

8. ECM REMPLACE LES FOURS INDUSTRIELS TRADITIONNELS

Echange avec Florian Giraudet, Marketing & Communication, ECM Technologies

Une des sources de décarbonation de l'industrie est l'électrification d'équipements traditionnels, très consommateurs de gaz, par des équipements électriques plus performant et moins énergivores. Le groupe ECM Technologies, basé à Grenoble, est un constructeur de fours industriels créé en 1928. Leader mondial dans son domaine, il propose des solutions et des services de traitements thermiques industriels à forte valeur ajoutée.

Quel est le positionnement d'ECM ?

Le groupe ECM Technologies propose toute une gamme de fours constituant une base de référence de plusieurs milliers d'unités dans le monde. Nous développons et installons pour nos clients des fours de cémentation, fours sous vide, fours de fusion et induction, fours spéciaux... On retrouve les fours d'ECM dans tous les secteurs de l'industrie comme par exemple l'automobile, l'aéronautique, l'électronique.

Quel est le rôle d'ECM dans la décarbonation de l'industrie ?

La production de chaleur dans les équipements industriels provient principalement de gaz qui en se consommant produisent du CO₂. Au-delà de 1100°C, ces fours traditionnels peuvent être remplacés par des fours électriques, alimentés par une électricité verte. Les fours traditionnels ont une longue durée de vie. C'est donc un investissement conséquent pour l'industriel qui doit aussi s'assurer que l'infrastructure électrique puisse acheminer jusqu'au four une forte puissance. Les fours électriques permettent

par la suite un rendement très supérieur aux fours à gaz traditionnels mais ils coûtent plus cher en approvisionnement électrique. Pour que les fours électriques puissent se développer rapidement, les industriels doivent disposer d'un prix compétitif sur une très longue période. Toutefois, pour certaines entreprises, la hausse programmée du carbone couplée aux aides financières possibles font que cet investissement devient réalisable.



Four électrique ICBP ECO
Source : ECM Technologies

5

PRÉSERVER L'ENVIRONNEMENT

1. UN ENVIRONNEMENT À PROTÉGER

Définition de l'environnement

Le terme environnement a plusieurs définitions. Généralement, il s'agit de tout ce qui entoure un sujet. Dans le cadre de la transition écologique, l'environnement est constitué de l'ensemble des éléments naturels nous entourant : air, eau, terre, organismes vivants et minéraux. Ces différents constituants sont nécessaires à la vie sur terre. Il est donc important de les préserver.

La protection de l'environnement couvre plusieurs domaines. L'activité humaine doit se développer en préservant l'eau et l'air, en respectant la biodiversité, tout en maîtrisant l'impact de toutes formes de déchets.

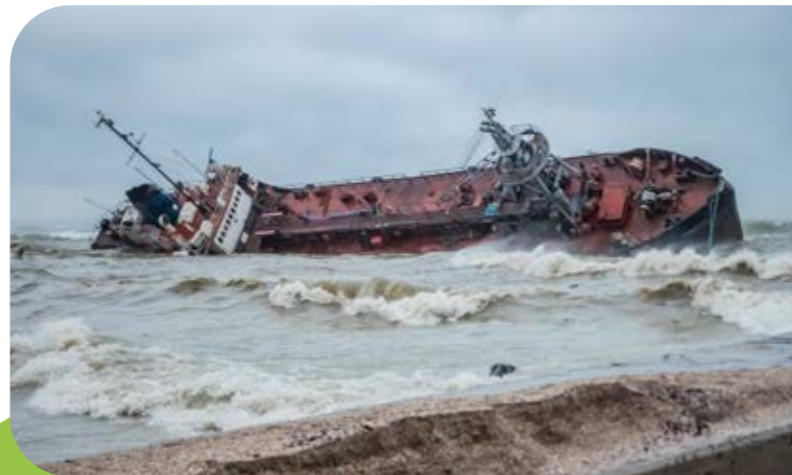


- ➔ Préserver l'eau
- ➔ Préserver l'air
- ➔ Préserver la biodiversité
- ➔ Gérer les déchets

L'impact de l'activité humaine sur l'environnement

Toute activité humaine a un impact sur son environnement. Dès le moyen-âge, les manufactures, comme les tanneries, sont confrontées aux pollutions des rivières comme ce fut le cas de la Bièvre à Paris. Lors de la révolution industrielle du 19^{ème} siècle, les premières pollutions modernes apparaissent avec l'essor de l'utilisation du charbon. Le terme pollution naît à ce moment-là (*pollution*, 1804). Le 20^{ème} siècle voit son lot de destructions de l'environnement avec l'expansion de l'activité économique : l'apparition du phénomène de smog dans les grandes villes, les marées noires, la déforestation...

Avant la seconde guerre mondiale, les phénomènes de détérioration de l'environnement restaient très localisés. Ce n'est seulement qu'à la moitié du 20^{ème} siècle qu'une prise de conscience apparaît sur la nécessité de préserver l'environnement autant au niveau national que mondial. A titre d'exemple, le programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE, ou UNEP en anglais) est créé en 1972 dans le but de coordonner les actions de chaque gouvernement.



Une prise de conscience

La prise de conscience de la détérioration de notre environnement est réelle. Elle se manifeste à différents niveaux. Tout d'abord, des campagnes de sensibilisation sur les comportements individuels ont été développées depuis de nombreuses années de par le monde. Chacun est invité à modifier son comportement : réduire ses déplacements, consommer moins d'eau, limiter les déchets... Ces actions sont nécessaires et la perception de chaque individu de son rôle dans la préservation de l'environnement contraint aussi tous les acteurs (gouvernement, institution, entreprises...) à s'impliquer davantage.

Les entreprises sont désormais des acteurs incontournables de ce changement de perspective. Outre les obligations légales auxquelles elles doivent se soumettre, elles mesurent désormais l'importance de leur implication dans la préservation de l'environnement en terme d'image vis-à-vis de leurs clients et de leurs salariés.

De nombreuses approches sont possibles au sein des entreprises, des gestes les plus simples comme la mise en place de la gestion des déchets au sein de ses locaux à l'intégration dans les processus de nouvelles méthodologies de travail. Elles peuvent se structurer autour d'une politique RSE affirmée, du développement de l'éco-conception, de l'optimisation de leur bilan carbone... La stratégie des 4 « R » donne une approche macro des leviers possibles d'une entreprise :

- **réduire** la consommation des ressources, en n'achetant que ce qui est nécessaire à la production ;
- **réutiliser** des équipements en les remettant à neuf ;
- **remplacer** les ressources non renouvelables ;
- **recycler** les déchets produits par l'entreprise.



2. GÉRER LES DÉCHETS

Définitions

Un déchet est un produit en fin de vie, dont l'utilisation n'est plus pertinente. Il peut alors être soit dégradé, soit obsolète, remplacé ou non par un autre produit. Il existe de nombreux types de déchets. Plusieurs nomenclatures catégorisant les déchets existent comme le catalogue européen des déchets (CED), publié par la Commission européenne.

Les origines des déchets sont nombreuses et variées :

- les déchets ménagers, ordures ménagères produites par les particuliers ;
- les déchets hospitaliers ;
- les déchets des collectivités (ramassage des ordures, nettoyage des voiries...);
- les déchets industriels ;
- les déchets issus d'une activité professionnelle comme l'agriculture, la pêche...

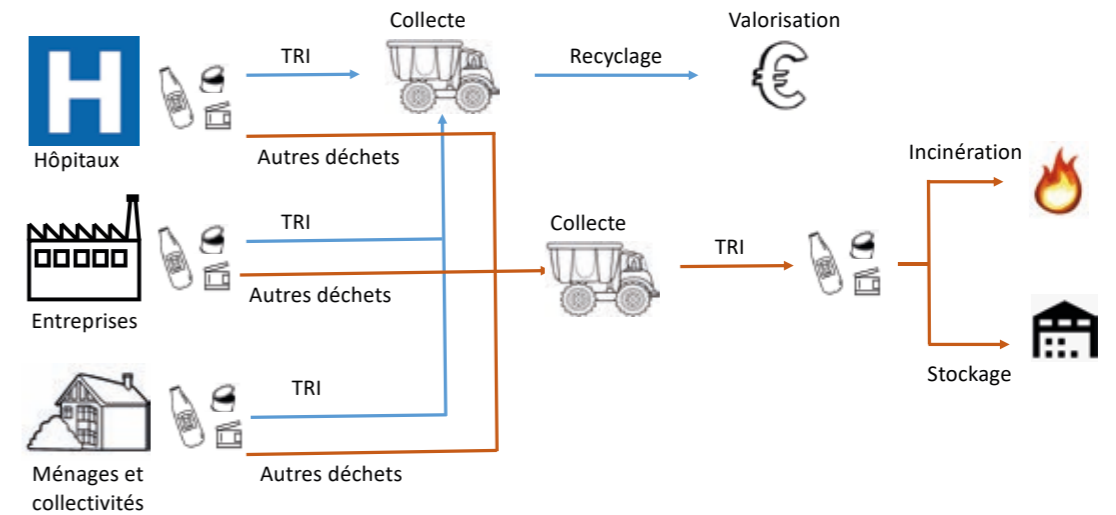
Les déchets sont séparés en deux catégories principales : les déchets dangereux et les déchets non dangereux. Les déchets dangereux comportent des risques pour la population et l'environnement. Dans cette catégorie, nous retrouvons les déchets possédant des caractéristiques explosives, toxiques, inflammables, radioactives. Ils donnent lieu à une surveillance accrue et une réglementation stricte encadre leur gestion. Selon l'ADEME, les déchets dangereux représentent 3% du total des déchets, soit 11 millions de tonnes.

La gestion des déchets

Le déchet produit, qu'il soit dangereux ou non, doit être géré. Cela regroupe plusieurs activités : le tri, la collecte et le transport, le recyclage (valorisation), l'incinération, le stockage. Ces étapes ont pour but de réduire au maximum les effets néfastes des déchets sur la santé et l'environnement.

- **Le tri** permet de séparer à la source les déchets qui seront ensuite valorisés lors d'un recyclage. Un tri spécifique est nécessaire pour des produits spéciaux comme les piles usagées, les médicaments, les ampoules.
- **La collecte** est l'opération de ramassage des déchets. En France, il est de la responsabilité des communes d'organiser cette collecte.
- **Le recyclage** permet de les valoriser. Les grandes familles de déchets recyclables sont le papier (journaux, magazines...), les produits plastiques (bouteilles, contenants de produit ménager...), les objets métalliques (boîtes de conserves...), les cartons (briques de lait, boîtes...). Ces déchets sont ensuite traités afin de récupérer le matériau (papier, acier, aluminium...) et de l'utiliser afin de fabriquer de nouveaux produits.
- **L'incinération** permet la valorisation énergétique des déchets non recyclables. La chaleur produite par la combustion est ensuite réutilisée pour produire de l'électricité ou alimenter un réseau de chaleur urbain.
- **Le stockage** concerne les déchets qui ne peuvent pas être recyclés ou incinérés. Selon leur dangerosité, différents moyens de stockage sont envisagés.

Principales étapes de la gestion des déchets



Les obligations réglementaires

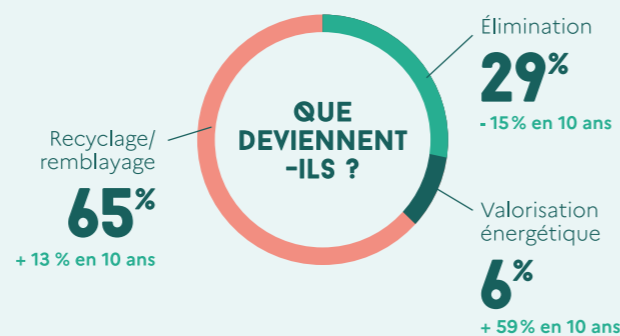
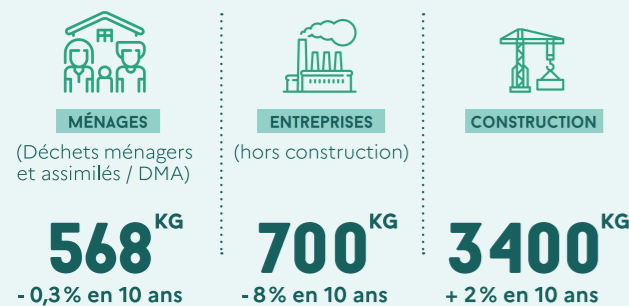
La réglementation française encadre toutes les étapes de la gestion des déchets. Le code de l'environnement centralise les textes français et européens dans les chapitres prévention et gestion des déchets. Il est complété par un plan national de prévention des déchets qui définit la stratégie nationale et les actions à mettre en place. Le principe de base de la réglementation est que tout producteur ou détenteur d'un déchet est tenu d'en assurer la gestion. Cela permet de définir une traçabilité jusqu'à l'étape finale : incinération, stockage ou recyclage. Ce principe est énoncé dans le dispositif des responsabilités élargies des producteurs (REP) qui met en avant le concept de « pollueur payeur ». Les entreprises sont responsables de l'ensemble du cycle de vie de leur produit, de la conception jusqu'à la fin de vie.

La réglementation française, qui découle directement de la réglementation européenne, met donc en avant la prévention et le recyclage : le meilleur déchet est celui qu'on ne produit pas.

POUR ALLER PLUS LOIN |

- www.ecologie.gouv.fr/gestion-des-dechets-principes-generaux
Site du ministère de la transition écologique sur lequel le plan national des déchets peut être téléchargé
- www.ademe.fr/expertises/dechets/quoi-parle-t/prevention-gestion-dechets
- www.aida.ineris.fr
Site de la prévention des risques et de la protection de l'environnement qui présente toutes les réglementations concernant la gestion des déchets

EN 2016, NOUS AVONS PRODUIT 4,6 TONNES DE DÉCHETS PAR HABITANT



Source : ADEME, chiffres clés 2020



Source : Plan national de prévention des déchets; site du Ministère de la transition écologique

3. DÉCHETS ET VALORISATION MATIÈRE : LE CAS DES MÉTAUX

Julia Mouton, Enseignante-chercheuse, EPF

Le constat

La croissance démographique, couplée au développement de nos sociétés de consommation, a impliqué une pression démesurée sur les ressources naturelles, et mené à l'épuisement de nombreux gisements. Si l'utilisation des minerais va croissant, les techniques d'extraction traitent des ressources de moins en moins concentrées, et de ce fait l'industrie minière devient de plus en plus énergivore. Alors que les ressources s'épuisent, les déchets s'accumulent chaque jour et les centres de stockage croissent en nombre et en quantité de déchets stockée (Tableau 1). Une croissance importante de la production des déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE) est observée (+73% entre 2012 et 2018 en France). A l'échelle mondiale, 53,6 millions de tonnes ont été générés en 2019, dont

seulement 17,4% sont référencés comme réellement collectés et recyclés [1]*. La quantité de déchets collectée et recyclée a augmenté de 1,8 millions de tonnes depuis 2017, mais la production totale de DEEE a, elle, connue une augmentation de 9,2 millions de tonnes. On mesure ainsi que la croissance des activités de recyclage des DEEE ne suit pas le rythme de la croissance mondiale de production de ces déchets.

Dans ce contexte, le traitement et la valorisation des pollutions sont actuellement reconnus comme des enjeux majeurs du développement durable [2] et sont au cœur des défis technologiques de notre siècle. En effet, il est admis que la disponibilité des ressources naturelles est un enjeu du fonctionnement de l'économie [3].

Tableau 1. Données déchets Eurostats 2004, 2012 et 2018 en France

	2004	2012	2018	Tendance 2004- 2018	Tendance 2012- 2018
Déchets totaux (tonnes)	296580889	344440922	343307326	16%	0%
Déchets métalliques (tonnes)	12752170	15500000	16312774	28%	5%
D3E (tonnes)	-	470556	814385	-	73%
Nombre installations de stockage	317	918	1414	346%	54%
Qté déchets Traités (tonnes)	292502076	315146903	325073985	11%	3%

* voir références bibliographiques en fin d'ouvrage

Techniquement, où en est-on ?

Ce début de 21^{ème} siècle est marqué par une augmentation importante de publications scientifiques autour du traitement des déchets et notamment de la récupération des métaux. Ainsi, les travaux de recherche s'axent sur des applications concrètes spécifiques à certains déchets [4] ou certains métaux [5], comme sur le développement de technologies originales [6]. Certains travaux présentent des techniques utilisant des matériaux naturels ou des déchets dans cet objectif de récupération des métaux.

Les procédés les plus adaptés à la récupération des métaux contenus dans les déchets sur des critères économiques et sur leur facilité de mise en œuvre sont les traitements minéralurgiques [7] et métallurgiques [8].

L'ensemble de ces techniques vise le plus souvent à concentrer les métaux au sein d'une phase solide (le déchet ultime), de façon à limiter les volumes de déchets enfouis. Ces traitements minéralurgiques et métallurgiques consistent en une multitude de procédés disponibles via des techniques mécaniques, thermiques, chimiques et/ou biologiques et restent encore souvent très énergivores et/ou consommateurs de réactifs. Le développement de techniques de traitement plus durables intégrant les principes du « génie vert » (Green engineering) est introduits en 2003 [9].

Le besoin

Les travaux autour du traitement ou de la valorisation des déchets ciblent des notions telles que le rapport coût-efficacité, la recirculation des eaux de procédé, la faible consommation d'énergie, l'utilisation de réactifs respectueux de l'environnement, la recirculation des réactifs et la production de minerais valorisables à l'industrie dans un objectif « zéro déchet ». Ainsi, il est aisé de cerner la complexité liée au développement de technologies à la croisée de l'ensemble de ces critères.

A ce jour, aucun procédé commercialisé n'intègre l'ensemble de ces critères et les technologies existantes visent le meilleur compromis autour de ces derniers. Ce constat marque le point de rupture vis-à-vis du développement de technologies pour le traitement des déchets (de type DEEE notamment) assurant une valorisation matière et définit les défis technologiques à relever pour les industriels du domaine.



Les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE ou D3E)

Les DEEE sont les déchets d'équipements électriques ou électroniques. Ils peuvent provenir d'une activité professionnelle ou de la vie quotidienne. Le terme s'applique à tous les composants ou sous composants de ces équipements. Il regroupe ainsi les ampoules, les piles, les composants d'un téléphone portable, les puces électroniques... Les DEEE sont constitués de métaux et produits dont l'incinération peut être dangereux pour la santé et l'environnement. Leur recyclage permet de récupérer ces matériaux qui seront ensuite réutilisés. Selon l'ADEME, 854 906 tonnes de DEEE ont été collectées en France en 2019 pour un taux de recyclage de 78%.



4. DES TECHNOLOGIES POUR AMÉLIORER LE RECYCLAGE DES PLASTIQUES ET COMPOSITES

Institut Mines Telecom (IMT)

Les plastiques et composites ne sont pas toujours aussi bien recyclés qu'on le souhaiterait : manque de débouchés, technologies inexistantes ou non rentables, ou encore gisements diffus. IMT Nord Europe développe et améliore des technologies en partenariat avec les industriels.

Les plastiques et composites n'ont pas bonne presse, et pourtant, difficile de s'en passer dans nos objets quotidiens, par exemple nos voitures. Pour que leur usage soit le moins polluant possible, il faut les recycler. Pas simple, aussi bien d'un point de vue technique qu'économique. Deux chercheuses d'IMT Nord Europe s'attachent à améliorer les procédés en vue de leur industrialisation.

Recycler le plastique nécessite de trouver des débouchés pour ces matériaux recyclés. Parmi les principaux freins figure la présence de polluants, notamment des composés organiques volatils (COV) à l'origine d'odeurs désagréables, voire toxiques. D'autant que les normes sont très strictes concernant les émissions de COV et d'odeurs dans l'habitacle des véhicules. Marie-France Lacrampe, chercheuse à IMT Nord Europe, développe une solution qui brille par sa simplicité : l'extrusion assistée à eau.

Réduire les composés organiques volatils (COV)

L'extrusion est le procédé classique de fabrication des objets en plastique, consistant à pousser le matériau pâteux à travers une section de la forme souhaitée. En injectant de l'eau dans l'extrudeuse, le plastique est lavé par la vapeur d'eau, qui extrait une grande partie des COV. « Cela nécessite quelques aménagements de l'extrudeuse », précise Marie-France Lacrampe. Ces recherches sont menées avec trois partenaires industriels et un autre laboratoire. Le pilote industriel devrait être opérationnel d'ici deux ans.

Pour améliorer encore ce procédé, la chercheuse prévoit de combiner l'eau avec du CO₂ supercritique — du CO₂ sous pression qui devient un solvant très efficace. L'avantage de ce procédé est d'enlever des molécules différentes de celles captées par l'eau.

Ecoconception et organisation de filière

Un recyclage efficace commence généralement par la conception de matériaux facilement recyclables. C'est surtout vrai dans le domaine des emballages

alimentaires, souvent composés de plusieurs matériaux (les bricks, les barquettes thermoformées ou les sachets à réchauffer par exemple). « L'idéal est de mélanger des polymères compatibles, pour les intégrer dans les filières de recyclage existantes », indique Marie-France Lacrampe.

Bien recycler n'est pas uniquement une question de technique, mais aussi d'organisation de la filière. Il faut utiliser les déchets le plus localement possible pour baisser les coûts de transport et de logistique, ce qui nécessite d'analyser et de gérer intelligemment le flux.

« Si on veut augmenter les taux de recyclage, il faut s'attaquer à ce qu'on ne sait pas faire, souligne Marie-France Lacrampe, notamment les faibles quantités (gisements diffus), et les matériaux qu'on ne sait pas, ou mal recycler comme le PET opaque (le plastique des bouteilles de lait par exemple). Nous travaillons aussi à valoriser les faibles quantités en fabrication additive (la version industrielle de l'impression 3D) : on les extrude de nouveau avec des additifs pour les rendre utilisables. »



Les composites, peu recyclés

Le recyclage des plastiques n'est pas toujours facile notamment celui des composites, matériaux formés de fibres (généralement verre ou carbone) et d'une matrice en polymère. Ces derniers ont investi des pans entiers de l'industrie : les transports (pas seulement les avions mais aussi les voitures, les bateaux, les vélos...), ainsi que l'électronique, les loisirs, l'éolien... Pour exemple, un avion moderne, comme l'Airbus A350, est formé pour moitié de matériaux composites.

Aujourd'hui, lorsqu'ils sont en fin de vie, les composites sont essentiellement valorisés énergétiquement. Autrement dit, ils sont brûlés pour récupérer l'énergie de leur combustion ce qui n'est pas idéal d'un point de vue environnemental ou économique ! « L'aéronautique développe des solutions pour récupérer les fibres de carbone, nuance Mylène Lagardère, également chercheuse à IMT Nord Europe. Elle a surtout recours aux composites à base de carbone. Or, ceux-ci sont plus « nobles », donc plus faciles à valoriser. » Des technologies de recyclage existent pour les composites à fibres de verre, mais aucune n'est rentable.

Développer des méthodes peu coûteuses

Deux procédés sont possibles pour récupérer les fibres : soit un procédé chimique, dans lequel on dissout la matrice dans un solvant (la matrice est alors réutilisable), soit un procédé thermique, qui détériore cette matrice. De son côté, la matrice est soit thermoplastique (on peut la fondre), soit thermodurcissable (qui se dégrade lorsqu'on la chauffe). Résultat : « Chaque couple fibre-matrice

ZOOM

Bientôt de grandes quantités de composites à recycler ?

10 millions de tonnes de composites sont produites chaque année dans le monde, et la croissance de ce marché ne faiblit pas : + 5% par an. Mais c'est surtout le recyclage qui va connaître une incroyable accélération : les composites arrivés sur le marché il y a 20 à 30 ans arrivent en fin de vie. 50 000 tonnes de pales d'éoliennes doivent être valorisées entre 2021 et 2022. 25 000 bateaux sont à démanteler en 2023, composés aux trois quarts de composites. 4 000 wagons sont en attente de démantèlement. Si aujourd'hui, la ressource est limitée (15 000 tonnes de déchets de production et 7 000 tonnes de matériaux en fin de vie en 2017), la croissance attendue est considérable. Les filières doivent se construire et s'organiser pour être pérennes.

est traité différemment, explique Mylène Lagardère. Chaque produit a donc sa filière. » D'où la complexité du recyclage des composites. Plus le matériau est pur, plus le recyclage est facile.

Améliorer le recyclage est donc indispensable, et la recherche sur ce sujet a toute sa place. « Nous tentons de développer des méthodes simples et peu coûteuses, décrit Mylène Lagardère. Nous partons du problème industriel : si nous avons tel gisement de matériaux avec telles propriétés, nous pouvons en tirer tel matériau recyclé avec telle propriété. » Cependant lorsqu'on recycle, on dégrade toujours les propriétés du matériau, car on raccourcit les fibres.

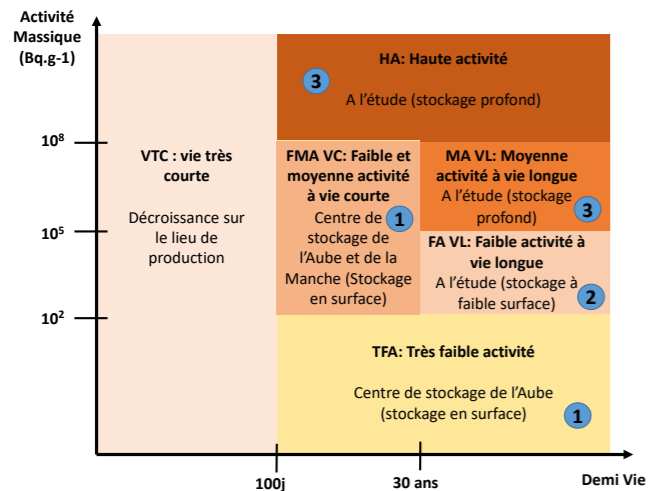
Aujourd'hui, nous n'en sommes qu'aux prémices du recyclage des composites. Quelques filières commencent à se structurer : dans le nautisme, avec l'association APER qui démantèle les bateaux abandonnés, financée par une écotaxe sur les bateaux neufs, ou encore dans la filière éolienne. L'automobile est également en pointe, grâce à la législation qui oblige à intégrer des matériaux recyclés dans les nouveaux véhicules.

5. CAS DES DÉCHETS RADIOACTIFS

Dr Raphaël MADON, Enseignant-Chercheur en génie des procédés, ENSIATE
Margaux SURGIS, Etudiante, Cycle Ingénierie en éco-énergétique, ENSIATE

Les déchets radioactifs : définitions

Les déchets radioactifs s'apparentent aux déchets classiques, comme des outils, des vêtements, des sacs en plastique, mais ils ont une particularité : ils émettent des rayonnements radioactifs. Ces rayonnements peuvent présenter un risque pour l'homme et pour l'environnement. Les déchets peuvent être plus ou moins radioactifs. Ils sont classés selon leur activité en plusieurs catégories de TFA (Très Faible Activité) à HA (Haute Activité).



La radioactivité décroît dans le temps. De ce fait, les déchets peuvent rester radioactifs plus ou moins longtemps jusqu'à atteindre leur demi-vie. La demi-vie, ou la période, est le temps mis par un radioélément pour perdre la moitié de son activité. Pour certains, il faudra plusieurs jours, pour d'autres, il faudra des centaines de milliers d'années.

Les dangers des déchets radioactifs

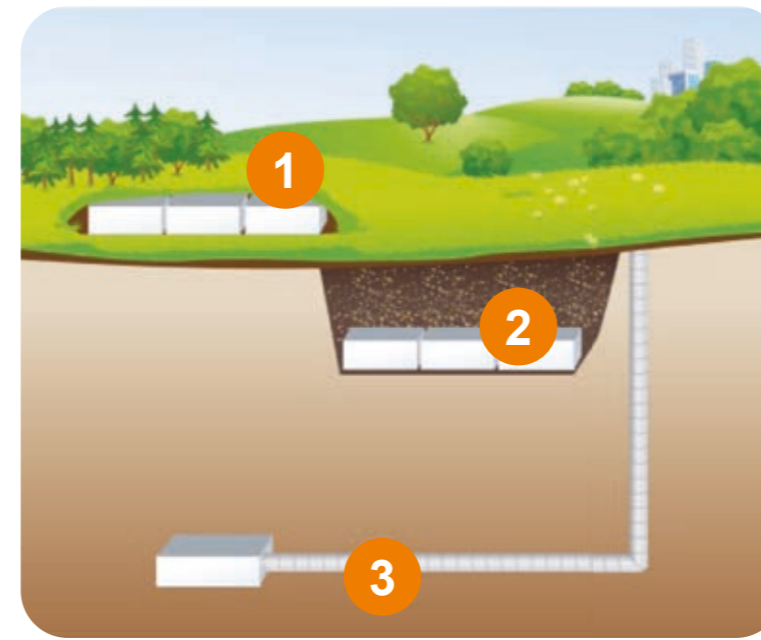
Les rayonnements émis constituent le principal danger pour l'homme. Ce danger peut être une irradiation externe lorsque l'on se trouve à proximité des substances radioactives ou encore une contamination interne lorsque l'on inhale ou que l'on ingère des substances radioactives qui pourraient se retrouver dans l'air ou dans les aliments.

Comme les déchets classiques, les déchets radioactifs peuvent présenter un risque parce qu'ils contiennent des substances chimiques qui peuvent être également toxiques.

Comment se protéger ?

La radioactivité, qu'elle soit naturelle ou artificielle, décroît dans le temps. Cependant, pour les éléments radioactifs VL dits « à vie longue », cela peut durer très longtemps. Afin de s'en protéger, il faut les isoler tant qu'ils présentent des risques. Pour cela, on interpose des éléments de protection qui sont aussi appelés des barrières de confinement : la première barrière de confinement, c'est le colis. Les déchets sont conditionnés, puis généralement immobilisés dans une matrice en verre ou en ciment, en fonction de sa dangerosité. Cela permet d'éviter tout risque de dispersion dans l'atmosphère et de pouvoir les manipuler sans danger.

Ensuite, pour les isoler de l'homme et de l'environnement tant qu'ils présentent un risque, les déchets radioactifs sont placés dans des centres de stockage adaptés à leur dangerosité, comme expliqué sur la figure ci-dessous.



- 1 Pour les déchets TFA et FMA Vie Courte, les colis de déchets sont placés dans des ouvrages en surface (Repère 1). Une fois remplis, ils sont recouverts d'une couverture constituée de plusieurs couches de matériaux avec une membrane étanche.
- 2 De même pour les déchets FA Vie Longue, le stockage à faible profondeur est encore à l'étude aujourd'hui.
- 3 Pour les colis de déchets de HA et MA Vie Longue, ils pourront peut-être être placés dans des ouvrages en profondeur (encore à l'étude aujourd'hui) éloignés des activités de l'homme et des aléas climatiques en surface, mais également dans une couche géologique stable et confinante.

POUR ALLER PLUS LOIN | 🔍

- www.ensiate.fr
Site de l'ENSIATE
- Traitement des pollutions industrielles. Dunod, l'Usine Nouvelle, ISBN 978-2-10-052104-3
- www.andra.fr
Site de l'andra (agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) ; classification des déchets radioactifs et filières de gestion
- www.developpement-durable-en-bilingue.eu
- Gestion de déchets radioactifs. Rapport d'alternance. ENSIATE, 2020-2021

6. LES TRAITEMENTS DE L'EAU

Hélène Cheap-Charpentier, Enseignante-chercheuse, EPF

Contexte

En France, l'eau destinée à la consommation humaine est très contrôlée. 62% de l'eau distribuée est issue de pompages dans les nappes phréatiques et 38 % proviennent de puisages dans les lacs et les rivières. L'eau doit subir plusieurs traitements avant d'être distribuée dans les circuits d'eau potable. Après traitement, l'eau est stockée dans des réservoirs ou des châteaux d'eau avant d'approvisionner le réseau de distribution. En général, le traitement de l'eau concerne la lutte contre le calcaire, le goût, les odeurs et les bactéries présents dans l'eau de distribution [1]*.

Les différents types de traitements

Traitements de l'eau avant sa distribution

Les traitements de l'eau, lors de son approvisionnement et dans le réseau d'adduction d'eau potable, sont réalisés afin de garantir les 31 paramètres microbiologiques et physico-chimiques de critères de potabilité [1]. Les principaux traitements sont la clarification, la filtration et la désinfection. Dans un premier temps, l'eau brute passe à travers des grilles et des tamis afin d'éliminer les gros débris.

Ensuite la clarification est réalisée en trois étapes : la coagulation-floculation, la décantation et la filtration. En présence de produits coagulants et floculants, les particules en suspension dans les eaux forment des flocons qui vont sédimenter au fond des bassins de décantation. Enfin, une filtration à travers des membranes permet d'obtenir une eau claire, débarrassée des particules.

Traitements des bactéries dans l'eau

Les bactéries retrouvées dans l'eau, comme les légionnelles, peuvent être mortelles. Toutefois, certaines bactéries peuvent être sans danger pour la santé. Le traitement des bactéries consiste principalement à désinfecter l'eau grâce à des appareils de microfiltration, de nanofiltration ou des stérilisateurs [2]. Cependant, ce procédé peut se révéler insuffisant et une contamination de l'eau reste possible, que ce soit en amont ou en aval du compteur de distribution (conduites endommagées, défaut de chauffe du ballon d'eau chaude...). Pour cela, du chlore, de l'ozone ou des ultraviolets sont utilisés pour traiter l'eau. Toutefois, une petite quantité de chlore reste dans l'eau pour éviter un développement bactérien plus en aval dans le réseau d'eau.

Traitement de la dureté de l'eau

L'eau est dite « dure » lorsque la concentration en calcium et en magnésium est élevée. Ce type d'eau entraîne la formation de calcaire et de tartre dans les canalisations ou les appareils électro-ménagers, causant une altération de la qualité de l'eau. De plus, l'accumulation de ces dépôts minéraux peuvent aussi entraîner d'importants problèmes techniques, tels que l'obstruction des canalisations, pouvant aller jusqu'à leur effondrement.

Au contraire, une eau est « douce » quand la concentration en ions minéraux est très basse. Ce type d'eau entraîne une corrosion des métaux constituant les canalisations, les robinets et les appareils électro-ménagers. Les sels métalliques (à base de cuivre, zinc...) sont alors transportés dans l'eau, ce qui est nocif pour la santé. De plus, les orifices générés par la corrosion permettent l'entrée et la prolifération des bactéries dans l'eau.

Une eau trop chargée en calcaire dépose des particules de tartre sur les parois des récipients, ce qui favorise la fixation d'odeurs et donne à l'eau un goût désagréable. La dureté de l'eau peut être réduite à l'aide de dispositifs comme d'un adoucisseur d'eau ou d'un osmoseur, ou en luttant contre la formation des dépôts minéraux en ajoutant un antitartre ou en filtrant l'eau.

L'utilisation d'antitartre permet de réduire voire d'empêcher la formation des dépôts minéraux. Il existe deux grands types de procédés : les méthodes physiques et chimiques. Parmi les procédés physiques, on peut citer les traitements magnétiques, électroniques et spectroscopiques (filtre UV). Ces techniques ont pour avantage de ne pas modifier la composition de l'eau mais leur efficacité est controversée [3]. Les procédés chimiques, très largement employés dans l'industrie, consistent en l'ajout de composés chimiques dans l'eau. Les antitartres classiques sont à base de phosphate ou phosphonate qui peuvent être nocifs pour l'environnement à très forte concentration. De plus en plus de recherches s'orientent vers l'étude d'inhibiteurs de tartre verts et biodégradables plus respectueux de l'environnement [4].

Traitement des polluants dans l'eau

Les nitrates, les phosphates et les polluants (les métaux, l'arsenic...) proviennent des sols pollués par l'industrie et l'agriculture [5]. Ces composés chimiques peuvent être métabolisés par un organisme entraînant la formation de molécules nocives pour la santé. Par exemple, la formation de la méthémoglobine limite la fixation du dioxygène ou les nitrosamines peuvent altérer les gènes, provoquant des cancers.

Quant aux polluants pharmaceutiques, ils se retrouvent principalement dans les approvisionnements en eau potable. Leurs concentrations dépendent des traitements des eaux usées. La chloration, une méthode simple couramment utilisée, permet de diminuer de moitié leur teneur. Cependant, une trop forte concentration en chlore peut être délétère pour la santé puisque la réaction entre le chlore et les matières organiques dans les eaux traitées entraîne la formation des trihalométhanes, provoquant un risque accru des cancers de la vessie [6].

Il existe des procédés plus efficaces (comme l'ozonation, la filtration sur charbon actif, l'osmose inverse, la nanofiltration...) qui permettent un taux d'élimination pouvant aller jusqu'à 99%.

L'ozonation est un traitement chimique par oxydation. L'ozone, un puissant oxydant, est utilisé pour détruire des germes pathogènes et vient en complément des actions visant l'élimination des micropolluants. Il permet de :

- détruire des composés toxiques (cyanures, phénols...);
- attaquer les colorants organiques naturels (acide humique, tanins...) et artificiels responsables de la coloration des eaux ;
- réagir avec des composés organiques pour former des produits plus faciles à éliminer.

Conclusion

Malgré l'origine de l'eau et les traitements et contrôles qu'elle subit, une eau approuvée et adaptée à la consommation humaine peut avoir des caractéristiques qui ne conviennent pas aux consommateurs. En effet, une altération des qualités de l'eau distribuée peut survenir, mettant parfois en cause les traitements appliqués. En plus des traitements mis en place, il est parfois nécessaire de traiter l'eau du robinet pour en améliorer la qualité. Même si l'eau est considérée comme potable, une eau trop dure ou trop chlorée peut rendre sa consommation difficile, dans des secteurs tels que la restauration ou les industries agro-alimentaires ou pour un usage domestique comme la boisson, la cuisine ou la lessive.

* voir références bibliographiques en fin d'ouvrage

7. LE TRAITEMENT DES EAUX USÉES

Dr Raphaël MADON, Enseignant-Chercheur en génie des procédés, ENSIATE

La problématique des boues des stations d'épuration

Nos sociétés modernes produisent une quantité croissante de déchets : agricoles, industriels, ménagers et des collectivités, dont l'accumulation pose des problèmes environnementaux et sociétaux majeurs. A l'heure où la protection de l'environnement et de ses ressources est devenue un enjeu prioritaire, il est alors indispensable que chacun (entreprise, Etat, particulier) sache comment traiter ces déchets. Pour un même type de déchets, il existe de nombreuses techniques de traitement, et il importe donc de bien évaluer leurs performances et leurs limites afin de choisir la mieux adaptée. Dans le cadre d'un processus de développement durable, la gestion de ces déchets est passée au cours des dernières décennies de préoccupations purement sanitaires et pratiques à une gestion intégrée de la majorité des rejets pouvant être assimilés à des déchets.

Les boues produites par les stations d'épuration (STEP) doivent être soit éliminées, soit revalorisées dans des conditions conformes à la réglementation et respectueuses de l'environnement. Ces boues constituent des déchets volumineux puisqu'elles contiennent généralement entre 95 et 99% d'eau à l'état brut. Elles sont génératrices de nuisances dans la mesure où elles sont en grande partie constituées de matières organiques fermentescibles et peuvent renfermer des substances toxiques. La réduction du tonnage des boues et leur détoxification deviennent alors une préoccupation majeure des collectivités locales et des industries [1]*.

Ces suspensions qui contiennent une forte teneur en eau génèrent un tonnage important qui se répercute sur les coûts de transport, de manutention, de stockage ou d'opérations ultérieures (concentration, séchage ou dans le cas des boues : valorisation matière, élimination).



Crédit photo : copyright, SIAAP Usine Marne Aval ; Olivier ROLFE photographe Agence BABEL 2020

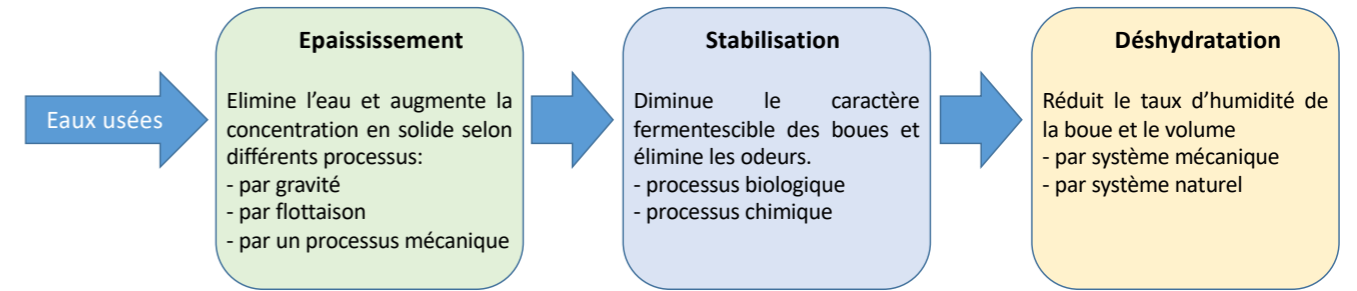
Le traitement des boues

La valorisation et l'élimination des boues utilisent toujours un traitement pour concentrer la matière sèche par épaissement et/ou déshydratation mécanique. Ce traitement passe par un conditionnement physico-chimique qui met les matières solides sous une forme telle qu'elles peuvent être séparées à l'aide d'un décanteur, d'une table d'égouttage, d'un filtre presse, d'un filtre à bandes, ou d'une décanteuse centrifuge.

Le rendement de la séparation par voie mécanique est assez médiocre pour les suspensions colloïdales ou les produits pâteux, comme les boues résiduaires. L'atout principal de ces opérations est leur faible consommation énergétique : de 0,001-0,01 kWh/m³ d'eau éliminée pour l'épaississement gravitaire à 1-10 kWh/m³ d'eau éliminée pour la déshydratation

* voir références bibliographiques en fin d'ouvrage

Les principales étapes du traitement des eaux usées



mécanique. Lorsqu'une réduction plus importante de la teneur en eau (hauts niveaux de siccité des boues) est nécessaire, le séchage thermique, qui consiste à évaporer ou vaporiser l'eau contenue dans le produit humide, peut être utilisé. Cependant, ce procédé reste très coûteux et n'est généralement utilisé que sur des grandes installations qui traitent des quantités importantes de boues.

Le coût énergétique de cette opération, qui se situe autour de 750-1150 kWh/m³ d'eau éliminée (0.62-1.2 kWh/kg d'eau éliminée) [2,3], est souvent rédhibitoire lorsque l'opération est pratiquée sur des sous-produits ou sur des déchets. Par ailleurs, la teneur en eau finale des produits séchés est normalement inférieure à 5%, alors qu'une si basse teneur n'est pas toujours indispensable pour une valorisation du déchet.

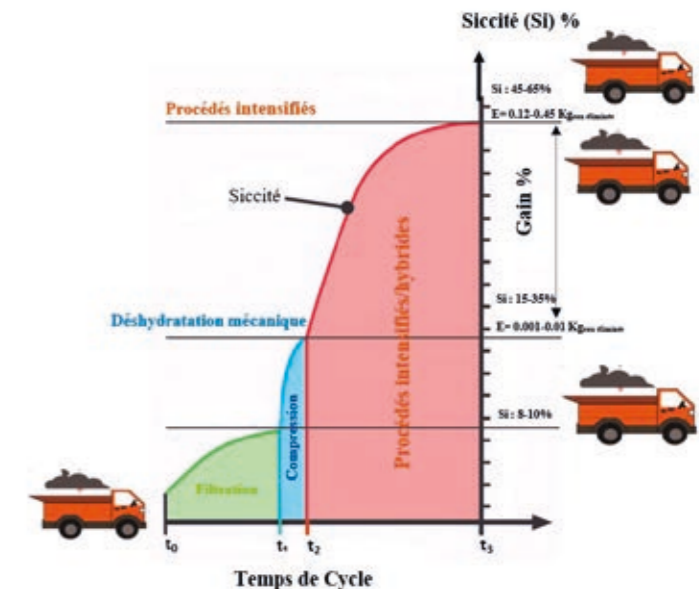


Figure 1 : Etapes du processus de déshydratation mécanique et intensifié et l'amélioration de la siccité.

Si (en %) représente la siccité du gâteau ($MS / (MS + ML)$), MS (en kg) la masse de matière sèche, et ML (en kg) la masse de liquide restant à l'intérieur du gâteau de boue.

Optimiser le processus

Les réponses économiques et environnementales à apporter peuvent provenir de trois directions : optimiser les procédés de séchage pour diminuer la quantité d'énergie nécessaire, utiliser une énergie bon marché ou intensifier des procédés existants en réalisant des couplages opportuns (ajout d'un champ thermique, électrique, magnétique, acoustique, etc) pour améliorer, à moindre coût, les performances des procédés de déshydratation mécaniques [2,3]. Des recherches de l'ENSIATE se situent dans la troisième voie pour proposer une technologie de rupture et des procédés intensifiés/hybrides pour le traitement et la valorisation des boues. L'ensemble de ces travaux a permis de réduire les volumes des boues traitées, de réduire leurs coûts de traitement, d'éliminer leurs odeurs, d'améliorer la qualité pour leur valorisation et enfin de réduire les consommations énergétiques et des réactifs. La Figure 1 illustre l'évolution de la siccité (la siccité est le pourcentage massique de matière sèche contenue dans la boue) et de la consommation énergétique (E en kWh/kg eau éliminée).



Crédit photo : copyright, SIAAP Usine Seine Centre ; Olivier ROLFE photographe Agence BABEL 2020

8. LA RÉCUPÉRATION DES MÉTAUX LOURDS

Dr Raphaël MADON, Enseignant-chercheur en génie des procédés, ENSIATE
M. Salim GUERAH, Ingénieur éco-énergéticien, ENSIATE

Les métaux lourds

Les métaux lourds n'ont pas de définition scientifique mais on considère généralement que ce sont les métaux dont la masse volumique est supérieure à 5g/cm³. Dans cette catégorie, nous trouvons alors des métaux tels que le plomb, le cuivre, le nickel, le cadmium et le mercure. Ces éléments sont nocifs pour la santé et l'environnement.

La récupération de métaux lourds

La récupération de métaux lourds provenant des effluents industriels et des eaux de rinçage a retenu l'attention ces dernières années. Ceci est principalement dû aux réglementations de protection de l'environnement de plus en plus sévères car la plupart des métaux lourds sont toxiques et dangereux pour l'environnement. Les techniques conventionnelles pour l'élimination de métaux lourds, comme la précipitation par ajout de base ou l'électro réduction directe, ne sont pas suffisantes et des traitements secondaires doivent être mis en œuvre en aval.

Parmi toutes les techniques capables de traiter des solutions usées afin d'atteindre un seuil de rejet, seul l'échange d'ions sur résines échangeuses d'ions et l'électrodialyse permettent de déminéraliser des eaux de faible charge ionique à moindre coût. Elles semblent également pouvoir répondre aux exigences croissantes des normes concernant ces métaux lourds.

L'échange d'ions sur résines échangeuses d'ions

L'échange d'ions sur résines échangeuses d'ions (REI) a été largement développé dans le traitement de grands volumes d'effluents contenant ces espèces en faible concentration (de l'ordre du ppm et moins). Les ions métalliques contenus dans l'eau usée sont échangés par des ions moins toxiques contenus dans la matrice de la résine échangeuse d'ions.

Toutefois, ce procédé fonctionne de manière discontinue et nécessite une phase de régénération par ajout de solutions électrolytiques concentrées. Il en résulte l'obtention de volumes importants d'effluents salins concentrés difficilement valorisables.

L'électrodialyse

L'électrodialyse (ED) est la seconde technique qui offre un large champ de possibilités dans le domaine de l'élimination/concentration. Il s'agit d'un procédé fonctionnant sous l'action d'un champ électrique et qui fait appel à une membrane ionique sélective.



Résines échangeuses d'ions ; crédit photo www.nuclearsolutions.veolia.com

Parmi les nombreux domaines d'application dans lesquels elle peut être utilisée, tels que la séparation d'acides carboxyliques dans les procédés biotechnologiques, on trouve la concentration des métaux des eaux de rinçage dans les procédés de déposition. L'électrodialyse permet alors de maintenir la qualité du bain, avec une concentration proche de 1 g/l.

Cependant, cette technique perd de son efficacité et devient moins rentable que l'échange d'ions (REI) dans le cas de traitement de solutions très diluées. Ces solutions entraînent une consommation d'énergie électrique trop importante du fait de leur faible conductivité et du phénomène de polarisation de concentration.

L'électrodéionisation sur résine échangeuse d'ions

L'alternative au traitement des effluents industriels dilués est un procédé couplant les avantages de l'ED et de la REI qui porte le nom d'électrodéionisation sur résine échangeuse d'ions. Surmontant les obstacles technologiques, ce procédé s'est développé et fut commercialisé par Millipore en 1987 pour obtenir une eau hautement épurée en électrolyte avec une dépense d'énergie remarquablement faible.

Depuis environ 20 ans, l'électrodéionisation a surtout été développée dans des domaines tels que la pharmacie, l'électronique ou encore dans la récupération de métaux lourds de solutions usées industrielles. Un travail de recherche dans ce domaine pour traiter des eaux de rinçage de procédés galvaniques de dépôt de cuivre pour la fabrication de circuits imprimés a été mené au sein de l'ENSIATE.

L'objectif de ce travail est de mettre en œuvre le procédé d'électrodéionisation sur des résines commerciales échangeuses de cations fortement acides dans des conditions techniquement et économiquement optimales. La Figure 1 illustre les trois types de techniques électrolytiques à compartiments séparés (l'électrolyse, l'électrolyse avec séparation par membrane non-échangeuse d'ions, l'électrolyse avec séparation par résine échangeuse d'ions).

Les résultats ont montré l'efficacité de cette technique (l'électrodéionisation) en termes de rendement de séparation (abattement), de rendements faradiques globaux (Rapports entre la quantité d'électricité effectivement produite, absorbée ou utilisée au cours d'un processus électrochimique et la quantité théorique associée à ce processus) et d'efficacité énergétique [1].

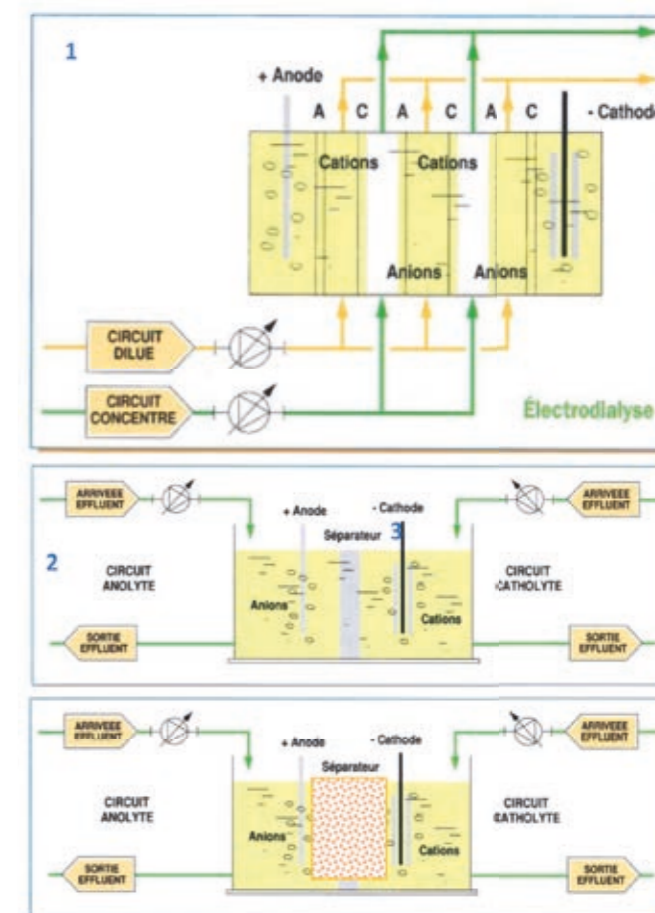


Figure 1 : Techniques électrolytiques (1 : Electrolyse, 2 : Electromembranaires, 3 : Electrodéionisation). [2]

9. QUAND LES PLANTES NOUS AIDENT À LUTTER CONTRE LA POLLUTION

Institut Mines Telecom (IMT)

Pour dépolluer ou stabiliser une pollution dans les sols ou les eaux, les plantes sont une solution assez efficace et peu coûteuse. Elles nécessitent une mise en œuvre au cas par cas, et pourraient être déployées sur de nombreux sites.

La phytoremédiation

Selon l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), 300 000 à 400 000 sites industriels ou miniers seraient potentiellement pollués en France, totalisant environ 100 000 hectares, l'équivalent de 140 000 terrains de football. Nombre d'entre eux sont « orphelins », sans propriétaire connu.

Comment les dépolluer ? La solution la plus radicale consiste à enlever la terre polluée et à la stocker dans une décharge adaptée. C'est aussi un des pires choix, car c'est extrêmement coûteux, et surtout peu écologique : il faut quelques milliers d'années pour qu'un sol se constitue ! Cette solution est donc réservée aux cas où on a absolument besoin du terrain, et où le sol pollué représente un risque important pour la santé comme par exemple si l'on veut construire une école. Dans tous les autres cas, une approche plus douce est privilégiée. Les chercheurs de Mines Saint-Etienne développent ainsi des méthodes de dépollution des métaux « lourds » (essentiellement plomb, cadmium, cobalt, nickel, zinc, cuivre, chrome et arsenic) à l'aide de plantes. On parle de phytoremédiation.



Certaines plantes agissent comme un filtre naturel dans l'eau, et retiennent les polluants dans leurs racines

Les techniques de phytoremédiation

Il existe deux grandes techniques pour traiter un sol pollué par phytoremédiation. La phytoextraction consiste à cultiver des espèces de plantes capables d'accumuler de grandes quantités de métaux lourds, et de très bien le supporter. Il suffit alors de faucher périodiquement ces plantes, et d'incinérer ce qui est coupé dans des incinérateurs spécialisés, pour extraire petit à petit ces métaux. Cependant, cette dépollution est lente, entre 10 et 100 ans pour une décontamination totale.

L'autre technique est la phytostabilisation, une démarche adoptée par les chercheurs de Saint-Étienne : plutôt que d'enlever les métaux, faisons en sorte qu'ils ne soient plus dangereux. Il s'agit donc de stabiliser les polluants sur place. « Un polluant est dangereux lorsqu'il se déplace, rappelle Olivier Faure, chercheur à Mines Saint-Étienne. C'est le cas lorsqu'il migre vers une nappe phréatique, lorsque des animaux broutent l'herbe qui contient ce polluant, ou encore en cas d'érosion mécanique. Mais un polluant bien « fixé » n'a pas d'impact sur le vivant. » Chaque site pollué étant unique, le choix de la méthode se fait au cas par cas, après avoir analysé les risques qui dépendent du type de polluant, de sa faculté à être mobile, et de la nature du terrain : argileux ou sableux, acide ou basique, plus ou moins riche en matière organique... La phytostabilisation est essentiellement utilisée sur les sites de grande taille non habités.

Fixer la pollution consiste à faire pousser des plantes qui accumulent le moins possible les polluants, tout en étant capables d'y résister. C'est donc le contraire de la phytoextraction. Ces plantes empêchent l'érosion par les vents et les précipitations, absorbent une partie de l'eau qui n'ira donc pas vers la nappe phréatique. De plus, leur système racinaire modifie les propriétés du sol, en stimulant les micro-organismes, et en modifiant la forme chimique des polluants, ce

qui les rend moins mobiles. « Ces plantes restaurent la vie des sols, même si on ne comprend pas encore tous les mécanismes », observe Olivier Faure. Les chercheurs combinent des graminées comme le gazon, qui couvrent rapidement le sol, et des légumineuses comme la luzerne, qui fixent l'azote de l'air et enrichissent le sol. Ils ajoutent parfois d'autres espèces pour enrichir la biodiversité, par exemple les astéracées comme les pissenlits qui attirent les insectes pollinisateurs.

Ces techniques de phytostabilisation ont été testées pour réhabiliter des crassiers métallurgiques, ces amoncellements de déchets de l'industrie métallurgique riches en métaux. « Ces crassiers sont très inhospitaliers pour les plantes car ils contiennent très peu de matière organique ou d'azote et drainent l'eau, décrit le chercheur. En partenariat avec Arcelor Mittal, nous avons développé un procédé de revégétalisation applicable à ce type de crassiers dans le cadre d'un programme ANR baptisé Physafimm. Pour aider les espèces à s'implanter, nous restimulons le développement du sol en apportant des matériaux d'intérêt agronomique issus du traitement des eaux. Ce sont des boues de stations d'épuration compostées avec des déchets verts. Nous atteignons un taux de recouvrement végétal de 100 % . »

Dépolluer l'eau avec des marais flottants

Les sols pollués ne sont pas les seuls à pouvoir bénéficier du secours des plantes. Les eaux aussi sont parfois chargées d'hydrocarbures, de matières en suspension ou de métaux. C'est le cas, par exemple, des bassins de rétention des eaux de pluie à proximité des autoroutes. La solution sur laquelle travaillent les chercheurs d'IMT Atlantique est simple : installer des matelas flottants dans lesquels ils incorporent des plantes (dénommés couramment « Marais Flottant »). Les racines se développent dans le matelas fibreux et atteignent l'eau, où elles forment un véritable réseau. Leur rôle est multiple : elles agissent comme un filtre physique pour les polluants particuliers, et servent de support pour le développement de bactéries qui dégradent ou retiennent les indésirables.

Karine Borne, aujourd'hui chercheuse à IMT Atlantique, a testé cette solution à l'université d'Auckland en Nouvelle-Zélande, avec une plante appelée *Carex virgata*. « Par rapport à un bassin de contrôle sans plantes, nous avons observé une réduction supplémentaire de 40% des matières en suspension, et de bons résultats sur le cuivre et le zinc, indique-t-elle. Ces résultats sont totalement transposables en France, notamment en Bretagne où le climat est similaire. »



Placé au milieu d'un cours d'eau, le marais flottant capte les métaux lourds, en particulier le cuivre et le zinc

Cette réduction de la pollution, certes partielle, permet souvent de rester sous les valeurs limites européennes caractérisant un bon état de qualité de l'eau.

L'entretien de ce système est aisé. On peut couper les parties aériennes des plantes une fois par an pour qu'elles soient plus vigoureuses. Dans le bassin, les racines meurent, se détachent et sédimentent avec les polluants si bien qu'il faut le curer un peu plus fréquemment. Les sédiments sont analysés, et selon leur niveau de toxicité, valorisés ou mis en décharge selon la législation.

Outre la dépollution des eaux pluviales, cette technique peut être utilisée en traitement tertiaire dans des stations d'épuration d'industriels ou domestiques, après les traitements classiques. C'est important notamment en été, lorsque les rivières ont des débits faibles, et sont donc vulnérables à la moindre pollution. Les industriels doivent alors attendre l'automne pour rejeter ces eaux, ce qui les oblige à construire d'énormes lagunes de stockage. La solution par les plantes est bien plus facile à mettre en œuvre, avec très peu de génie civil.

Qu'il s'agisse des sols ou des eaux, les plantes sont donc de précieuses alliées pour lutter contre les pollutions. Reste à présent à passer à l'échelle industrielle. Dans le cas des sols, « nous sommes dans une période charnière entre la R&D et les premières applications commercialisées, présente Olivier Faure. L'ADEME encourage ces approches, avec de nombreux appels à projet, mais il reste quelques freins administratifs ou réglementaires. La validation appartient aux Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), qui sont pour l'instant frileuses mais devraient rapidement évoluer. »

Pour sa part, Karine Borne a démarré avec ses collègues du Département Systèmes Énergétiques et Environnement et en collaboration avec la société SVITEC, des recherches dans le cadre du projet ANR FloWAT. Le but est de tester la technique de dépollution des eaux en traitement tertiaire pour l'industrie agroalimentaire (abattoirs et volailles). Le chemin est donc encore long avant que ces techniques ne prennent une vraie ampleur industrielle à la mesure des enjeux.

10. PRÉSERVER L'AIR



La pollution de l'air

L'air est constitué principalement d'oxygène et d'azote. Ce mélange configurant l'atmosphère est un élément vital pour les êtres vivants. Il est constamment pollué : par des phénomènes naturels comme le pollen, les incendies ou les éruptions volcaniques mais aussi par l'activité humaine. La pollution issue de cette dernière peut être divisée en deux catégories :

- Les polluants primaires issus directement de l'activité comme les rejets des usines ou de la circulation routière. Ce sont des gaz comme les oxydes d'azote ou du dioxyde de soufre, des particules issues des hydrocarbures, des composés organiques volatiles (COV).
- Les polluants secondaires qui apparaissent via des réactions chimiques entre polluants. Il en résulte des gaz comme l'ozone ou le dioxyde d'azote.

Les conséquences de la pollution de l'air

Les masses d'air circulent à la surface du globe au gré des vents. Une pollution locale peut donc avoir des conséquences à des milliers de kilomètres de son point de départ. La catastrophe de la centrale nucléaire de Tchernobyl en 1986 a eu un impact sur la végétation sur le territoire français. La préservation de la qualité de l'air doit donc amener à une concertation internationale. C'est notamment le cas pour la préservation de la couche d'ozone. Cette partie de la stratosphère absorbe une partie des ultraviolets produits par les rayonnements solaires. Certains gaz, notamment les CFC (chlorofluorocarbone) présents dans les bombes aérosols et certains équipements électroménagers, détruisent cette couche d'ozone.

L'air pollué entraîne aussi des désordres sur les différents écosystèmes. Il va par exemple perturber la photosynthèse des plantes et donc diminuer l'efficacité de ce phénomène purificateur d'air. Autre exemple, la présence d'oxyde d'azote ou de dioxyde de soufre dans l'air va provoquer des pluies acides : ces composants transportés par la pluie, la neige ou le brouillard se transforment en acide en retombant sur le sol. Cette acidité va alors perturber durablement la biodiversité.

Enfin, la pollution de l'air a un impact sur la santé humaine. Il faut distinguer les expositions de courte durée, de quelques heures à plusieurs jours, suite à un événement ponctuel et les expositions chroniques. Les premières donnent lieu à des symptômes tels que l'irritation des voies respiratoires, des crises d'asthmes ou des troubles cardiovasculaires. Les expositions à long terme sont quant à elles, selon l'OMS, le principal risque environnemental pour la santé humaine.

Les réglementations en vigueur

La qualité de l'air est donc un enjeu majeur. Une réglementation internationale est mise en place afin d'harmoniser les efforts des différents états. Ainsi, au niveau européen, le protocole de Göteborg, adopté en 1999 par 26 pays membres de l'Union européenne, a fixé des plafonds d'émission de quatre gaz polluants (dioxyde de soufre, oxyde d'azote, COV et ammoniac). Ce protocole, révisé en 2012, a contraint les états signataires à mettre en place un système d'inventaire national d'émissions de polluants atmosphériques et à élaborer un plan d'actions de réduction de ces gaz.

De plus, différentes directives européennes obligent les états membres à différentes actions. Elles sont énumérées sur le site ecologie.gouv.fr :

- surveiller la qualité de l'air ;
- informer les populations sur la qualité de l'air ;
- respecter les normes sanitaires fixées ;
- mettre en œuvre des plans d'actions dans les zones pour lesquelles des dépassements des normes sanitaires sont observés afin qu'elles soient respectées dans les délais les plus courts.

POUR ALLER PLUS LOIN | 🔍

- www.ecologie.gouv.fr
le site du gouvernement présente les politiques publiques visant à réduire la pollution de l'air
- www.airparif.asso.fr
le site d'Airparif, organisme français agréé pour la surveillance de la qualité de l'air en région Ile-de-France

11. PRÉSERVER LA BIODIVERSITÉ

Définition de la biodiversité

La biodiversité désigne l'ensemble des formes de vies terrestres. Le terme biodiversité apparaît dans les années 80 et est utilisé depuis dans de nombreuses communications relatives à la préservation de la diversité du monde vivant. Différents systèmes d'organisation forment la biodiversité : les espèces vivantes, la diversité génétique et les écosystèmes. Plus complexe qu'une simple énumération, elle représente aussi les différentes interactions entre ces systèmes. L'altération d'un de ses éléments entraîne donc l'altération du système auquel il appartient. Par exemple, la disparition d'un insecte va mettre en péril ses prédateurs. La dégradation d'un écosystème entraînera la mise en danger des plantes et animaux qu'il héberge.

Pourquoi préserver la biodiversité ?

La biodiversité est en retrait dans le monde. Les phénomènes de déforestation ou d'extinctions d'espèces animales en sont les signes les plus médiatisés. Mais c'est l'ensemble de la biodiversité qui est menacé. A titre d'exemple, on peut citer les récifs coralliens dont plus d'un tiers sont en cours de disparition ou les espèces végétales dont plus d'un million de variétés sont susceptibles de disparaître dans les prochaines décennies.

L'IPBES (Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques, organisation dépendant des Nations Unies) a identifié différentes causes concernant l'érosion de la biodiversité :

- le changement d'usage des terres et de la mer ;
- l'exploitation directe de certains organismes (surpêche, déforestation...);
- le changement climatique ;
- la pollution des eaux, des sols et de l'air ;
- la propagation d'espèces exotiques envahissantes.

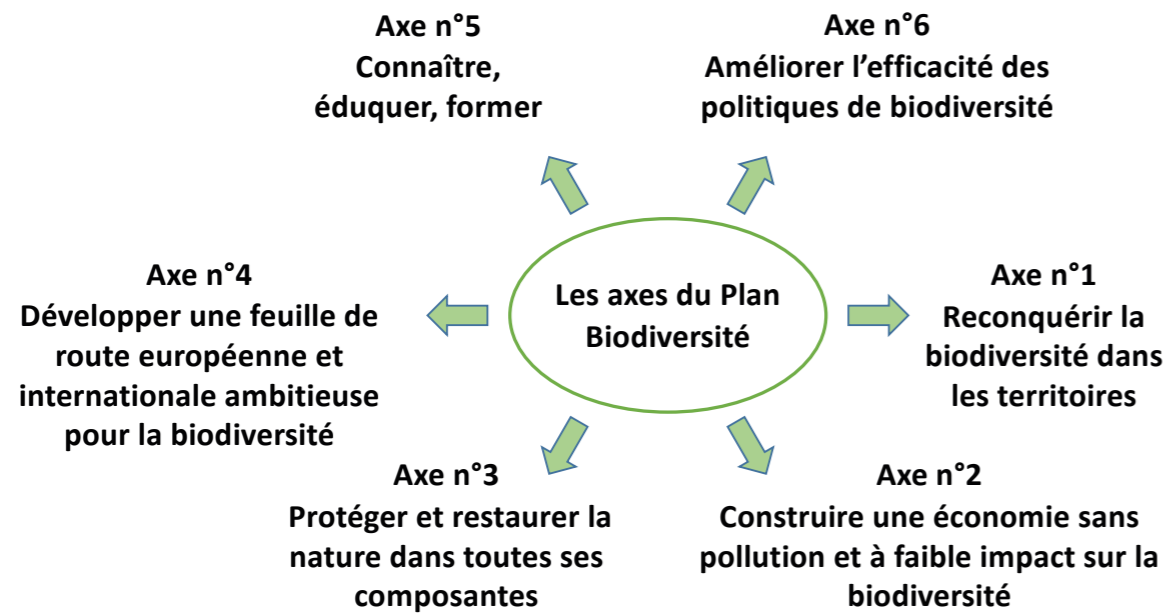
Préserver la biodiversité est capital pour notre survie. Son rôle dans le fonctionnement de la planète est central. Pour l'être humain, elle est une ressource essentielle à notre existence. Elle nous fournit bien sûr les éléments à notre alimentation (viandes, végétaux, produits de la mer, eau) mais aussi à de nombreux autres aspects de nos vies comme le bois pour la construction ou le chauffage. Ce système perdure depuis des millénaires et sa fragilité doit aussi être respectée. L'exemple de la protection des abeilles est emblématique : en tant qu'insecte pollinisateur, leur présence est nécessaire à la culture. C'est aussi une machine à oxygène. L'oxygène que nous respirons est produite par les végétaux tout en fixant le CO₂. Le monde du vivant est source de bien d'autres richesses qui doivent être préservées.



Source : biodiversité.gouv.fr



Un plan biodiversité a été mis en place en juillet 2018 afin de définir les actions pour la préserver. Ce plan est structuré en 6 axes, 24 objectifs et 90 actions.



Le rôle des entreprises dans la protection de la biodiversité

En France, le législateur a promulgué une loi pour « reconquête de la biodiversité, de la nature et des paysages ». L'objectif de cette loi est de préserver l'intégralité de la biodiversité sur l'ensemble des territoires. La loi Biodiversité de 2016 insiste sur les trois points suivants : éviter, réduire, compenser. Les entreprises doivent donc observer ces règles dans leurs différents projets et dans leur fonctionnement au quotidien.

Selon le programme des Nations Unies sur l'environnement, 40% de l'activité des entreprises mondiales est directement impacté par la biodiversité : approvisionnement en eau potable, utilisation de matières premières végétales, activités diverses liées à la nature... La dégradation de ces systèmes, comme par exemple une sécheresse accrue, mettrait en danger leur activité ou à minima leur rentabilité. Outre les obligations réglementaires liées au respect de l'environnement, les entreprises peuvent s'engager dans la préservation de la biodiversité dans le cadre de leur politique RSE.

POUR ALLER PLUS LOIN |



- www.ipbes.net
Site de l'IPBES : la plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques publie régulièrement des études et analyses
- biodiversite.gouv.fr
Site pour découvrir la biodiversité et comprendre ses enjeux



6

DE NOUVELLES ÉNERGIES