la peau, des yeux et des voies respiratoires.

Cette caractéristique, régulièrement observée chez les ouvriers fréquemment en contact avec la créosote, a conduit, selon le règlement CLP européen, à classer la créosote H315 (provoque une irritation cutanée) et H319 (provoque une irritation des yeux).

La créosote peut être un mutagène.

Cette toxicité a été mise en évidence sur les animaux dans des proportions qui varient avec le type de créosote, les taux de concentration et des paramètres liés aux animaux eux-mêmes. Il est scientifiquement difficile de conclure sur la question mais un faisceau de présomptions conduit à faire preuve de la plus grande prudence sur le sujet.

La créosote est un cancérogène.

Des études conduites sur des animaux ont clairement mis en évidence une augmentation des cancers de la peau dans des proportions fortement dépendantes de l'exposition. La littérature « grand public » fait état de risques plus étendus de cancers à divers organes (poumons, prostate, pancréas, gorge, etc.) sans que cela ait pu être clairement prouvé.

Selon le règlement CLP européen, la créosote est donc classée cancérogène de classe 1B (H350 cancérigène probable). Cette classification s'appuie notamment sur une classification cancérogène 2A de la part du CIRC (indications limitées chez l'humain mais suffisantes chez l'animal) et sur une classification 1B de la part de l'EPA (présomption d'un caractère cancérogène chez l'humain basée sur des évidences concernant les animaux).

La créosote est un reprotoxique.

Certaines études ont montré que la créosote pourrait avoir une incidence sur le début du développement intra-utérin du fœtus et causer une augmentation de morts fœtales.

L'évaluation faite en Europe en 2021 de la créosote dans le cadre du règlement CLP recommande une classification H361d (peut causer des dégâts sur le fœtus) comme point de vigilance.

Par ailleurs, des études faites sur les animaux mettent clairement en évidence l'impact de la créosote sur la génération issue de la génération exposée avec des troubles de la fertilité et un développement de leurs propres petits, significativement affecté.

Ceci conduit à faire la même évaluation que précédemment, consistant à recommander un classement de la créosote en H360F (peut perturber la fertilité) qui pointe, cette fois, des effets considérés comme un danger.

Il y a trois manières d'être exposé à la créosote et à ses effets sur la santé :

- par ingestion de créosote : ce risque est très limité. Les ingestions *via* des aliments concernent des concentrations trop faibles pour être considérées comme dangereuses ;
- par inhalation de produits volatils contenus dans la créosote : ce risque existe dans les phases de production pour les ouvriers proches des enceintes d'imprégnation pour la production à chaud de poteaux créosotés ou, pire, proches des lieux de trempage ou de pulvérisation pour les productions à froid ;
- par contact avec la créosote : ce risque existe à toutes les phases de la vie des poteaux et concerne autant les agents de production que les transporteurs, les installateurs et les personnes chargées du recyclage.

L'évaluation faite par l'Europe en 2021 [1] conclut au fait que :

- l'exposition des installateurs et des ouvriers brossant les bois créosotés après leur coupe éventuelle est suffisante pour craindre les dangers évoqués ci-dessus à propos de leur santé ;
- l'exposition des ouvriers dans les usines d'imprégnation est élevée et non acceptable sans mesure de protection *ad hoc* d'autant que la créosote cumule des effets négatifs sur les trois composantes considérées comme les plus dangereuses et les plus inacceptables : reprotoxicité, caractères cancérogène et mutagène.

Les réglementations tendent à répondre de façon de plus en plus pressante aux enjeux de santé publique : l'interdiction progressive de produits avérés dangereux comme la créosote en est le signe. Ce mouvement se développe, en priorité, dans les pays les plus développés.

2.2. La créosote, polluant invasif, danger pour l'environnement

La créosote est globalement peu soluble dans l'eau mais, par sa composition complexe, elle contient néanmoins des substances très solubles dans l'eau, d'autres très volatiles.

Les constituants polluants de la créosote se retrouvent dans tous les milieux biotiques, c'est-à-dire dans lesquels se développe la vie.

L'impact de la créosote sur l'environnement vient principalement du pouvoir polluant des HAP qu'elle contient.

Dans l'eau, les HAP présents dans la créosote sont, dans les meilleurs des cas, photolysés (décomposés par la lumière) rapidement. Compte tenu de l'atténuation lumineuse dans les milieux aquatiques naturels, le temps nécessaire à la photolyse de la moitié des quantités (demi-vie [2]) de HAP varie, selon les HAP, entre un jour et presque deux ans.

[1] https://echa.europa.eu/documents/10162/fc41edcf-3732-2ba9-6a14-0fb9b423fd6c

[2] La demi-vie est le temps au terme duquel il ne reste que la moitié des quantités de produit initial, l'autre moitié ayant disparu sous l'effet de différents mécanismes de décomposition et de transformation.

Dans l'air, on retrouve des HAP volatils. Au cours de leur résidence dans l'atmosphère, ils sont soumis à divers processus de dégradation : principalement la photolyse, secondairement les réactions avec les différents oxydants présents dans l'atmosphère à l'état gazeux. Sous ces diverses influences, la demi-vie des HAP dans l'air varie entre une et sept heures.

La pluie peut conduire les HAP présents dans l'air à se répandre dans les eaux et sur terre, ce qui amène à en trouver des traces sur les plantes et les animaux, et, par conséquent, dans notre alimentation. Ces composés étant peu hydrophiles, on les retrouve également dans les sédiments. Les HAP sont donc des polluants, persistants pour certains, qui contaminent tous les milieux.

Les émissions dans l'air de huit HAP particulièrement préoccupants font l'objet d'une surveillance particulière ; quatre d'entre eux entrent dans la composition de la créosote. Malgré une attention particulière, les émissions en France de ces produits stagnent depuis 2010, montrant notre dépendance vis-à-vis d'eux.

La créosote présente également des dangers pour les sols, les eaux et l'air.

La pollution des sols est essentiellement diffuse et provient des retombées de HAP présents dans l'air. Elle peut également résulter de pollutions ponctuelles.

Plusieurs étapes du cycle de vie des poteaux traités à la créosote présentent un risque de contamination de l'environnement :

- au moment de l'application du produit sur le bois ;
- lors de la manipulation du bois traité, de son transport, de sa mise en place, de son retrait par les différents professionnels de la chaîne d'acteurs ;
- au cours de l'utilisation des bois traités, en raison de la diffusion de la créosote dans l'eau, l'air ou le sol ;
- en tant que déchet, lorsque l'utilisateur du bois traité doit s'en débarrasser.

Par ailleurs, comme la plupart des produits insecticides et fongicides, la créosote présente une toxicité toute particulière pour les organismes marins.

Les réglementations tendent à être de plus en plus contraignantes en ce qui concerne le contrôle et la réduction des rejets de composants toxiques.

3. La chaîne de valeur de la créosote

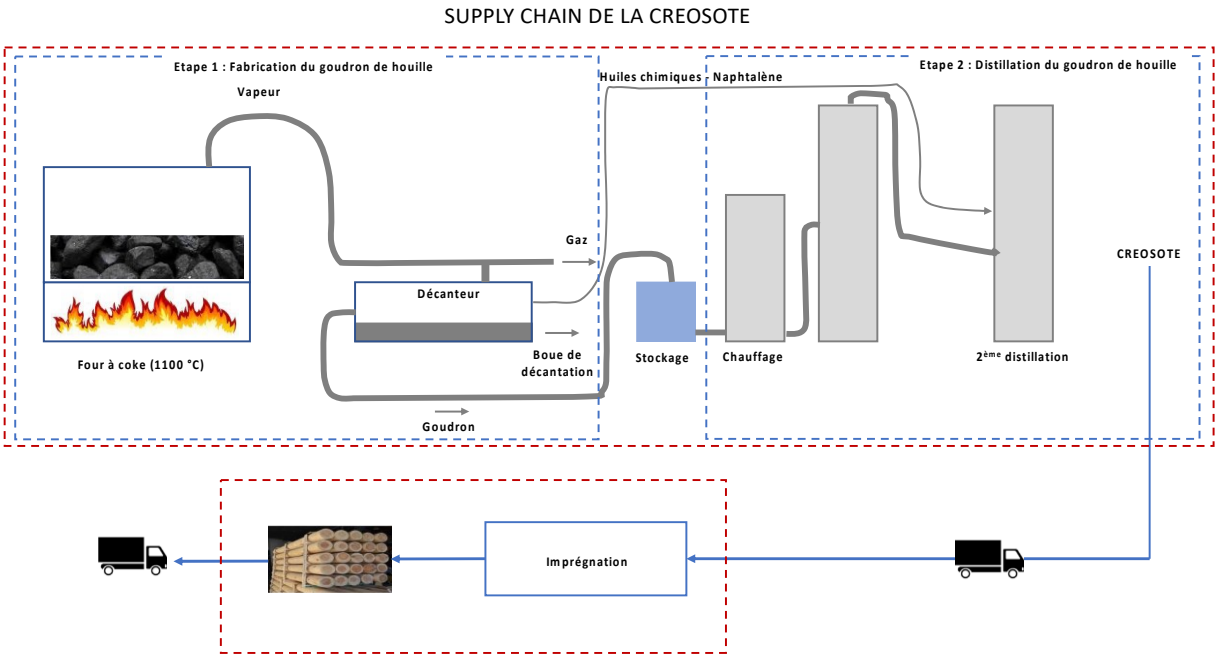
3.1. La production de la créosote (de goudron de houille)

La créosote est un sous-produit de la fabrication de l'acier émanant du charbon.

La fabrication de la créosote suit deux étapes principales (schéma 1). Certains fabricants couvrent l'intégralité du processus de fabrication, d'autres n'en couvrent qu'une partie : production du goudron de houille pour les uns, ou distillation de ce goudron pour les autres.

La première étape est la production de goudron de houille. Ces goudrons sont produits par décantation des vapeurs issues des fours à coke, qui alimentent en coke les aciéries.

Schéma 1. Circuit complet de la créosote, de la production à l'application du produit



Source : Mach&Team, d'après Nicholas P. Cheremisinoff, Paul Rosenfeld, Anton R. Davletshin (2008).

Durant cette étape, la cokéfaction du charbon génère de nombreux produits aux usages divers parmi lesquels :

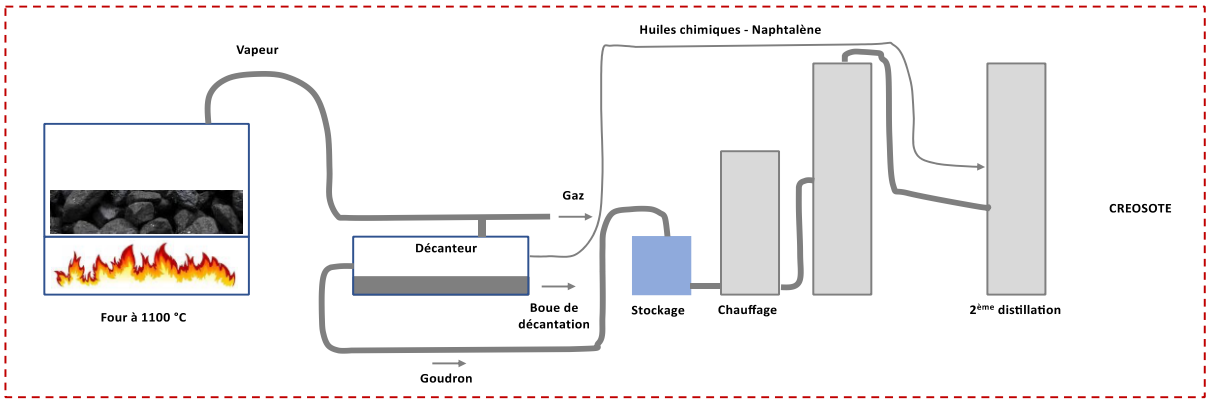
- le coke, utilisé dans les aciéries pour réduire le minerai de fer et obtenir de la fonte, première étape de la fabrication de l'acier ;
- le brai de charbon, utilisé pour fabriquer des anodes et cathodes mais aussi comme agent d'isolation et d'étanchéité ;
- le naphtalène, substance chimique utile à la fabrication de plastifiants, de teintures ou de résines ;
- le goudron de houille, qui entre dans la composition de shampooings, savons et produits anti-poux.

Le goudron de houille est donc généralement produit dans des aciéries, autrement dit dans les pays leaders de la fabrication de l'acier, ou encore dans les pays producteurs de charbon dont ils assurent une partie de la transformation (le coke étant alors livré aux aciéries qui n'en assurent pas directement la production). Cette production est assez fortement capitalistique et s'avère de plus en plus soumise à des règles strictes d'hygiène et de sécurité ; de là, celle-ci est plutôt concentrée.

La deuxième étape est la production de la créosote proprement dite par distillation des goudrons de houille (schéma 2). Selon les cas, une ou plusieurs étapes de distillation sont nécessaires. La créosote n'est qu'un sous-produit parmi d'autres de ce processus de distillation.

La créosote est donc produite principalement dans des installations de raffinage spécialisées appartenant à des sociétés de production de produits chimiques.

Schéma 2. Processus de fabrication de la créosote



Source : Mach&Team, d'après Nicholas P. Cheremisinoff, Paul Rosenfeld, Anton R. Davletshin (2008).

La créosote est ensuite mélangée à un solvant ou à de l'huile et acheminée vers les usines d'imprégnation de poteaux bruts situées principalement dans les pays disposant d'une industrie forestière importante. Ces usines sont soit de taille importante (proches des lieux de production du bois) et exportent une part significative de leur production, soit de petite taille (proches des lieux de consommation). Cette industrie est donc particulièrement fragmentée.

3.2. Les procédés d'imprégnation du bois à la créosote

Le traitement du bois est une étape clé qui conditionne sa durée de vie. Ce traitement consiste à imprégner le bois par une substance fongicide et insecticide, ici la créosote.

Historiquement, trois modes principaux d'imprégnation du bois ont été utilisés :

- le trempage dans un bain de produit de préservation, procédé qui entraîne des taux de lixiviation importants ;
- la pulvérisation de produit de préservation sur le bois qui entraîne des taux de lixiviation importants, procédé aujourd'hui quasiment abandonné ;
- l'imprégnation sous pression.

La méthode d'imprégnation doit être adaptée à la porosité du bois traité, au degré de protection souhaité et à la durée de vie espérée pour le bois traité. Les poteaux électriques, pour lesquels une durée de vie maximale est attendue, sont donc tous imprégnés sous pression, et ce quelle que soit l'essence de bois employée.

L'imprégnation sous pression se fait dans des enceintes étanches dans lesquelles la créosote et les bois subissent des cycles de variations de pression destinés à accroître la qualité d'imprégnation. En Europe, trois procédés sont principalement utilisés (leurs équivalents américains existent sous d'autres appellations), à savoir :

- le procédé *Rüping* consiste à mettre le bois sous une pression de 4 bars pendant 15 minutes avant d'injecter la créosote dans l'enceinte et de monter la pression à 8 bars jusqu'au refus (fin du processus d'imprégnation). Le cycle se termine par 30 minutes sous un « vide » de 0,3 bar. Ce procédé est utilisé pour les bois imprégnables comme le pin ;
- le procédé *Bethell* soumet d'abord le bois à un « vide » de 0,2 bar pendant une heure avant d'injecter la créosote dans le cylindre et de monter la pression entre 8 et 12 bars jusqu'au refus, puis de soumettre à nouveau le bois traité à un « vide » de 0,2 bar pendant 30 minutes. Ce procédé est également utilisé pour les bois imprégnables comme le pin ;
- le procédé *Estrade* consiste à déshydrater préalablement les poteaux en les soumettant à une ventilation d'air chaud à 80-100°C pendant 48 heures, puis à les imprégner par la méthode *Bethell* (voir *supra*). Ce procédé est utilisé pour les essences moyennement résistantes ou résistantes à l'imprégnation (sapin, épicéa).

Comme la créosote n'est pas soluble dans l'eau, on la dilue habituellement pour la phase d'imprégnation dans un solvant à base de pétrole, ce qui facilite la pénétration du produit dans la pile de poteaux bruts espacés et chauffés sous pression dans l'enceinte d'imprégnation.

Selon les usages et les conditions d'utilisation, il est donc possible d'avoir recours à des poteaux électriques en bois plus tendre, moins dense, facilement imprégnable (nécessitant environ 92 kg de créosote par m^3 de bois), ou à des poteaux fabriqués dans un bois plus dur, dont l'imprégnation consommera davantage d'énergie mais moins de créosote (environ 70 kg/m^3 de bois).

Au cours du procédé d'imprégnation, le bois absorbe une quantité de produit de traitement, en fonction de ses propres caractéristiques et du type de traitement souhaité. Par la suite, on parlera fréquemment de quantité ou du taux de rétention pour afficher la quantité de produit absorbée et retenue par le bois.

4. Les mesures prises ou à venir, lors des différentes phases du cycle de vie des poteaux électriques pour faire face aux dangers de la créosote

Les dangers de la créosote pour l'environnement et pour la santé humaine ont conduit à édicter des mesures, principalement réglementaires, limitant les risques de l'usage de la créosote à chaque stade du cycle de vie des poteaux créosotés. L'Europe, et tout particulièrement la France, sont des zones pionnières en la matière. Les mesures qui y sont prises et déployées représentent donc les solutions de prise en compte les plus avancées des dangers de la créosote et des poteaux créosotés.

Ainsi, la France possède la réglementation la plus contraignante en ce qui concerne la créosote.

En dehors de l'Europe, toutes les configurations existent : une prise en considération moins avancée des dangers de la créosote débouchant sur des solutions moins protectrices pour la santé humaine et pour l'environnement, ou la quasi-absence de solutions adaptées. Cette absence de solutions se rencontre également dans des pays ayant conduit sur leurs sols des études d'investigation quant à l'impact de l'usage de poteaux créosotés, ayant abouti à des résultats sans ambiguïté.

4.1. Mesures concernant la phase de production

Au cours de la production des poteaux créosotés, la créosote a diverses façons d'impacter l'environnement et la santé des ouvriers.

Ses caractéristiques, que nous venons de décrire, rendent nécessaires deux types de mesures de précaution lors de l'imprégnation des poteaux créosotés :

- des mesures pour protéger l'environnement de fuites possibles de composants toxiques de la créosote ;
- des mesures de protection des ouvriers œuvrant dans les usines d'imprégnation.

4.1.1. Dans les pays ayant la réglementation la plus avancée

Les installations d'imprégnation du bois avec de la créosote sont des installations classées soumises à autorisation. Plus récemment, en Europe, les instances réglementaires ont souhaité également inclure ces installations dans le cadre de la directive européenne relative aux émissions industrielles (IED, *Industrial Emissions Directive*) pour améliorer le contrôle des rejets.

En ce qui concerne la protection de l'environnement, les principales contraintes imposées aux usines d'imprégnation du bois au moyen de la créosote sont les suivantes :

- des enceintes d'imprégnation étanches pour empêcher la fuite dans l'air de composants (principalement HAP) volatils ;

- des systèmes de récupération des composants volatils ;
- des systèmes d'oxydation de ces composants pour les détruire (en général en les portant à des températures excédant 900°C pendant une à deux secondes) ;
- des installations de traitement biologique des eaux utilisées pour le fonctionnement et le nettoyage des installations d'imprégnation.

Quant aux mesures imposées ou recommandées pour les ouvriers, elles comprennent :

- le port de gants suffisamment épais pour éviter le contact avec la peau lors des manipulations des poteaux ;
- le port d'un écran facial ou d'une paire de lunettes pour prévenir l'irritation des yeux ;
- le port d'un masque pour éviter les irritations pulmonaires ;
- le port de chaussures de sécurité.

Ces mesures concernent tous les ouvriers, plus encore ceux effectuant les opérations de nettoyage et de maintenance des enceintes d'imprégnation, sans exclure ceux qui travaillent dans les laboratoires de contrôle et d'analyse en lien avec les installations de production.

4.1.2. Dans les pays ayant une réglementation moins avancée

Des dispositions plus légères sont généralement recommandées pour protéger les personnes en contact rapproché avec la créosote, en premier lieu les ouvriers. Ces dispositions sont rarement, voire presque jamais, des obligations et ne font l'objet d'aucun contrôle.

Les ouvriers sont donc très exposés aux dangers susévoqués.

Quant à l'environnement, il peut souvent ne faire l'objet d'aucune mesure particulière de protection contre la créosote et ses composants les plus dangereux.

4.2. Mesures concernant la phase de stockage

Le stockage présente davantage de risques pour l'environnement que pour les ouvriers travaillant dans les installations de tri et de stockage de poteaux créosotés. En effet, les ouvriers ont des contacts moins directs, moins prolongés et plus distants. Dans le cas d'un stockage en fin de vie, les poteaux créosotés sont plus vieux : les composants dangereux volatils de la créosote ont alors quasiment disparu.

4.2.1. Dans les pays ayant la réglementation la plus avancée

Les lieux de transit, de tri et de stockage des poteaux créosotés sont considérés comme des lieux de stockage de produits dangereux.

Des contraintes sont donc imposées pour réduire au maximum les contaminations de l'environnement :

- protection renforcée contre le feu des installations et, plus particulièrement, des bâtiments de stockage ;
- exposition réduite face à la pluie pour éviter que les eaux de ruissellement se chargent de produits dangereux dans les poteaux entreposés ;
- des lieux de stockage évitant la contamination des sols : alvéoles de stockage (pour éviter, le cas échéant, les contaminations entre produits) avec des sols en béton ;
- des installations de traitement des eaux de ruissellement ayant été possiblement en contact avec les poteaux (donc qui ont également ruisselé sur les lieux de manutention, de chargement et de déchargement des poteaux) ;
- une surveillance accrue des déchets et rejets.

Les gestionnaires de réseaux ferrés et de réseaux de distribution électrique, qui sont les principaux acteurs concernés, sont souvent exemptés de telles mesures par la réglementation : ce qui revient à leur laisser la responsabilité de leur impact sur l'environnement.

4.2.2. Dans les pays ayant une réglementation moins avancée

Le stockage de bois imprégnés à la créosote ne fait l'objet d'aucune attention particulière.

4.3. Mesures concernant la phase d'exploitation

Bien que les poteaux créosotés soient plantés directement dans le sol et sont donc en contact avec lui, aucune étude n'a pu mettre en évidence un risque significatif pour les sols ou pour les eaux souterraines.

Il n'y pas de disposition particulière pour gérer l'usage des poteaux créosotés durant leur phase d'exploitation.

4.4. Mesures concernant la gestion de fin de vie

4.4.1. Dans les pays ayant la réglementation la plus avancée

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) distingue trois catégories de déchets bois par rapport aux exigences de recyclage (schéma 3).

Schéma 3. Les trois types de déchets bois selon l'ADEME

Les déchets bois de type C incluent ceux traités avec des matières dangereuses dont la créosote fait partie. Ils ne peuvent être ni recyclés, ni valorisés.

Ces déchets bois de type C doivent faire l'objet d'une traçabilité et être traités dans des installations classées et réglementées, réservées aux déchets dangereux.

Contrairement à la plupart des autres produits de traitement du bois, la combustion de la créosote n'émet pas de métaux lourds. Sa valorisation énergétique est donc une solution à privilégier.

Les bois créosotés doivent être obligatoirement incinérés dans des installations agréées qui comportent les caractéristiques suivantes :

- le broyage, éventuellement effectué par un acteur tiers, doit se faire avec un dispositif de piégeage des poussières ;
- l'incinération se fait par pyrolyse à 700°C sans oxygène après un séchage à 200°C dans des fours conformes aux exigences réglementaires ;
- ces fours doivent pouvoir atteindre 1 100°C pendant deux secondes avec une épuration des fumées, si les seuils d'acceptabilité des substances dangereuses sont dépassés ;
- la chaleur produite par le procédé de pyrolyse est récupérée pour chauffer de la vapeur destinée à produire de l'électricité.

Les déchets bois de type C peuvent également être incinérés dans les fours de cimenterie, ce qui rend plus accessible le recyclage des poteaux créosotés dans certains pays émergents.

4.4.2. Dans les pays ayant une réglementation moins avancée

Les bois traités à la créosote ne font l'objet d'aucune attention particulière et sont généralement dirigés vers des décharges normales, sans précaution particulière.

Même aux États-Unis, dans la plupart des États, malgré un classement de la créosote identique à son classement européen, les poteaux traités à la créosote ne sont pas considérés comme déchets dangereux et peuvent être ainsi déposés dans les décharges municipales : cependant, certaines les refusent.

En général, les risques pour la santé humaine sont pris en considération avant les risques pour l'environnement. En témoigne, par exemple, le guide d'installation des poteaux d'Ausgrid (Australie) : « *La combustion des poteaux électriques traités au CCA émet des fumées toxiques chargées d'arsenic et de chrome. Si votre présence sur place n'est pas obligatoire, restez à distance et prenez garde au vent éventuel* ».

5. La réglementation concernant la créosote

5.1. Plusieurs organismes reconnaissent la dangerosité de la créosote

Les classifications de la créosote comme produit dangereux convergent vers des conclusions cohérentes et homogènes.

L'Agence européenne des produits chimiques (ECHA) classe la créosote comme :

- produit irritant la peau niveau 2 (H315) : **expérience humaine ou données montrant des dommages réversibles à la peau à la suite d'une exposition jusqu'à 4 heures durant ;**
- produit sensibilisant cutané niveau 1B (H317) : **peut provoquer une allergie cutanée ;**
- produit irritant les yeux 2 (H319) : **provoque une sévère irritation des yeux :**
- produit cancérogène 1B (H350) : **peut provoquer un cancer ;**
- produit reprotoxique 1B (H360) : **peut nuire à la fertilité et au fœtus ;** produit toxique aigu pour le milieu aquatique (H400) : **très toxique pour les organismes aquatiques ;**
- produit toxique chronique pour le milieu aquatique (H410) : **très toxique pour les organismes aquatiques, entraîne des effets néfastes à long terme.**

Le CIRC classe la créosote comme cancérogène de type 2A : **agent probablement cancérogène pour l'homme (indications limitées de cancérogénicité chez l'homme et suffisantes chez l'animal).**

L'EPA (États-Unis) classe la créosote comme cancérogène de type 1B : **agent probablement cancérogène pour l'homme.**

5.2. En Europe

La réglementation européenne concernant, directement ou indirectement, la créosote se développe depuis plusieurs années sur les axes suivants :

5.2.1. Reconnaissance de la créosote comme produit dangereux

La créosote est une substance active répondant aux critères de la réglementation européenne (CE) n° 1272/2008 de classification comme substance cancérogène de catégorie 1B sans valeur seuil, reprotoxique 1B (peut nuire à la fertilité et au fœtus), reprotoxique 2 (susceptible de nuire à la fertilité ou au fœtus) et toxicité aiguë pour les organismes aquatiques de catégorie 1.

5.2.2. Restriction progressive jusqu'à interdiction de l'usage de la créosote

La réglementation influant sur la production, la mise sur le marché et l'utilisation de la créosote émane de deux initiatives :

- la règlementation concernant les produits biocides,
- et, plus généralement, la réglementation concernant les substances chimiques.

En 1998, la directive européenne n° 98/8/CE concernant la mise sur le marché des produits biocides instaure la nécessité pour tout produit biocide de bénéficier d'une autorisation de mise sur le marché et définit la procédure d'octroi et de gestion de telles autorisations. À cet égard, la créosote est listée dans l'annexe 1 comme un produit de ce type.

Le règlement européen n° 552/2009/CE – concernant l'enregistrement, l'évaluation et l'autorisation des substances chimiques, ainsi que les restrictions applicables à ces substances (REACH) – identifie précisément la créosote dont il interdit la mise sur le marché et l'utilisation en Europe mais accorde toutefois une dérogation :

- pour la créosote à faible teneur de phénols et de benzo[a]pyrène : la créosote *historiquemen*t utilisée, à savoir la créosote dite de type A – comprenant jusqu'à 85 % de HAP dont 60 % de composés volatils cancérigènes tels que le naphtalène, l'anthracène et le benzo[a]pyrène – est désormais interdite.

  Les créosotes de types B et C désormais utilisées ont une moindre teneur en volatils avec des maxima respectifs de 20 et 10 %. Ces créosotes de types B et C sont obtenues en augmentant la température de distillation de la créosote lors de son processus de fabrication ;
- pour les applications professionnelles.

C'est le premier pas vers une interdiction possible de la créosote.

Le règlement européen n° 528/2012/UE sur les produits biocides, qui remplace la directive n° 98/8, franchit une étape supplémentaire sur le chemin des produits dangereux en interdisant :

- les produits reconnus comme cancérogènes, mutagènes ou reprotoxiques,
- les perturbateurs endocriniens,
- les polluants organiques persistants (POP).

Par ailleurs, ce règlement liste parallèlement les conditions en matière de dérogation à ces interdictions à titre exceptionnel.

Ce dernier règlement est ainsi un pas supplémentaire vers une interdiction possible de la créosote.

Ce même règlement octroie l'approbation de la créosote (substance active) sur le territoire européen pour une durée maximale de cinq ans, dont l'échéance est ainsi fixée au 30 avril 2018.

La décision d'exécution n° 2017/2334/UE acte une prolongation de l'approbation de la créosote en Europe, soit jusqu'au 31 octobre 2020.

Par décision d'exécution n° 2019/961/UE, la Commission européenne autorise une mesure provisoire prise par la France pour interdire l'usage de la créosote.

La décision d'exécution n° 2020/1038/UE acte une prolongation de l'approbation de la créosote en Europe jusqu'au 31 octobre 2021.

La décision d'exécution n° 2021/1839/UE acte une nouvelle prolongation de l'approbation de la créosote en Europe jusqu'au 31 octobre 2022. Ces reports, certainement dictés par des influenceurs, sont accordés pour avoir le temps de documenter par des études un point de dérogation autorisé par le règlement de 2012 : en effet, une dérogation à l'interdiction d'un produit biocide peut être accordée si le risque que représente, pour les humains et l'environnement, une exposition à la substance active dans les conditions réalistes les plus défavorables se révèle négligeable.

Dans ce contexte de reports successifs de l'interdiction de la créosote, la France a déposé, en février 2022, une proposition pour étendre l'interdiction de la créosote à l'Europe, en essayant de faire levier sur une réglementation française anticipatrice (voir *infra* paragraphe 8.3). L'évaluation de cette proposition par le Comité d'évaluation des risques (CER) et par le Comité d'analyse socio-économique (CASE) débute en avril 2022.

5.2.3. Définition d'un cadre protecteur de l'environnement dans lequel les produits créosotés doivent s'inscrire

La réglementation européenne comprend en outre des textes thématiques, génériques, ne mentionnant pas spécifiquement la créosote, destinés à bâtir une Europe davantage protectrice de l'environnement. Si ces textes ne ciblent pas la créosote, les produits qui en contiennent et les installations l'utilisant doivent se conformer à ces textes. Citons, parmi eux :

- la directive relative à l'eau potable,
- la directive relative aux eaux souterraines,
- la directive relative au traitement des déchets,
- la directive relative aux décharges.

5.3. En France

En Europe et dans le monde, la France se démarque comme un pays pionnier dans la réglementation relative à la créosote, tant en ce qui concerne les conditions de production, d'exploitation et de traitement des poteaux créosotés qu'en ce qui concerne l'interdiction de la mise sur le marché de produits créosotés.

La réglementation française concernant la créosote se développe depuis plusieurs années sur les axes suivants :

5.3.1. Reconnaissance de la créosote comme produit dangereux

Sur ce point, la France adopte les règlements européens et se base sur les mêmes classifications internationales.

5.3.2. Restriction progressive jusqu'à interdiction de l'usage de la créosote en France

La France a suivi la réglementation européenne jusqu'en 2018 puis a pris les devants en interdisant la créosote pour tout type d'utilisation sur le territoire français par l'arrêté du 18 décembre 2018. Ce texte interdit toute action de mise sur le marché y compris par les importateurs, aussi bien pour les produits neufs que pour les produits d'occasion.

En revanche, cet arrêté n'interdit par la production de bois créosoté sur le territoire français à des fins d'exportation.

5.3.3. Contrôle et adaptation des installations produisant et traitant les poteaux créosotés

La réglementation française a progressivement affiné les conditions imposées aux unités de production (classées ICPE 2415), de stockage ou de recyclage des poteaux créosotés (classées ICPE 2718).

En ce qui concerne les installations de production de bois traité, l'arrêté du 17 décembre 2004 définit précisément les caractéristiques souhaitées pour garantir la sécurité et la protection de l'environnement. Ces dispositions ont été renforcées par l'arrêté du 8 septembre 2008 (traitement de l'eau, récupération des émissions, traitement des déchets…) et enrichies par un état des meilleures techniques disponibles listées dans l'arrêté du 28 juin 2021.

Le stockage des bois traités et, plus généralement, des produits dangereux a été réglementer par l'arrêté du 30 décembre 2002, modifié par l'arrêté du 10 octobre 2012. Les principaux points traités ont été mentionnés dans le paragraphe 7.2 (voir *supra*).

Le transit et le tri des bois créosotés sont couverts par les dispositions de l'arrêté du 6 juin 2018.

Enfin, l'incinération des bois traités doit se faire dans des installations conformes aux spécifications données par l'arrêté du 20 septembre 2002 relatif à la co-incinération de déchets dangereux, modifié par les arrêtés des 3 août 2010, 3 octobre 2012 et 18 décembre 2012.

5.4. Aux États-Unis

En 2008, l'EPA a déterminé que les produits contenant de l'arsenic, de la créosote ou du pentachlorophénol pouvaient continuer à être utilisés sous réserve que les mesures de protection recommandées par les documents de réhomologation intitulés *Reregistration Eligibility Decision* (RED) soient respectées. Ces mesures comprennent notamment la ventilation des lieux d'imprégnation et la présence de portes verrouillées sur les cylindres de traitement du bois.

En 2019, l'EPA a conduit une analyse de risques sur ces mêmes produits dans le cadre du renouvellement de leur autorisation. Pour chacun d'eux, l'EPA a mis en évidence que les mesures recommandées par les documents RED réduisaient bien l'exposition des ouvriers, mais qu'ils continuaient à représenter un risque pour la santé des ouvriers travaillant dans les usines d'imprégnation. La créosote et les dérivés de l'arsenic se révèlent présenter aussi des risques pour l'environnement.

En 2021, l'EPA a publié des propositions de décisions transitoires pour les produits contenant de l'arsenic, de la créosote ou du pentachlorophénol. L'EPA a déterminé que les risques liés à l'usage du pentachlorophénol l'emportaient sur ses avantages et a donc proposé son interdiction. Pour la créosote et les dérivés chromatés de l'arsenic, l'EPA a proposé des mesures d'atténuation supplémentaires pour protéger la santé des travailleurs dans les installations de traitement du bois.

En avril 2022, l'EPA a interdit le pentachlorophénol, abandonné en Europe depuis le début des années 2000.

En ce qui concerne la créosote, il n'y a pas de dispositions autres que des recommandations d'actions de protection vis-à-vis du produit : la réutilisation de produits créosotés est libre ; le dépôt de produits créosotés dans les décharges publiques est laissé à l'appréciation de chaque État (beaucoup d'États l'autorisent).

5.5. En Afrique du Sud

L'Afrique du Sud a une industrie du traitement du bois significative, laquelle alimente les pays d'Afrique australe (Namibie, Zimbabwé, Botswana, Mozambique, Zambie) et quelques pays d'Afrique de l'Est (Kenya).

Le pays a mis en place une procédure d'approbation des produits de traitement du bois et des usines d'imprégnation, ce qui lui permet de contrôler les activités de traitement du bois. Pour autant, ces procédures n'ont abouti à aucune interdiction importante : la créosote est toujours largement employée dans le pays.

La SAWPA (organisation professionnelle de l'industrie de traitement du bois) a, quant à elle, édicté des recommandations de recyclage des bois créosotés : ne pas les brûler, incinérer ces produits dans des usines spécialisées, limiter les dépôts en décharge à de petites quantités, se laver les mains après toute opération de manutention manuelle. Mais rien n'indique que ces recommandations soient largement respectées.

6. Financement de projets contenant de la créosote

6.1. À la Banque mondiale [3]

La norme environnementale et sociale n° 3 (NES 3 – Utilisation rationnelle des ressources et prévention et gestion de la pollution) s'applique à tous les éléments d'une opération financée par la Banque mondiale. Cette norme interdit ainsi le recours à certaines substances chimiques pesticides.

Dans les articles relatifs à l'usage de pesticides, la NES 3 applique un principe de précaution en considérant qu'un principe actif interdit vaut interdiction de la substance (« *De plus, l'emprunteur n'utilisera pas de produits pesticides qui contiennent des principes actifs faisant l'objet de restrictions en vertu de conventions internationales applicables ou de leurs protocoles, ou qui figurent dans les annexes de ces conventions ou protocoles* »).

La NES 3 considère également les risques de cancer, de mutation génétique et de reprotoxicité comme des risques de niveau 1 nécessitant l'interdiction d'un pesticide : « *L'emprunteur n'utilisera pas de préparations pesticides qui présentent un caractère cancérogène, mutagène ou reprotoxique tel que décrit par les organismes internationaux compétents* ».

Pour les autres produits présentant un danger grave pour la santé et l'environnement, la NES 3 :

- s'en remet aux réglementations nationales ;
- interdit l'usage des substances par des non-professionnels et en l'absence de mesures de protection des personnes et d'installations « correctes » pour gérer, stocker et utiliser ces produits.

Sans nommer la créosote en particulier, le Banque mondiale **interdit** donc le financement de projets incluant des produits créosotés puisque la créosote est reconnue comme produit cancérogène.

[3] https://thedocs.worldbank.org/en/doc/936531525368193913-0290022018/original/EnvironmentalSocialFrameworkFrench.pdf#page=53&zoom=80

6.2. À la Banque européenne d'investissement (BEI)[4]

À la BEI, tous les projets doivent être conformes à la réglementation interne en vigueur. La norme 1/article 5 stipule que :

- « *Tous les projets situés dans l'UE, l'Association européenne de libre-échange (AELE)*[5] *ou les pays candidats ou potentiellement candidats à l'adhésion européenne doivent être conformes à la fois à la législation nationale et à la législation européenne en vigueur. Dans le reste du monde, les projets doivent respecter la législation nationale en vigueur et la présente norme qui reflète les principes fondamentaux et les éléments de procédure essentiels définis par la législation de l'UE que la BEI considère comme pertinents pour le dialogue avec les parties prenantes* » ;
- « *Le promoteur s'efforce d'éviter, de réduire ou de supprimer l'utilisation et le stockage de substances et matières dangereuses, en particulier celles classées "extrêmement préoccupantes", et envisage la possibilité d'utiliser des substances ou matières de substitution moins nocives, lorsque d'autres solutions économiquement et techniquement viables existent. En outre, le promoteur est également encouragé à mettre au point des projets portant sur des innovations relatives à des produits de substitution durables ou à leur utilisation* » ;
- « *Lorsqu'il ne peut éviter de les utiliser ou ne peut les remplacer, le promoteur envisage l'utilisation et le stockage en toute sécurité des matières et des substances dangereuses sous l'angle du respect scrupuleux des exigences de la législation horizontale de l'UE sur les produits chimiques et des bonnes pratiques internationales* ».

Cette obligation de moyens est donc peu contraignante dans la mesure où les efforts du promoteur ne peuvent être ni quantifiés, ni évalués.

La BEI n'impose aucune restriction particulière à propos de la créosote mais incite le promoteur du projet financé par la banque à trouver une éventuelle solution de remplacement.

6.3. À la Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW)[6]

La KfW a publié une liste d'exclusion qui cible certains insecticides. D'après cette liste, sont donc exclus :

« *Production ou commerce de tout produit ou toute activité soumis(e) à des réglementations nationales ou internationales d'élimination ou d'interdiction ou à une interdiction internationale, par exemple :*

[4] https://www.eib.org/attachments/publications/eib_environmental_and_social_standards_fr.pdf

[5] Les États membres actuels de l'AELE sont l'Islande, le Liechtenstein, la Norvège et la Suisse.

[6] https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Nachhaltigkeit/Ausschlussliste_EN.pdf

- *certains produits pharmaceutiques, pesticides, herbicides et autres substances toxiques (en vertu de la Convention de Rotterdam, de la Convention de Stockholm et de l'OMS "Produits pharmaceutiques : restrictions d'utilisation et de disponibilité") ;*
- *les substances appauvrissant la couche d'ozone (en vertu du Protocole de Montréal) ;*
- *commerce transfrontalier de déchets interdit (en vertu de la Convention de Bâle)* ».

Selon cette liste d'exclusion :

- le pentachlorophénol, inscrit dans l'Annexe I de la Convention de Stockholm [7], est exclu ;
- la créosote est listée comme substance satisfaisant les critères de l'Annexe I de la Convention de Rotterdam [8], à la suite d'une notification de la Lettonie, à propos de la restriction de la créosote à des usages industriels.

La KfW n'impose aucune restriction particulière à propos de la créosote car cette substance, en cours d'investigation par la Convention, n'est pas (encore) inscrite à l'Annexe III de ladite Convention.

[7] http://chm.pops.int/Implementation/Alternatives/AlternativestoPOPs/ChemicalslistedinAnnexA/tabid/5837/Default.aspx

[8] http://www.pic.int/Implementation/FinalRegulatoryActions/FRAEvaluationToolkit/NotificationsthatSatisfyAnnexI/ListofAnnexInotifications/tabid/5570/language/en-US/Default.aspx

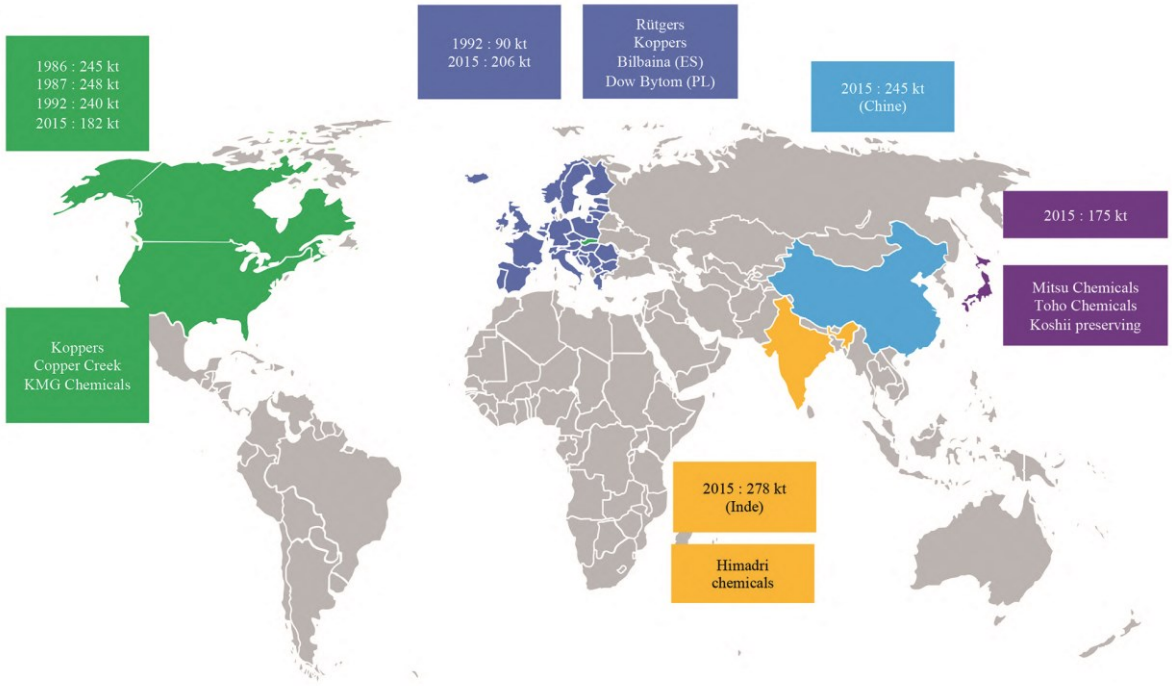
7. État des lieux concernant l'utilisation de la créosote

7.1. Production de créosote

La production mondiale de goudrons de houille est stabilisée autour de 12 millions de tonnes.

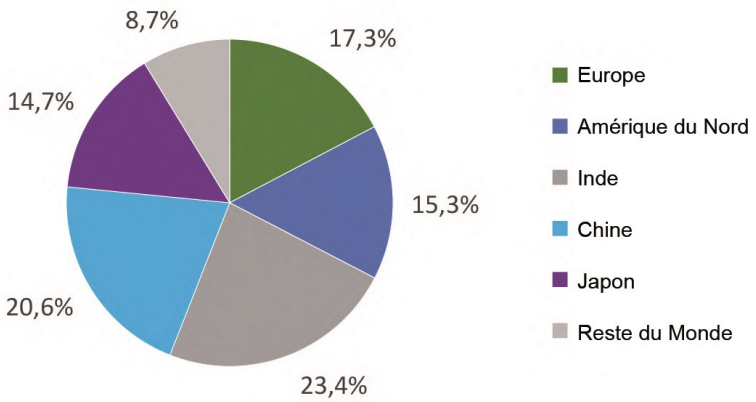
La carte 1 donne quelques niveaux de production historiques et les principaux producteurs de chaque grande zone continentale.

Carte 1. Principales zones productrices de créosote



Source : Mach&Team d'après xcellentinsights.com

Graphique 1. Parts de marché des principales zones productrices de créosote en 2015



Source : Mach&Team d'après xcellentinsights.com

Les principaux fabricants de créosote se trouvent parmi les leaders de la fabrication de biocides.

Le marché mondial des biocides en 2018 se répartissait à hauteur de 53 % sur le continent américain, 24 % en zone Asie-Pacifique (APAC) et 23 % en Europe.

Il était dominé par deux poids lourds américains : Koppers (19 %) et Lonza (15 %), suivis par Rütgers (4 %), Troy, Huntsman Viance, KMG Chemicals (principalement avec la créosote pour laquelle sa position est très forte) et Dow Bytom.

À noter que les trois leaders mondiaux sont, dans le même ordre, les trois leaders des grands marchés continentaux (américain, européen et asiatique).

L'industrie d'imprégnation du bois s'approvisionne donc auprès de ces fournisseurs mondiaux, souvent à travers leurs bureaux commerciaux, disséminés dans le monde.

Plus spécifiquement, en Europe, la production de créosote se partage de la manière suivante en 2016 :

Tableau 1. Production européenne de créosote en 2016

Producteur	Localisation	Créosote (tonnage)
Créosote à destination de l'Europe		
Koppers	Royaume-Uni, Danemark, Pays Bas	25 000
Rütgers	Allemagne, Pologne, Belgique	30 000
Bilbaina	Espagne	10 000
Dow Bytom	Pologne	4 000
Autres		11 000
Créosote destinée à l'exportation		
Exportations		40 000

Source : d'après les données du Rapport complet SEA, WEI-IEO (Bruxelles), août 2016.

7.2. Production de poteaux traités à la créosote

Les poteaux traités à la créosote sont produits de manière beaucoup plus diffuse. On peut distinguer néanmoins quatre types de pays producteurs et exportateurs.

En 2020, la plupart des grands pays occidentaux sont exportateurs, comme le montre la carte 2 : les États-Unis (12,5 % des exportations de bois traités mondiales), le Canada (9,2 %), la France (3,8 %), l'Allemagne (3,5 %). Le Canada et les États-Unis font partie des grands consommateurs (on y trouve les plus gros producteurs de bois traités), alors que la France ne conserve qu'une industrie dédiée à l'exportation.

Des pays producteurs de bois se trouvent parmi les grands exportateurs ; les bois y sont traités près des lieux de coupe : la Lituanie (8,2 %), la République tchèque (4,9 %), la Suède (4,9 %), la Lettonie (2,5 %).

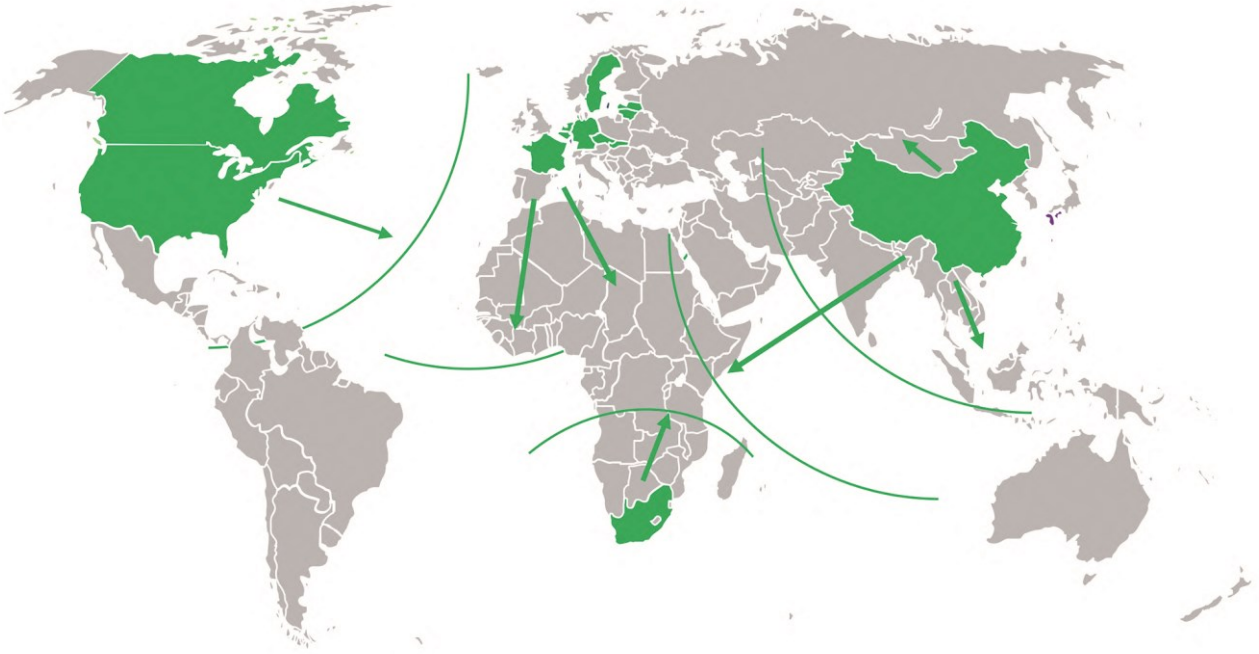
Des pays en liens commerciaux historiques avec les pays émergents font également partie des principaux exportateurs de bois traités : la Belgique (6,9 %), les Pays-Bas (6,1 %).

Des pays au rayonnement régional comme l'Afrique du Sud (5,8 %) qui a une production substantielle et un niveau d'exportations important en direction de l'Afrique australe. À un moindre degré, l'Ouganda et la Tanzanie exportent leur production dans les pays voisins.

En dehors de l'Afrique du Sud, tous les grands pays exportateurs hébergent des producteurs de bois traités en lien très fort avec les pays d'Amérique latine, d'Afrique et certains pays asiatiques.

Pour autant, une industrie d'imprégnation du bois, notamment à la créosote, très fragmentée existe dans la plupart des pays.

Carte 2. Principaux pays exportateurs de bois et de poteaux créosotés



Source : Mach&Team.

La production nord-américaine est à destination principalement de l'Amérique du Nord. Le faible pourcentage des exportations enregistré est à destination de nombreux pays (Europe, Afrique, Asie du Sud-Est).

La production européenne est principalement exportée vers l'Afrique de l'Ouest et le Moyen-Orient.

La production chinoise est d'abord exportée dans les zones d'influence proches de la Chine (Mongolie, Asie du Sud-Est) mais touche également des zones d'influence plus lointaines (Afrique de l'Est).

La production sud-africaine alimente l'ensemble de la zone Afrique australe et de l'Est.

7.3. Marché des poteaux électriques

Sur le plan mondial, les poteaux en bois sont dominants dans les réseaux de distribution électrique et représentent plus de 80 % du marché. Les poteaux en béton se développent dans de nombreux pays sans pour autant, dans la plupart des cas, devenir la solution privilégiée. Les poteaux en acier et, à plus forte raison, les poteaux en matière composite, pénalisés par leur prix, occupent des niches de marché.

Tableau 2. Marché des poteaux électriques – parts des technologies

Type de poteau	Zone/ Pays	Bois	Acier	Béton	Composite	Total	Base installée
Électrique							
	Amérique du Nord	90 %	7 %	2 %	1 %		
	Australie	80 %	1,9 %	7,5 %	10,6 %		6,3 Millions (2004)
	Nouvelle-Zélande	38 %	3 %	58 %	1 %		1,3 Million (2008)
	France	33 %		67 %			15 Millions
Téléphone							
Éclairage public							
Total					**< 1 % 228 M USD (2018)**		**1 600 Millions**

Diverses sources traitées et synthétisées par Mach&Team.

7.4. Exemples de marchés locaux de poteaux électriques en bois

Tableau 3. Quelques exemples de structures de marché nationales

Pays	Production	Nombre usines	Marché	Base installée	Principaux producteurs
États-Unis			1,5 M – 2 M	130 M – 160 M	1. Stella Jones 2. Koppers
Afrique du Sud	350 k		126 k (2001)		Thesens, Wood Line, Boland Wood
Suède		2	14 k		Scanpole, Rundvirke
Belgique		2			CCB, CIBB
Irlande		1	35 k (Cr)	2 M (Cr)	PDM Saint-Gobain
Allemagne		3			Peter Müller, Hiram, Fürstenberg
France		9			Bois imprégnés, France
Finlande		3	100 k	10 M	Versowood, Pinar, Livari Mononen
Grèce		3	90 k (Cr [9])	4,5 M (Cr)	
Chypre			20 k (Cr)	240 k (Cr)	
Norvège		2	30 k (Cr)	3,5 M (Cr)	Scanpole

Diverses sources traitées et synthétisées par Mach&Team.

Une étude [10] réalisée sur les réseaux de distribution électrique couvrant la période 1980-2017 a montré que l'on pouvait approcher avec une précision très satisfaisante la longueur des lignes d'un réseau électrique dans un pays par la formule suivante :

- Nombre de kilomètres (km) de lignes = 0,03535 x nombre de ménages connectés + 1 459,19 x volume d'électricité distribué (en TWh)

Le résultat de ce calcul est repris pour tous les principaux pays du monde dans l'Annexe.

[9] Nombre de poteaux en bois créosotés.
[10] https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352340921006351

7.5. Le lobbying et les associations professionnelles

Dans les grands pays consommateurs et producteurs de poteaux en bois traités, se sont développées des associations professionnelles réunissant les grands acteurs de l'industrie du bois traité.

Certaines de ces associations mènent de nombreuses actions de lobbying et de défense des intérêts d'une profession menacée par des évolutions règlementaires tendant à exclure la plupart des produits de traitement ou, a minima, à réduire leur champ d'utilisation.

Les plus actives sont :

- aux États-Unis, l'AWPA (*American Wood Protection Association*) (https://awpa.com) ;
- en Afrique du Sud, la SAWPA (*South African Wood Preservers Association*) (https://sawpa.co.za) ;
- en Australie, la TPAA (*Timber Preservers Association of Australia*) (https://www.tpaa.com.au/about/) ;
- en Europe, le WEI-IEO (https://www.wei-ieo.eu/) représente en Europe et, plus particulièrement, auprès de la Commission européenne l'industrie du bois traité sous pression.

Citons également :

- dans les pays scandinaves, le NWPC (*Nordic Wood Preservation Council*) (https://www.nwpc.eu) ;
- au Japon, la JWPA (*Japan Wood Protection Association*) (http://www.mokuzaihozon.org/english/) ;
- au Royaume-Uni, la WPA (*Wood Protection Association*) (https://www.thewpa.org.uk) ;
- en Amérique du Nord et également au Mexique, le WWPI (*Western Wood Preservers Institute*) (https://preservedwood.org) ;
- en Amérique du Nord, la SPTA (*Southern Pressure Treaters' Association*) ;
- au Canada, la WPC (*Wood Preservation Canada*) (https://woodpreservation.ca/en/).

En dehors de leurs activités de lobbying, ces associations mènent, selon les cas, plusieurs missions supplémentaires :

- informations plus ou moins objectives sur les technologies, méthodes et produits de traitement du bois (toutes) ;
- définition et gestion de programme d'assurance qualité et de tests (TPAA) ;
- gestion de labels de qualité (WPA, NWPC) ;
- développement et gestion de standards (AWPA, WPC) ;
- approbation de substances de traitement du bois (JWPA) ;
- travaux de recherche (JWPA).

8. Solutions de substitution de la créosote

Plusieurs solutions de substitution existent face aux poteaux créosotés : poteaux en bois traités avec d'autres produits que la créosote, poteaux en acier, béton ou matériaux composites.

En parallèle, des solutions complémentaires, comme le chemisage des pieds de poteaux, permettent de réduire certains inconvénients des bois traités.

Les solutions de traitement du bois avec d'autres produits que la créosote ont un rapport coût/efficacité très inférieur à celui des autres solutions. En revanche, aucun produit de traitement du bois n'est anodin en matière d'impacts sur la santé et l'environnement car il contient des substances fongicides ou insecticides potentiellement dangereuses.

Le choix d'une solution de remplacement privilégie donc :

- soit l'aspect économique, et il est important de valider les mesures de précaution assorties à ce choix ;
- soit le niveau de toxicité et d'écotoxicité, et il est important de choisir les pénalités tirant le moins à conséquence en fonction du contexte.

8.1. Les traitements alternatifs du bois

Pour peu qu'ils soient efficaces dans leur fonction de protection, ces traitements alternatifs ont l'avantage, en solution de remplacement de la créosote, de ne pas modifier profondément la conception des poteaux, les organisations de fabrication ou les méthodes d'installation.

La conception et le dimensionnement de ces poteaux restent identiques car, appliqués sur les mêmes essences de bois, ces traitements n'en modifient pas les performances mécaniques.

En ce qui concerne la fabrication des poteaux, la quasi-totalité des traitements alternatifs se font par imprégnation sous pression, comme pour la créosote. L'adaptation des fabricants à ces nouveaux produits est donc aisément accessible.

Enfin, l'installation de ces poteaux est la même que celle de poteaux traités à la créosote : leurs dimensions et leur poids sont identiques.

Les produits d'imprégnation du bois sont souvent des composés réalisés avec des métaux aux propriétés fongicides et insecticides : arsenic, cuivre, bore (sous forme de borate ou d'acide borique), chrome.

Tous ces métaux présentent des dangers mais leur taux de dilution au sein des produits de traitement du bois, quelquefois faible, et leur association avec d'autres substances ne permettent pas de conclure que leurs propriétés individuelles se retrouvent au sein du composé final. Seules des études spécifiques à chaque produit d'imprégnation peuvent, avec certitude, en déterminer la dangerosité pour les humains et pour l'environnement.

L'arsenic est reconnu cancérogène par l'EPA (cancérogène A), par l'ECHA (cancérogène 1) et par le CIRC (cancérogène 1).

Le chrome VI est reconnu cancérogène par le CIRC (cancérogène 1).

L'absence de classement d'une substance en tant que matière dangereuse peut donc refléter un caractère peu nocif de cette substance ou un manque d'études approfondies. Pour cette raison, les classifications données dans le présent rapport sont celles de l'agence européenne ECHA en juin 2022. Il est tout à fait plausible que des investigations plus poussées soient conduites sur certaines substances et conduisent à des classifications moins favorables.

Malgré ces précautions d'interprétation souvent soulignées par les scientifiques, de nombreux pays interdisent la présence de certains métaux ou composés chimiques dans les produits d'imprégnation du bois. Ainsi, le Royaume-Uni interdit, depuis 2006, la présence de chrome ainsi que celle d'arsenic.

Parmi les produits d'imprégnation du bois utilisés pour les poteaux électriques, citons les plus connus et les plus répandus.

À noter que les trois solutions de traitement des poteaux les plus répandues (créosote, pentachlorophénol et CCA) sont toutes à base de produits très toxiques. Seul le CCA est encore autorisé.

Les produits historiques

8.1.1. Pentachlorophénol

Référence

Pentachlorophénol	**ECHA**	201-778-6	**CAS**	87-86-5 131-52-2 (Sel)

Description

Le pentachlorophénol est une substance produite artificiellement et utilisée depuis les années 1930 dans le traitement du bois sous forme d'huile imprégnée sous pression. Il a été très largement utilisé, et la majorité des poteaux électriques en bois traité installés aujourd'hui aux États-Unis sont traités au pentachlorophénol.

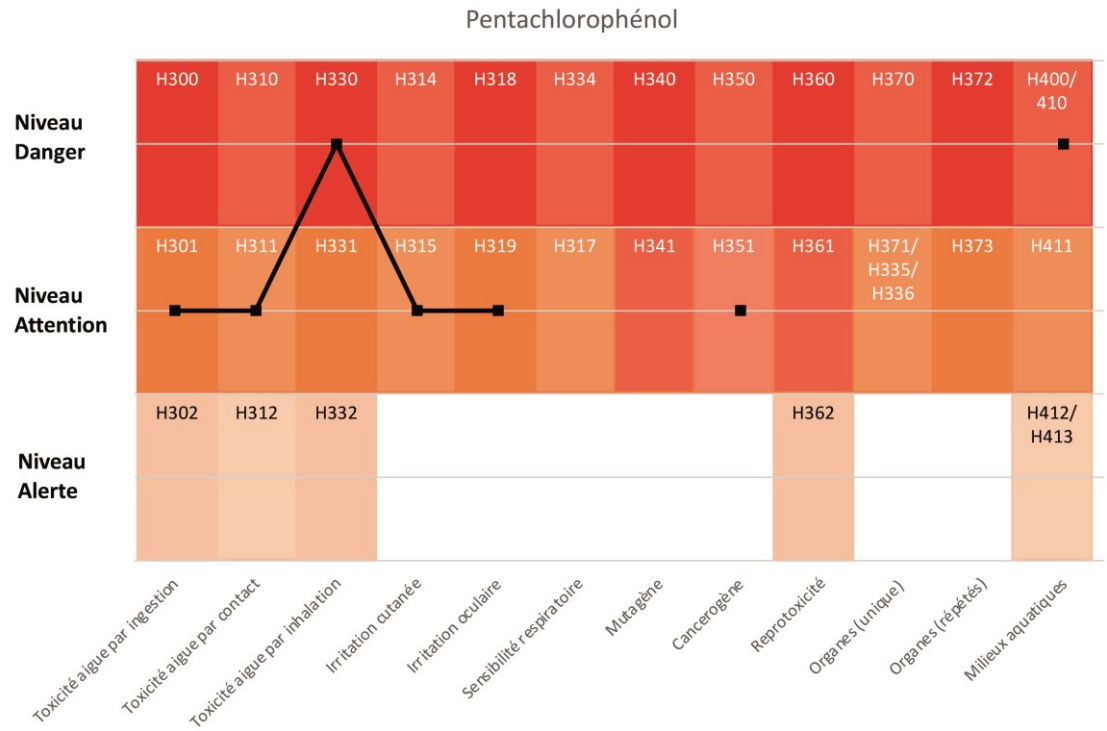
Le pentachlorophénol est un composé phénolique chloré qui peut dégager des dioxines lors de sa combustion. En revanche, il ne contient ni métaux lourds, ni HAP.

Toxicité et écotoxicité

C'est un produit irritant relativement persistant (H315, H319) et un perturbateur endocrinien fort.

Depuis la fin des années 1960, le pentachlorophénol est une substance reconnue et étiquetée en Europe comme très dangereuse pour les humains et pour l'environnement.

Schéma 4. Profil de toxicité du pentachlorophénol



Source : European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022)[11].

Réglementation

Son usage dans les produits grand public a été proscrit en Europe en 1992. Son interdiction complète notifiée par le Danemark en 1996 et inscrit en 2015 à l'annexe A de la Convention de Stockholm sur les polluants organiques persistants, c'est-à-dire interdit à la production, à l'utilisation et à l'importation. Le pentachlorophénol est également interdit depuis 1980 en Indonésie, depuis 1991 en Inde (qui a continué à produire son sel pour ses propres besoins), ainsi qu'en Nouvelle-Zélande, au Maroc, en Équateur et au Sri Lanka, et son utilisation est restreinte au traitement du bois depuis 1982 en Chine.

Pays consommateurs

En parallèle, le pentachlorophénol est longtemps resté le traitement leader aux États-Unis où il a été interdit pour les applications résidentielles en 1987. Après avoir fait l'objet de mesures de précautions préconisées par l'EPA, il a été définitivement interdit en 2022.

Production

Le pentachlorophénol n'est plus produit en Europe depuis 1992, date de cessation de l'activité de Rhône-Poulenc dans ce domaine. Le dernier producteur américain, resté jusqu'à récemment le plus gros producteur mondial, Cabot Microelectronics Corporation, filiale de KMG Chemicals, a cessé sa production fin 2021. Il reste cependant produit dans d'autres pays, par exemple par Sigma-Aldrich, filiale de Merck qui le commercialise encore, notamment en Chine.

[11] L'Agence ECHA décline toute responsabilité vis-à-vis de toutes conséquences de l'utilisation des données ECHA mentionnées dans ce rapport.

Le pentachlorophénol ne peut être une solution de remplacement à la créosote pour le traitement des poteaux électriques. Il est trop toxique et déjà interdit dans de nombreux pays.

Synthèse d'acceptabilité [12]

Pentachlorophénol		
Synthèse en faveur d'une interdiction		
Interdit par WB NES 3		OUI
	Interdit en Europe	OUI
	Interdit aux Etats-Unis	OUI
	Risque cancer, mutation, reprotoxicité	OUI, H351
Exclusions nationales	Europe, USA	
Synthèse en faveur d'une acceptation mais…		
Synthèse en faveur d'une acceptation		

8.1.2. Arséniate de cuivre chromé (CCA)

Référence

Arséniate de cuivre chromé	**ECHA**	Non référencé	**CAS**	37337-13-6
Composants				
Trioxide d'arsenic (As_2O_3)	**ECHA**	215.481.4	**CAS**	1327-53-3
Pentoxyde d'arsenic (As_2O_5)	**ECHA**	215.116.9	**CAS**	1303-28-2
Arséniate plomb hydrogéné	**ECHA**	232.064.2	**CAS**	7784-40-9
Arséniate de triéthyl	**ECHA**	427.700.2	**CAS**	15606-95-8

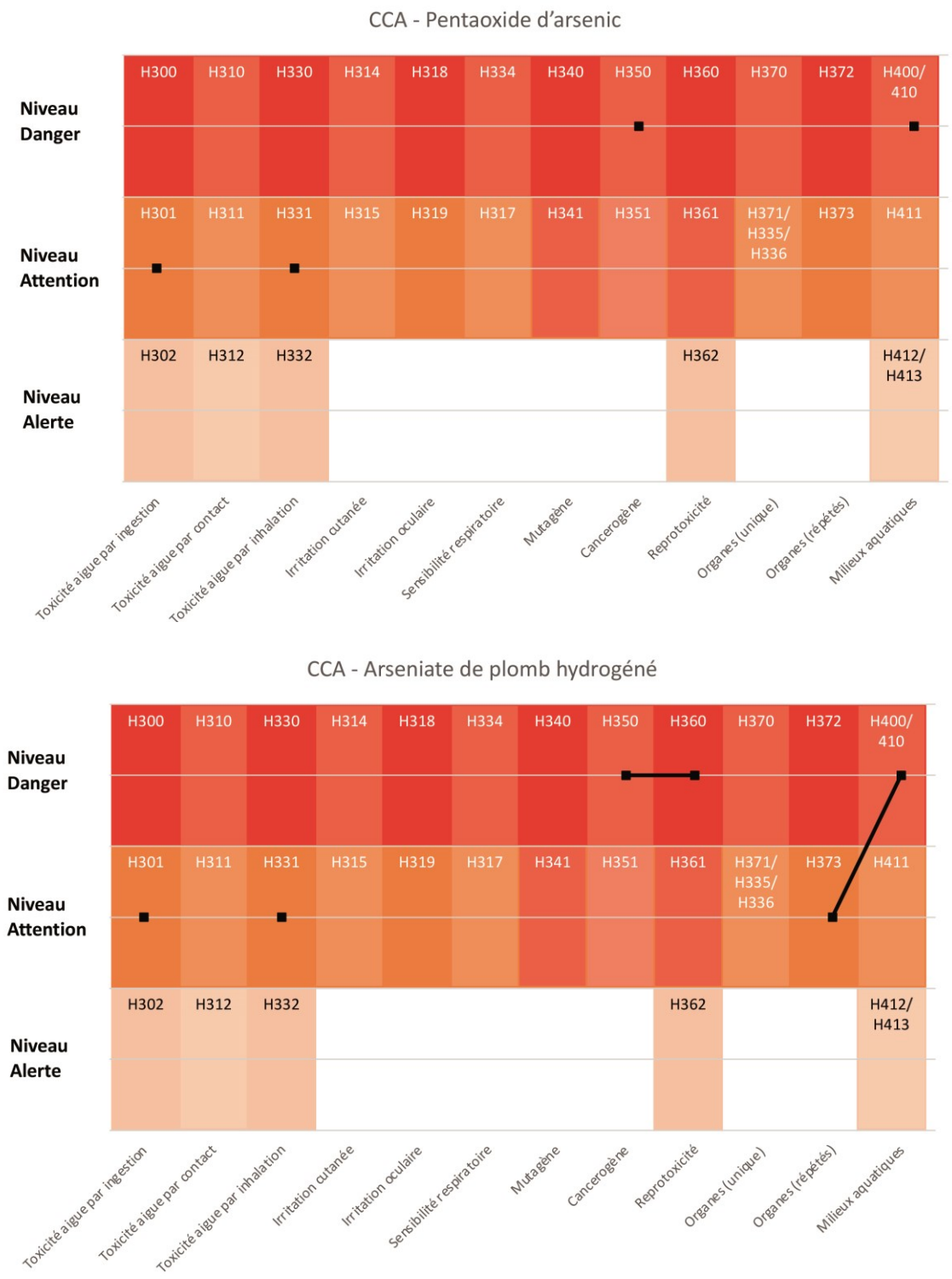
Description

Le CCA est un traitement également très répandu dans de nombreux pays. Le CCA est une combinaison aqueuse de cuivre (23 à 27 % pour ses propriétés fongicides), d'arsenic [13] (30 à 37 % pour ses propriétés insecticides) et de chrome (38 à 45 %, utilisé pour fixer les produits dans le bois et comme protecteur contre les rayons ultra-violets).

[12] Les synthèses d'acceptabilité proposées dans ce rapport ne sont pas des avis d'experts mais une synthèse des données disponibles en juillet 2022. Les risques CMR (voir glossaire) sont conformes aux publications de l'ECHA. Une interdiction en Europe ou aux États-Unis, de même qu'une classification CMR donne un avis d'acceptabilité négatif. L'absence de tels critères mais une classification comme produits dangereux donne un avis d'acceptabilité de type « oui mais », nécessitant une mise en place de mesures de protection *ad hoc* lors de l'utilisation de la substance.

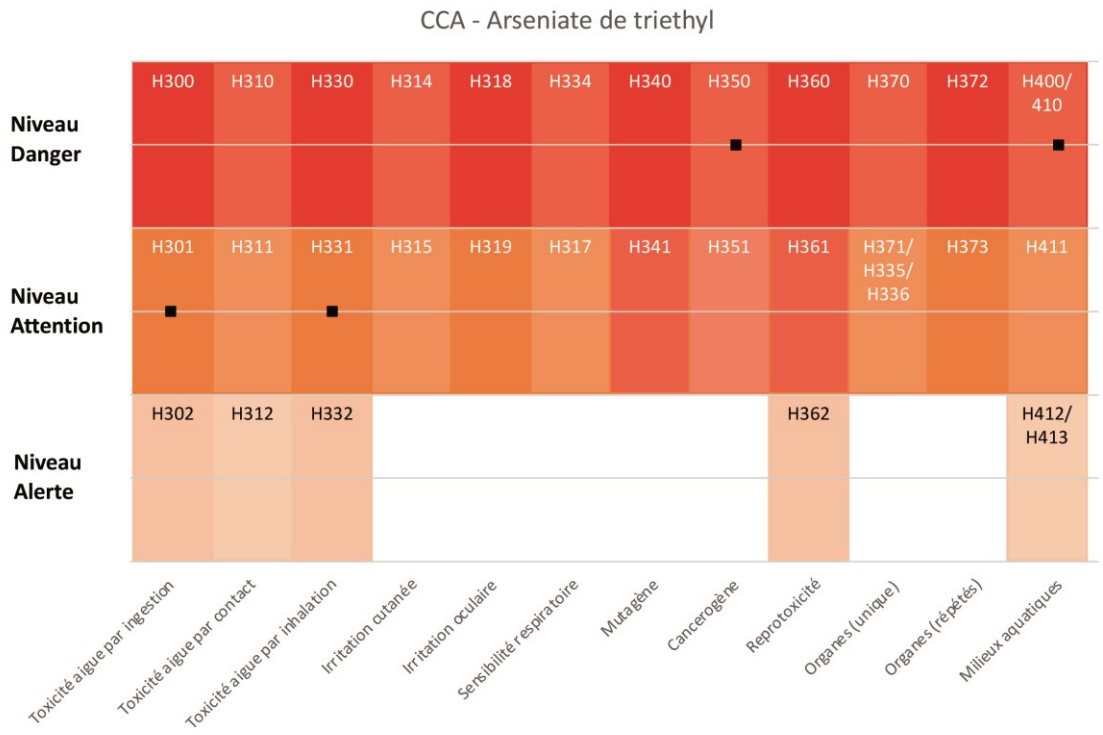
[13] N° CAS : 7440-38-2 – N° ECHA : 231-148-6

Schéma 5. Profil de toxicité des dérivés d'arsenic pouvant être présents dans le CCA



Source : European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022).

Les impacts du CCA sur la santé et l'environnement sont principalement dictés par la présence d'arsenic : les différents composés à base d'arsenic que l'on peut rencontrer dans le CCA sont tous cancérogènes très probables classés 1A (H350), certains étant reprotoxiques avérés classés 1A (H360), et tous peuvent causer des troubles neurologiques et très toxiques pour les organismes aquatiques.



Source : European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022).

Réglementation

Ces raisons poussent la réglementation européenne à n'autoriser, depuis 2004, qu'une utilisation de l'arsenic limitée à des applications industrielles dont le traitement des bois (dans des contextes non résidentiels) qui ne sont pas appelées à être en contact avec un milieu aquatique.

De même, aux États-Unis, les traitements CCA sont interdits depuis 2003 pour tous les usages résidentiels tout comme en Australie.

Un fort lobbying de la part d'associations de citoyens (la principale étant Beyond Pesticides), relayées par des collectivités locales, tente depuis plusieurs années de faire interdire totalement le CCA aux États-Unis, sans succès à ce jour.

Ces traitements sont totalement interdits au Danemark, en Suisse, au Vietnam, en Indonésie, en Israël et au Royaume-Uni (depuis 2006).

Pays consommateurs

L'imprégnation des poteaux électriques au CCA est la solution de traitement la plus répandue en Afrique et en Inde.

Production

Les industriels produisant du CCA sont nombreux :

- Lonza (1er producteur mondial) (Arxada, Wolman) : Wolmanac CCA® et ET® en Europe et Amérique du Nord ; Tanalith CCA® en Asie, Australie, Nouvelle-Zélande et Afrique du Sud ;
- Koppers Performance Chemicals ;
- Viance : SupaTimber® ;
- Dolphin Bay : Permaccure CCA® en Afrique du Sud.

Le traitement au CCA ne peut être une solution de remplacement à moyen terme à la créosote pour le traitement des poteaux électriques. Même si le produit est largement disponible et utilisé, sa toxicité est importante et avérée.

Synthèse d'acceptabilité

CCA	
Synthèse en faveur d'une interdiction	
Interdit par WB NES 3	OUI
Interdit en Europe	NON
Interdit aux Etats-Unis	NON
Risque cancer, mutation, reprotoxicité	OUI
Exclusions nationales	Suisse, Vietnam, Indonésie, Grande-Bretagne,Israël
Synthèse en faveur d'une acceptation mais…	
Synthèse en faveur d'une acceptation	

Les solutions de remplacement (déja anciennes) largement utilisées

8.1.3. Naphténate de cuivre

Référence

Naphténate de cuivre ($C_{14}H_{10}CuO_4$)	**ECHA**	215.657.0	**CAS**	1338-02-9

Description

Le naphténate de cuivre est un produit de plus en plus utilisé aux États-Unis, beaucoup moins en Europe, et se présente comme une alternative aux produits plus anciens. Il est obtenu par réaction du cuivre (connu pour ses propriétés fongicides) avec l'acide naphténique, lequel est un dérivé du pétrole.

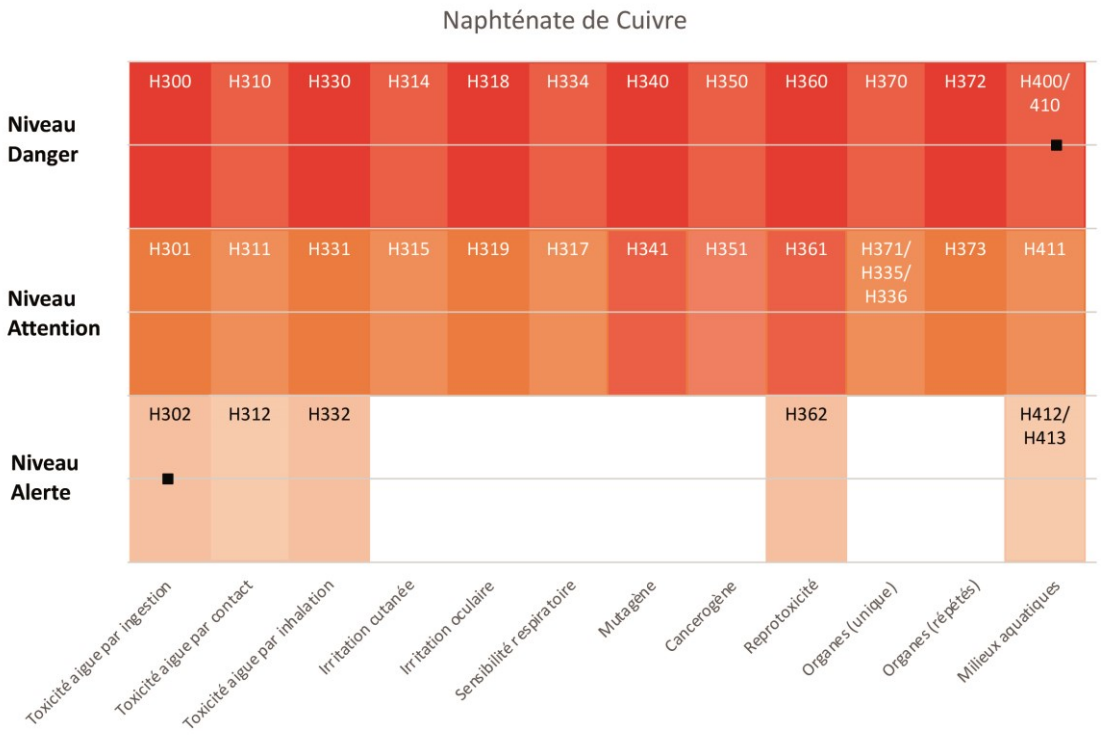
Peu soluble dans l'eau, le naphténate est mélangé à des solvants huileux avant imprégnation dans le bois. Il est reconnu comme aussi efficace que la créosote.

Toxicité et écotoxicité

Bien que peu documentée, cette substance est reconnue comme irritante et nécessite donc des protections lors de sa manipulation. Sous forme très concentrée, elle peut même être très dangereuse. Elle est également inflammable et dégage des vapeurs toxiques lors de sa combustion.

Elle est simplement déclarée nocive en cas d'absorption sous quelque forme que ce soit (H302, H312, H332). Elle est par ailleurs reconnue comme très toxique pour les organismes aquatiques en ayant des effets de longue durée. Elle est toutefois jugée dix fois moins toxique que le pentachlorophénol, mais s'avère également légèrement moins efficace.

Schéma 6. Profil de toxicité du naphténate de cuivre



Source : European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022).

Réglementation

Aux États-Unis, le naphténate de cuivre est enregistré par l'EPA depuis 1951, n'est pas listé comme substance dangereuse par le *Clean Air Act* et n'est pas listé comme insecticide dangereux ni comme déchet dangereux par le *Clean Water Act*.

Il ne fait pas l'objet de restriction particulière au niveau européen.

Il ne peut être utilisé dans les pays qui ont banni l'usage du cuivre comme fongicide, ainsi comme au Danemark, en Norvège et aux Pays-Bas.

Pays consommateurs

Le naphténate de cuivre est largement utilisé aux États-Unis, notamment par les leaders du traitement du bois (Stella-Jones) et bénéficiera d'un effet d'aubaine suite à l'interdiction du pentachlorophénol (Koppers a annoncé en 2020 sa volonté de l'utiliser comme solution de remplacement au pentachlorophénol). Plus d'un million de poteaux avaient traités avec ce produit au cours des années 1990.

Il est aussi fréquemment utilisé au Japon.

Tous usages confondus, la consommation de naphténate de cuivre en Europe n'excède pas quelques dizaines de tonnes : ainsi, ce n'est pas un produit très commun pour le traitement des poteaux électriques.

Production

À noter l'existence de plusieurs producteurs :

- aux États-Unis : Nisus : QNAP®, Strem Chemicals, Troy : Troysan ;
- ainsi qu'aux Émirats Arabes Unis (Optichem), en Inde, en Chine (Minghuan Chemical, Zhang Ming Chemical) et au Japon (Nihon Merichem).

Le traitement au naphténate de cuivre reste une solution de traitement fortement écotoxique.

Synthèse d'acceptabilité

Naphténate de Cuivre		
Synthèse en faveur d'une interdiction		
Interdit par WB NES 3		NON
	Interdit en Europe	NON
	Interdit aux Etats-Unis	NON
	Risque cancer, mutation, reprotoxicité	NON
Exclusions nationales		Danemark, Norvège, Pays Bas
Synthèse en faveur d'une acceptation mais…		
Synthèse en faveur d'une acceptation		

8.1.4. Arséniate de cuivre et de zinc ammoniacal (ACZA)

Référence

Oxyde de cuivre (11 %)	**ECHA**	215.270.7	**CAS**	1317-39-1
Oxyde de zinc (5,5 %)	**ECHA**	215.222.5	**CAS**	1314-13-2
Pentoxyde d'arsenic (5,5 %)	**ECHA**	215.116.9	**CAS**	1303-28-2

Description

L'ACZA, plus connu sous un de ses noms commerciaux, à savoir la chemonite, est une combinaison aqueuse de cuivre (pour ses propriétés fongicides), d'arsenic (pour ses propriétés insecticides) et d'ammoniac (qui facilite la pénétration dans le bois) ; il est utilisé depuis les années 1990 principalement en Amérique du Nord.

Il est particulièrement bien adapté aux espèces de bois réfractaires.

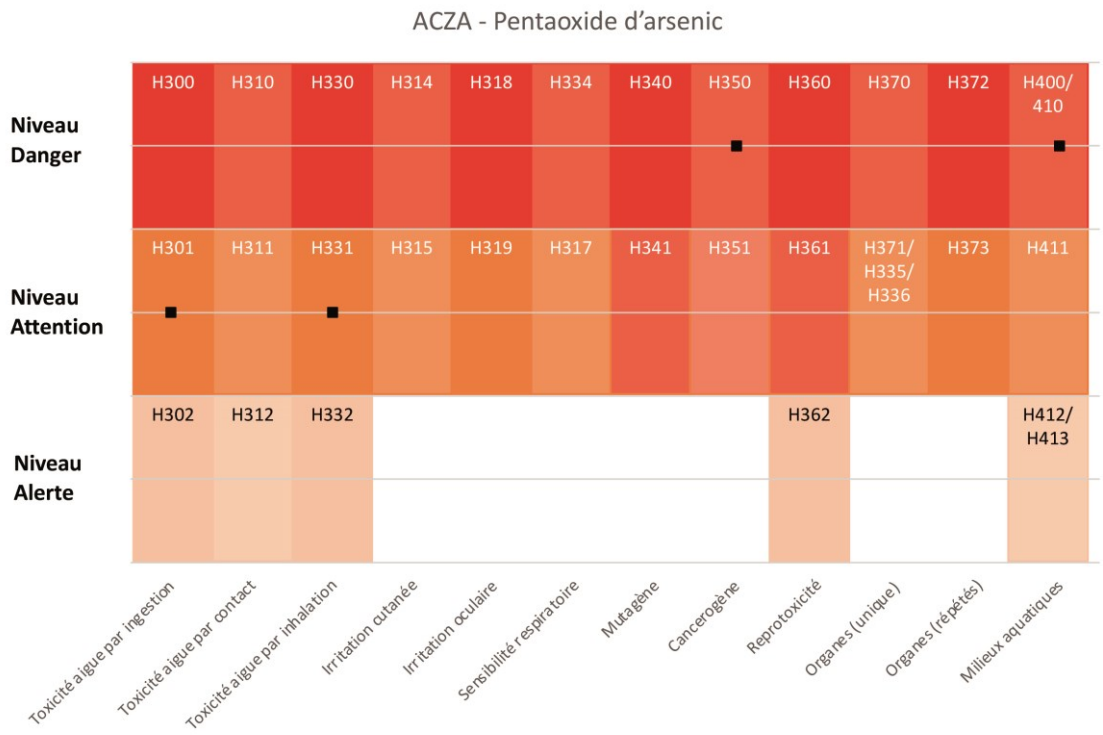
Contenant de l'ammoniac, il est corrosif pour certains métaux et donc certains systèmes d'attache fixés sur les poteaux.

Toxicité et écotoxicité

Comme pour le CCA, la présence d'arsenic en fait un produit dangereux pour la santé humaine et pour l'environnement.

Aux États-Unis, l'ACZA est reconnu comme cancérogène (car il contient du pentoxyde d'arsenic, reconnu comme cancérogène certain), corrosif pour la peau, irritant pour la peau, les yeux et les voies respiratoires.

Schéma 7. Profil de toxicité des composants de l'ACZA



Source : European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022).

Réglementation

Aux États-Unis, l'ACZA est un pesticide à usage limité par la réglementation (FIFRA, *Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act*).

Pays consommateurs

L'ACZA est répandu aux États-Unis. En revanche, à cause de sa toxicité, son usage a régressé dans d'autres pays comme le Canada.

Par ailleurs, il est peu utilisé en Europe.

Production

L'ACZA est produit aux États-Unis par Archwood (Lonza) et en Chine par plusieurs manufacturiers dont Foshan Liyuan Chemicals. Bien qu'inventé au Canada, l'ACZA a cessé d'être produit dans ce pays dès 2006.

Le traitement à l'AZCA ne peut être une solution de remplacement à la créosote pour le traitement des poteaux électriques. Même si le produit est largement disponible et utilisé, sa toxicité est importante et avérée, ainsi que son caractère cancérogène.

Synthèse d'acceptabilité

ACZA		
Synthèse en faveur d'une interdiction		
Interdit par WB NES 3		OUI
	Interdit en Europe	NON
	Interdit aux Etats-Unis	NON
	Risque cancer, mutation, reprotoxicité	OUI, H350
Exclusions nationales		
Synthèse en faveur d'une acceptation mais…		
Synthèse en faveur d'une acceptation		

Produits alternatifs plus recents

8.1.5. Dichloro-octyl-isothiazolinone (DCOI)

Référence

DCOI	**ECHA**	264.843.8	**CAS**	64359-81-5

Description

Le dichloro-octyl-isothiazolinone (4,5-dichloro-2-octyl-2H-isothiazol-3one) est une substance plus récente, enregistrée à l'EPA en 1996, de type huile car mélangée à des solvants pour être utilisée. Le DCOI est vendu pour ce qu'il ne contient pas : ni dioxine, ni métaux lourds, ni HAP.

Le bois est traité au DCOI par imprégnation sous pression avec un taux de rétention compris entre 1,6 et 3,2 kg/m^3.

Toxicité et écotoxicité

Le DCOI est classé dangereux pour la santé humaine à plusieurs titres : classé dangereux à avaler (H302) et à inhaler (H330), par ailleurs très irritant pour la peau et les yeux (H314), enfin très toxique pour les organismes aquatiques (H410).

Le rapport d'évaluation, conduit par l'ECHA en 2014 [14], mentionne l'absence d'étude spécifique sur le caractère cancérogène de la substance, mais suppose l'absence de caractère cancérogène du DCOI due à l'absence de cette caractéristique au niveau des trois isothiazolinones composant le DCOI. Par ailleurs, aucune reprotoxicité ou aucune propriété de perturbateur endocrinien n'ont été mises en évidence.

En revanche, la substance (DCOI) est peu soluble et peu persistante dans les sols (demi-vie[15] de 4,7 jours), dans les eaux (demi-vie de 16,5 jours) ou dans les sédiments (demi-vie de 4 jours).

Schéma 8. Profil de toxicité du DCOI

Source : European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022).

Réglementation

Pas de disposition particulière.

Les États-Unis ont autorisé en 2017 le DCOI pour les usages en contact avec le sol.

Par ailleurs, l'Europe a conduit une étude d'impact en 2011 qui a conclu que le DCOI pouvait être autorisé pour des applications industrielles.

[14] http://dissemination.echa.europa.eu/Biocides/ActiveSubstances/0022-21/0022-21_Assessment_Report.pdf

[15] Le terme « demi-vie » se rapporte ici au temps mis par une substance pour perdre la moitié de son activité physiologique. Le terme est donc trompeur, car il ne s'emploie pas pour désigner la moitié d'une durée de vie.

Pays consommateurs

Les États-Unis ont un taux d'utilisation substantiel du DCOI.

Production

Koppers (Ex-Osmose), Viance (Ultrapolenxt® et Ultraarmnxt®), Sigma-Aldrich (Groupe Merck) et Foshan Liyuan sont des producteurs importants de ladite substance. Viance est en outre un promoteur et lobbyiste très actif aux États-Unis en faveur du DCOI. Viance a formulé une requête auprès de l'EPA en 2020 afin que les produits traités au DCOI ne soient pas considérés comme dangereux.

Le traitement au CCA ne peut être une solution de remplacement à moyen terme à la créosote pour le traitement des poteaux électriques. Même si le produit est largement disponible et utilisé, sa toxicité reste importante et avérée.

Synthèse d'acceptabilité

DCOI		
Synthèse en faveur d'une interdiction		
Interdit par WB NES 3		NON
	Interdit en Europe	NON
	Interdit aux Etats-Unis	NON
	Risque cancer, mutation, reprotoxicité	NON
Exclusions nationales		
Synthèse en faveur d'une acceptation mais…		
Synthèse en faveur d'une acceptation		

8.1.6. Cuivre alcalin quaternaire (ACQ)

Référence

Acide borique	**ECHA**	233.139.2	**CAS**	10043-35-3
Ammoniac quaternaire	**ECHA**	269.919.4	**CAS**	68391-01-5
Ammoniac quaternaire	**ECHA**	230.525.2	**CAS**	7173-51-5

Description

Le cuivre alcalin quaternaire est un mélange aqueux comprenant entre 50 et 67 % d'oxyde de cuivre et entre 33 et 50 % d'un composé ammoniacal quaternaire facilitant la pénétration du produit dans le bois.

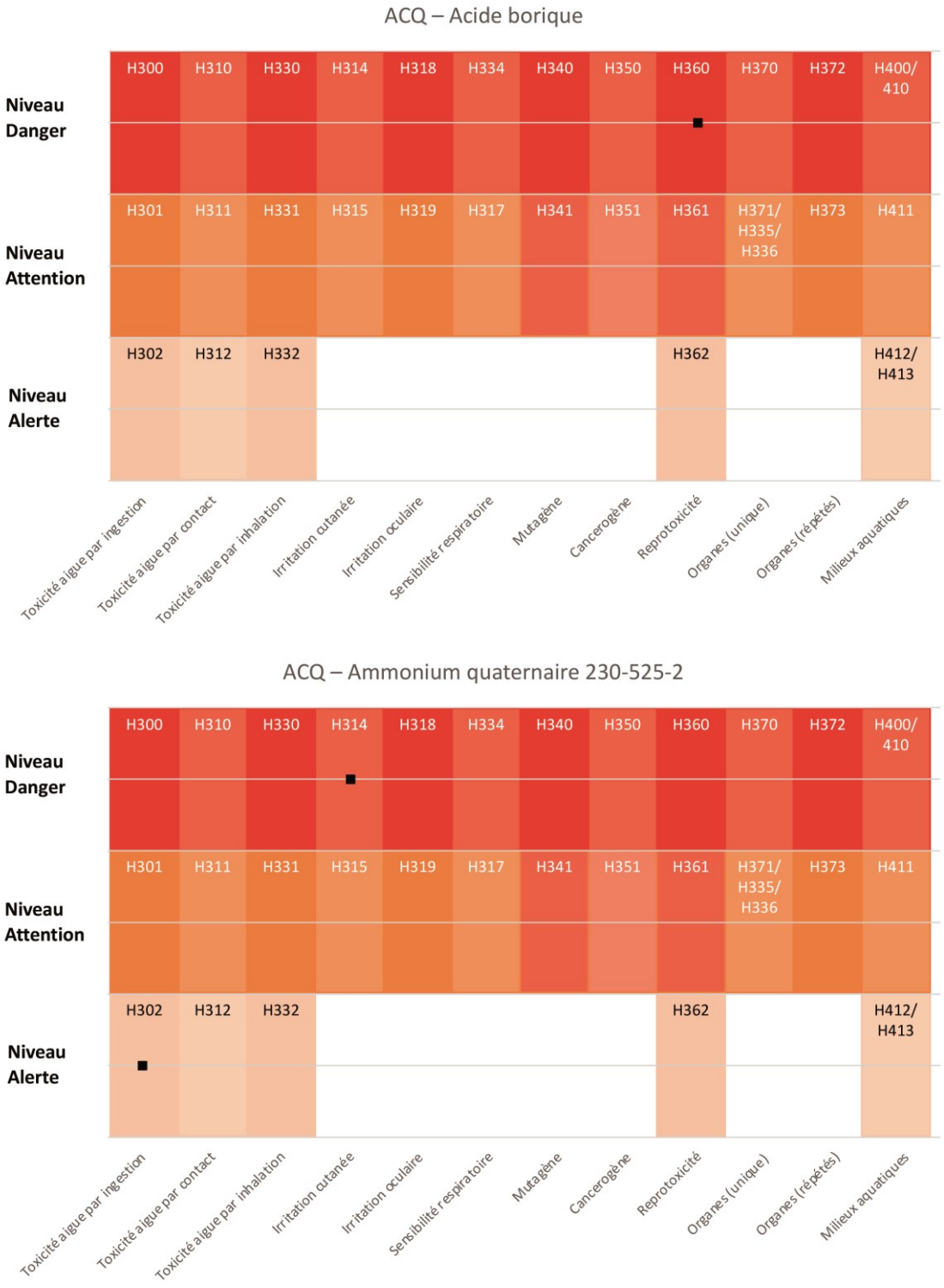
Substance enregistrée à l'EPA en 1985, produite commercialement pour la première fois au Canada en 2004, l'ACQ fait partie des solutions plus récentes de traitement des bois et est autorisé pour des applications grand public.

L'ACQ offre des performances de protection très satisfaisantes, similaires à celles du CCA. L'ACQ est également vendu pour ce qu'il ne contient pas (chrome, arsenic).

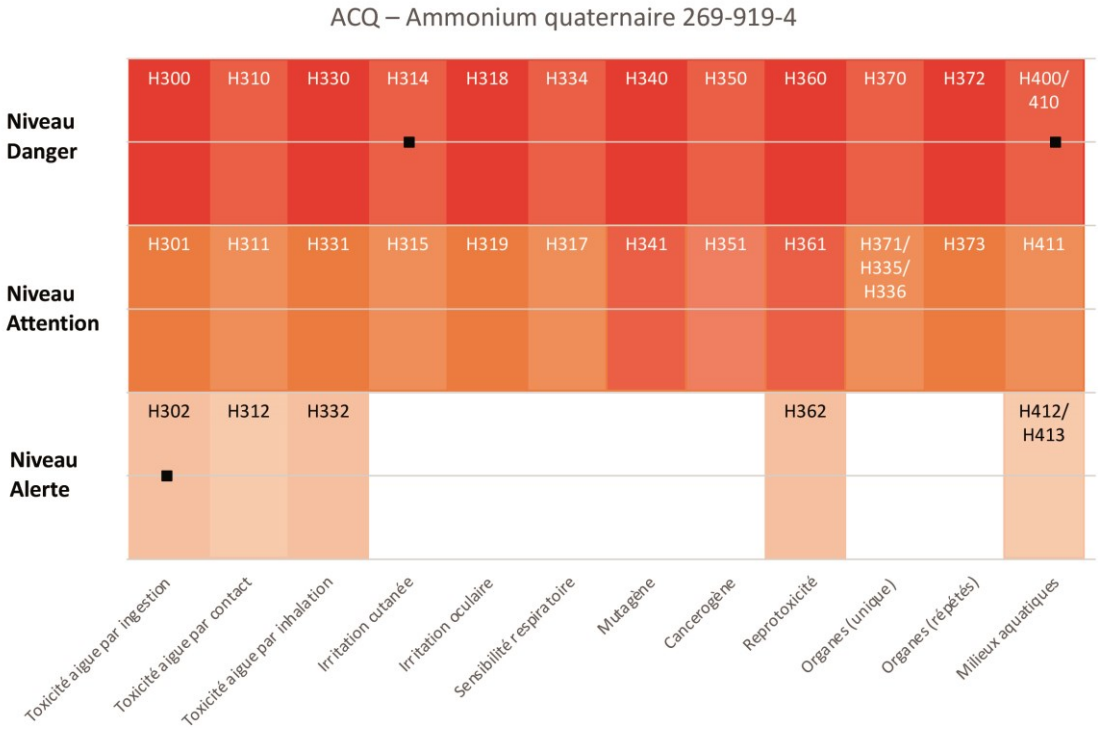
Toxicité et écotoxicité

L'ACQ est un produit classé nocif en cas d'ingestion, d'inhalation ou de contact. C'est un irritant de la peau et des yeux nécessitant des précautions lors de sa manipulation. Il est en outre cancérogène et a toutes les chances d'être reprotoxique comme un de ses composants principaux, à savoir l'acide borique.

Schéma 9. Profil de toxicité des composants de l'ACQ



Source : European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022).



Source : European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022).

Réglementation

Pas de disposition particulière.

Pays consommateurs

En revanche, le produit s'avère très corrosif (à cause de l'ammoniac) et nécessite le choix de systèmes de fixation et d'attache sur les poteaux adaptés à ses caractéristiques sous peine de détérioration rapide.

C'est aujourd'hui un produit très utilisé au Royaume-Uni, déployé en Europe, aux États-Unis, au Japon, en Australie et en Nouvelle-Zélande.

Production

Aux États-Unis :

- Viance : Preserve ACQ®
- Koppers : Naturewood® ACQ®

En Afrique du Sud :

- Dolphin Bay : Permacure ACQ®

En Inde :

- Dattashri : Amquat SS211®

Synthèse d'acceptabilité

ACQ		
Synthèse en faveur d'une interdiction		
Interdit par WB NES 3		OUI
	Interdit en Europe	NON
	Interdit aux Etats-Unis	NON
	Risque cancer, mutation, reprotoxicité	OUI, H360
Exclusions nationales		
Synthèse en faveur d'une acceptation mais…		
Synthèse en faveur d'une acceptation		

8.1.7. Triadiméfon

Référence

Triadiméfon	**ECHA**	256.103.8	**CAS**	43121-43-3

Description

Le triadiméfon a été révélé en 1976 et rapidement utilisé pour ses propriétés antifongiques systémiques et au spectre large. Il fait partie des pesticides de type conazole au même titre que le propiconazole, constituant du tannalith E (voir section 11.1.9).

Toxicité et écotoxicité

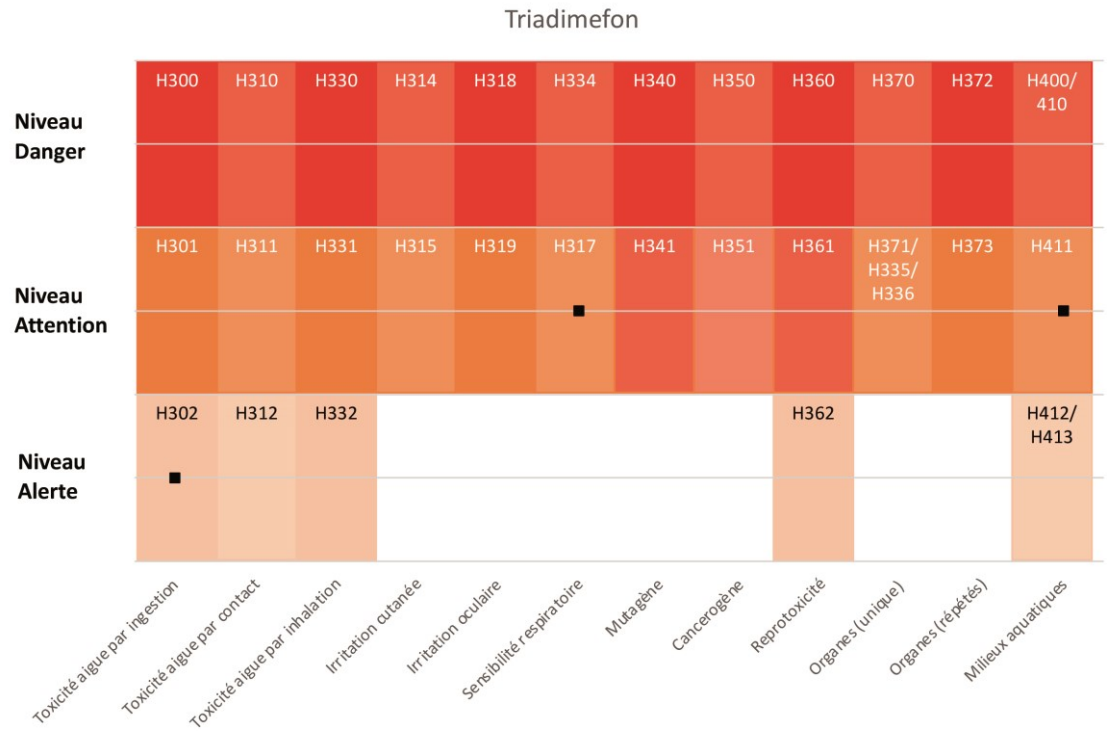
Le point d'attention principal de l'EPA est le caractère neurotoxique du triadiméfon, mis en évidence lors de nombreuses expériences réalisées en laboratoire avec des animaux.

Le triadiméfon est également suspecté d'être cancérogène (il est classé comme cancérogène de catégorie C aux États-Unis) et d'être un perturbateur endocrinien (il est listé comme tel par l'Europe et le WWF[16]).

L'impact du triadiméfon sur les organismes aquatiques a, quant à lui, été estimé comme modéré dans un premier temps avant que des observations *in situ*, en Chine où le triadiméfon est largement utilisé, attestent des effets beaucoup plus néfastes.

[16] *World Wildlife Fund* (Fonds mondial pour la nature).

Schéma 10. Profil de toxicité du Triadiméfon



Source : European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022).

Réglementation

En 2006, l'EPA a très fortement réduit les cas d'usage autorisés pour le triadiméfon, en excluant tous les usages domestiques et agricoles.

Le triadiméfon est interdit en Europe pour les usages alimentaires et agricoles.

Pays consommateurs

Depuis 2006, l'usage du triadiméfon s'est fortement réduit aux États-Unis. Mais il continue d'être utilisé massivement en Chine, notamment pour des applications agricoles.

Production

Sigma-Aldrich est un producteur de la substance, de même que plusieurs industriels chinois.

Synthèse d'acceptabilité

Triadimefon		
Synthèse en faveur d'une interdiction		
Interdit par WB NES 3		OUI
	Interdit en Europe	Pour certains usages
	Interdit aux Etats-Unis	NON
	Risque cancer, mutation, reprotoxicité	Perturbateur endocrinien
Exclusions nationales		
	OUI mais…	
Synthèse en faveur d'une acceptation		

8.1.8. Octoborate de disodium tétrahydraté (DOT)

Référence

Octoborate de disodium tétrahydraté (DOT)	**ECHA**	234.541.0	**CAS**	12280-03-4 (version tétrahydratée) 12008-41-2 (version anhydrite)

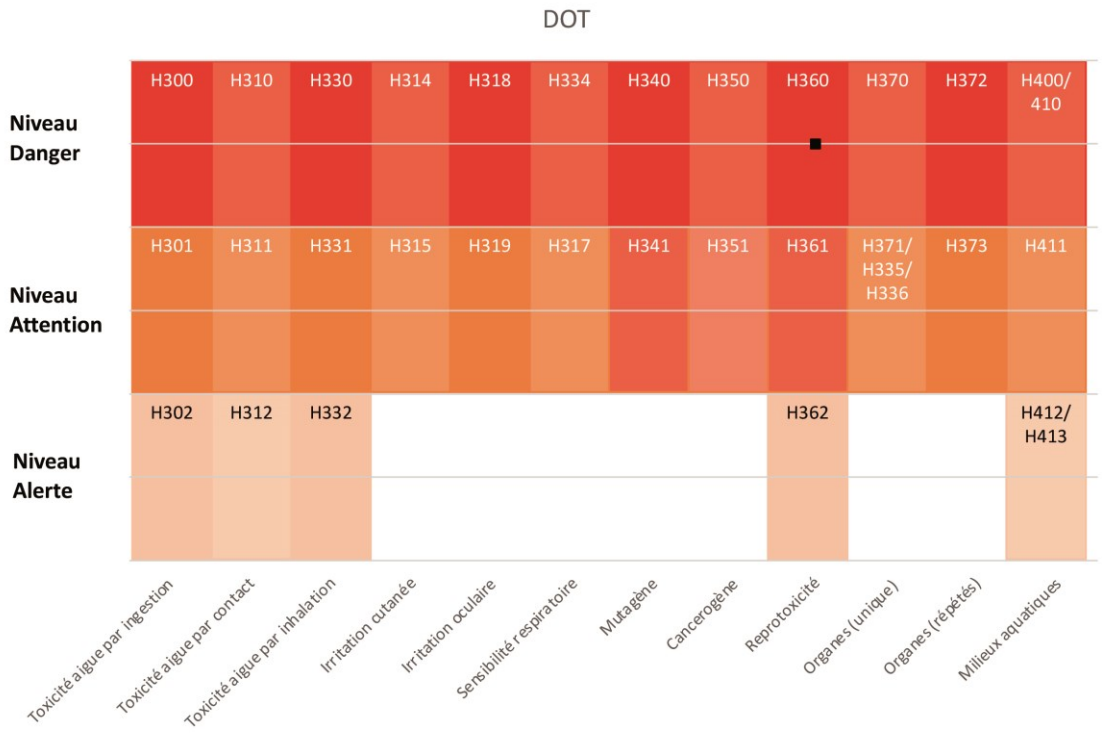
Description

L'octoborate de disodium tétrahydraté est un composé borique largement utilisé dans l'industrie. Il n'est pas dégradable quand il est à l'état naturel, est très soluble dans l'eau (ce qui permet de l'utiliser en spray) et a un faible pouvoir de bioaccumulation.

Toxicité et écotoxicité

Le DOT est classé H360FD : on lui reconnaît une forte toxicité pour les fœtus. Il est par ailleurs classé corrosif pour la peau (H319) et irritant pour les voies respiratoires (H335).

Schéma 11. Profil de toxicité du DOT



Source : European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022).

Réglementation

À cause de son caractère reprotoxique, le DOT n'est pas autorisé comme pesticide en Europe et en Suisse mais continue d'y être autorisé dans la fabrication des mastics, des pâtes à modeler et des plâtres.

Pays consommateurs

Plusieurs milliers de tonnes de DOT sont consommées annuellement en Europe, mais pas comme pesticide.

Son usage dans le traitement des bois est commun aux États-Unis et en Chine.

Production

Aux États-Unis, le DOT est notamment produit par Koppers (Advance Guard® et Hi-Bor®), American Borate Company (Etidot 67®) et Viance (TimberSaver®).

Le DOT est également produit par plusieurs fabricants en Inde et en Chine.

Synthèse d'acceptabilité

DOT		
Synthèse en faveur d'une interdiction		
Interdit par WB NES 3		OUI
	Interdit en Europe	NON
	Interdit aux Etats-Unis	NON
	Risque cancer, mutation, reprotoxicité	OUI, H360
Exclusions nationales		
Synthèse en faveur d'une acceptation mais…		
Synthèse en faveur d'une acceptation		

8.1.9. Tanalith® E

Référence

Propiconazole	**ECHA**	262.104.4	**CAS**	60207-90-1
Carbonate de cuivre	**ECHA**	235.113.6	**CAS**	12069-69-1
Cuivre	**ECHA**		**CAS**	7440-50-8
Tébuconazole	**ECHA**	403.640.2	**CAS**	107534-96-3
2-Aminoéthanol	**ECHA**	205.483.3	**CAS**	**141-43-5**

Description

Le tanalith® E est un mélange aqueux destiné au traitement du bois sous pression avec un taux de rétention compris entre 17 et 28 kg/m^3 selon les essences de bois.

Il a été développé par Arch (aujourd'hui filiale de Lonza).

Toxicité et écotoxicité

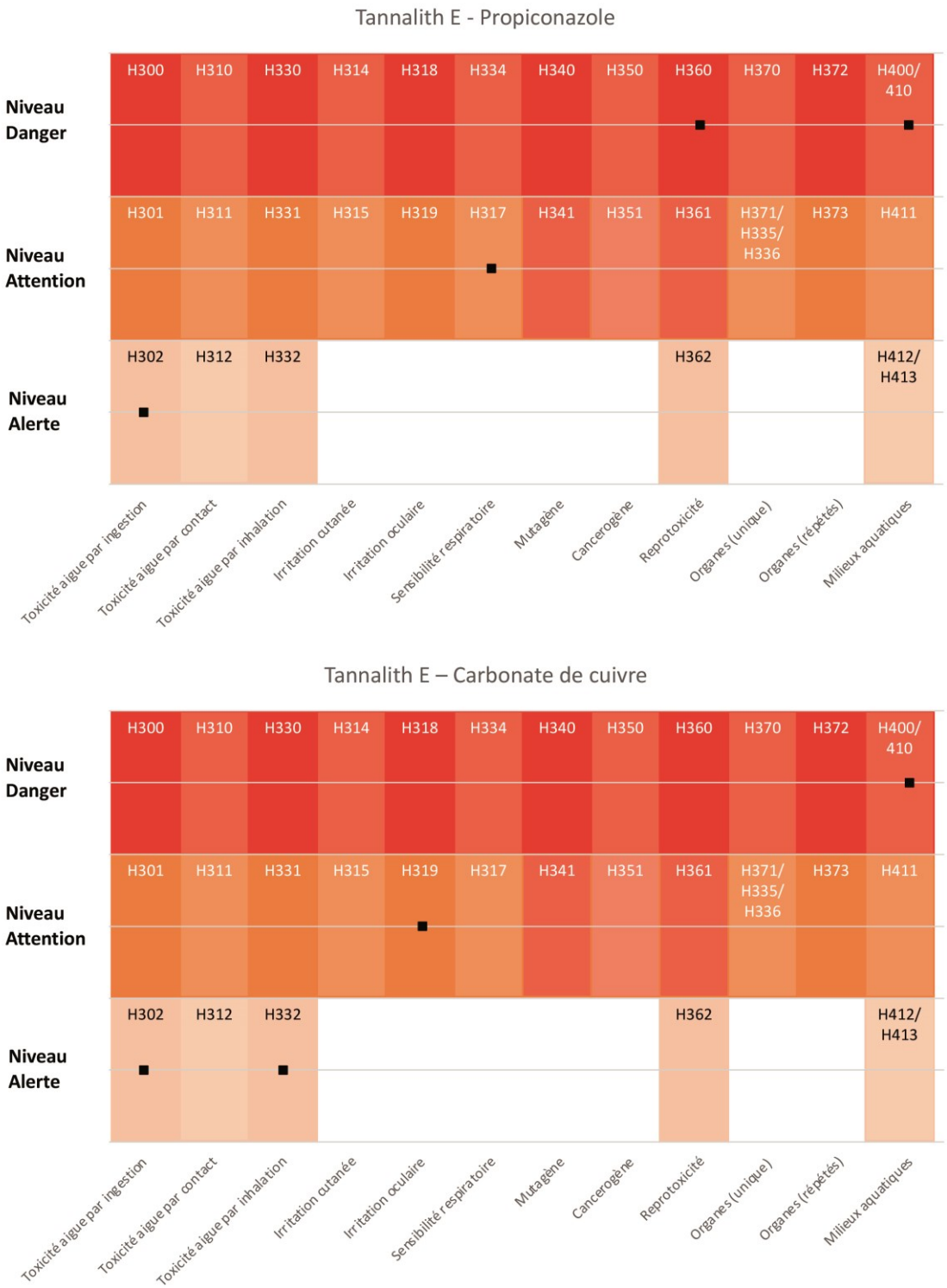
Pour l'Europe, certains constituants du tanalith® E posent problème car leur impact sur la santé humaine n'est pas négligeable.

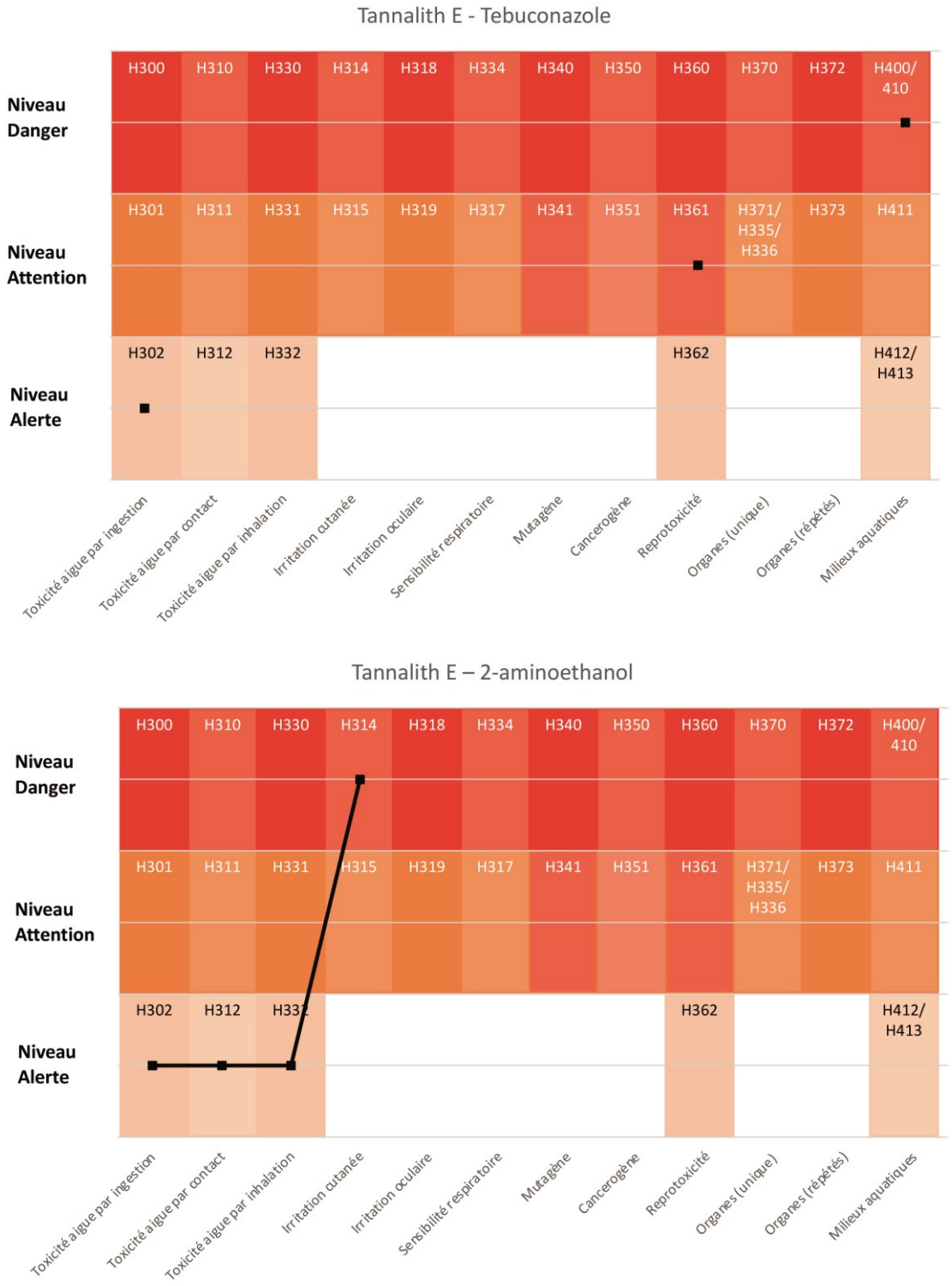
À titre d'exemple, le 2-Aminoéthanol est classé nocif par ingestion (H302) ou par contact (H312), corrosif pour la peau (H314) et irritant pour les voies respiratoires.

Le tanalith® E contient du propiconazole, fongicide reprotoxique interdit par la Commission européenne depuis 2021.

Sa présence alerte indépendamment des risques identifiés concernant directement le tanalith® E, classé nocif par ingestion (H302) ou par contact (H312), irritant pour les yeux (H318), irritant pour les voies respiratoires et enfin très toxique pour les organismes aquatiques (H410).

Schéma 12. Profil de toxicité du tanalith® E





Source : European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022).

Réglementation

Le tanalith® E a fait l'objet d'une évaluation par l'Union européenne, laquelle n'a pas conduit à son interdiction comme agent de préservation du bois.

Pays consommateurs

Le tanalith® E est largement utilisé en Asie, Australie, Nouvelle-Zélande et Afrique du Sud. Lonza le réserve à ces pays, préférant, à ce jour, promouvoir des solutions à base de CCA et d'ACZA pour l'Europe et l'Amérique du Nord. Il est toutefois consommé en Europe.

Production

Le tanalith® E est un produit mis au jour et produit par Lonza (Arxada).

Synthèse d'acceptabilité

Tannalith E		
Synthèse en faveur d'une interdiction		
Interdit par WB NES 3		OUI
	Interdit en Europe	NON
	Interdit aux Etats-Unis	NON
	Risque cancer, mutation, reprotoxicité	OUI, H360
Exclusions nationales		
Synthèse en faveur d'une acceptation mais…		
Synthèse en faveur d'une acceptation		

8.1.10. Koppers Celcure® AC 500

Référence

Carbonate de cuivre	**ECHA**	235.113.6	**CAS**	12069-69-1
Acide borique	**ECHA**	233.139.2	**CAS**	10043-35-3

Description

Le Koppers Celcure AC 500® est un mélange aqueux développé par Koppers et exclusivement réservé au traitement du bois.

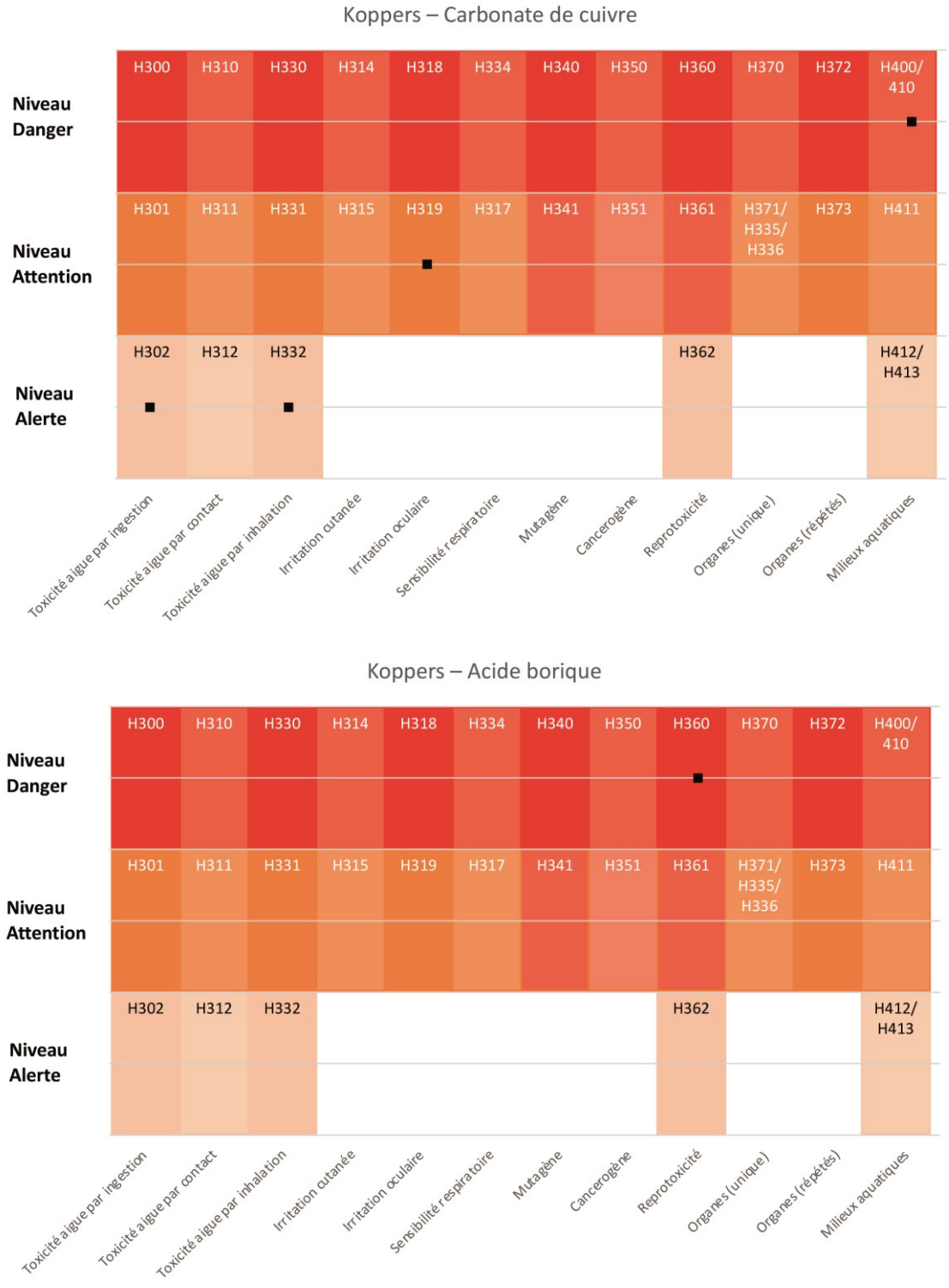
Toxicité et écotoxicité

Les principaux constituants du Koppers Celcure AC 500® ont un impact significatif sur la santé humaine :

- le carbonate de cuivre est nocif par inhalation et ingestion (H302, H332) et très toxique pour les organismes aquatiques (H400, H410) ;
- l'acide borique est un reprotoxique (H360FD).

Pour autant les faibles doses dans lesquelles ces constituants se retrouvent dans le Celcure® atténuent leurs effets. La seule classification retenue pour le Celcure® est sa nocivité pour les organismes aquatiques (H412).

Schéma 13. Profil de toxicité des composants du Koppers Celcure® AC 500



Source : European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022).

Réglementation

De 2015 à 2020, le Royaume-Uni a été en charge, pour le compte de l'Union européenne (UE), de l'évaluation du Celcure® en vue de son autorisation. Durant cette période, l'autorisation du produit a été constamment renouvelée.

Depuis 2020, à la suite du retrait du Royaume-Uni de l'UE (Brexit), la Suède a été chargée de cette évaluation. N'ayant pas achevé l'étude d'évaluation, une autorisation transitoire a été accordée au Celcure® en juin 2021, sa reconduction dépendant du résultat des investigations menées par la Suède.

Pays consommateurs

Le produit est consommé dans de nombreux pays situés sur les cinq continents.

Production

Le Koppers Celcure® AC 500 est fabriqué par la société Koppers.

Synthèse d'acceptabilité

Koppers AC 500		
Synthèse en faveur d'une interdiction		
Interdit par WB NES 3		OUI
	Interdit en Europe	NON
	Interdit aux Etats-Unis	NON
	Risque cancer, mutation, reprotoxicité	OUI, H360
Exclusions nationales		
Synthèse en faveur d'une acceptation mais…		
Synthèse en faveur d'une acceptation		

8.1.11. Wolmanit® CX-F

Référence

Carbonate de cuivre	**ECHA**	235.113.6	**CAS**	12069-69-1
Cu HDO	**ECHA**	608.595.4	**CAS**	312600-89-8
Aminoéthanol	**ECHA**	205.483.3	**CAS**	141.43.5

Description

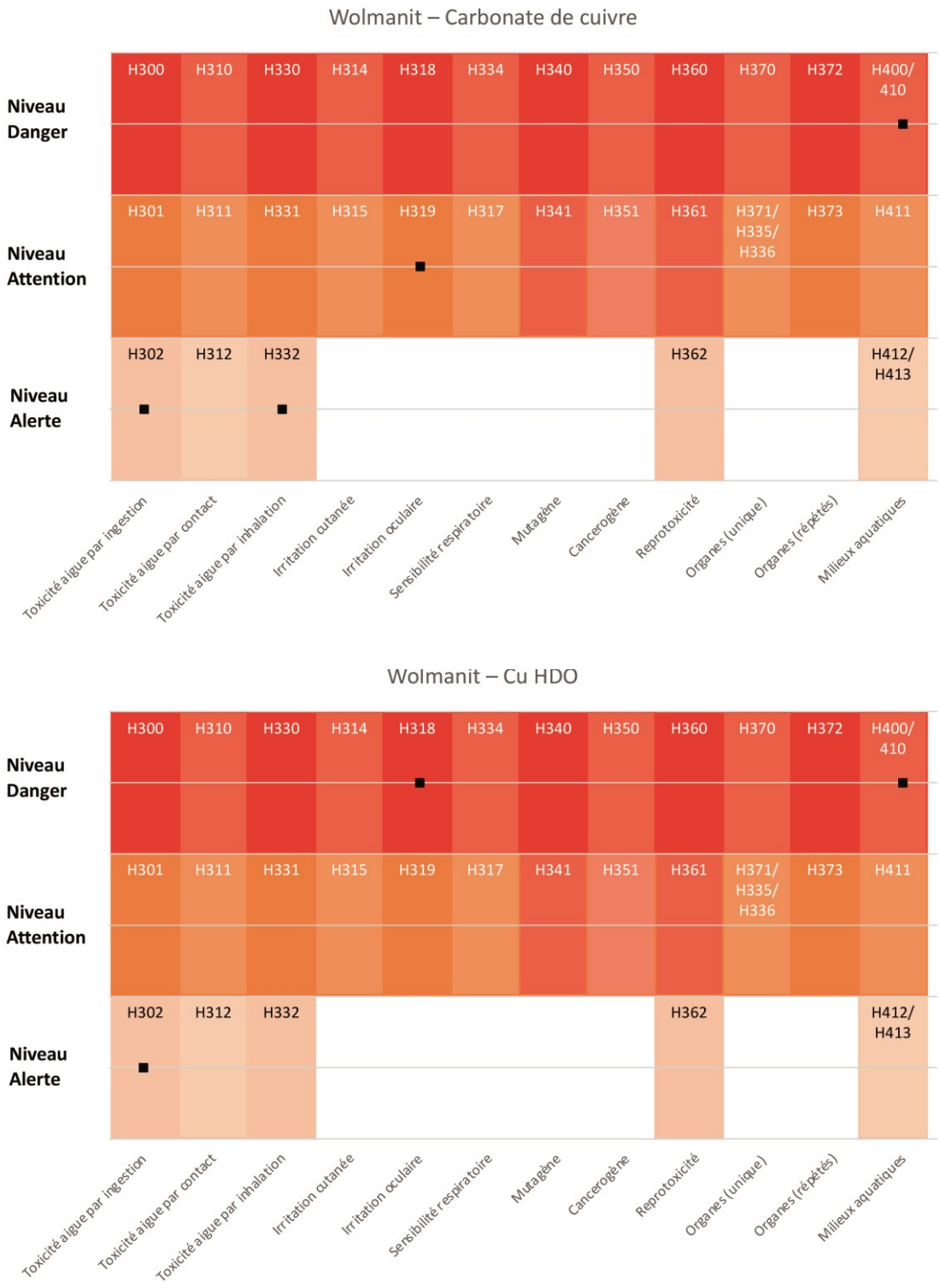
Le Wolmanit® CX-F est une solution propriétaire aqueuse à base de 2,8 % de cuivre HDO et d'environ 13 % de carbonate de cuivre.

Toxicité et écotoxicité

Comme tous les produits équivalents, le Wolmanit® est un produit toxique pour l'environnement, notamment pour les organismes aquatiques, et exige à ce titre des mesures de précaution.

C'est également un produit corrosif et irritant.

Schéma 14. Profil de toxicité des composants du Wolmanit CX-F



Source : European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022).

Réglementation

Pas de disposition particulière sur ce produit.

Pays consommateurs

Le Wolmanit® est consommé dans de nombreux pays, notamment en Europe. Le continent où il est le moins répandu est probablement le continent nord-américain.

Production

Le Wolmanit® CX-F est un produit mis au jour et produit par BASF Wolman.

Synthèse d'acceptabilité

Wolmanit CX-F		
Synthèse en faveur d'une interdiction		
Interdit par WB NES 3		NON
	Interdit en Europe	NON
	Interdit aux Etats-Unis	NON
	Risque cancer, mutation, reprotoxicité	NON
Exclusions nationales		
Synthèse en faveur d'une acceptation mais...		
Synthèse en faveur d'une acceptation		

8.1.12. Produits bio

Compte tenu des nombreuses interdictions de produits fongicides et insecticides pour des applications résidentielles, d'autres méthodes de traitement du bois ont été développées pour satisfaire ces marchés.

Le principe poursuivi est de modifier la structure interne du bois pour en modifier les propriétés, plutôt que d'imprégner le bois au moyen d'un produit protecteur.

Des méthodes chimiques ont été étudiées mais, à ce jour, aucune n'a pu être vraiment développée industriellement car les traitements sont trop coûteux (acétylation, furfurylation, traitement DMDHEU).

En revanche, différents procédés de traitement thermique du bois ont été développés, au Canada, en Finlande, en France et aux Pays-Bas. Ils reposent tous sur un principe de cycle de traitement (haute température – séchage – haute température) et diffèrent par la pression ou l'atmosphère (air, atmosphère neutre, azote et gaz carbonique) dans laquelle le traitement est effectué.

Parmi eux, citons, les process Thermowood, Plato et Retification.

Tous ont prouvé, sous différents types de climat, leur efficacité pour protéger le bois des moisissures et des insectes. Pour autant ils n'ont pas été utilisés pour les poteaux électriques, et nous n'avons pas recueilli de données économiques confirmant l'intérêt de ces solutions.

8.1.13. Comparaison de prix

Comme nous l'avons déjà évoqué, le choix du produit de traitement du bois n'a d'impact significatif ni sur la conception des poteaux, ni sur leur fabrication ou leur installation.

Il existe néanmoins des différences de prix entre ces substances. Le coût du bois traité varie en fonction du coût de la substance mais aussi en fonction de la quantité de substance nécessaire au traitement du bois. Ainsi, un premier comparatif s'établit comme suit :

Tableau 4. Comparaison de prix des bois traités avec différentes substances biocides

Substance de traitement	Prix de la substance (EUR/kg)	Rétention (kg/m^3)	Coût du traitement du bois (EUR/m^3)
ACQ	2,8	6	16,8
CCA	2,8	6	16,8
Wolmanit CX-S	4,7	4	18,8
ACZA	3,8	6	22,8
Tannalith E	3,8	6	22,8
Koppers AC 500	3,8	6	22,8
Créosote	0,75	100	75

Données adaptées par Mach&Team (source : https://www.scribd.com/document/499177918/Global-Wood).

Le coût du traitement est à ajouter au coût du bois brut pour avoir le coût net du poteau traité.

Cette comparaison peut expliquer des différences de prix de vente entre des poteaux bois traités avec des substances différentes.

Les poteaux bois, comparés à d'autres solutions de remplacement, que nous étudierons dans le chapitre suivant, ont un prix de vente souvent moins élevé que celui de poteaux fabriqués avec d'autres technologies ou matériaux, mais il est important de considérer le coût final à différents niveaux :

- le prix de vente du poteau bois est en général très compétitif. Sa compétitivité peut néanmoins varier selon que le poteau est fabriqué sur place à partir de bois bruts locaux (scénario favorable) ou est importé de pays producteurs lointains (scénario défavorable) comme c'est le cas dans certains pays désertiques du Moyen-Orient ;
- le prix du poteau installé, composé du prix de vente évoqué ci-devant et du prix d'installation, fonction par exemple du poids du poteau, de la difficulté de fixer les accessoires (par exemple : traverses, supports de câbles, etc.). À ce stade, les poteaux restent compétitifs mais leur compétitivité est réduite par des coûts d'installation restant assez élevés. Les systèmes de fixation des accessoires sur les poteaux acier, composite ou béton sont réalisés en usine, alors que les poteaux bois nécessitent des opérations de perçage souvent réalisées lors de l'installation ;

- le coût total de possession qui représente l'ensemble des coûts générés par le poteau tout le long de son cycle de vie (en incluant ou non les coûts de recyclage). Ce niveau, comme le précédent, prend en compte de nouveaux coûts peu favorables aux poteaux bois : en effet, ces poteaux exigent, plus que d'autres, des opérations de maintenance et d'inspection et peuvent ainsi avoir le plus souvent une durée de vie plus courte.

Il est donc important de ne pas apprécier le coût des poteaux électriques en se limitant simplement à leur prix de vente.

8.1.14. Comparaison de toxicité

L'examen proposé ci-devant des différentes substances utilisées pour le traitement du bois montre qu'aucun pesticide ou fongicide industriel n'est exempt de danger. Les métaux utilisés pour leurs propriétés naturelles (cuivre, arsenic, chrome) ont des impacts sur la santé humaine et sur l'environnement aussi importants que les dérivés industriels (composants boriques, conazoles, pentachlorophénol…).

Aucune substance n'offre une solution de remplacement évidente à la créosote et certaines ont même des impacts du même ordre.

La tendance dans les pays industriels (Europe en tête) est de limiter progressivement l'usage de ces substances. Les États-Unis sont aujourd'hui plus permissifs mais suivent le mouvement. En revanche, la Chine et l'Inde restent des producteurs et des consommateurs importants de ces substances qu'ils peuvent exporter facilement dans tous les pays dont la réglementation ne l'interdit pas.

La quasi-totalité de ces produits sont très toxiques, à court et moyen terme, pour les organismes aquatiques. Leur usage doit être strictement limité, voire interdit, comme c'est le cas pour le bois présent dans les plans d'eau et les rivières.

On peut alors proposer la comparaison suivante selon trois catégories de critères :

- les produits cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques ou perturbateurs endocriniens (ou fortement soupçonnés de l'être) doivent être interdits ;
- les produits à très forte toxicité (évalués en niveau danger présenté en rouge sur les profils de toxicité) peuvent être interdits ou, à défaut, faire l'objet de mesures de protection *ad hoc (i)* des personnes susceptibles d'être en contact avec ces produits, et *(ii)* de l'environnement, durant leur utilisation ;
- les produits irritants doivent faire l'objet de mesures de précaution pour leur manipulation, leur transport et leur stockage.

L'analyse faite selon ces critères conduit à une alerte majeure sur la plupart des produits, non acceptables au regard de leurs caractéristiques, (surlignés en rouge dans le tableau 5), à l'exception du naphténate de cuivre, du DCOI et du Wolmanit CX (quant à lui uniquement fabriqué par BASF-Wolman).

Tableau 5. État comparatif de la toxicité des différents produits de traitement du bois

Produit de conservation du bois	Créosote	Pentachlorophénol	CCA	DCOI	ACQ	Naphténate de Cuivre	ACZA	Triadimefon	DOT	Tannalith E	Koppers AC 500	Wolmanite CX-F
Toxicité pour les organismes aquatiques	1	1	1	1	1	1	1	2		1	1	1
Produit cancérogène	2	1	1				1					
Produit mutagène												
Produit reprotoxique ou perturbateur endocrinien			1		1			1	1	1	1	
Toxicité	1	2	1	1	3	3	2	3		3	3	3
Irritant pour la peau	2	2		1	1					1		
Irritant pour les yeux	2	2		1						2		1
Irritant pour les voies respiratoires				2				2		2		

Source : Mach&Team d'après European Chemicals Agency (ECHA) – http://echa.europa.eu (2022).

8.2. L'acier

L'acier est un matériau couramment utilisé pour les pylônes électriques soutenant les lignes de réseaux de transport, plus rarement pour les réseaux électriques de distribution.

Il permet plusieurs variantes de design :

- diverses formes (treillis soudé ou unipôle et, parmi les poteaux unipôles, douze facettes ou ronds) ;
- diverses finitions (acier galvanisé, acier patinable, acier peint).

Leur intégration dans le paysage peut être adaptée et se révèle quelquefois plus discrète que celle des poteaux en bois.

Photo 1. Exemple de poteau métallique en treillis

© droits réservés

Photo 2. Exemple de poteau métallique unipôle

© droits réservés

8.2.1. Caractéristiques physiques

Les poteaux en acier sont en général plus légers que les poteaux en bois. Selon les sources, le gain de poids va de 30 à 70 % dans les **cas les plus favorables**. Ces chiffres ne peuvent cependant être pris comme référence.

Certains types de poteaux en acier peuvent cependant être plus lourds. Les données de poids utilisées dans les différentes études disponibles sont à considérer avec recul car les auteurs des publications fournissant des comparaisons de poids entre poteaux en bois et poteaux en acier choisissent naturellement les conditions et paramètres favorables à l'argumentation qu'ils développent.

Ainsi, le WEI-IEO, association professionnelle européenne, qui représente l'industrie de traitement du bois, cherche à montrer les avantages des poteaux en bois et fournit la comparaison suivante :

Tableau 6. Comparaison du poids des poteaux en acier et des poteaux en bois

Hauteur du poteau (m)	Classe	Poids du poteau en bois (kg)	Poids du poteau en acier (kg)
8	L	143	262
8	M	157	374
10	M	259	471
10	S	395	879
12	M	356	601
12	S	539	1 068
14	S	686	1 311
18	S	1 110	2 322

Source : d'après les données du Rapport complet SEA, WEI-IEO (Bruxelles), août 2016.

En 2021, l'*Oak Ridge National Laboratory* (ORNL) aux États-Unis, peut-être plus neutre, prend un poteau de référence d'une hauteur de 12,5 mètres :

- en bois, son poids s'élève à 1 315 kg,
- en acier, son poids s'élève à 631 kg.

Au-delà des exemples cités, la quasi-totalité des acteurs s'accordent pour dire que les poteaux en acier sont entre 30 et 50 % plus légers que les poteaux en bois. Nous recommandons de considérer cette fourchette comme représentative dans 95 % des cas.

8.2.2. Avantages et inconvénients des poteaux en acier

Les poteaux en acier ont des avantages assez marqués sur les poteaux en bois traité :

- ils sont plus facilement transportables car plus légers. Cela peut s'avérer important quand les conditions de transport sont difficiles ;
- ils sont résistants au feu ;
- ils sont insensibles aux insectes ;
- ils ne présentent, en phase d'exploitation, ni danger pour la santé humaine, ni danger pour l'environnement ;
- leurs caractéristiques physiques sont stables ;
- ils nécessitent peu de maintenance ;
- leur inspection n'est ni destructrice ni invasive pour le poteau ;

- ils sont entièrement recyclables ;
- ils sont le plus souvent réparables après un impact, par exemple avec un véhicule ;
- il est facile d'y faire des trous de fixation pour les supports de lignes ou pour tout autre accessoire ;
- leur durée de vie peut atteindre 80 ans ;
- ils peuvent supporter des efforts et des chocs.

En revanche, ils présentent des inconvénients :

- leur fabrication nécessite des ressources non renouvelables (métaux) ;
- ils présentent un bilan carbone plus défavorable que les poteaux en bois ;
- ils s'avèrent coûteux ;
- ils peuvent être sujets à la corrosion dans une atmosphère acide ou saline ;
- ils doivent être séparés du support des lignes par un isolant suffisamment efficace pour être isolé de courts-circuits éventuels ;
- ils sont plus difficiles à escalader et les interventions au faîte des poteaux nécessitent soit une nacelle, soit des accessoires spécifiques ;
- il est bon d'éviter leur installation sur des sols à sulfates acides ;
- leur acheminement nécessite des précautions.

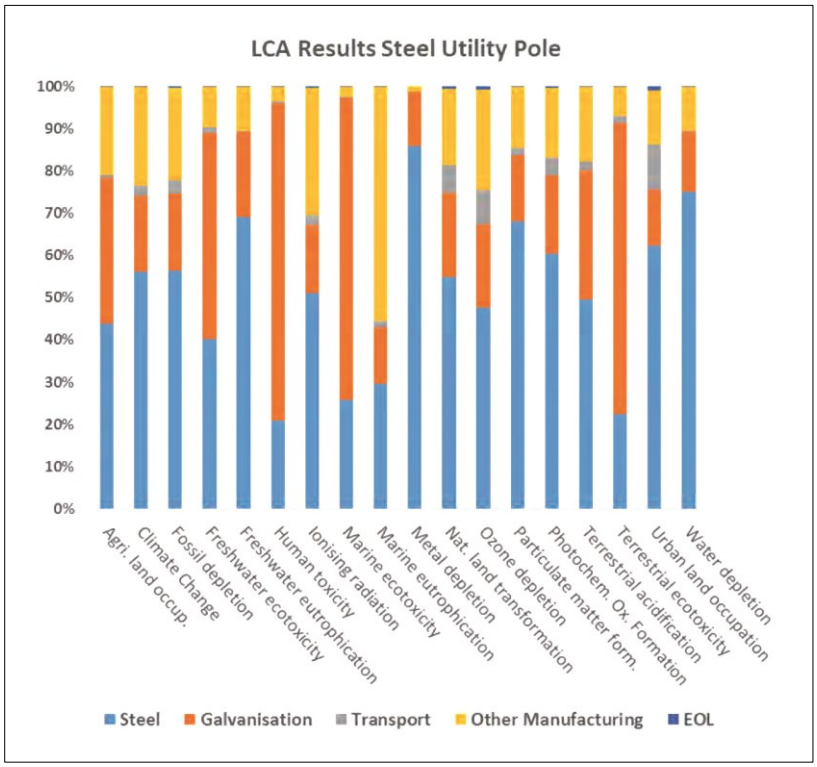
8.2.3. Comparaison ACV [17]

Le profil ACV des poteaux en acier est donné dans le graphique 2.

Comme le montre ce graphique, l'impact ACV des poteaux en acier est fortement conditionné par la fabrication de l'acier. En plus, la toxicité cumulée envers la santé humaine, les écosystèmes terrestres et aquatiques est fortement influencée par la galvanisation de l'acier, nécessaire pour des poteaux résistants à l'environnement et aux intempéries.

[17] http://www.wei-ieo.eu/wp-content/uploads/2019/02/SEA-SM1_2016_FullReport.pdf

Graphique 2. Profil ACV des poteaux en acier



Source : Socioeconomic Analysis (SEA) of Creosoted Wood Pole Applications (Full Report), WEI-IEO (Brussels), August 2016.

8.2.4. Exemples de déploiement et cas d'usage

Dans de nombreux pays, y compris dans la zone d'intervention de l'AFD, les gestionnaires de réseaux de distribution ont déployé des poteaux métalliques sans que cela ne dépasse de faibles proportions. En dépit de leurs avantages, la légèreté rendant l'installation plus facile et la solidité, barrière contre le vandalisme, les poteaux en acier souffrent de leur prix et de la difficulté de les produire localement.

À titre d'exemples, notons cependant :

- l'installation par Structa (Afrique du Sud) de poteaux en acier **dans des mines** en République démocratique du Congo (RDC) et en Namibie ;
- l'installation par KEC International de poteaux en acier **au centre-ville** de N'Djamena (Tchad) ;
- l'installation par Fuchs Europoles (Allemagne) de poteaux en acier dans des **zones exposées aux tempêtes** ou pour des raisons **d'intégration dans des parcs régionaux** en Allemagne et en Suisse pour le compte de ED Netze ;
- l'installation de 6 000 poteaux en acier par Structa (Afrique du Sud) pour le compte d'Eskom.

L'installation de poteaux métalliques (de type unipôle) est désormais envisagée en Tanzanie et au Nigéria pour faire face à une recrudescence des dégradations sur les poteaux en bois.

8.2.5. Producteurs

La production de poteaux en acier est plutôt concentrée sur des producteurs spécialisés, aux process industriels rodés, pour atteindre des coûts moins élevés. Ces producteurs se situent principalement dans les pays industriels.

Les principaux producteurs sont :

- aux États-Unis : Valmont (leader mondial),
- au Moyen-Orient : Al-Babtain, El-Sewedy,
- en Inde : KEC International,
- en Chine : Metal Utility poles, Wuxiao (peu présent sur le marché de la distribution),
- en Europe : Fuchs Europoles (Allemagne),
- en Afrique du Sud : Structa.

Au Maroc, l'Office national de l'électricité et de l'eau potable (ONEE) a référencé des poteaux métalliques en provenance de plus de dix fabricants nationaux, faisant ainsi confiance à un tissu d'artisans semi-industriels locaux (Emteyco – leader marocain –, Électro Tadart, Fabrilec, Funtan, Geemag, Lumafric, Sara électrique, Somodelco, Zamil) plutôt qu'à des grands acteurs internationaux.

Cette structure de marché fait exception et montre un schéma réplicable dans de nombreux pays pour peu que l'émergence d'un tel tissu d'acteurs soit stimulée dans le temps par le gouvernement ou les gestionnaires de réseaux locaux.

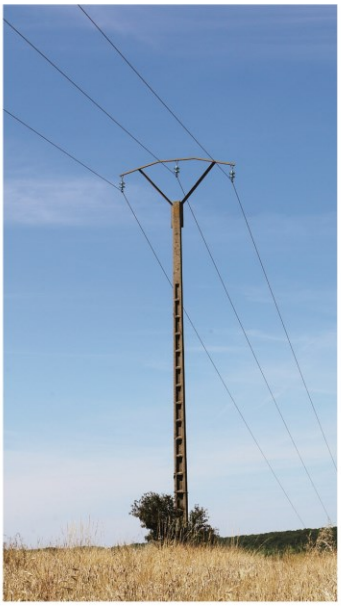
8.3. Le béton

8.3.1. Caractéristiques physiques

Les processus de fabrication des poteaux en béton permettent des formes et des caractéristiques très différentes. Les poteaux en béton peuvent être :

- pleins ou creux,
- de section rectangulaire ou en H,
- moulés ou centrifugés pour davantage de rigidité,
- précontraints ou simplement armés.

Photo 3. Exemple de poteau en béton moulé alvéolé



© droits réservés

Photo 4. Exemple de poteau en béton centrifugé de section cylindrique

© droits réservés

Tableau 7. Comparaison du poids des poteaux en béton et des poteaux en bois

Hauteur du poteau (m)	Classe	Poids du poteau en bois (kg)	Poids du poteau en béton (kg)
8	L	143	788
8	M	157	795
10	M	259	1 019
10	S	395	1 103
12	M	356	1 216
12	S	539	1 359
14	S	686	1 612
18	S	1 110	2 573

Source : d'après les données du Rapport complet SEA, WEI-IEO (Bruxelles), août 2016.

Par ailleurs, en 2021, l'ORNL prend un poteau de référence d'une hauteur de 12,5 mètres :

- en bois, son poids s'élève à 1 315 kg,
- en béton, son poids s'élève à 3 793 kg.

Ces données ne sont pas contestées, et l'inconvénient du poids des poteaux en béton est communément reconnu.

8.3.2. Avantages et inconvénients des poteaux en béton

Les poteaux en béton présentent également des avantages marqués :

- ils sont résistants au feu ;
- ils sont insensibles aux insectes ;
- ils ne présentent, en phase exploitation, ni danger pour la santé humaine, ni danger pour l'environnement ;
- leurs caractéristiques physiques sont stables ;
- ils nécessitent peu de maintenance ;
- leur vérification n'est ni destructrice ni invasive pour le poteau ;
- ils sont entièrement recyclables sous forme de granulats de béton ;
- ils sont la plupart du temps réparables après un impact avec un véhicule par exemple ;
- il est facile d'y faire des trous de fixation pour les supports de lignes ou pour tout autre accessoire ;
- leur durée de vie peut atteindre 50 ans ;
- ils résistent à des efforts importants.

En revanche, comme les poteaux en acier, les poteaux en béton présentent quelques inconvénients importants :

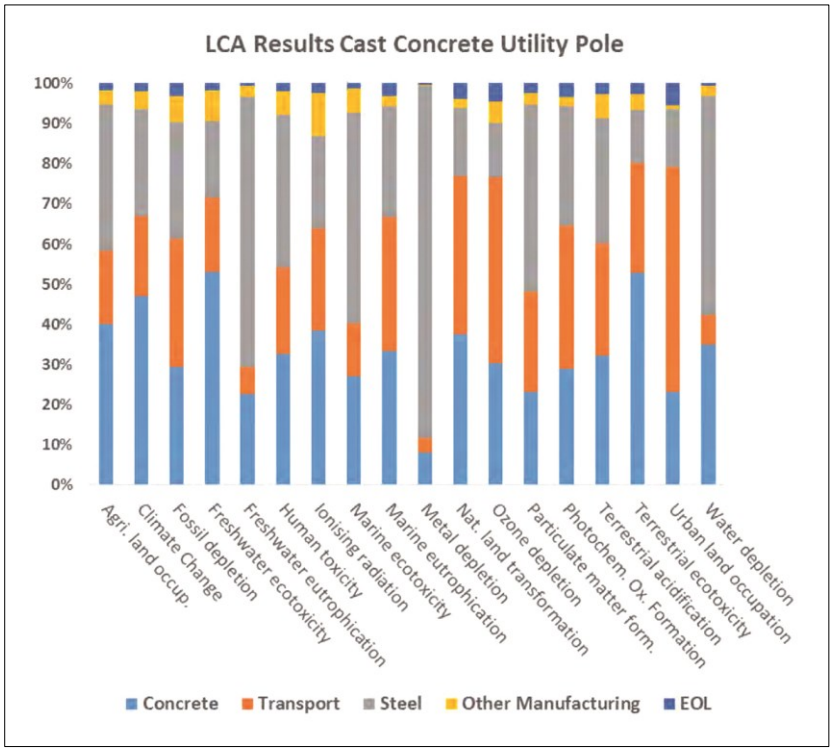
- ils sont moins facilement transportables car beaucoup plus lourds. Cela peut s'avérer rédhibitoire quand les conditions de transport s'avèrent difficiles ;
- ils présentent un bilan carbone plus défavorable que les poteaux en bois ;
- leur fabrication nécessite des ressources non renouvelables et beaucoup d'énergie ;
- ils sont plus coûteux que les poteaux en bois ;
- les armatures en acier peuvent être sujettes à la corrosion dans les atmosphères acides ou salines, si le poteau s'est fendillé ou a été endommagé.

8.3.3. Comparaison ACV [18]

L'analyse ACV des poteaux en béton moulés donne comme résultat le profil suivant : dans le cas du béton moulé (graphique 3), une grande partie de l'impact ACV vient des matières premières utilisées (acier et ciment) auxquelles se rajoute une forte sensibilité aux transports, soulignant l'impact du poids des matériaux et des poteaux ainsi que de l'éloignement, dans certains cas, des sites de production du ciment.

[18] http://www.wei-ieo.eu/wp-content/uploads/2019/02/SEA-SM1_2016_FullReport.pdf

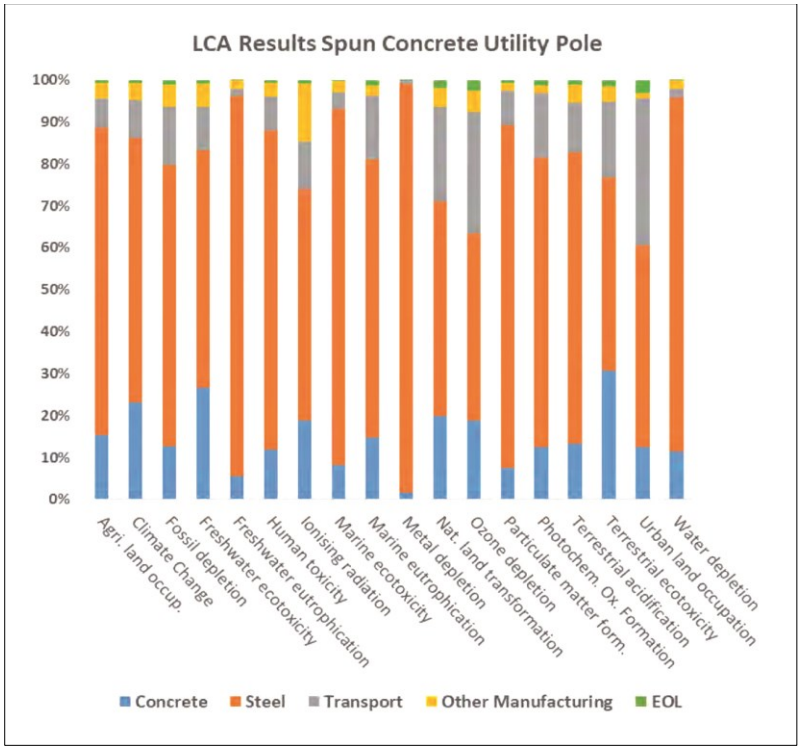
Graphique 3. Profil ACV des poteaux en béton moulé



Source : *Socioeconomic Analysis (SEA) of Creosoted Wood Pole Applications (Full Report), WEI-IEO (Brussels), August 2016.*

De même, l'analyse ACV des poteaux en béton centrifugé donne comme résultat le profil suivant :

Graphique 4. Profil ACV des poteaux en béton centrifugé



Source : *Socioeconomic Analysis (SEA) of Creosoted Wood Pole Applications (Full Report), WEI-IEO (Brussels), August 2016.*

Le graphique 4 montre que l'impact ACV des poteaux en béton centrifugé vient principalement de l'acier.

8.3.4. Exemples de déploiement et cas d'usage

Il y a des exemples de déploiement dans de nombreux pays, notamment dans la zone d'intervention de l'AFD. En dépit de ses inconvénients, le poteau en béton est une solution de remplacement fréquente aux poteaux en bois quand ces derniers posent des contraintes trop importantes. Elle est d'autant plus facile à mettre en place que les poteaux en béton peuvent être aisément fabriqués presque partout.

Les poteaux en béton sont utilisés au Japon où ils représentent une solution plus satisfaisante que les poteaux en bois face au risque de **tremblements de terre.**

Au Nigéria, les poteaux en ciment sont désormais utilisés pour faire face au **vandalisme** affectant les poteaux en bois et métalliques.

8.3.5. Producteurs

Certains pays, dans lesquels les poteaux en béton sont dominants, ont vu l'émergence d'un constructeur important, leader du marché (exemple : Nippon Concrete au Japon).

Parallèlement, certains pays, dans lesquels les poteaux en béton sont dominants, ont vu le développement d'une industrie constituée de petites et moyennes entreprises solides (exemples : Électrobéton, OTEP, SIEBA, Stradal en France).

Des pays émergents sont dotés d'un réseau de fabricants bien implantés (exemples : Atlas PDA, Atlas Poteaux, Brinell, Électricité Bellet, ENTEG, Mars Industrie, Presud, SAGAP, SEGMO, SGFE, Siwar, Zinco au Maroc).

D'autres pays émergents ont récemment développé sous l'impulsion du gouvernement ou de l'énergéticien local un réseau de fabricants aptes à suivre une demande naissante :

- CBD, CCCG, Law Brothers, Leader, SCCP et SET au Cameroun ;
- Les Préfabriqués du Faso, PPI, SIMEEL, Sys Masten au Burkina Faso, avec des capacités journalières variant de 70 à 200 poteaux par usine.

Des acteurs implantés dans un pays peuvent servir les marchés avoisinants comme Rocla en Afrique du Sud qui dessert également la Namibie et le Botswana.

8.3.6. Production locale

Une fois s'être assuré l'accès aux matières premières nécessaires (sable, gravier, ciment), l'implantation d'une usine de fabrication de poteaux en béton ne pose pas de difficulté particulière. Une fabrication locale de poteaux en béton peut donc facilement être organisée.

Les actifs nécessaires sont peu nombreux. À titre d'exemple, une unité de fabrication construite au Bénin pour fabriquer 24 poteaux de classe A et 3 poteaux de classe C par jour nécessite :

- une aire de stockage de 1 500 m^3 de gravier,
- une aire de stockage de 1 500 m^3 de sable,
- une aire de stockage de 400 tonnes de ciment,
- deux bétonnières de 600 litres chacune,
- deux becs verseurs de 300 litres chacun,
- un pont de 3,5 tonnes,
- 27 moules,
- une aire de stockage de poteaux finis de 1 500 m^2.

La construction d'une telle unité de fabrication représente un coût de 10 à 12 M EUR.

8.4. Les matériaux composites

De nombreux matériaux composites sont utilisés pour les poteaux électriques : en général, un matériau composite est un mélange de matériaux dont les caractéristiques (notamment la résistance mécanique et la rigidité) sont meilleures que celles de chacun de ses constituants. Ce peut être un mélange de métaux ou des matériaux renforcés par de la fibre de verre ou de carbone.

En ce qui concerne les poteaux électriques, ce sont la plupart du temps des polymères renforcés de fibres. Ce sont des poteaux de conception récente puisque le premier a été installé en 1993.

8.4.1. Caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques dépendent bien évidemment du type de matériau composite ; néanmoins, des caractéristiques communes se dégagent.

En général, le ratio rigidité/poids est très supérieur à celui des autres matériaux. En ce qui concerne le seul poids, les poteaux en matériau composite sont plus légers que les poteaux en bois.

Tableau 8. Comparaison du poids des poteaux composites et des poteaux en bois

Hauteur du poteau (m)	Classe	Poids du poteau en bois (kg)	Poids du poteau en acier (kg)
8	L	143	117
8	M	157	-
10	M	259	213
10	S	395	298
12	M	356	281
12	S	539	402
14	S	686	524
18	S	1 110	-

Source : d'après les données du Rapport complet SEA, WEI-IEO (Bruxelles), août 2016.

8.4.2. Avantages et inconvénients des poteaux composites

Les poteaux en matériau composite présentent les principaux avantages suivants :

- moyennant un revêtement de protection, ils sont résistants au feu ;
- ils sont insensibles aux insectes ;
- ils ne présentent, en phase d'exploitation, ni danger pour la santé humaine, ni danger pour l'environnement ;
- leurs caractéristiques physiques sont très stables ;
- ils ne nécessitent quasiment aucune maintenance ;
- ils sont la plupart du temps réparables après un impact avec un véhicule, par exemple ;
- il est facile d'y faire des trous de fixation pour les supports de lignes ou pour tout autre accessoire ;
- même si l'on manque encore de recul pour l'estimer précisément, on peut raisonnablement espérer que leur durée de vie dépasse 70 ans ;
- ils sont facilement transportables et installables car ils sont plus légers que les autres poteaux.

En revanche, ils présentent quelques inconvénients importants :

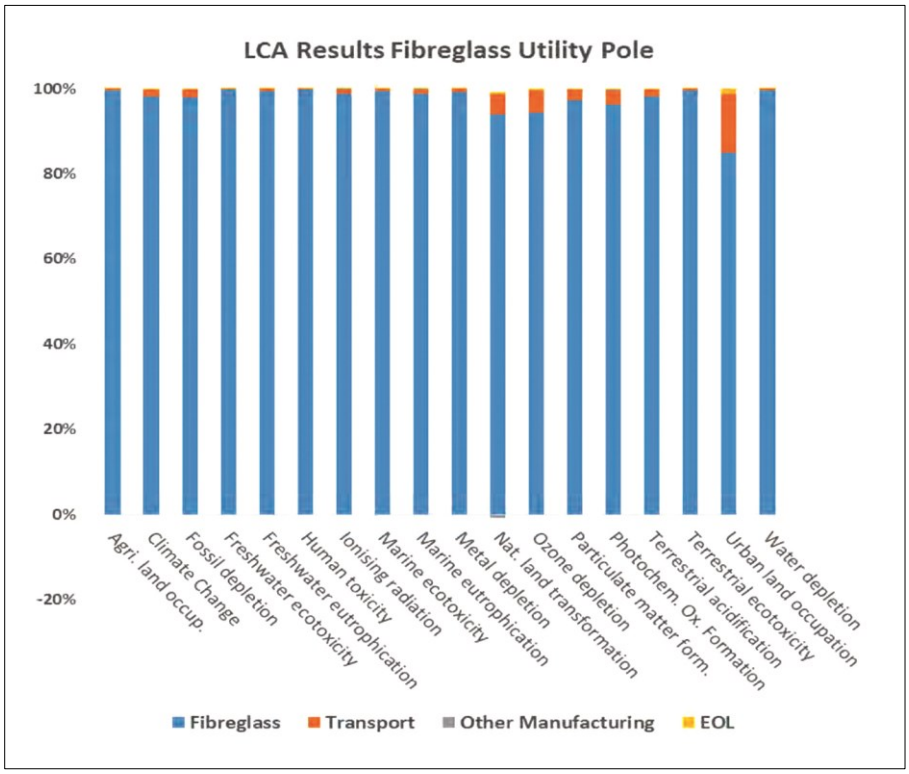
- ils sont beaucoup plus coûteux que les autres poteaux ;
- selon le matériau composite, le recyclage peut être délicat et les broyats faiblement réutilisés.

8.4.3. Comparaison ACV [19]

Le graphique 5 montre le profil résultant de l'ACV de poteaux composites à forte teneur de fibre de verre est le suivant ; le graphique fait apparaître que la quasi-totalité de l'impact ACV des poteaux réalisés en matière composite vient de la fabrication de la fibre de verre.

[19] http://www.wei-ieo.eu/wp-content/uploads/2019/02/SEA-SM1_2016_FullReport.pdf

Graphique 5. Profil ACV des poteaux en matériau composite



Source : *Socioeconomic Analysis (SEA) of Creosoted Wood Pole Applications (Full Report), WEI-IEO (Brussels), August 2016.*

8.4.4. Exemples de déploiement et cas d'usage

Les poteaux en matériau composite ont été déployés :

- dans des zones **fortement exposées aux ouragans**, nécessitant des poteaux à très forte résistance (Southern California Edison) ;
- dans des zones de **captation d'eau potable** comme avec E.ON en Suède ;
- dans des zones reculées, nécessitant un **transport des poteaux par hélicoptère** comme en Norvège avec Mørenett.

Les principaux déploiements ont lieu sur des applications de niche, dans des pays développés, peut-être moins sensibles au coût de ces poteaux.

8.4.5. Producteurs

La production de ces poteaux reste et restera durablement une affaire de spécialistes. Compte tenu de la pénétration limitée du marché par cette technologie, les producteurs sont localisés dans les pays industriels, principalement aux États-Unis, et exportent leur production. Les principaux producteurs de poteaux composites sont Duratel, Strongwell, Shakespeare (Filiale de Valmont), PUPI ou encore Jerol.

8.5. Chemisage des poteaux

Les poteaux en bois implantés en zone humide se dégradent plus vite au niveau de la partie enterrée, la partie restant à l'air libre étant moins sujette aux moisissures.

Afin de prolonger la durée de vie des poteaux, des solutions ont été développées en protégeant davantage la partie enterrée.

La solution Polesaver® est une gaine thermoplastique entourant le pied du poteau, permettant à son fabricant de revendiquer un gain de durée de vie de 20 ans, pour un coût supplémentaire de l'ordre de 1 à 2 % du coût de remplacement d'un poteau.

La gaine Polesaver® a été vendue à 7 millions d'exemplaires depuis 1994 et est désormais appliquée systématiquement par UKPN sur ces poteaux en bois.

En Allemagne, la solution Permadur® de Fürstenberg utilise un principe identique en entourant le pied du poteau d'une feuille de métal prise dans un manchon rétractable.

Ces solutions présentent peu d'intérêt dans les zones où la durée de vie des poteaux en bois excède 50 à 60 ans, mais peuvent être déterminantes dans les terrains moins favorables aux poteaux en bois.

9. ACV COMPARATIVE DES DIFFÉRENTES SOLUTIONS

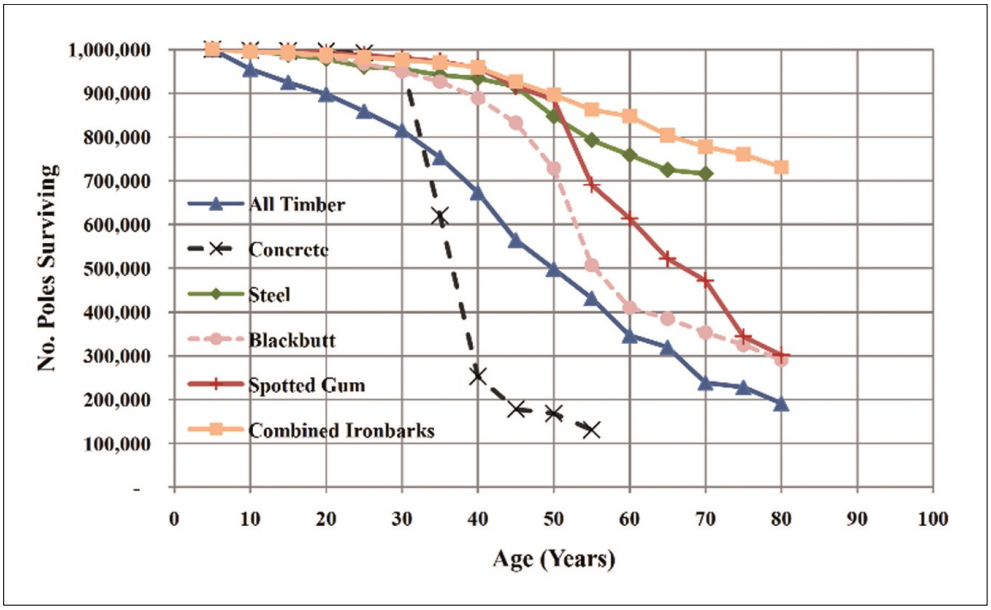
Plusieurs ACV ont été conduites dans le but de comparer les performances de divers types de poteaux. La plupart des ACV disponibles librement ont été commanditées pour légitimer une technologie et asseoir une argumentation en faveur de cette technologie. Les associations professionnelles de l'acier, de la préservation du bois ou certains constructeurs sont les commanditaires les plus fréquents de ces études.

Il convient donc de prendre les résultats avec circonspection. Sont mentionnées ci-après quelques études dont les résultats semblent confirmés par des études « neutres », par exemple menées par des équipes universitaires.

9.1. Durée de vie des poteaux

Une étude réalisée en Australie illustre bien le vieillissement des poteaux et la distribution de leur durée de vie en fonction de leur matériau constitutif [20].

Graphique 6. Vitesse de vieillissement des poteaux selon leur matériau constitutif



Source : *Nathan Spencer & Leith Elder, Pole Service Life – An Analysis of Country Energy Data.*

En Australie, la durée de vie des poteaux en béton est d'environ 35-40 ans. Cette durée de vie peut être affectée, dans ce pays, par les conditions climatiques. Dans l'ensemble des pays, une durée de vie moyenne comprise entre 40 et 50 ans est acceptable.

La durée de vie des poteaux en acier est plus longue. Elle est aussi fonction des conditions atmosphériques (humidité, salinité…). Pour plus de 70 % des poteaux, la durée de vie est

[20] *Pole Service Life – An analysis of Country Energy Data (Australia), Nathan Spenser Koppers Wood Products, Sydney, Australia.*

supérieure à 70 ans mais pour 5 % des poteaux, davantage exposés, celle-ci n'excède pas 40 ans. Une durée de vie moyenne de 60 ans sous des conditions favorables est donc acceptable.

Quant aux poteaux en bois, les agressions sont multiples et leur durée de vie est très variable. Pour 5 % d'entre eux, elle est inférieure à 10 ans ; dans ce cas, des solutions de remplacement par des poteaux en béton, en acier ou composites s'imposent. Mais pour 20 % des poteaux en bois, probablement en atmosphère très sèche, la durée de vie dépasse les 80 ans. Une durée de vie moyenne n'a de sens que pour un pays et des conditions relativement homogènes : en Suède, la durée de vie prise en compte par les gestionnaires de réseaux est de 60 ans. En milieu équatorial, 20 à 30 ans reste un maximum.

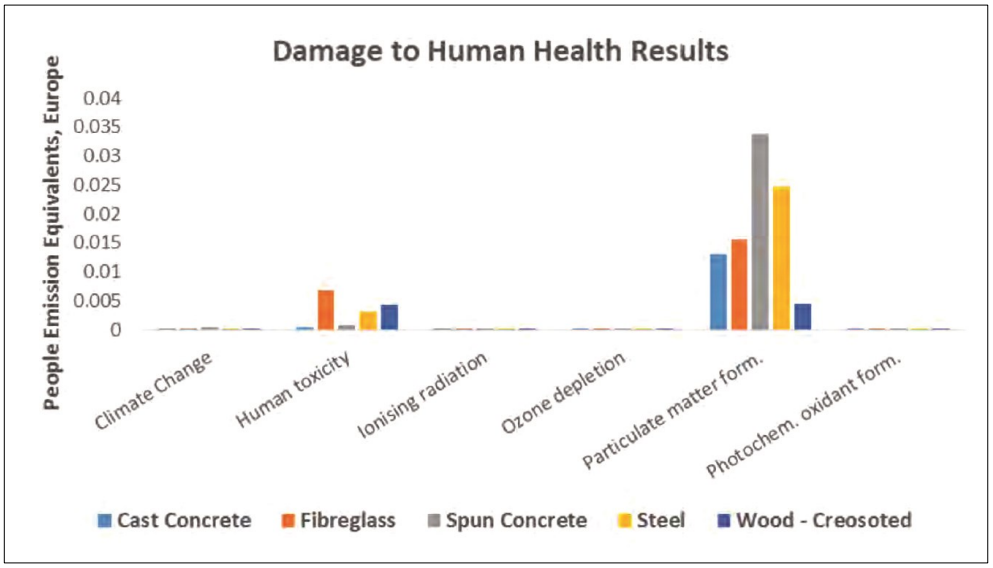
9.2. ACV menée par le WEI-IEO [21]

Le WEI-IEO est une association professionnelle européenne représentant l'industrie de traitement du bois. En titrant sur son site Web, « *Le bois traité : un choix durable* », le WEI-IEO affiche clairement sa ligne éditoriale. L'ACV conduite par le WEI-IEO a donc quelques raisons de s'inscrire dans cette ligne.

Les principales hypothèses de base sont équilibrées : la durée de vie des poteaux est de 80 ans pour l'acier (plutôt favorable), 60 ans pour le béton, 50 ans pour le bois traité (valable pour l'Europe) et enfin 80 ans pour les matériaux composites.

Cette ACV exclut les bénéfices d'une éventuelle production d'énergie par incinération des bois créosotés, ce qui aurait pu jouer en leur faveur.

Graphique 7. ACV du WEI-IEO : impacts sur la santé humaine



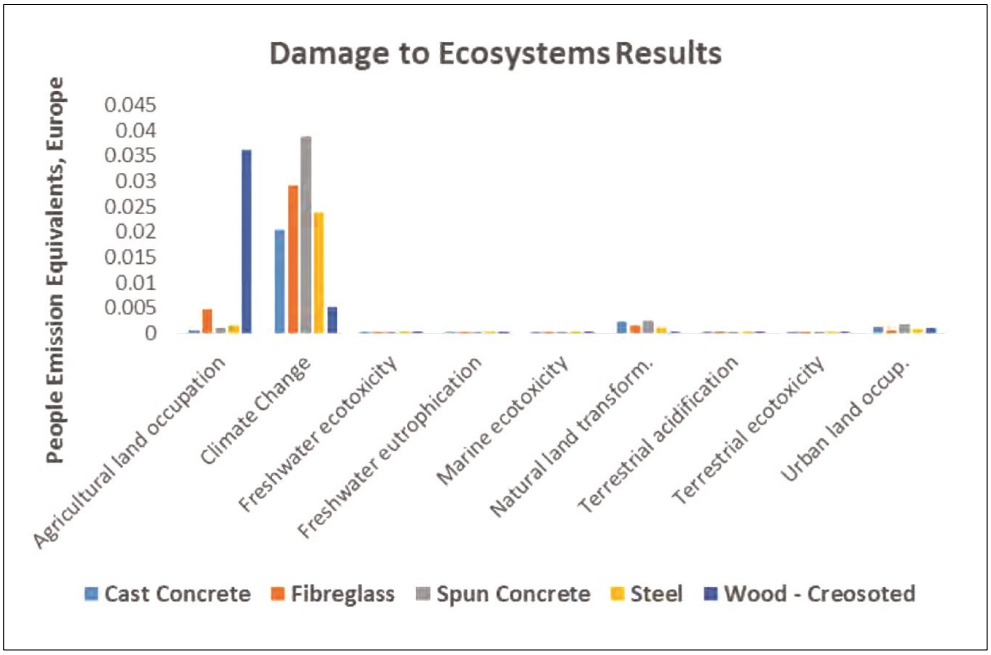
Source : *Socioeconomic Analysis (SEA) of Creosoted Wood Pole Applications (Full Report), WEI-IEO (Brussels), August 2016.*

[21] http://www.wei-ieo.eu/wp-content/uploads/2019/02/SEA-SM1_2016_FullReport.pdf

L'impact sur la santé humaine des poteaux en matière composite résulte des émissions d'arsenic, d'antimoine et de cadmium générés lors de la fabrication de la fibre de verre. L'impact des poteaux en bois est également important.

Malheureusement, dans la mécanique d'une ACV, le poids relatif du critère « toxicité pour les humains » reste limité et ne reflète pas les raisons qui peuvent parallèlement conduire à l'interdiction d'un produit de traitement du bois.

Graphique 8. ACV du WEI-IEO : impacts sur l'environnement



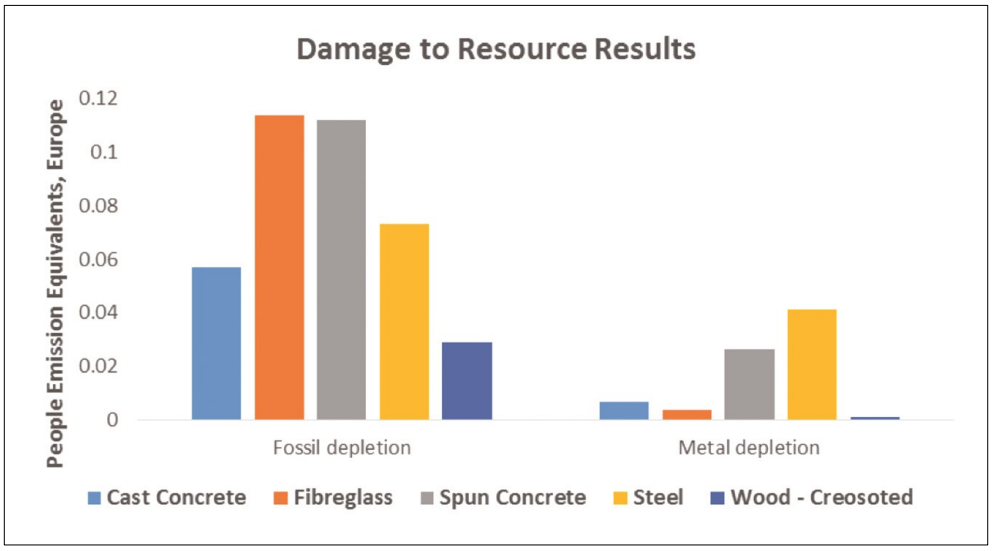
Source : *Socioeconomic Analysis (SEA) of Creosoted Wood Pole Applications (Full Report), WEI-IEO (Brussels), August 2016.*

Les impacts les plus visibles concernent les émissions de CO_2 pour lesquelles les poteaux en bois sont les moins contributifs. Pour les autres impacts, l'extraction de la matière première et la fabrication du matériau de base (acier, ciment, fibre de verre) génèrent un fort taux d'émissions.

Ce résultat met clairement en opposition un impact plus limité des poteaux en bois sur les émissions de CO_2 avec un impact important sur la santé et les écosystèmes dû aux produits de conservation utilisés.

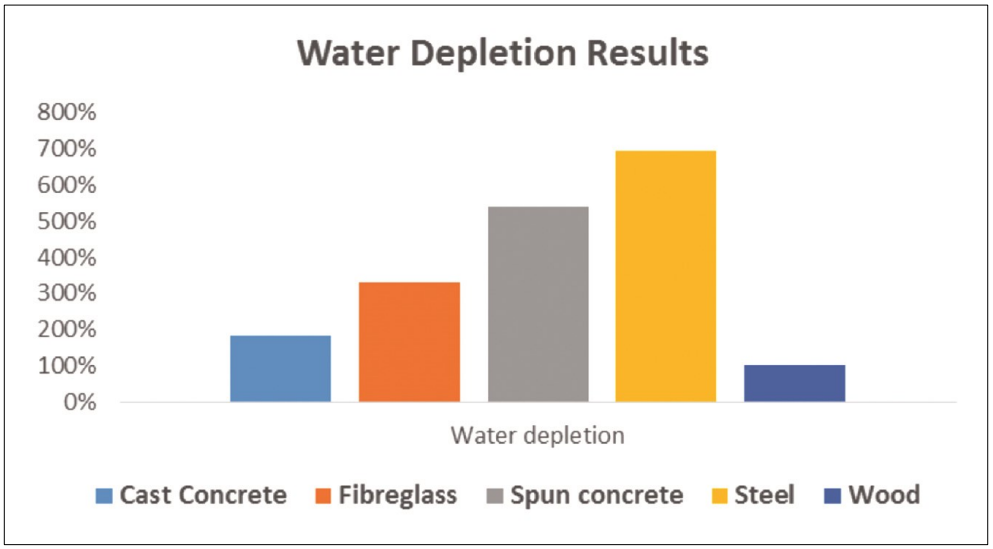
L'avantage sur les émissions de CO_2 est la base de la communication des défenseurs de l'industrie du bois traité.

Graphique 9. ACV du WEI-IEO : impacts sur la consommation des ressources



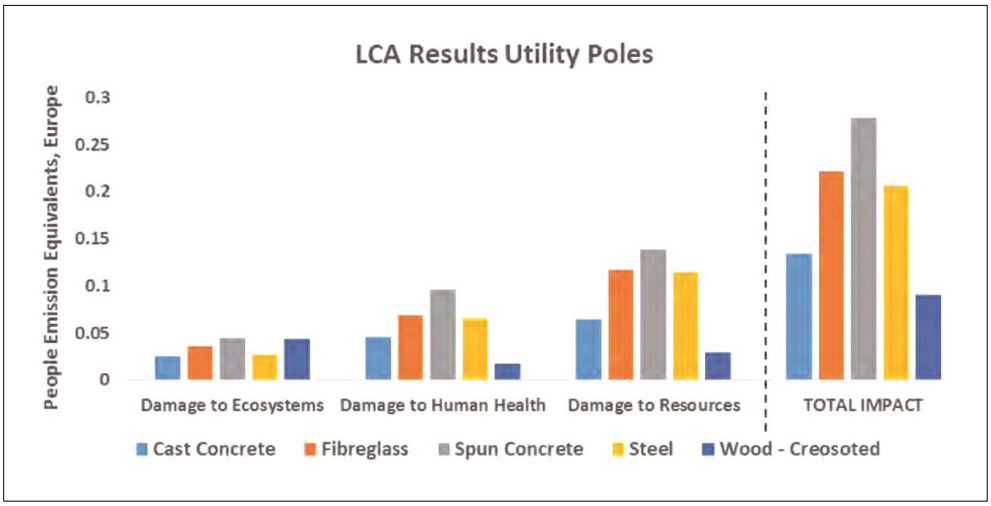
Source : *Socioeconomic Analysis (SEA) of Creosoted Wood Pole Applications (Full Report), WEI-IEO (Brussels), August 2016.*

Graphique 10. ACV du WEI-IEO : impacts sur la consommation d'eau



Source : *Socioeconomic Analysis (SEA) of Creosoted Wood Pole Applications (Full Report), WEI-IEO (Brussels), August 2016.*

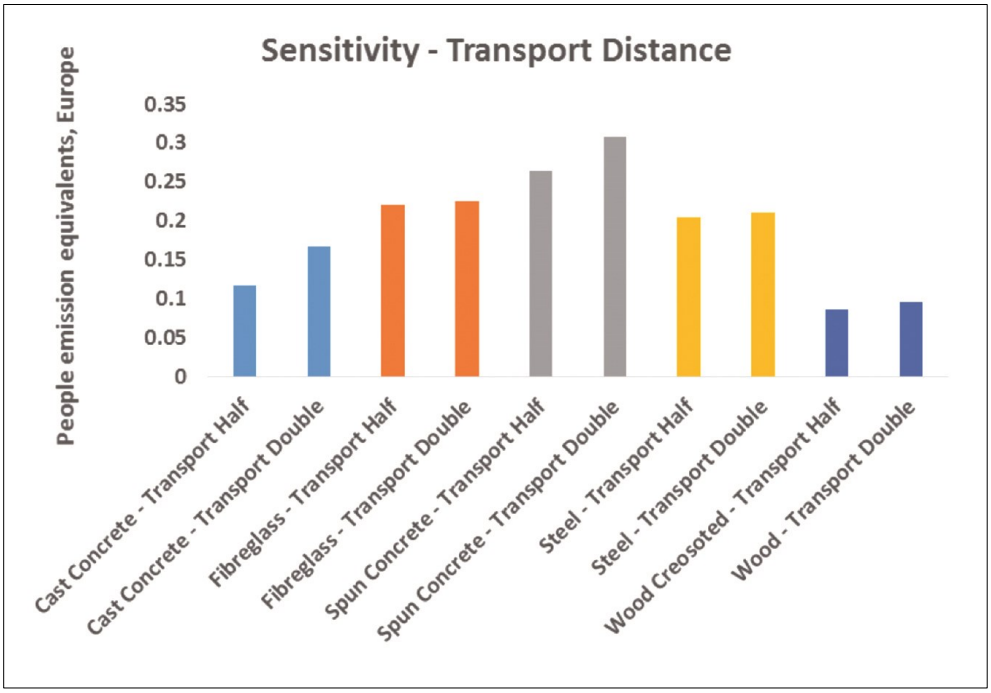
Graphique 11. ACV du WEI-IEO : impact global



Source : *Socioeconomic Analysis (SEA) of Creosoted Wood Pole Applications (Full Report), WEI-IEO (Brussels), August 2016.*

L'impact global, indicateur pondéré proposant une synthèse de tous les impacts passés en revue précédemment, montre un avantage net du bois créosoté : il convient de prêter toutefois attention, étant donné que ce résultat est fortement dépendant du poids relatif donné à chaque critère. Les poteaux en bois créosotés ont, d'après cette étude australienne, un impact moindre sur la santé humaine, ce qui permettrait alors de conclure qu'il s'agit de la meilleure solution, et pourtant la créosote est désormais interdite en Europe pour les dangers qu'elle présente pour la santé.

Graphique 12. ACV du WEI : sensibilité des résultats globaux au transport



Source : *Socioeconomic Analysis (SEA) of Creosoted Wood Pole Applications (Full Report), WEI-IEO (Brussels), August 2016.*

Le graphique 12 montre l'intérêt, dans le cas de poteaux en béton, de créer des filières industrielles locales dès que des quantités significatives sont en jeu.

9.3. ACV menée en 2012 par le Treated Wood Council (TWC)[22]

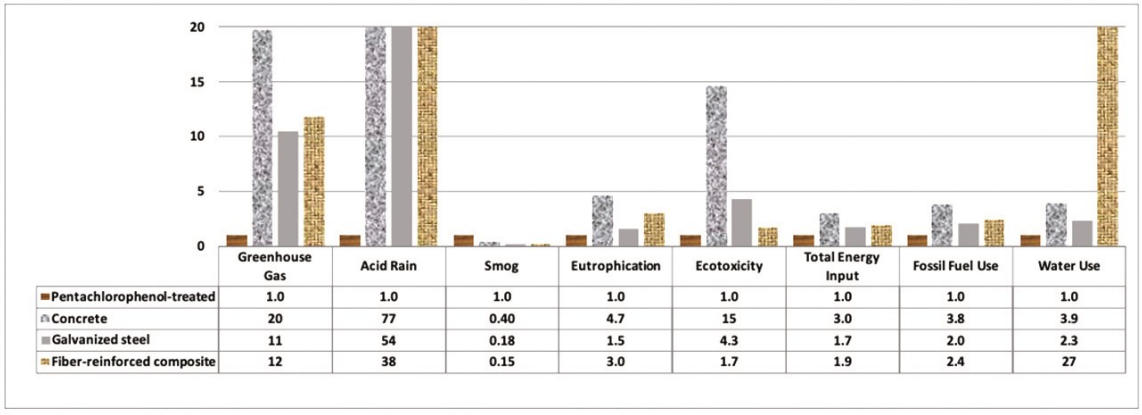
Une autre ACV, réalisée en 2012 dans le contexte américain où le lobbying de l'industrie de traitement du bois est très actif, confirme les conclusions précédentes.

L'impact sur l'environnement de la fabrication de l'acier, du ciment ou des matériaux composites nécessaires à la fabrication des poteaux, est plus important que l'impact des poteaux en bois sur leur cycle de vie.

Même si l'on ne prend pas en compte la captation de carbone durant la durée de vie des arbres utilisés pour faire des poteaux, les émissions de CO_2 associées aux poteaux en bois sont très inférieures aux émissions générées par les autres types de poteaux.

Bien que menée, comme la précédente étude, par une association défendant les intérêts de la filière bois, les grandes conclusions de cette étude sont aujourd'hui partagées par tous. Peut-être peut-on en revanche discuter l'ampleur de l'avantage des solutions bois sur certains critères ?

Graphique 13. ACV du *Treated Wood Council* (TWC) : impacts sur l'environnement des différents types de poteaux



	Greenhouse Gas	Acid Rain	Smog	Eutrophication	Ecotoxicity	Total Energy Input	Fossil Fuel Use	Water Use
Pentachlorophenol-treated	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Concrete	20	77	0.40	4.7	15	3.0	3.8	3.9
Galvanized steel	11	54	0.18	1.5	4.3	1.7	2.0	2.3
Fiber-reinforced composite	12	38	0.15	3.0	1.7	1.9	2.4	27

Notes: Some acid rain and water use values exceed the presented vertical scale of this graphic. Total greenhouse gas is not shown because of negative values for pentachlorophenol-treated poles.

Source : *Conclusions and Summary Report on an Environmental Life Cycle Assessment of Utility Poles ©Treated Wood Council (March 2012).*

[22] https://members.southernpine.com/publications/download/52d003da53eb9ac97a00008e/LCA_UTILITYpoles_March2012.pdf

Tableau 9. ACV du *Treated Wood Council* (TWC) : impacts sur l'environnement des différents types de poteaux (suite)

Impact category	Units	Pentachlorophenol -treated pole	Concrete pole	Galvanized steel pole	Fiber-reinforced composite pole
Energy use					
Energy input (technosphere)	MMBTU	4.0	6.5	2.9	0.19
Energy input (nature)	MMBTU	1.5	10	6.5	11
Biomass energy	MMBTU	1.5	0.094	0.11	-0.012
Environmental indicators					
Anthropogenic greenhouse gas	lb-CO_2-eq	162	3,190	1,699	1,911
Total greenhouse gas	lb-CO_2-eq	-789	3,213	1,725	1,908
Acid rain air emissions	lb-H+ mole-eq	11	886	622	436
Smog potential	g NOx / m	13	5.0	2.3	1.9
Ecotoxicity air emissions	lb-2,4-D-eq	1.3	19	5.5	2.1
Eutrophication air emissions	lb-N-eq	0.068	0.32	0.10	0.20
Resource use					
Fossil fuel use	MMBTU	4.1	16	8.4	10
Water use	gal	46	180	106	1,248

Source : *Conclusions and Summary Report on an Environmental Life Cycle Assessment of Utility Poles ©Treated Wood Council (March 2012).*

9.4. ACV menée en 2009 et 2012 par Martin Erlandsson [23]

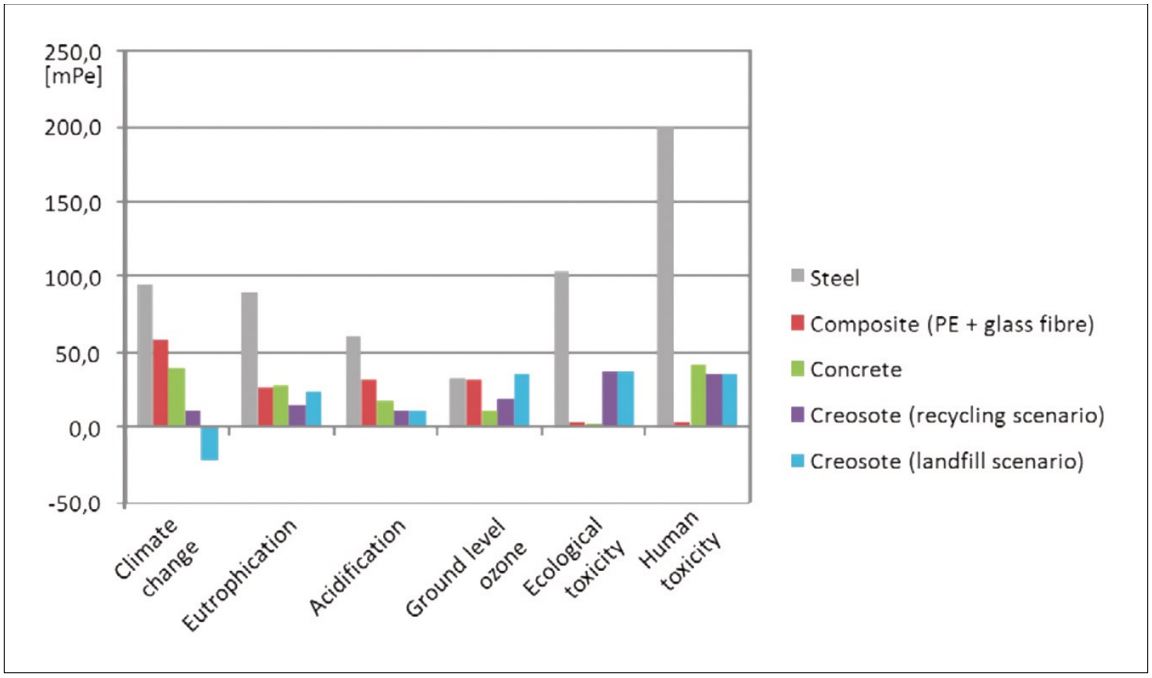
Une première ACV avait été menée en Suède par Martin Erlandsson en 2009 et complétée en 2012. Même si celle-ci reposait sur des hypothèses discutables (50 ans de durée de vie identique pour tous les types de poteaux, présomption de recyclage de tous les poteaux en fin de vie), elle concluait déjà à mettre en évidence un moindre impact environnemental des poteaux en bois.

Ces conclusions dépendent bien sûr, une nouvelle fois, du poids affecté à chaque critère. L'interdiction des matières dangereuses comme la créosote ne s'impose pas à la lecture du résultat des ACV.

Aujourd'hui, davantage de substances de traitement du bois sont interdites ou font l'objet de restrictions fortes en matière d'utilisation. Cette tendance a toutes les raisons de perdurer. En Europe, les fortes contraintes règlementaires ont conduit l'industrie à rechercher de nouvelles solutions de traitement du bois qui, peu ou prou, permettent aux poteaux en bois de conserver leurs avantages mis en évidence par les premières ACV réalisées.

[23] https://jerol.se/wp-content/uploads/2015/05/M_Erlandsson_IVL_B2004_EN.pdf

Graphique 14. ACV de Martin Erlandsson :
impacts sur l'environnement des différents types de poteaux



Source : *Martin Erlandsson (2011), Comparison of the environmental impacts from utility poles of different materials – a life cycle assessment, IVL Swedish Environmental Research Institute.*

Tableau 10. ACV de Martin Erlandsson :
impacts sur l'environnement et sur la santé des différents types de poteaux

		Climate change	Eutro-phication	Acidi-fication	Photoch. ozone formation	Eco-toxicity	Human toxicity - USES LCA 1.0	Human toxicity - USEtox *	Energy ware consump., renewable	Energy ware consump., fossil
Type of result		LCIA [mPe]						LCIA [Pe]	LCI [MJ]	
Steel pole	Production	91	86	58	31	3,6	112	1 500	197	6992
	Service life	2,2	3,1	2,1	1,4	100	86,8	258 000	2	163
	End of life	1,2	1,6	1,1	0,7	<0,0	0,3	1,4	5	94
Composite pole	Production	57	19,5	31	31,2	3,2	3,9	33	133	4314
	Service life	0,4	0,5	0,3	0,2	<0,0	0,1	0,8	1,3	30
	End of life	0,2	0,2	0,1	0,1	<0,0	0,1	0,4	0,2	14
Concrete pole	Production	34	20	13	7,6	1,0	39,0	371	87	1457
	Service life	3,1	4,6	2,9	1,9	0,1	0,8	3,4	2	225
	End of life	0,8	1,3	0,8	0,6	<0,0	0,2	0,7	7	71
Creosote pole, recycling for energy recovery	Production	9,2	11,7	9,9	18	<0,0	2,5	7,1	2522	1743
	Service life	0,9	1,3	0,9	0,6	37	33	3,4	0,7	67
	End of life	0,8	1,4	0,9	0,7	<0,0	0,2	0,6	-2394	51
Creosote pole, landfill	Production	9,2	12	9,9	18	<0,0	2,5	7,1	2522	1743
	Service life	0,9	12	0,9	18	37	33	3,4	0,7	67
	End of life	-32	0,6	0,4	0,6	<0,0	0,1	0,5	0,3	32

**Values recalculated via 1,4-DCB eq.*

Source : *Martin Erlandsson (2011), Comparison of the environmental impacts from utility poles of different materials – a life cycle assessment, IVL Swedish Environmental Research Institute.*

10. Comparaison de prix entre les technologies

Plusieurs sources (Preserved Wood, Michigan Tech [24], Creosote Council) s'accordent sur le fait que le prix sorti usine des poteaux en bois est le moins élevé, alors que les poteaux en acier coûtent plus cher (+25 % environ) et que les poteaux en fibre de verre coûtent trois fois plus cher.

Si l'on ajoute les frais de transport, les poteaux en acier subissent un surcoût et, rendus sur le lieu d'installation, ils coûtent ainsi entre 70 et 100 % plus cher que les poteaux en bois. Les poteaux en béton, quant à eux, coûtent deux fois plus cher que les poteaux en bois ; enfin, les poteaux en fibre de verre coûtent 2,5 fois plus cher.

Un papier [25] présenté au CIRED [26] 2011 donne des ratios légèrement différents :

- les poteaux en béton centrifugé coûtent deux fois plus cher que les poteaux en bois, le béton coulé environ le même prix que les poteaux en bois ; par ailleurs, les poteaux en acier coûtent quatre fois plus cher que les poteaux en bois ;
- mais une approche de type TCO [27] (soit incluant les coûts de fin de vie) donne un léger avantage aux poteaux en béton centrifugé par rapport aux poteaux en bois ; enfin, les poteaux en béton moulé coûtent environ 20 % plus cher et les poteaux en acier trois fois plus cher.

L'approche TCO n'est pas largement répandue, mais elle apporte un éclairage plus complet de l'engagement économique réalisé lors du choix d'une technologie de poteaux.

[24] *https://www.researchgate.net/publication/304089802_Age-Dependent_Fragility_and_Life-Cycle_Cost_Analysis_of_Timber_and_Steel_Distribution_Poles_Subjected_to_Hurricanes*

[25] http://www.cired.net/publications/cired2011/part1/papers/CIRED2011_0392_final.pdf

[26] Centre international de recherche sur l'environnement et le développement.

[27] *Total Cost of Ownership* (coût global de possession).

11. Évolution de quelques exemples de marchés

À l'origine, tous les poteaux de distribution électrique étaient réalisés en bois. Il est intéressant de constater que certains pays n'ont pas cherché à innover et continuent de déployer ce même type de poteau avec, dans certains cas, une industrie peu encline à recourir à d'autres technologies dans ce domaine, alors que d'autres pays ont diversifié les types de poteaux implantés dans leurs réseaux de distribution électrique.

11.1. Des marchés établis de longue date avec un mix complet

11.1.1. Au Maroc

Le Maroc a lancé son programme d'électrification en 1996.

Durant les 25 dernières années, l'Office national de l'électricité (ONE) a déployé un réseau de distribution électrique utilisant tour à tour des poteaux en bois, des poteaux en acier et des poteaux en béton.

L'ONE a su qualifier et faire grandir un réseau de fabricants locaux pour chacune de ces technologies.

Pour les poteaux en bois, les fabricants – dont Amida, Atlasien de traitement de bois (ATB), FBI, Poteaux bois Maroc, SIRA – traitent les poteaux avec de la créosote ou du CCA (mélange de cuivre, de chrome et d'arsenic).

Les poteaux en acier (pour les lignes de transport) sont fabriqués par des ateliers spécialisés, dont Emteyco, Electro Tadart, Fabrilec, Funtan, Geemag, Lumafric, Sara électrique, Somodelco, Zamil.

Les poteaux en ciment sont fabriqués dans tout le pays par une dizaine de fabricants, dont Atlas PDA, Atlas Poteaux, Brinell, Électricité Bellet, ENTEG, Mars Industrie, Présud, SAGAP, SEGMO, SGFE, Siwar, Zinco.

L'exemple du Maroc montre que l'on peut développer, en peu de temps, si nécessaire, un mix complet de technologies en s'appuyant principalement sur des fabricants locaux.

11.1.2. En France

En France, 70 % des poteaux électriques sont en béton et 30 % sont en bois (les plus anciens ont été traités à la créosote, les plus récents plutôt au CCA). Enedis, principal acteur du marché, se repose sur un tissu d'industriels implantés de longue date sur le territoire français et dans les pays alentour (Belgique, par exemple).

Compte tenu de la taille du marché français, les industriels fournisseurs d'Enedis ont acquis une taille suffisante leur permettant de développer une activité à l'export.

Parmi les fournisseurs de poteaux en bois, Rondino et le leader, à savoir France Bois Imprégnés (groupe MOULINVEST), ont chacun plusieurs sites de production.

Les poteaux en ciment, quant à eux, sont fabriqués notamment par Électrobéton, OTEP, SIBA et Stradal.

11.2. Des marchés de poteaux en bois plutôt résistants

Ces marchés se trouvent dans des pays producteurs de bois et partant de poteaux en bois traité. Ils ont donc construit une filière bois complète dont une partie est menacée par les nouvelles réglementations sur les produits de traitement du bois.

Naturellement, la filière bois se défend fortement dans ces pays pour ne pas perdre leur position dominante.

Le principal marché mondial, emblème de cette catégorie, est les **États-Unis**.

À un moindre degré, l'**Afrique du Sud** fait partie de ce groupe de marchés. Le pays a développé de longue date une fabrication locale de poteaux en bois qui a fourni tous les pays voisins (Namibie, Zimbabwé, Botswana, Mozambique, Malawi), exportant sa production jusqu'en Afrique de l'Est (Kenya, Tanzanie). Cette zone d'influence a tendance à se restreindre à cause de pays souhaitant réduire leur recours à des fournisseurs étrangers.

Les producteurs de poteaux en bois y sont nombreux, organisés en petites unités de production, regroupés au sein d'une association forte et active. Parmi eux, le leader est Treated Timber Products.

Bien que le marché sud-africain soit dominé par les poteaux en bois, d'autres fabricants se sont développés pour fournir des poteaux en acier (Sectional Poles), en béton (Rocla) ou composites (Saltus). Pour autant, il n'a pas les caractéristiques d'un marché au mix complet.

La **Tanzanie**, ayant eu un temps l'Afrique du Sud pour principal fournisseur, a banni en 2016 les poteaux en bois traité en provenance d'Ouganda, d'Afrique du Sud et du Zimbabwé. Cette décision a fortement stimulé le développement de producteurs locaux. Leur nombre est ainsi passé de deux en 2015 à onze en 2021. Les plus anciens traitaient le bois au moyen du CCA ; la créosote a été autorisée à partir de 2017.

Face aux dégradations subies par les poteaux, Tanesco, le gestionnaire du réseau électrique local, investigue depuis 2020 la possibilité de déploiement de poteaux en ciment. Face à la menace de ce changement de cap en matière de technologie de poteaux, les industriels du bois ont manifesté en 2020. En parallèle, les fabricants de poteaux en béton, comme TCPM ou Everwell, se développent fortement.

11.3. Des marchés de poteaux en bois en phase ou en nécessité d'évolution

D'autres marchés étaient historiquement, et jusqu'à récemment, dominés par les poteaux en bois. Pour diverses raisons, coûts d'exploitation élevés, difficultés d'accès à la matière première, dégradation et vandalisme, ils ont dû amorcer un changement et changer de technologie pour une forte proportion des poteaux électriques déployés.

Dans de tels cas, les poteaux en béton sont généralement la solution de remplacement la plus fréquemment choisie, car ils peuvent être produits aisément sur place : c'est le cas de pays comme le **Cameroun** ou le **Burkina Faso**.

11.4. Des marchés de poteaux en bois sans perspective de changement à très court terme

Les zones désertiques, sèches, ont un climat et un sol peu agressifs pour les poteaux électriques. Les insectes se nourrissant de bois ne s'y développent pas nécessairement. Bien que n'ayant pas accès à la matière première, le bois, ces pays n'ont pas de raison de changer de technologie et gardent les poteaux en bois comme la solution la moins chère… à l'achat. Dans les cas les plus extrêmes de sécheresse, l'usage de poteaux non traités peut être envisagé et étudié.

Selon les marchés, l'interdiction éventuelle d'une substance de traitement du bois, édictée dans le sillage de l'évolution des réglementations mondiales, se traduira, dans la plupart des cas, par une adaptation de l'industrie locale du bois traité à l'usage de nouvelles substances. Cette dernière conséquence sera légère dans la mesure où changer de produit de préservation du bois ne demande pas d'évolution importante des procédés d'imprégnation. Chaque industriel pourra donc s'adapter rapidement.

12. Tableau récapitulatif

Le choix de la technologie des poteaux de distribution électrique s'inscrit d'abord dans une opposition entre :

- **des objectifs économiques ou de réduction des émissions de CO_2**, favorables aux poteaux en bois traité ;
- **des objectifs de protection de la santé humaine et de l'environnement**, favorables aux poteaux en acier, en bois ou en matériau composite.

Pour un gestionnaire de réseau, il n'y a guère de sens à privilégier une technologie unique. Chaque technologie a, suivant les endroits où sont installés les poteaux électriques, des avantages et des inconvénients qui peuvent **influencer une préférence générale** accordée entre économies et émissions de CO_2, d'une part, et impacts sur la santé humaine et l'environnement, d'autre part.

Citons les principaux paramètres influents :

- dans les zones où le transport est difficile, pistes sablonneuses ou boueuses, les poteaux en ciment sont proscrits, les poteaux en acier demandent des précautions particulières ; aussi, les poteaux en bois peuvent être retenus comme solution ;
- dans les zones à climat très sec, l'avantage économique des poteaux en bois est accru car leur durée de vie est plus longue ;
- dans les zones à climat très humide, l'avantage des poteaux en bois diminue ;
- dans le cas où les poteaux en bois sont implantés dans des sols humides, un chemisage est recommandé voire obligatoire pour rallonger la durée de vie des poteaux.

Les poteaux en acier, béton ou matériau composite, sont plus résistants face aux aléas climatiques :

- dans les zones à fort risque d'incendie, les poteaux en ciment, acier ou matériau composite sont préférables ;
- dans les zones exposées à de très fortes tempêtes, les poteaux en ciment, acier ou matériau composite sont également préférables ;
- dans les zones fréquemment inondées, les poteaux en ciment, acier ou matériau composite sont là encore préférables ;
- dans les zones urbaines, où la proximité entre les populations et les poteaux est plus grande, les poteaux en ciment, acier ou matériau composite sont aussi préférables ;
- dans les zones où les dégradations sur les poteaux sont importantes (vandalisme, vols de matériaux), les poteaux en ciment ou en matériau composite sont préférables ;
- si l'on souhaite une fabrication locale des poteaux, les poteaux en bois ou en ciment sont enfin à privilégier.

Le tableau 11 permet une comparaison globale des solutions offertes.

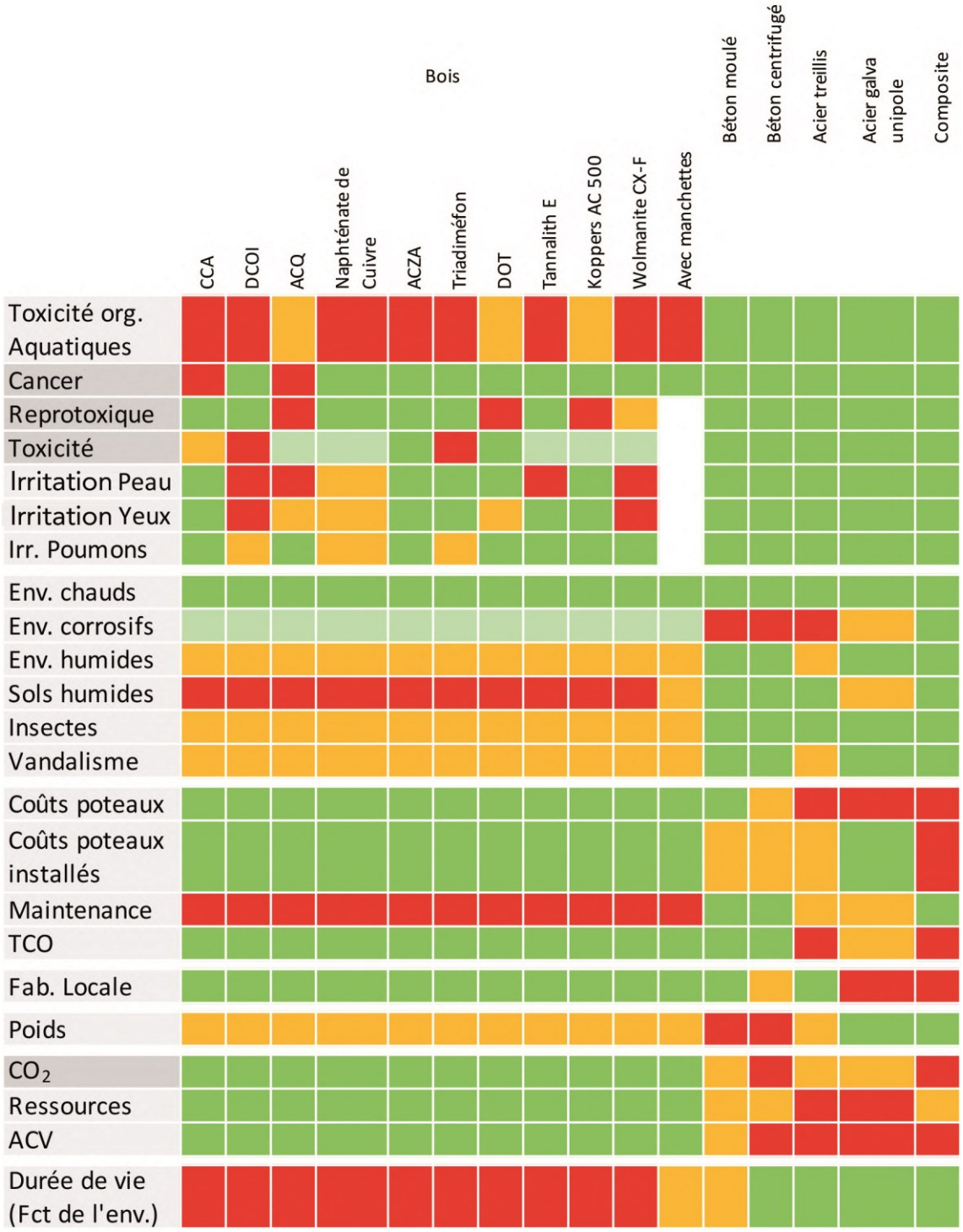
Le code couleur va de vert (solution favorable et adaptée) à rouge (solution problématique, inadaptée voire à éviter).

Le tableau montre bien que les poteaux en bois posent des problèmes de toxicité et d'adaptation à certains environnements, alors que les autres solutions montrent leurs limites sur les coûts et les critères ACV, notamment les émissions de CO_2 sur le cycle de vie des poteaux.

Certains critères sont dépendants, ce que le tableau ne montre pas. Par exemple, la durée de vie des poteaux en bois est globalement plus courte que celle des poteaux en acier ou en béton, mais ce n'est pas vrai dans le cas particulier d'un environnement très sec de type désertique.

Ce tableau permet ainsi d'orienter vers le meilleur (ou le moins mauvais) choix selon *(i)* les besoins de protection de l'environnement et de la santé humaine, *(ii)* les milieux dans lesquels les poteaux doivent être implantés, *(iii)* les contraintes économiques à respecter, ou encore *(iv)* les impératifs de production locale.

Tableau 11. Tableau récapitulatif



Sources : compilation à partir de données ECHA - http://echa.europa.eu (2022)
pour les colonnes 1 à 11, et de données diffuses pour les colonnes 12 à 16.

Annexe. Estimation du nombre de poteaux électriques dans chaque pays

Une étude réalisée par l'université des Sciences appliquées de Vienne (Autriche) a permis de mettre en évidence une forte corrélation entre, d'une part, la longueur d'un réseau électrique, et d'autre part, l'énergie distribuée et le nombre de ménages alimentés.

Nombre de kilomètres de lignes =
0,03535 x nombre de ménages alimentés + 1 459,19 x nombre de TWh distribués

En considérant une distance moyenne de 75 mètres entre deux poteaux, le nombre de poteaux électriques estimé dans chaque pays est repris dans le tableau ci-après (source : *Küfeoğlu S., M. Pollitt & K. Anaya, Electric Power Distribution in the World: Today and Tomorrow, University of Cambridge, Energy Policy Research Group, EPRG Working Paper 1826, August 2018*).

Pays	Accès à l'électricité (2018) (en %)	Ménages	GWh distribués	Nombre de km de lignes	Nombre de poteaux (millions)
Afghanistan	98,7 %	4 092 477	6 023	153 457	2,05
Afrique du Sud	91,2 %	17 733 119	210 304	933 739	12,45
Albanie	100 %	862 512	4 849	37 565	0,50
Algérie	100 %		62 062	90 560	1,21
Allemagne	100 %	40 624 971	524 268	2 201 099	29,35
Angola	43,3 %	6 463 847	10 364	243 620	3,25
Arabie Saoudite	100 %		322 372	470 401	6,27
Argentine	100 %	13 925 275	125 030	674 700	9,00
Arménie	100 %	837 896	5 791	38 069	0,51
Aruba	100 %	38 855	899	2 685	0,04
Australie	100 %	10 220 186	241 020	712 977	9,51
Autriche	100 %	3 933 516	66 849	236 595	3,15
Azerbaïdjan	100 %	2 217 398	20 286	107 986	1,44
Bahamas	100 %	114 679	1 770	6 636	0,09
Bahreïn	100 %		27 447	40 050	0,53

Pays	Accès à l'électricité (2018) (en %)	Ménages	GWh distribués	Nombre de km de lignes	Nombre de poteaux (millions)
Bangladesh	100 %	37 957 746	70 594	1 444 816	19,26
Biélorussie	100 %	3 789 941	32 736	181 742	2,42
Belgique	100 %	4 883 743	82 051	292 368	3,90
Bélize	99,5 %		568	828	0,01
Bénin	41,5 %	2 335 719	1 188	84 301	1,12
Bermudes	100 %	28 314	560	1 818	0,02
Bhoutan	100 %		2 386	3 481	0,05
Bolivie	95,6 %	3 295 144	9 057	129 699	1,73
Bosnie-Herzégovine	100 %		12 253	17 879	0,24
Botswana	64,9 %	67 386	3 301	7 198	0,10
Brésil	100 %	64 124 398	597 234	3 138 275	41,84
Brunei	100 %		3 555	5 187	0,07
Bulgarie	100 %	2 973 737	33 134	153 470	2,05
Burkina Faso	14,4 %	3 630 745	1 760	130 915	1,75
Burundi	11 %	2 548 469	339	90 583	1,21
Cambodge	91,6 %	3 315 050	8 402	129 447	1,73
Cameroun	62,7 %	4 877 120	6 743	182 245	2,43
Canada	100 %	15 618 491	549 263	1 353 592	18,05
Chili	100 %	5 440 715	74 992	301 756	4,02
Chine	100 %	522 689 264	8 312 800	30 607 020	408,09
Chypre	100 %	318 823	4 524	17 871	0,24
Colombie	99,9 %	14 282 545	70 203	607 327	8,10
Comores	81,9 %	141 171	93	5 126	0,07
Corée du Nord	48,5 %	6 502 416	12 708	248 403	3,31

Pays	Accès à l'électricité (2018) (en %)	Ménages	GWh distribués	Nombre de km de lignes	Nombre de poteaux (millions)
Corée du Sud	100 %	20 495 634	527 035	1 493 564	19,91
Costa Rica	100 %	1 476 628	10 065	66 885	0,89
Côte d'Ivoire	67,0 %	5 197 095	6 686	193 473	2,58
Croatie	100 %	1 451 732	17 475	76 818	1,02
Cuba	100 %	3 568 550	16 341	149 992	2,00
Danemark	100 %		32 703	47 719	0,64
Djibouti	60,4 %		381	555	0,01
Dominique	100 %		59	86	0,00
Égypte	100 %	24 496 076	150 579	1 085 659	14,48
Salvador	100 %	1 662 356	6 212	67 828	0,90
Émirats arabes unis	100 %		119 455	174 307	2,32
Équateur	100 %	4 659 382	24 605	200 612	2,67
Érythrée	49,6 %		408	595	0,01
Espagne	100 %	17 565 288	241 563	973 419	12,98
Estonie	100 %	57 844	8 858	14 970	0,20
États-Unis	100 %	132 736 055	3 989 566	10 513 754	140,18
Éthiopie	45 %	21 850 103	8 986	785 513	10,47
Îles Fidji	99,6 %	194 497	997	8 330	0,11
Finlande	100 %	2 652 262	84 207	216 631	2,89
France	100 %	30 217 950	449 422	1 723 996	22,99
Gabon	93 %	53 123	2 230	5 131	0,07
Gambie	60,3 %	28 379	291	1 427	0,02
Géorgie	100 %	1 113 542	12 179	57 135	0,76

Pays	Accès à l'électricité (2018) (en %)	Ménages	GWh distribués	Nombre de km de lignes	Nombre de poteaux (millions)
Ghana	82,4 %	8 862 356	8 842	326 186	4,35
Gibraltar	100 %		196	286	0,00
Grèce	100 %	4 394 506	53 635	233 609	3,11
Grenade	95,3 %		198	288	0,00
Groenland	100 %		496	723	0,01
Guam	100 %		1 639	2 391	0,03
Guatémala	94,7 %	3 507 977	10 570	139 430	1,86
Guinée	44 %	2 009 276	1 983	73 921	0,99
Guinée équatoriale	67 %		1 321	1 927	0,03
Guinée-Bissao	28,7 %		39	56	0,00
Guyana	91,8 %	19 629	851	1 935	0,03
Haïti	45,3 %	2 735 164	359	97 211	1,30
Honduras	91,9 %	2 082 686	6 696	83 393	1,11
Hong Kong	100 %	2 646 107	44 730	158 809	2,12
Hongrie	100 %	3 753 000	41 621	193 401	2,58
Îles Marshall	96,4 %		562	820	0,01
Îles Salomon	66,7 %		98	143	0,00
Inde	100 %	299 727 860	1 547 000	12 852 746	171,37
Indonésie	98,5 %	69 855 344	263 139	2 853 356	38,04
Irak	99,9 %	5 212 262	43 971	248 415	3,31
Iran	100 %	24 056 109	254 724	1 222 074	16,29
Irlande	100 %	1 799 221	27 203	103 296	1,38
Islande	100 %		18 679	27 256	0,36

Pays	Accès à l'électricité (2018) (en %)	Ménages	GWh distribués	Nombre de km de lignes	Nombre de poteaux (millions)
Israël	100 %	2 953 648	56 391	186 696	2,49
Italie	100 %	25 020 120	297 150	1 318 059	17,57
Jamaïque	98,9 %	893 225	3 025	35 989	0,48
Japon	100 %	55 704 949	902 842	3 286 587	43,82
Jordanie	99,9 %	2 291 955	17 384	106 387	1,42
Kazakhstan	100 %	5 381 052	91 668	323 981	4,32
Kenya	75 %	13 071 338	8 722	474 798	6,33
Kiribati	100 %		27	39	0,00
Kosovo	100 %		5 715	8 339	0,11
Koweït	100 %		59 278	86 497	1,15
Kirghizstan	100 %	1 565 200	11 740	72 460	0,97
Laos	97,9 %	1 254 263	4 059	50 261	0,67
Lesotho	47 %	600 072	902	22 528	0,30
Lettonie	100 %	73 637	6 877	12 637	0,17
Liban	100 %		17 708	25 839	0,34
Libéria	25,9 %	923 685	348	33 160	0,44
Libye			25 693	37 490	0,50
Liechtenstein	100 %	167	394	580	0,01
Lituanie	100 %	1 204 383	11 306	59 072	0,79
Luxembourg	100 %	259 519	5 817	17 662	0,24
Macao	100 %	227 031	5 378	15 873	0,21
République de Macédoine du Nord	100 %		7 024	10 249	0,14
Madagascar	25,9 %	5 304 084	2 117	190 588	2,54

Pays	Accès à l'électricité (2018) (en %)	Ménages	GWh distribués	Nombre de km de lignes	Nombre de poteaux (millions)
Malawi	18 %	4 091 853	1 515	146 857	1,96
Malaisie	100 %	7 176 812	147 209	468 506	6,25
Maldives	100 %	70 952	565	3 332	0,04
Mali	50,9 %	3 484 826	3 040	127 624	1,70
Malte	100 %	180 375	2 456	9 960	0,13
Maroc	100 %	6 890 065	29 678	286 869	3,82
Maurice	97,5 %	364 285	2 800	16 963	0,23
Mauritanie	44,5 %		882	1 287	0,02
Mexique	100 %	34 167 462	267 910	1 598 751	21,32
États fédérés de Micronésie	82,1 %		125	182	0,00
Moldavie	100 %	914 026	5 957	41 003	0,55
Mongolie	98,1 %	774 771	6 933	37 504	0,50
Monténégro	100 %	193 488	2 998	11 214	0,15
Mozambique	31,1 %	6 885 971	13 390	262 957	3,51
Myanmar (Birmanie)	66,3 %	12 978 359	18 024	485 085	6,47
Namibie	53,9 %	590 931	4 184	26 994	0,36
Népal	93,9 %	7 075 702	6 562	259 701	3,46
Nicaragua	88,1 %	1 326 800	3 738	52 356	0,70
Niger	17,6 %	3 920 330	1 586	140 897	1,88
Nigéria	56,5 %	42 057 041	29 011	1 529 048	20,39
Norvège	100 %	2 426 071	124 127	266 886	3,56
Nouvelle-Calédonie	100 %		2 741	3 999	0,05

Pays	Accès à l'électricité (2018) (en %)	Ménages	GWh distribués	Nombre de km de lignes	Nombre de poteaux (millions)
Nouvelle-Zélande	100 %	1 906 474	41 165	127 461	1,70
Oman	100 %	55 443	31 766	48 312	0,64
Ouganda	42,6 %	9 170 821	3 534	329 345	4,39
Ouzbékistan	100 %	6 586 983	49 204	304 647	4,06
Pakistan	100 %	32 462 785	90 000	1 278 886	17,05
Panama	100 %	1 165 778	9 258	54 719	0,73
Papouasie-Nouvelle-Guinée	59 %	1 645 457	3 777	63 678	0,85
Paraguay	100 %	1 565 626	13 097	74 455	0,99
Pays-Bas	100 %	7 874 258	110 682	439 861	5,86
Pérou	95,2 %	8 695 193	47 409	376 553	5,02
Philippines	94,9 %	25 893 157	93 354	1 051 544	14,02
Pologne	100 %	13 666 831	152 573	705 755	9,41
Polynésie française	100 %		544	793	0,01
Portugal	100 %	3 876 822	48 035	207 137	2,76
Porto Rico	100 %	1 195 915	15 466	64 843	0,86
Qatar	100 %		43 375	63 292	0,84
République centrafricaine	32,4 %	1 148 086	140	40 789	0,54
République démocratique du Congo	19 %	19 225 670	8 594	692 167	9,23
République dominicaine	100 %	3 004 226	16 067	129 644	1,73
République du Congo	68,5 %	1 281 072	2 018	48 230	0,64

Pays	Accès à l'électricité (2018) (en %)	Ménages	GWh distribués	Nombre de km de lignes	Nombre de poteaux (millions)
République tchèque	100 %	4 465 680	63 920	251 133	3,35
Roumanie	100 %	6 709 224	55 008	317 438	4,23
Royaume-Uni	100 %	29 486 179	300 520	1 480 852	19,74
Russie	100 %	56 771 478	965 156	3 415 217	45,54
Rwanda	34,7 %	2 973 056	764	106 212	1,42
Samoa	100 %	29 995	124	1 241	0,02
Sao Tomé-et-Príncipe	71 %		80	116	0,00
Sénégal	75 %	1 928 689	3 842	73 785	0,98
Serbie	100 %	2 405 804	30 292	129 246	1,72
Seychelles	100 %		403	588	0,01
Sierra Leone	26,1 %	1 373 151	242	48 894	0,65
Singapour	100 %	1 727 455	47 583	130 498	1,74
Slovaquie	100 %	1 948 989	26 237	107 181	1,43
Slovénie	100 %	851 149	14 023	50 550	0,67
Somalie	35,3 %		323	471	0,01
Soudan	59,8 %	7 691 174	11 463	288 609	3,85
Sri Lanka	99,6 %		13 438	19 608	0,26
Soudan du Sud	28,2 %	2 227 637	529	79 518	1,06
Suède	100 %	4 776 239	131 798	361 158	4,82
Suisse	100 %	3 901 112	56 353	220 134	2,94
Suriname	97,4 %	149 741	1 663	7 719	0,10
Eswatini (anciennement Swaziland)		23 986	1 682	3 302	0,04
Syrie	86 %		14 263	20 812	0,28

Pays	Accès à l'électricité (2018) (en %)	Ménages	GWh distribués	Nombre de km de lignes	Nombre de poteaux (millions)
Tadjikistan	99,3 %	1 485 317	16 085	75 977	1,01
Tanzanie	35,6 %	11 880 255	5 813	428 449	5,71
Tchad	11,8 %	2 811 841	213	99 709	1,33
Thaïlande	100 %	18 042 640	185 852	909 000	12,12
Timor oriental	85,6 %		100	145	0,00
Togo	51,9 %	1 693 139	1 251	61 677	0,82
Tonga	98,9 %		51	74	0,00
Trinité-et-Tobago	100 %	415 308	8 246	26 713	0,36
Tunisie	99,8 %		15 838	23 110	0,31
Turkménistan	100 %		15 090	22 019	0,29
Turquie	100 %	20 424 610	251 376	1 088 815	14,52
Ukraine	100 %	16 972 715	128 806	787 937	10,51
Uruguay	100 %	1 269 537	11 812	62 114	0,83
Vanuatu	61,9 %		65	94	0,00
Vénézuéla	100 %	6 565 128	64 660	326 428	4,35
Vietnam	100 %	25 503 951	216 994	1 218 200	16,24
Yémen	62 %	4 469 863	2 653	161 880	2,16
Zambie	39,8 %	3 485 901	13 097	142 337	1,90
Zimbabwé	41 %	3 795 226	7 401	144 960	1,93

Liste des sigles et abréviations

°C	Degré Celsius
ACV	Analyse du cycle de vie (voir glossaire)
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (France)
AELE	Association européenne de libre échange (en anglais : voir EFTA)
AFD	Agence française de développement
APAC	(zone) Asie-Pacifique
BEI	Banque européenne d'investissement (en anglais : voir EIB)
CAS	*Chemical Abstracts Service* (États-Unis) (voir glossaire)
CASE	Comité d'analyse socio-économique (ECHA) (voir glossaire)
CCA	Cuivre, chrome, arsenic (mélange de ces trois éléments)
CER	Comité d'évaluation des risques (ECHA) (voir glossaire)
CIRC	Centre international de recherche sur le cancer (OMS) (voir glossaire)
CIRED	Centre international de recherche sur l'environnement et le développement
CLP	*Classification, Labelling, Packaging* (classification, étiquetage et emballage des substances chimiques et des mélanges) (réglementation de l'UE)
CO_2	Dioxyde de carbone (ou gaz carbonique)
ECHA	*European Chemicals Agency* (Agence européenne des produits chimiques)
EFTA	*European Free Trade Association* (en français : voir AELE)
EIB	*European Investment Bank* (en français : voir BEI)
EPA	*Environmental Protection Agency* (Agence de protection de l'environnement, États-Unis) (voir glossaire)
EUR	Euro
FIFRA	*Federal Insecticide, Fungicide, and Rodenticide Act* (loi fédérale, États-Unis) (voir glossaire)
GWh	Gigawattheure (1 GWh = 1 million de kWh)
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques (voir glossaire)
IED	*Industrial Emissions Directive* (directive européenne)

ISO *International Organization for Standardization* (Organisation internationale de normalisation)

k Kilo (ou millier)

KfW *Kreditanstalt für Wiederaufbau* (Agence d'aide au développement allemande)

kg Kilogramme

km Kilomètre

kt Kilotonne (équivalant à mille tonnes)

kWh Kilowattheure

m Mètre

M Million

OMS Organisation mondiale de la santé (Nations unies)

ONE Office national de l'électricité (Maroc)

ORNL *Oak Ridge National Laboratory* (États-Unis)

PBT Persistant(e), bioaccumulable et toxique (voir glossaire)

POP Polluants organiques persistants

REACH *Registration, Evaluation, Authorization and restriction of Chemicals* (enregistrement, évaluation, autorisation et restriction des substances chimiques) (réglementation de l'UE)

RED *Reregistration Eligibility Decision* (EPA)

TCO *Total Cost of Ownership* (coût global de possession)

TWC *Treated Wood Council* (États-Unis)

TWh *Terawattheure* (1 TWh = 1 milliard de kWh)

UE Union européenne

USD *United States Dollar* (dollar américain États-Unis)

WWF *World Wildlife Fund* (Fond mondial pour la nature)

Agence française
de développement
5, rue Roland Barthes
75012 Paris I France
www.afd.fr

Les Éditions Agence française de développement (AFD) publient des travaux d'évaluation et de recherche sur le développement durable.

Réalisées avec de nombreux partenaires du Nord et du Sud, ces études contribuent à l'analyse des défis auxquels la planète est confrontée, afin de mieux comprendre, prévoir et agir, en faveur des Objectifs de développement durable (ODD).

Avec un catalogue de plus de 1 000 titres, et 80 nouvelles œuvres publiées en moyenne chaque année, les Éditions Agence française de développement favorisent la diffusion des savoirs et des expertises, à travers leurs collections propres et des partenariats phares. Retrouvez-les toutes en libre accès sur editions.afd.fr.

Pour un monde en commun.

Avertissement
Les analyses et conclusions de ce document sont formulées sous la responsabilité de leur(s) auteur(s). Elles ne reflètent pas nécessairement le point de vue officiel de l'Agence française de développement ou des institutions partenaires.

Directeur de publication Rémy Rioux
Directeur de la rédaction Thomas Mélonio
Création graphique MeMo, Juliegilles, D. Cazeils
Réalisation Coquelicot

Crédits et autorisations
License Creative Commons
Attribution - Pas de commercialisation - Pas de modification
https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

Dépôt légal 2e trimestre 2023
ISSN 2492-2838
Imprimé par le service reprographie de l'AFD

Pour consulter les autres publications de la collection
Rapports techniques :
https://www.afd.fr/fr/collection/rapports-techniques