



Minerai #17

NOVEMBRE 2024 - LES DÉCHETS



Les déchets

UNE MATIÈRE DIVERSE, QUI APPELLE À L'INNOVATION

Page 16

UN ENJEU DE RESPONSABILITÉ

Page 40

LE BTP, PREMIER GÉNÉRATEUR DE DÉCHETS

Page 56

GESTION DES DÉCHETS TECHNOLOGIQUES

Page 75

DU DÉCHET À LA RESSOURCE

Page 90

Les déchets



Actualités du réseau

06 Actualité des Associations

12 Actualité des Écoles

Une matière diverse, qui appelle à l'innovation

16 L'état des déchets dans le monde à travers les yeux d'un ingénieur 'AventurEntrepreneur'

20 Quand le service public innove pour valoriser le moindre gramme de nos déchets

28 La valorisation de la matière organique des ordures ménagères en France

33 Révolutionner la gestion des déchets : L'Alliance de la Robotique et de la Vision Industrielle

Un enjeu de responsabilité

40 La Responsabilité élargie du producteur : un outil essentiel mais à perfectionner pour la transition écologique

46 L'écoconception Une mine d'opportunités contre des mines à risques

50 Lumière sur le paradoxe de la durabilité des industries extractives

Le BTP, premier générateur de déchets

56 Considérer les déchets du bâtiment comme des ressources

58 La gestion des déchets du bâtiment : un enjeu majeur pour l'avenir de notre secteur

62 Chaire ECOSED Traitement et valorisation des matières minérales : étude de cas des sédiments et terres excavéesChain

66 OARD : Démolition, reconstruction vs. Réhabilitation

Mines+ (IMT Nord Europe Alumni, Mines Alès Alumni, Mines Albi Alumni) - Rédaction Mathieu CHARBONNIER (IMT Nord Europe, 2010) · **Maquette, illustration & mise en page** Option Création . 0 954 600 600 . contact@optioncreation.fr · **PUBLICITÉ** SEFE (Société d'Édition de Formation Européenne) . 117 rue de Charenton 75012 PARIS . 01 80 91 48 13 . sefe@sefe.fr . www.sefe.fr · **IMPRESSION** PRINTCORP . 37 avenue des Châtelets . ZI des Châtelets 22440 PLOUFRAGAN . 02 96 60 97 00 · **ISSN** 2275-0568 · **PARUTION** 1750 exemplaires

Sauf mention contraire, les illustrations sont créditées à l'auteur de l'article.
Crédit photo couverture : © Shutterstock



La gestion des déchets technologiques

- 75** Le recyclage des batteries électriques
- 80** Gérer les déchets électroniques (DEEE) - un problème global
- 82** Les solutions de stockage pour les déchets radioactifs en France
- 86** Qu'advient-il des nanoparticules quand elles deviennent déchets

Du déchet à la ressource

- 90** La valorisation des rejets miniers, une opportunité pour l'économie circulaire
- 92** Déchets plastiques
Transformer le problème en énergétique
- 94** Comment la biologie de synthèse pourrait aider à dégrader les déchets plastiques

Approfondissez votre connaissance du sujet !

Le webinaire qui vous permettra d'en savoir plus aura lieu mi-décembre.

Nos associations s'engagent !

Pour réduire les déchets et l'impact environnemental, nos 3 associations ont décidé de réduire progressivement le tirage papier de l'annuaire. De plus, les exemplaires imprimés sont désormais édités en France.



Edito

Déchet

Le terme apparaît dans la langue française sous la forme *déchié* au XIII^e siècle, puis se retrouve sous la forme *déchiet* au XIV^e siècle. Il englobe ce qui reste inutilisé d'un objet transformé, travaillé, usiné. La définition renvoie donc à ce que l'on jette (*déchoir*), ce dont on ne sait que faire. En anglais, le terme *waste* est de même issu de la racine *gast* (*gâter*).

Une définition moderne désignerait ce qui n'a aucune valeur et entraîne généralement des coûts d'élimination, tant ce qui est produit ou utilisé une première fois peut générer de nouvelles ressources, ou co-produits.

La gestion de ce qui reste de notre activité (domestique, industrielle, de construction, ...) pose des questions sanitaires et spatiales. En 2021, l'Europe a exporté 33 millions de tonnes de déchets (sur plus de 2 milliards générées), dont près de la moitié à destination de la Turquie. En 20 ans, la quantité exportée a augmenté de près de 70 % ! La charge de la gestion de cette pollution revient en effet à celui qui la cause, d'après le principe du « pollueur-payeur », adopté par l'OCDE en 1972.

Nonobstant les questions de géopolitique, la gestion des déchets revêt des enjeux environnementaux évidents. De par leur nature, voire leur toxicité, leur mode de dégradation, leur persistance, et plus globalement leur capacité à être absorbée et transformée par un écosystème naturel.

Nous commencerons par faire un tour d'horizon (mondial) du contenu de nos poubelles, de la réglementation et des solutions techniques. Puis nous questionnerons la responsabilité qu'appelle la génération et la gestion de déchets, en introduisant la notion d'éco-conception.

Nous nous pencherons ensuite sur deux filières emblématiques : les déchets du BTP (première source, et de loin) et les nouveaux générateurs de pollution technologique.

Nous terminerons ce numéro en soulevant la question du réemploi des déchets.

N'en jetez plus !

Mathieu CHARBONNIER

IMT Nord Europe, promo 2010



ENERPARC, spécialiste et leader européen de la production photovoltaïque

- Développeur de projets de centrales au sol
- Ingénierie et Etudes de faisabilité
- Constructeur et Assistant à Maîtrise d'Ouvrage : > 4.5 GWc installés dans le monde
- Investisseur et Producteur d'énergie solaire : > 3.5 GWc d'actifs en Europe
- Prestataire O&M (Exploitation & Maintenance)
- Agrégateur



**L'art de rapprocher les Hommes
et d'aménager les territoires**

Groupe indépendant depuis 160 ans, DEMATHIEU BARD est un acteur majeur de la Construction et de l'Immobilier, pleinement engagé en France et à l'international dans la transformation durable des territoires.



Actualité des associations

IMT MINES ALBI

Ingénieurs, mais pas que

L'association Mines Albi Alumni a récemment publié un magazine qui s'intitule *Ingénieurs, mais pas que*.

Il contient des interviews et témoignages d'Alumni Mines Albi ayant choisi de se réorienter après leur diplôme. Ils/elles relatent ainsi les différentes difficultés liées à ce changement et comment leurs études à IMT Mines Albi les ont aidés dans leur parcours.

Vous trouverez également dans le magazine une interview d'un coach professionnel ainsi que d'une conseillère pôle emploi qui expliquent comment ils accompagnent les personnes souhaitant changer d'orientation.



Le magazine sera envoyé à toutes les personnes cotisantes, et accessible sur notre site.

Un grand merci à toutes les personnes ayant participé à la rédaction de ce magazine !

IMT MINES ALBI

Coaching professionnel

Mines Albi Alumni propose à ses membres un accompagnement personnalisé pour gagner en confiance, développer son leadership, trouver un équilibre vie pro-perso, débloquer des situations relationnelles ou professionnelles

Anne-Laure Davidian, diplômée 1999, est coach professionnel. Elle a accepté de proposer ses services aux alumni d'IMT Mines Albi, pour les **mettre en mouvement vers la réalisation de leurs désirs**.

Formule unique et négociée spécialement pour les Alumni cotisants : **séance de 45 min de coaching sur mesure, à distance, offerte et sans engagement**.

N'hésitez plus, contactez directement Anne-Laure sur LinkedIn

IMT MINES ALÈS

Un nouveau Bureau pour Mines Alès Alumni !

Le samedi 22 juin, lors du Conseil d'Administration, le nouveau bureau de Mines Alès Alumni a été élu. Ce nouveau Bureau, qui incarne une forme de continuité tout en apportant un souffle nouveau, est composé des membres suivants :

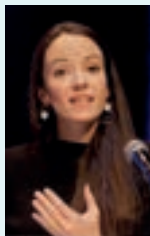
Président : Victor Petit - 2010

Trésorière : Elisabeth PINQUIER - 2004

Trésorier adjoint : Guy SABATIER - 1988

Secrétaire : Jean Louis MEYER - 1973

Secrétaire adjoint : Yanick GINEL - 1983



Elisabeth PINQUIER (2004) TROIS ANS À LA PRÉSIDENTIE DE MINES ALÈS ALUMNI

En juin 2021, Elisabeth PINQUIER (2004) était élue à la présidence de Mines Alès Alumni. Trois ans plus tard, elle quitte ce poste pour devenir la trésorière de l'association, laissant ainsi la place à son ancien vice-président Victor PETIT (2010).

Nous avons interrogé Elisabeth sur ces trois années passées à la tête de l'association.

Qu'est-ce qui vous avait motivé en intégrant le Conseil d'Administration de Mines Alès Alumni en 2021 ?

L'Association sortait d'années particulièrement difficiles. Nous étions 3 anciennes de notre promo ensemble, ce qui était très sympa, et il y avait beaucoup à reconstruire.

Quelle était votre vision de l'association à ce moment-là ?

Une institution fragile : un potentiel certain, mais qui souffrait d'un manque de structure et de transparence.

Quels sont vos ressentis par rapport à vos 3 années passées à la Présidence de Mines Alès Alumni ?

Cette expérience m'a énormément apporté et j'espère avoir pu contribuer un peu à l'objectif commun de faire avancer notre association.

La richesse et la variété des échanges est un privilège de cette fonction.

C'est aussi un devoir qui demande une disponibilité importante et c'est aussi avec ce sens de responsabilité que j'ai souhaité arrêter ce poste, ma vie professionnelle ne me permettant actuellement pas d'allouer le temps nécessaire à répondre aux différentes sollicitations et besoins.

Quelle action menée au cours de votre mandat vous satisfait le plus ?

La clarification des comptes. L'association a besoin d'orientation stratégique et d'investissements nécessaires à la pérennité de la Maison des Élèves. Et sans comptes clairs, il est dangereux de lancer l'association dans une quelconque projection.

Nous avons enfin une vision claire de nos dépenses, charges et opportunités, c'est ce qui nous permettra d'avancer de manière sûre et structurée.

Comment envisagez-vous l'avenir de l'association en tant qu'administratrice de Mines Alès Alumni ?

En tant que Trésorière déjà pour cette année ! Je poursuivrais dans le même sens de ce que j'ai pu faire, cette fois-ci dans un rôle différent. J'ai encore deux ans de mandat en tant qu'administratrice.

Je suis ravie de l'élection de Victor PETIT (FI 158 · 2010) à la Présidence et, avec mon implication dans la clarification des comptes, ce nouveau rôle pour moi est assez cohérent, et j'espère pouvoir le servir efficacement en collaboration avec l'équipe permanente et au service de notre CA et notre Président.

Y'a-t-il des choses que vous auriez voulu faire et pour lesquelles vous n'avez pas eu le temps ?

Sûrement, car il y a tellement de sujets à aborder : tout ce sur quoi que nous allons travailler dans notre nouvelle commission évolution de la Maison des Élèves notamment, qui a de nombreux axes (subvention, stratégie de transformation, futur) mais qui, sans comptabilité claire n'avait que trop peu de visibilité.

Avez-vous des regrets ?

J'ai essayé de donner le plus de temps possible, mais la tâche est immense, notamment sans direction à certains moments, ce qui rend parfois les décisions plus lentes à arriver que ce que j'aurais parfois pu espérer. Mais je ne finirai pas sur du négatif, car je vois notre Association avancer positivement, donc poursuivons en ce sens.

Quelle est votre vision de l'association aujourd'hui ?

Une structure qui se connaît mieux, qui travaille de manière constructive, ensemble. En toute connaissance de ses fragilités, il nous faut rester ambitieux et positifs.



Victor PETIT (2010) NOUVEAU PRÉSIDENT DE MINES ALÈS ALUMNI

Après avoir été vice-président de l'association durant trois ans, Victor PETIT (FI158 - 2010) est aujourd'hui devenu président de celle-ci. Nous l'avons interrogé sur cette nouvelle fonction.

Vous êtes, et avez été administrateur de Mines Alès Alumni durant plusieurs années, quelles sont les raisons pour lesquelles vous aviez souhaité intégrer le Conseil d'Administration de l'association ?

Pendant ma scolarité à l'Ecole, j'ai fait partie de plusieurs associations comme la grande majorité des étudiants. J'avais également à cœur de réfléchir et travailler à l'identité d'Emayen (c'était le terme consacré à l'époque). J'ai notamment contribué à la rédaction d'une charte éthique par et pour les élèves sous l'égide de la direction de l'école. C'est donc tout naturellement que j'ai commencé à échanger avec des anciens élèves qui étaient également impliqués.

La personne qui a contribué à tout changer c'est Sylvie LANTHEAUME (SP 9 - 1988), qui était membre du conseil d'administration à l'époque où j'étais étudiant. Elle a fait deux choses essentielles : Elle m'a expliqué le fonctionnement et le rôle du conseil d'administration de notre association et elle m'a accompagné dans mes premières années professionnelles. Ses conseils et son support dans les deux domaines ont été cruciaux. Donc en synthèse, je me suis impliqué dans le conseil d'administration étant convaincu de l'importance du réseau des Alumni, tant du point de vue des étudiants que des diplômés.

Aujourd'hui, qu'est-ce qui vous a motivé à devenir le Président de Mines Alès Alumni ?

Après plusieurs années en tant que Vice-Président à collaborer avec le Conseil d'Administration, le Bureau et les membres permanents de l'association, j'avais à cœur de continuer le chemin tracé jusqu'à présent. Je me retrouve totalement dans les valeurs que nous portons depuis plusieurs années, Transparence, Rigueur et Ecoute.

C'est donc tout naturellement que je me suis proposé au poste de Président, afin de continuer dans cette direction.

Comment envisagez-vous ce nouveau rôle ?

C'est tout d'abord un immense honneur de présider notre association.

Notre structure est plus que centenaire, elle a traversé des moments difficiles, elle a contribué à forger les personnes que nous sommes, elle doit être fédératrice des aspirations les plus larges et doit rassembler. Les moments difficiles ont permis de remettre à plat la gouvernance de notre association, je tiens à ce que les échanges restent nombreux et productifs. Je crois infiniment dans le dialogue et donc à ce titre, je ferai tout mon possible pour être disponible, à l'écoute de tous ceux qui voudrait bien m'interpeller et disponible pour échanger des points de vue dans le respect et l'écoute.

Selon vous, quels seront les prochains défis de l'association ?

Deux défis majeurs à mon sens, l'adaptation de notre offre de logement au contexte qui évolue rapidement et la création d'événements qui permettent à tous les Alumni de se retrouver autour d'un thème ou un sujet qui nous permet de nous rassembler.

Pour le premier défi, le conseil d'administration a validé la création de la commission Evolution de la Maison des Elèves qui doit prévoir les modifications nécessaires à l'attractivité de notre parc immobilier. La Maison des Elèves est une chance extraordinaire pour notre communauté, elle propose des infrastructures uniques et permet la construction d'une identité qui va profondément nous changer. Je suis convaincu que profiter de l'expérience commune de la Maison des Elèves est un élément constitutif de notre identité. Elle permet de se confronter aux réalités de la vie en communauté. Ces réalités ne sont pas toujours facile à intégrer, mais encore une fois, la Transparence, la Rigueur et l'Ecoute, de chacun, pourront permettre que chacun grandisse au travers de cette expérience.

Concernant la vie du réseau, nous devons absolument augmenter notre offre de moments d'échange. Notre réseau a énormément à offrir, nous sous-exploitions de façon critique les capacités de notre réseau. En tant d'étudiant, il y a un gisement de conseil et d'échange qui seront utiles, en tant que membres diplômés, il y des opportunités d'échange, d'évolution, d'aventure humaine qui sont incroyables.

Enfin, quelle est votre vision de Mines Alès Alumni dans les années à venir ?

Nous avons de grands défis à relever et j'aimerais que nos actions et notre communication puisse donner au plus grand nombre l'envie de nous rejoindre, l'envie de cotiser, l'envie d'apporter un peu de son temps et de ses idées pour faire avancer la cause commune. Nous avons tous partagé une expérience commune qui est celle d'être passé sur les bancs de notre Alma Mater.

Nous devons en profiter pour construire des choses en commun. Mais je n'oublie pas non plus la nécessaire coordination avec les différents groupes dans lesquels nous faisons partis, nous travaillons activement à disposer d'une interaction efficace avec Mines+ ainsi qu'avec le réseau de l'Institut Mines Telecom. Je ferai tout mon possible, pour créer un environnement propice à la prise d'initiative, afin de renforcer les liens qui nous unissent et qui doivent constituer la colonne vertébrale de notre réseau.

IMT MINES ALÈS

Promotions en 5 ! Un rendez-vous à ne pas manquer

Il est temps pour les diplômés des promotions en 5 de se préparer à leur tour !

Que vous ayez obtenu votre diplôme en **1955, 1965, 1975, 1985, 1995, 2005** ou **2015**, nous vous donnons rendez-vous à **Alès du 16 au 18 mai 2025** pour célébrer votre **anniversaire de promotion**.

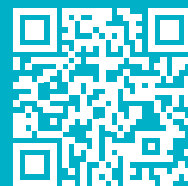
Laissez-vous porter par l'esprit de retrouvailles et préparez-vous à revivre les moments inoubliables de vos années à IMT Mines Alès. Au programme, des moments de convivialité, des retrouvailles entre générations et des soirées entre camarades de promo, pour un week-end placé sous le signe de l'amitié et du partage.

Ne tardez pas à vous **pré-inscrire** dès maintenant et à **recontacter vos anciens camarades** afin de vous assurer de leur présence pour cet événement exceptionnel !

Rejoignez la communauté WhatsApp IMT Nord Europe

**Déjà 322 membres
et 4 groupes de promotion,
notre communauté
WhatsApp démarre fort !**

Pour la rejoindre :



<https://tinyurl.com/WhatsApp-IMTNEA>

Actualité des associations

IMT MINES ALBI

Nouveau groupe professionnel : Energies renouvelables



Un nouveau groupe professionnel vient de se former au sein de Mines+ : **Le groupe énergies renouvelables.**

Les objectifs du groupe sont :

- Constituer et animer un réseau d'anciens qui travaillent dans les métiers en lien avec les énergies renouvelables
- Faire connaître les métiers des énergies renouvelables aux écoles du réseau Mines+,
- Faire connaître les écoles du réseau Mines+ aux professionnels des énergies renouvelables

Rejoignez le groupe sur le site internet Mines+ !

IMT NORD EUROPE

Les Echos de Monôme maintenant sur Youtube !

Le projet d'enregistrer les chansons traditionnelles de la mine, lancé lors de la Sainte Barbe en décembre 2010, a réuni une chorale composée d'alumni et d'élèves en avril 2011 pour enregistrer ces chants emblématiques, qui incarnent l'esprit de camaraderie et de tradition de l'école.

Ces chants, véritable symboles de la vie étudiante à l'IMT Nord Europe, sont désormais accessibles sur la chaîne YouTube IMT Nord Europe Alumni !

Les six chansons disponibles plongent dans l'histoire et les traditions de l'école. Nous remercions chaleureusement Laure DUMONTIER, Edouard LEFEBVRE et toutes les personnes impliquées pour leur travail acharné et leur passion.

Si vous préférez la version CD, n'hésitez pas à contacter le secrétariat de l'association.opealumni.



Retrouvez les ECHOS DE MONÔME sur Youtube



IMT NORD EUROPE



Retour sur la Croisière sur le Rhin

Comme dans le Cid de Corneille nous partîmes 29 Alumni et épouses réunies et revînens 29 Alumni et épouses réunies tous animés de la même ferveur avec une forte envie de se retrouver tous ensemble pour passer d'excellents moments car pour certains sortis voilà plus de 40 ans, et pour d'autres sortis voilà plus de 50 ans. Aussi l'ambiance fut exceptionnelle, amicale et conviviale comme le sont les gens du Nord (et un Alésien).

Tout d'abord nous avons commencé par embarquer sur l'un des bateaux mouches que nous avons réservés afin de visiter Strasbourg de l'intérieur en naviguant sur l'Ill. Ce fut pour certains d'entre nous un moment riche de découverte car la Ville de Strasbourg recèle un passé exceptionnellement riche d'autant plus que c'est une ville pleine de charme et de beauté.

Après cette interlude ce fut l'embarquement pour une croisière de 6 jours sur le Rhin Romantique entre l'Alsace et l'Allemagne à travers une incroyable diversité de paysages, de cultures, d'histoires et de traditions et le tout dans une ambiance à la fois rhénane, conviviale et amicale comme le sont les gens du Nord. Le 2^{ème} jour, nous nous avons fait une halte à Rudesheim afin de visiter à bord d'un petit train les nombreuses vignes qui s'étendent à perte de vue et qui viennent mourir au pied du Rhin.

C'est à ce moment là que nous sommes passés des vignes à la dégustation en savourant d'excellents vins rhénans et mosellans puis de la culture du palais ; nous nous sommes tout droit dirigés vers une toute autre culture qui est celle de la musique en visitant l'extraordinaire musée de la musique mécanique dont le guide fut exemplaire de par sa connaissance profonde des mécanismes et de plus se fondant, de par sa tenue, dans ce musée d'époque. Le jour 3 ce fut la ville de Coblenz et ses nombreux édifices historiques dont sa forteresse de Ehrenbreitstein. Puis le jour 4, après Coblenz, ce fut la vieille ville de Mayence et ses nombreuses ruelles dont l'une d'entre elles nous amena vers la cathédrale millénaire, dont la construction débuta en 975 puis nous nous dirigeâmes gentiment vers la place Gutenberg et son musée mais malheureusement le musée était fermé pour cause de réaménagement. (Dommage car c'était l'un des points clés de notre escapade à Mayence). Puis le jour 5 nous quittâmes Mayence pour Rastatt avec visite de la ville thermale de Baden - Baden située au pied de la Forêt Noire. A noter qu'au XIX^{ème} siècle, la ville était le rendez-vous mondain des fortunes d'Europe. En effet, toutes les cours d'Europe et de Russie y ont séjourné, attirées par ce que la ville recèle de plus précieux et si conforme à l'idéal romantique que l'on peut se faire de la ville puis retour

sur Strasbourg. Le 6^{ème} jour marquait déjà la fin du voyage...

Cette croisière s'est déroulée dans une excellente ambiance aux thèmes variés et dans le confort des cabines qui se voulaient spacieuses, agréables et fonctionnelles et de plus donnant une vision panoramique sur le Rhin. Nous avons également bénéficié tout au long de cette croisière d'un personnel efficace, aimable, attentif, souriant et d'un service de standing dont les menus se voulaient excellents, variés, délicieux et de très bonnes prestations sans oublier la soirée Gala qui fut pour chacun de nous, un événement inoubliable. Et que dire de chacune de ces soirées dont les thèmes furent variés et riches de rebondissements selon l'endroit où nous nous trouvions. Accompagnées, selon les cas, par d'excellents musiciens et toujours par un excellent animateur qui savait nous entraîner sur la piste de danse pour s'éclater entre Alumni jusque tard dans la soirée.

Le ressenti fut pour chacun d'entre nous, un moment de bonheur, de convivialité, d'échange, de sourire, de partage, de sympathie avec toujours une joie indescriptible de se retrouver tous ensemble après toutes ces années dont plus de 40 ans pour certains d'entre nous voire beaucoup plus pour d'autres.

Nous avons hâte de connaître la date du prochain voyage !





**Le pôle ferroviaire fait partie de la Branche
EIFFAGE ENERGIE SYSTEMES**



**Notre cœur de métier :
La Signalisation Ferroviaire**

Nos métiers et savoir-faire : ■ Études ■ Contrôles, Vérifications Techniques, Essais
■ Travaux ■ Maintenance



DEFINISSONS ENSEMBLE LES TRAVAUX EN HAUTEUR DE DEMAIN



RESEAU-JADE.COM

0 805 660 250 Service & appel gratuits



BÂTIMENT

PATRIMOINE

MAINTENANCE

PÉTROCHIMIE

NUCLÉAIRE

ÉOLIEN

Actualité des écoles

IMT MINES ALBI

Palmarès **Speak & Act 2024 :** IMT Mines Albi, une école où il fait bon étudier !

Speak & Act, première plateforme de marque employeur et école, labellise les entreprises et écoles offrant la meilleure expérience collaborateur, stagiaire/alternant, candidat et étudiante afin d'orienter les étudiants et candidats vers la bonne école ou la bonne entreprise. IMT Mines Albi obtient le label *Best School Experience - Happiness Barometer 2024* de *Speak & Act* en collaboration avec *JobTeaser* et figure à la 11^e position des écoles d'ingénieurs préférées des étudiants.

INSTITUT MINES-TÉLÉCOM

Cécile DUBARRY Nouvelle directrice générale de l'Institut Mines-Télécom



Nommée par décret du 9 juillet du Président de la République, Cécile DUBARRY, ancienne Directrice générale de l'Arcep, est devenue Directrice générale de l'Institut Mines-Télécom pour une durée de cinq ans.

« C'est avec une immense fierté que je prends la tête de l'Institut Mines-Télécom qui compte des écoles séculaires et plus jeunes, toutes animées par la même volonté d'excellence pour répondre aux besoins de l'économie française. Avec les équipes de l'Institut Mines-Télécom, nous allons écrire un nouveau chapitre pour continuer à renforcer notre engagement autour des transitions écologique, industrielle et numérique et à favoriser l'excellence académique. »

IMT MINES ALÈS

Claire LECOCQ Nouvelle directrice des formations d'IMT Mines Alès

IMT Mines Alès a le plaisir d'annoncer la nomination de Claire LECOCQ au poste de Directrice des Formations. Forte d'une expérience significative dans le domaine de l'enseignement supérieur et de la formation, Claire LECOCQ a pris ses nouvelles fonctions le 26 août dernier.

Avec un parcours exemplaire, Claire LECOCQ apporte une expertise reconnue dans le développement de programmes pédagogiques innovants et dans la gestion des équipes académiques. Avant de rejoindre IMT Mines Alès, elle a occupé plusieurs postes à responsabilité dans des institutions prestigieuses, où elle a contribué à la mise en œuvre de stratégies éducatives ambitieuses et à l'accompagnement des étudiants vers la réussite.

En tant que Directrice des Formations, Claire LECOCQ aura pour mission de piloter l'ensemble des programmes de formation de l'école, d'encourager l'innovation pédagogique et de renforcer les liens entre l'industrie et l'enseignement. Elle s'engage également à maintenir un haut niveau d'excellence académique et à développer de nouvelles opportunités pour les étudiants, dans un contexte où les compétences

technologiques et managériales sont en constante évolution.

« Je suis honorée de rejoindre IMT Mines Alès qui place l'expérience étudiant, la créativité et l'innovation au cœur de son projet déclare Claire. Je suis impatiente de contribuer au rayonnement de cette institution, de travailler avec les équipes pédagogiques pour toujours offrir à nos étudiants les meilleures conditions pour réussir dans leurs parcours académiques et professionnels et pour leur développement personnel. »

Pour Assia TRIA, directrice d'IMT Mines Alès « la nomination de Claire LECOCQ au poste de Directrice des formations à IMT Mines Alès marque une étape significative dans notre engagement pour une plus grande diversité et inclusion. C'est la première fois qu'une femme est nommée à ce poste, en plus de 180 ans d'histoire. Les femmes ont un rôle important à jouer, pour façonner un avenir plus équitable et innovant. Claire incarne cette ambition avec force et conviction et nous sommes fiers de la voir prendre les rênes de nos formations ».

Claire LECOCQ succède à Rémy ROGACKI, directeur des formations par apprentissage et Michel FERLUT, directeur des études.

IMT MINES ALÈS

Gregory ZACHAREWICZ Adjoint au directeur de la recherche d'IMT Mines Alès est élu président de la Society for Modeling and Simulation International (SCS)

Fondée en 1952, la SCS est reconnue comme la plus ancienne société savante dédiée à la modélisation et à la simulation dans le monde.

Cette prestigieuse nomination représente pour IMT Mines Alès une nouvelle opportunité de contribuer à l'avancement du domaine du génie industriel, de la simulation et de collaborer avec des experts du monde entier.

La SCS joue un rôle crucial dans la promotion de l'innovation, de l'éducation et de la recherche en modélisation et simulation, des domaines essentiels

pour relever les défis complexes de notre époque. « Je suis enthousiaste à l'idée de travailler pour faire rayonner l'enseignement et la recherche d'IMT Mines Alès dans le cadre des activités de la SCS » a déclaré Grégory.

Assia TRIA, directrice de l'école s'est réjouie de « cette très belle reconnaissance qui va contribuer au rayonnement de notre école ». Une déclaration à laquelle Stéphane LECOEUCE, directeur de la recherche fait écho : « cette élection prestigieuse assure une très belle visibilité de notre école sur ce thème ! ».

IMT MINES ALÈS

Rentrée climat à IMT Mines Alès

Mobilisation exemplaire des élèves avec des ateliers de sensibilisation et une *clean walk*

Dans le cadre de son engagement en faveur du développement durable et de la transition écologique, IMT Mines Alès a organisé pour la 5^e année consécutive une "Rentrée Climat" en septembre. Cet événement majeur a rassemblé plus de 400 personnes, élèves ingénieurs et encadrants, pour participer à deux actions phares : des ateliers de sensibilisation et une *Clean Walk* le long des rives du Gardon à Alès en partenariat avec Alès Agglomération.

Les ateliers de sensibilisation visaient à sensibiliser les futurs ingénieurs aux défis environnementaux globaux et locaux.

- **La Fresque du Climat** permet de comprendre les causes et les impacts du changement climatique à travers un atelier collaboratif, basé sur les données scientifiques du GIEC.

- **La Fresque de l'Eau** aborde les enjeux liés à la gestion des ressources en eau, en mettant en lumière les problématiques de pollution, de rareté et d'utilisation durable de cette ressource essentielle.
- **L'atelier 2 Tonnes** invite les participants à se projeter dans l'avenir et à explorer comment réduire leur empreinte carbone à 2 tonnes par an, l'objectif nécessaire pour limiter le réchauffement climatique.

Ces ateliers ont permis aux élèves de prendre conscience des enjeux, tout en réfléchissant aux solutions concrètes à mettre en œuvre pour relever ces défis environnementaux.

En complément de ces ateliers, tous les participants ont pris part à une *Clean Walk* le long des berges du Gardon et des pistes cyclables. Cette marche écoresponsable visait d'une part à faire découvrir à nos élèves leur nouvelle ville d'adoption pour

les années à venir, mais aussi à nettoyer les espaces naturels tout en sensibilisant à l'importance de préserver la biodiversité et de lutter contre la pollution. 560 kg de déchets ont été retirés de l'environnement. Cet engagement concret symbolise la volonté de la nouvelle génération d'ingénieurs de s'investir activement dans la protection de notre environnement.

« IMT Mines Alès intègre ces actions dans le cadre de son projet pédagogique global, visant à former des ingénieurs conscients des défis environnementaux actuels et capables d'innover pour un avenir plus durable. Cet événement reflète l'ambition de l'école de préparer ses élèves à devenir des acteurs du changement dans la transition écologique » déclare Ingrid BAZIN, directrice de la Responsabilité environnementale et sociétale à IMT Mines Alès.

IMT MINES ALBI

Fondation Mines-Télécom Cérémonie des prix 2024

Félicitations à Léna CHARBONNIER et Jena CHAUVIN, diplômées IMT Mines Albi promotion 2023 et lauréates des Prix de la Fondation Mines-Télécom 2024 !



Léna CHARBONNIER obtient le 2^e prix pour son stage de fin d'études chez DURANCE GRANULATS sur l'industrialisation de la fabrication de terres agricoles aux qualités supérieures.



Jena CHAUVIN obtient également le 2^e Prix pour son apprentissage chez Bouygues Energies & Services dans l'industrie énergétique.

INSTITUT MINES-TÉLÉCOM

Retour sur le Dîner de la Fondation Mines-Télécom

Plus de 96 000 € ont été collectés lors de la 12^e édition du Dîner annuel de collecte de la Fondation Mines-Télécom en faveur des 8 écoles de l'Institut Mines-Télécom, qui a eu lieu le mercredi 9 octobre 2024 autour du spationaute Jean-François Clervoy.





VEDEOS

Propreté
& Services Associés



NOTRE ENGAGEMENT... ... VOTRE CONFORT

VEDEOS est un acteur majeur du nettoyage industriel. Son savoir faire, ses compétences techniques, sa politique sociale se traduisent au quotidien par des prestations de nettoyage répondants aux exigences de l'ensemble de ses clients. Exigence de qualité, de sécurité, de réactivité, d'innovation, de progression, de respect de la réglementation.

240 collaborateurs opérant sur toute l'Ile-de-France.

5 PÔLES D'ACTIVITÉS



CENTRE COMMERCIAUX

Assimiler les exigences de vos conditions d'accueil



INDUSTRIE

Comprendre les exigences liées à l'ensemble de vos activités



TERTIAIRE

Appréhender les exigences de votre lieu de travail



BATIMENT

S'adapter et incorporer les exigences des divers corps de métiers à nos méthodes de travail



PÔLE HABITATIONS

2 RUE GEORGES MÉLIÉS
PORTE C - RDC GAUCHE
78390 BOIS D'ARCY

01 30 08 21 00

F.I.E

30 années d'expérience

↳ **Isolation thermique par projection**

↳ **Protection incendie par projection**

↳ **Joints coupe-feu**

↳ **Isolation soufflée des combles :**
laine de verre, laine de roche, ouate de cellulose

↳ **Vides sanitaires flocage**

↳ **Cave sous sol et garage**



Nos Références

- Aéroport : Nice, Marignane, Roissy Charles de Gaulle, Toulouse
- Conservatoire d'Aix
- Atrium Auchan Ajaccio
- La prison de Luynes (13)
- Tribunal de grande instance de Bordeaux
- Village des marques Miramas

Moyens

- 40 compagnons compétents
- 20 véhicules d'intervention sur chantier



Certification QUALIBAT - RGE -
7121 - 7142



GESTION DES DOSSIERS CEE

Nos agences Avignon (84) Tél.06 16 05 28 84 - Beaucaire (30) Tél.04 66 59 64 63 - Montpellier (34) Tél.06 16 05 28 84

Nos Partenaires



EBS ISOLATION



antargaz

ISOVER



Les déchets

Une matière diverse, qui appelle à l'innovation

L'état des déchets dans le monde à travers les yeux d'un ingénieur 'AventurEntrepreneur'

Un départ atypique

Après avoir réalisé deux années intenses en classe préparatoire et trois années de formation passionnante en cycle ingénieur spécialisé en plasturgie et matériaux composites en alternance à l'IMT Nord Europe, c'est la pandémie de COVID-19 qui a profondément influencé ma trajectoire. Ce contexte inédit m'a poussé à sortir des sentiers battus et à entreprendre un voyage de découverte autour du monde après l'obtention de mon diplôme. Ce périple n'était pas seulement une quête d'aventure, mais aussi une occasion de nourrir et d'approfondir mes intérêts, notamment dans l'étude des services publics et plus particulièrement dans la gestion des déchets.

Imaginez une parenthèse, dans votre vie où le monde devient un observatoire et l'ingénierie sociale se découvre à l'état pur. Durant deux ans et demi, j'ai voyagé avec mes meilleurs amis, étudié, travaillé et essayé de vivre comme les hommes et femmes que j'ai rencontrés.

Durant cette période, j'ai vécu quatre mois en Colombie, un mois en Équateur, deux mois au Pérou, un mois au Sénégal, un mois en Thaïlande, un mois au Vietnam, un mois en Indonésie et enfin, un an en Irlande. J'ai abordé chaque jour comme une découverte et un apprentissage, avec un regard aussi intéressé qu'intrigué sur ce qui se faisait en matière d'économie circulaire et de gestion des déchets. C'est donc naturellement, et sans prétention, que je souhaite mettre en perspective les différences que j'ai observées face au reste du monde.

PARCOURS



Pierre-Louis FERRARA

IMT Nord Europe, promo 2021

Il est Chef de Projets en appels d'offres publics pour le pôle Grands Projets de Sêché Environnement.

Constat initial : La France n'est pas le monde

Mon analyse part d'un constat simple sur le plan de la gestion des déchets : la France n'est pas le monde (!). Cela peut sembler évident, mais nous n'avons pas le même rapport aux déchets que les autres pays

Fig. 1 Alvéole de plastiques triés en Colombie, région de Sucre, prêts à être revendus à un grossiste pour être recyclé.



en voie de développement. Bien que notre système reste encore trop linéaire, à extraire, produire, utiliser, puis jeter, c'est surtout notre consommation et la fin de vie de nos déchets qui va différer d'un pays à l'autre. En d'autres termes, ce qui va générer des déchets est intimement lié à notre style de vie, à l'urbanisation et à nos revenus. (Fig. 1)

La pollution par le déchet est beaucoup plus visible dans les pays en voie de développement, et pourtant à titre comparatif la France avec ses 512 kg de déchets annuels par personne produit 1,8x plus que le Pérou (291 kg/personne.an), 2.5x plus que le Sénégal (202 kg/personne.an), et jusqu'à 3,9x plus de déchets que l'Indonésie (130 kg/personne.an). D'ailleurs, on observe que la production de déchets municipaux par habitant est fortement corrélée au revenu national. (Fig. 2)



Fig. 2
Revenu national brut en fonction des déchets solides municipaux produits par habitant.

Source : *Global Waste Management Outlook, 2015*

MSW: Municipal Solid Waste
 GNI: Gross National Income

De même, une analyse comparative de la composition des déchets en fonction des niveaux de revenu des pays révèle des tendances qui influencent directement les stratégies techniques de traitement des déchets.

Les pays à faible et moyen revenu ont une proportion plus élevée de déchets organiques (46 à 53 %) comparés aux pays riches (34 %). De plus, la nature des déchets organiques diffère. Dans les pays à faible et moyen revenu, la majorité des déchets organiques sont « inévitables », car ce sont les restes organiques laissés après la préparation des aliments frais – de la matière organique qui ne pouvait pas être consommée. En revanche, dans les pays aux hauts revenus, il y a une grande quantité de déchets alimentaires « évitables », c'est-à-dire des aliments qui auraient pu être consommés. (Fig. 3)

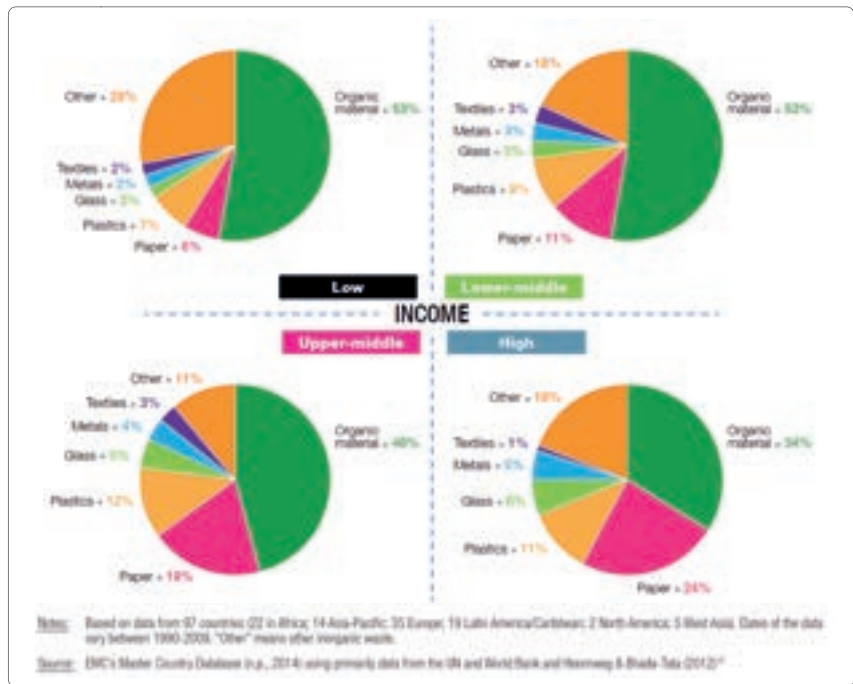
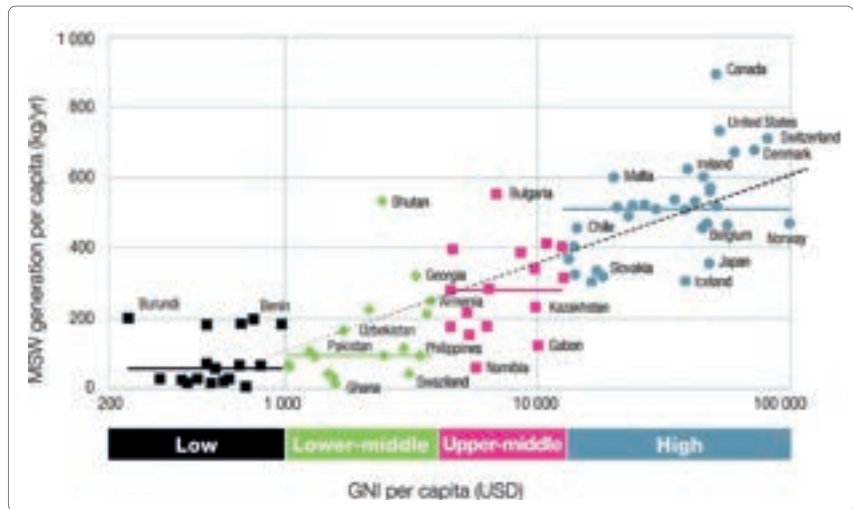


Fig. 3
Variation de la composition des déchets solides municipaux selon les niveaux de revenu des pays.

Source : *Global Waste Management Outlook, 2015*

Ce qui est préoccupant aujourd'hui, c'est qu'il est estimé que le gaspillage alimentaire par habitant chez les consommateurs en Europe et en Amérique du Nord est de 95 à 115 kg/an. Tandis qu'il est de 6 à 11 kg/an en Afrique subsaharienne et en Asie du Sud/Sud-Est.

Pour illustrer cette différence, je me souviens de l'importance des marchés couverts où on y retrouve des produits frais, par rapport aux supermarchés dans les pays que j'ai visités. Ces marchés sont beaucoup plus présents, économiques et soutiennent une grande partie de la population, notamment ceux travaillant dans l'agriculture. En comparaison, en France, les supermarchés dominent largement et les marchés sont moins présents.

Dans ces pays, les étals colorés s'animent du matin au soir, offrant des produits non transformés, gorgés de saveurs authentiques. Ces marchés étaient bien plus que de simples lieux d'achat : c'étaient des

carrefours de vie, où les enfants couraient entre les stands et où chaque achat devenait une conversation. Contrairement aux allées uniformes et sans odeur des produits conditionnés des supermarchés européens, ces marchés étaient un rappel vibrant de la simplicité et de la fraîcheur, un lien direct entre la terre et l'assiette. (Fig. 4)

Fig. 4
Mercado El Arenal, Cuenca, Ecuador (gauche) Street food, China town, Bangkok, Thailand (droite)



1. Sensoneo, Global Waste Index 2022
2. FAO. 2011. Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. Rome

Les déchets

Une matière diverse, qui appelle à l'innovation

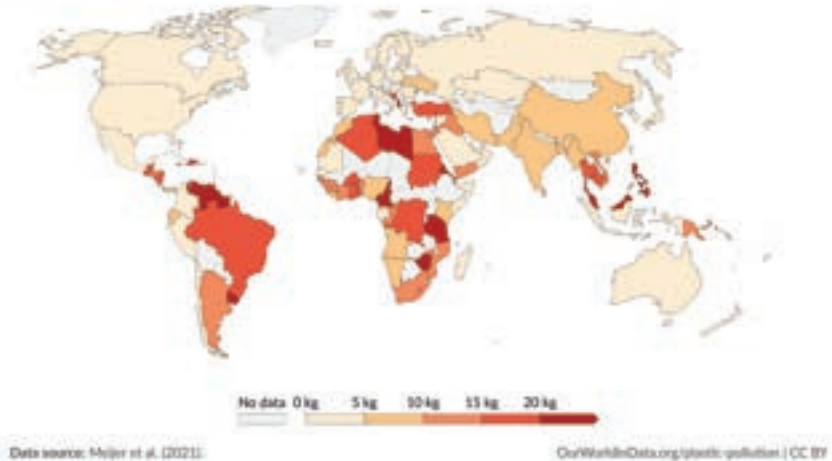
Fig. 5
La mauvaise gestion du plastique par habitant, 2019.

Source : Our World in Data



Mismanaged plastic waste per capita, 2019

Mismanaged plastic waste is waste that is not recycled, incinerated, or kept in sealed landfills. It includes materials burned in open pits, dumped into seas or open waters, or disposed of in unsanitary landfills and dumpsites.



Les déchets plastiques sont une toute autre histoire. En moyenne, leur part représente entre 8 % et 12 % (Fig. 2), et ne dépendent pas du niveau de revenu du pays. Nous avons tous ces images de pollution qui illustrent la réalité complexe des déchets plastiques. Malgré leur omniprésence dans notre vie, ces déchets sont gérés de manière très différente d'un pays à l'autre, comme le montre cette carte. Cette gestion variée entraîne des conséquences tout aussi hétéroclites sur les populations et l'environnement.

(Fig. 5)

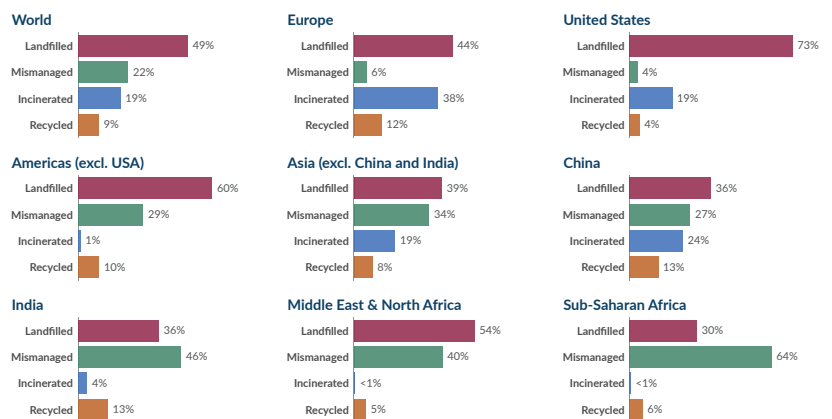
Impact environnemental des déchets non gérés

La composition des déchets, ainsi que leurs caractéristiques physiques, influencent directement leur gestion, leur dégradation et leur traitement. Cela rend crucial le suivi des tendances et la gestion des particules nocives. La densité, l'humidité et le Pouvoir Calorifique Inférieur (PCI), influencent les méthodes de collecte, de traitement et de valorisation, ainsi que les pratiques de Réduction, Réutilisation et Recyclage (les 3 R). Dans les pays à faible revenu, la séparation des déchets est moins automatisée. Les déchets organiques mélangés à d'autres déchets sont plus humides, plus denses et ont un PCI plus faible, et peuvent nécessiter des combustibles supplémentaires pour l'incinération, ce qui n'en fait pas une solution intéressante. Voici un exemple de la différence de traitement qu'il peut exister entre un pays et un autre. (Fig. 6)

Pour nous, les déchets sont quasi absents. Nous ne voyons que ceux que nous consommons personnellement et puis ils disparaissent sans que l'on sache ce qu'ils vont devenir. Je me rappelle de ces déchets, souvent brûlés à ciel ouvert, en Afrique, Amérique du Sud ou en Asie, à l'arrière d'une maison ou dans des dépôts illégaux pour s'en débarrasser. Laissés à l'abandon, ils libèrent des toxines dangereuses (métaux

Share of plastic waste that is recycled, landfilled, incinerated and mismanaged, 2019

Mismanaged plastic waste includes materials burned in open pits, dumped into seas or open waters, or disposed of in unsanitary landfills and dumpsites.



Data source: OECD (2023)

Note: Regional aggregates were calculated by Our World in Data and are based on those specified by the OECD¹.

OurWorldInData.org/plastic-pollution | CC BY



Fig. 6
Part des déchets plastiques recyclés, jetés en décharge, incinérés et mal gérés en 2019.
Source : Our World in Data

lourds, phtalates, polychlorobiphényles...) ainsi que des gaz à effet de serre aux potentiels de réchauffement climatique élevé comme le méthane ou autres composés organiques volatils comme les furanes. Ils contaminent les sols et les cours d'eau, et asphyxient les écosystèmes sur leur passage. A Dakar, les déchets sont omniprésents, aussi bien sur la terre que dans la mer, rappelant constamment le mauvais chemin qu'à pris ce qui fut autrefois des objets utiles. Ce qui est malheureux c'est que les communautés à faibles revenus sont les moins susceptibles de bénéficier de

la collecte de leurs déchets. Pourtant elles sont les premières exposées à de multiples impacts négatifs notamment sur la santé. Ces aspects ont un coût pour la société, de l'ordre de 5 à 10 fois supérieurs à ceux d'une gestion des déchets solides (SWM) efficace par habitant. Il est considérablement moins coûteux de gérer les déchets de manière écologiquement responsable dès maintenant que de nettoyer dans les années futures les erreurs d'hier. Aujourd'hui, 2,7 milliards de personnes n'ont pas leurs déchets collectés. (Fig. 7)



← **Fig. 7**
Décharge Mbeubeuss Dakar.
 Source : Plastic Odyssey, Initiatives du recyclage au Sénégal | Plastic Odyssey

Une responsabilité partagée pour un avenir durable

La juxtaposition de ces réalités rappelle que la gestion des déchets ne se résume pas à la quantité ou à la qualité des déchets. Elle est également régie par la détermination politique des autorités régionales et nationales, à travers l'instauration de lois strictes, d'initiatives et de planifications efficaces. Également, les capacités technologiques et la création d'un maillage d'infrastructures robustes, de la génération des déchets à leur stockage, collecte, transport, transfert, recyclage, valorisation, traitement et élimination jouent un rôle essentiel. La gestion des déchets est aussi influencée par la conscience collective, façonnée par la sensibilisation du public, l'éducation et les valeurs culturelles. Enfin, elle dépend des ressources financières importantes nécessaires pour les investissements initiaux dans les projets de gestion des déchets et ce, à chaque niveau du territoire.

Les choix que nous faisons aujourd'hui façonnent l'avenir de la planète pour les générations à venir. Qu'on en soit témoin direct ou non, la pollution progresse inexorablement, et nous sommes tous concernés. Ce que j'ai constaté de mes propres yeux, c'est qu'il est impossible d'y échapper : il n'y a pas de chemins dérobés. La pollution par les déchets ne disparaîtra pas d'elle-même, et pourtant les solutions sont connues. Il suffit de s'en préoccuper et d'œuvrer, alors pourquoi ne pas recycler les bonnes idées à l'infini ? ■



↑ **Fig. 8**
The Ocean Cleanup Interceptor Barricade Guatemala Extraction.
 Source : Ocean Cleanup

Ces déchets ne sont pas à confondre avec l'incinération contrôlée et valorisée dans les unités de valorisation énergétique (UVE) qui contrôlent efficacement leurs émissions atmosphériques.

Un autre risque du mauvais management des plastiques souples et rigides est l'obstruction des infrastructures de drainage des villes provoquant des inondations presque systématiques. À Jakarta, en Indonésie, l'accumulation de déchets plastiques dans les rivières et canaux bloque le drainage, aggravant ainsi les inondations fréquentes. Un autre exemple est le Rio

Motagua, qui traverse le Guatemala sur 486 kilomètres avant de se jeter dans l'océan. Il est tristement célèbre pour être l'un des cours d'eau les plus pollués au monde en matière de plastique. Chaque jour, il transporte en moyenne 24 tonnes de plastique vers l'océan, contribuant à hauteur de 3 % à la pollution plastique mondiale. Au Guatemala, cette situation est aggravée par l'absence de systèmes de gestion des déchets dans de nombreuses villes et villages, ce qui entraîne un déversement direct des ordures dans les rivières ou dans des décharges illégales.

3. Global Waste Management Outlook 2024.

4. Our World in Data: All visualizations, data, and code produced by Our World in Data are completely open access under the Creative Commons BY license. You have the permission to use, distribute, and reproduce these in any medium, provided the source and authors are credited. The data produced by third parties and made available by Our World in Data is subject to the license terms from the original third-party authors. We will always indicate the original source of the data in our documentation, so you should always check the license of any such third-party data before use and redistribution. All of our charts can be embedded in any site.

Les déchets

Une matière diverse, qui appelle à l'innovation

Quand le service public innove pour valoriser le moindre gramme de nos déchets

Face à l'urgence environnementale et la croissance de la production de déchets, la gestion des déchets est devenue une priorité. En France, deux lois majeures incarnent cette volonté de transformation : la loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTE) et la loi relative à la lutte contre le gaspillage et à l'économie circulaire (AGEC). Ces textes législatifs fixent des objectifs ambitieux pour réduire l'impact écologique des déchets, notamment par la réduction de l'enfouissement, l'extension des consignes de tri et l'amélioration du tri à la source des biodéchets.

La loi LTE, promulguée en 2015, marque un tournant dans la manière dont la gestion des déchets doit être abordée. Elle vise à promouvoir une économie circulaire, dans laquelle les produits et matériaux sont réutilisés et recyclés autant que possible, réduisant ainsi le recours aux ressources naturelles. Parmi les mesures phares, la

réduction de l'enfouissement des déchets est au cœur des priorités. La loi fixe pour objectif une réduction de 50 % des capacités enfouies d'ici 2025 et d'encourager la valorisation des matières.

En ce sens, la loi LTE prévoit également la généralisation de l'extension des consignes de tri au 1er janvier 2023. Celle-ci vise à simplifier le geste de tri pour les citoyens en invitant à déposer dans le bac des collectes sélectives 100 % des emballages et des papiers. Ainsi, davantage de matériaux sont inclus dans le cycle de recyclage, ce qui vise à réduire le volume de déchets ménagers résiduels.

Dans la continuité de ces objectifs, la loi AGEC, adoptée en 2020, renforce l'obligation de tri à la source des biodéchets. Toutes les collectivités chargées de la gestion des déchets devaient au 1er janvier 2024 proposer aux ménages et professionnels de leur territoire un moyen de trier leurs déchets alimentaires. Cette mesure a pour ambition de diminuer la quantité de déchets résiduels et de favoriser la valorisation organique, notamment sous forme de compost ou de méthanisation. Le tri des biodéchets, souvent négligé, représente pourtant une opportunité considérable de réduction des émissions de gaz à effet

de serre et de production de ressources énergétiques renouvelables.

Ces évolutions législatives reflètent un changement profond de paradigme : il ne s'agit plus simplement de gérer les déchets, mais de les considérer comme des ressources à part entière.

C'est aussi l'adage de Trifyl, syndicat de traitement et de valorisation des déchets, au sein duquel travaillent Anne BONREPAUX, Camille DEMAZURE et Philippe HENRY, tous trois élèves de l'IMT Mines Albi.

PARCOURS



Anne BONREPAUX
IMT Mines Albi, promo 2002

Directrice sensibilisation au tri-appui aux politiques publiques au sein de Trifyl.

Pouvez-vous nous en dire plus sur Trifyl ?

Anne BONREPAUX : Il s'agit d'un syndicat créé en 1999 et qui s'occupe de la valorisation des déchets ménagers et assimilés sur plus de 6 700 km². Il s'étend sur un vaste territoire du Tarn (81), du Lauragais (31), du Minervois et du Haut-Languedoc (34). Cela représente un peu plus de 700 000 habitants avec les clients et 300 000 tonnes de déchets par an traitées.



Fig. 1
Vue aérienne du centre de tri et d'une ligne de tri.



Fig. 2
Espace de filtration des biogaz.

Les activités se font sur 45 sites différents dont 37 déchèteries (haut et bas de quais), des quais de transfert, un centre de tri des collectes sélectives (Fig. 1), un bioréacteur*, une plateforme de compostage, 2 plateformes bois, ...

Philippe HENRY : Il s'agit d'un service public, avec des objectifs environnementaux, économiques et énergétiques ambitieux. Les déchets sont des ressources à valoriser au maximum. Et pour ce qui est la valorisation énergétique, Trifyl a développé ses formes : l'injection du biométhane sur le réseau, la production d'électricité et de chaleur grâce à la cogénération, la production de bioGNV ou d'hydrogène par vaporeformage, ... (Fig. 2)

Les lois AGEC et LTE ont profondément bouleversé la gestion des déchets en peu de temps. Comment avez-vous retranscrit ces évolutions réglementaires et législatives ?

Camille DEMAZURE : Dès 2014, les élus de Trifyl ont souhaité engager une réflexion pour anticiper les évolutions réglementaires notamment en matière de réduction des capacités d'enfouissement ou l'augmentation de la taxe générale sur les activités polluantes (TGAP). L'enjeu était triple: répondre durablement aux nouvelles réglementations, garantir, pour les décennies à venir, un service public de gestion des déchets performant et au meilleur coût pour les habitants du territoire.

De ces réflexions est né le projet Trifyl Horizon 2030. Un projet basé sur 4 piliers : la prévention, le détournement, le recyclage et la valorisation énergétique.

Anne BONREPAUX : La prévention, c'est-à-dire la réduction des déchets, constitue une priorité et de nombreuses actions concrètes ont été mises en place : stop pub, lutte contre le gaspillage alimentaire, sensibilisation au compostage, manifestations éco-responsables... L'objectif national est ambitieux : réduire de 15 % les déchets d'ici 2030. Le défi est de taille, car si la poubelle noire a tendance à diminuer, les tonnages apportés en déchèterie continuent à augmenter...

Pouvez-vous nous en dire plus sur ce projet ?

Camille DEMAZURE : Il s'agit à la fois d'un projet de sensibilisation mais aussi un grand projet industriel. C'est un investissement de plus de 150 millions d'euros qui a été consenti sur 4 ans afin de réaliser trois importantes unités industrielles.

Pour répondre à l'extension des consignes de tri, nous avons totalement restructuré notre ancienne unité passant ainsi de 17 000 tonnes triées par an à plus de 30 000 tonnes aujourd'hui. Pas moins de 22 mois de travaux ont été nécessaires à la restructuration de ce centre de tri de 8 400m². Désormais, le centre trie 12 flux différents (PET, PEHD, PP, ELA carton, acier, aluminium, papiers...). Après une première étape de tri très mécanisée réunissant décartonneur, crible granulométrique, séparateur balistique, trieurs optiques, overband, séparateur à courant de Foucault, trommel ... les déchets font l'objet d'un tri en cabine par des opérateurs, pour affiner la qualité des produits à recycler. Un robot à intelligence artificielle a également été

installé pour affiner le tri sur la chaîne de refus pour aller chercher les derniers produits valorisables qui auraient échappé au tri mécanique.

Nous avons également transformé un ancien centre de tri en unité de préparation du tout-venant de déchèterie (TVD) en combustible solide de récupération (CSR).

PARCOURS



Camille DEMAZURE
IMT Mines Albi, promo 2007

Délégué à la Stratégie,
au Développement
et à l'Optimisation chez Trifyl.

PARCOURS



Philippe HENRY
IMT Mines Albi, promo 2003

Directeur de la valorisation
énergétique chez Trifyl.

Les déchets

Une matière diverse, qui appelle à l'innovation



Le tout-venant représente près de 19 000 tonnes de déchets par an. Jusque-là, il était enfoui sans valorisation possible. Or, le tout-venant est composé de recyclables notamment des ferreux et non ferreux, mais aussi de matières avec un haut potentiel énergétique. Il a donc été décidé de valoriser ce tout-venant. Il est tout d'abord broyé. Les valorisables sont ensuite extraits grâce à

← Fig. 3
Pré-CSR.

des *overband* et courants de Foucault mais aussi des tri-optiques. Les produits chlorés tels que le PVC sont retirés afin de répondre aux exigences de la norme européenne ISO 21640.

Le pré-tri est enfin affiné grâce à des agents en cabine dont le rôle est de retirer le maximum d'indésirables. A l'issue, deux granulométries sont produites et vont rejoindre la troisième unité. Il s'agit d'un flux à haut PCI qualifié de pré CSR (Fig. 3).

Philippe HENRY : Pour la dernière usine, TRIFYL a retenu une stratégie de conception qui répond au triple objectif d'une valorisation énergétique maximisée, d'une valorisation des matériaux recyclables issus des ordures ménagères résiduelles (OMR) et des TVD et une filière de valorisation énergétique des CSR.

L'unité de tri/valorisation des déchets (UTVD) du Syndicat Trifyl offre une capacité de traitement de 91 000 t/an de déchets ménagers bruts, 8 000 t/an de biodéchets et 11 000 t/an de TVD au préalable préparé. (Fig. 4)



↑ Fig. 4
Schéma représentant le bilan matière de l'UTVD.



La spécificité de cette unité tient sur deux lignes de traitement parallèles : une ligne de traitement des OMR et TVD et une ligne de traitement des biodéchets collectés en sacs orange.

Concrètement, OMR et biodéchets sont collectés ensemble et sont déposés dans la fosse. Ils sont repris au grappin afin d'alimenter les 2 trémies d'alimentation. Une double ligne de tri mécanique permet tout d'abord de trier séparément les sacs de biodéchets (sacs orange) (Fig. 5). Ils sont captés à l'aide des séparateurs optiques afin d'être dirigés vers l'unité de valorisation des biodéchets.

Les métaux ferreux et les aluminiums, les plastiques recyclables tels que le PET et PEHD contenus dans les poubelles noires sont captés (*overband*, courant de Foucault, tri optique) et valorisés. Les refus sont quant à eux extraits et enfouis. La fraction restante d'une granulométrie de 0-50 mm est dirigée vers une unité de digestion anaérobie. Avant d'être méthanisés, les déchets vont être préparés dans une salle dédiée.

Ils vont ensuite rejoindre une unité de méthanisation des déchets comprenant 2 digesteurs de technologie Valorga fonctionnant en régime thermophile avec agitation pneumatique par recirculation du biogaz. Pendant trois semaines, la matière organique dégradée va permettre la production de biogaz.

A l'issue, la matière rejoint une unité de déshydratation composée de deux presses à vis et deux centrifugeuses générant respectivement un gâteau de presse composé essentiellement de produits à haut PCI et un gâteau de centrifugeuse composé essentiellement de matière organique dégradée.

Grâce à une unité de séchage de BIO-combustible, le gâteau de centrifugation est séché au travers de 2 sécheurs à bande permettant d'accroître le taux de matière sèche de 34 à 80 %.

Le gâteau de presse va quant à lui subir une première étape de séchage au

← Fig. 5
Sac orange pour les Biodéchets et tri des biodéchets.

Fig. 6
Chaîne de tri OMR.

travers de 4 tunnels avec insufflation d'air assurant l'élévation du taux de matière sèche de 57 à 85 %. Cette étape est nécessaire pour assurer une préparation et tri efficaces de cette fraction.

Camille DEMAZURE : Au sein de l'usine, une unité de préparation des CSR a été construite afin de trier les refus séchés issus de la chaîne de tri OMR (Fig. 6) et recevoir les pré-CSR issus des TVD triés. Cette ligne de tri comprend différentes étapes de séparations granulométriques, optiques et aérauliques.

2 qualités de CSR sont ainsi produites. Le premier (21000 t/an) est un CSR à très haut PCI composé essentiellement de gâteau de presse préparés et de pré-CSR de TVD. Il est destiné à être valorisé dans des installations de production de chaleur, intégrées dans un procédé industriel. Le second (20 000 t/an) est un CSR à haut PCI pour une utilisation in situ.

Une centrale CSR d'une puissance de 8,45 MW a été installée au cœur de l'UTVD (Photographie 6). Elle utilise un mélange de CSR haut PCI et de BIO combustibles afin d'atteindre une puissance calorifique de 12 MJ. La chaleur produite à divers usages dans l'UTVD afin que celle-ci fonctionne en autonomie de chaleur : Le préchauffage des digesteurs, le séchage des CSR en tunnels et en sècheurs, l'hygiénisation des biodéchets, l'accélération de la phase de maturation dans les tunnels de compostage de déchets verts et biodéchets.

Grâce à l'ensemble de ces process, 83 % des déchets sont valorisés. C'est aussi une réduction de 23 % des gaz à effet de serre émis.

Trifyl produit 64 Gwh de biométhane qui sont injectés au réseau de transport de gaz soit cinq fois plus qu'à partir du bioréacteur. C'est aussi un potentiel de 90 GWh/an de CSR à l'export et 60 GWh/an en autoconsommation. C'est enfin 6 000 tonnes de déchets recyclables qui sont valorisés grâce à leur captation sur chaîne de tri.

Fig. 7
Vue aérienne de l'UTVD.



Depuis le 1^{er} janvier 2023, les collectivités doivent proposer une solution à l'attention des ménages et des entreprises pour trier les biodéchets. Vous évoquez la collecte de ces biodéchets en sacs orange. Comment procédez-vous ?

Anne BONREPAUX : Nous avons une consigne à respecter lorsque nous avons commencé à travailler sur le tri à la source des biodéchets : aucune dépense supplémentaire pour nos collectivités adhérentes chargée de la collecte des déchets.

Une collecte dédiée ne pouvait donc pas être envisagée car aurait nécessité des bacs de collecte dédiés, des bennes étanchéifiées, et des lavages réguliers. Nous avons donc développé une solution qui devait être à la fois simple pour l'usager afin de faciliter ce nouveau geste de tri et simple pour les collectivités de collecte.

De cette réflexion est né le tri à la source des biodéchets à partir d'un sac dédié de 10 litres en complément du compostage de proximité. Il s'agit d'un sac orange, d'une couleur franche, sur lequel sont imprimés des Data Matrix Code afin de reconnaître la collectivité d'origine du sac. Chacun de ces codes sont reconnus par une arche de vision que nous avons spécifiquement fait développer pour les lire. Grâce à cela, une facturation incitative peut être mise en œuvre pour inciter au développement de ce nouveau geste de tri.

Une fois plein, l'usager ferme le sac avec des liens coulissants intégrés. Il le dépose dans son bac de collecte d'OMR à côté de son sac de déchets résiduels afin d'être collectés ensemble.



Les déchets

Une matière diverse, qui appelle à l'innovation

En entrée d'usine (UTVD), les deux sacs sont séparés grâce à un tri granulométrique (trommels) et optique. Les sacs orange vont alors rejoindre une unité dédiée pour leur valorisation. Elle contient l'ensemble des installations nécessaires au traitement par méthanisation et compostage des 8 000 t/an de bio-déchets potentiels captés au niveau du tri primaire (soit 20 kg/an/hab).

Ainsi et afin de répondre à la réglementation en vigueur, le traitement des biodéchets est totalement dissocié de celui des OMR. Cette disposition permet par ailleurs d'obtenir un compost bio-déchet de très haute qualité qui sera valorisé comme amendement à haute qualité agronomique.

Tout l'enjeu était donc la diffusion des sacs auprès des ménages. Pour cela, nous avons travaillé de pair avec nos 14 collectivités adhérentes afin de réaliser une distribution la plus large possible. Un courrier a été diffusé auprès de l'ensemble des ménages afin de les sensibiliser à ce nouveau geste, courrier accompagné d'un sac et des moyens pour obtenir plus de sacs. Du porte-à-porte a aussi été organisé dans certains bourgs centres ainsi qu'une grande campagne de communication.

Que se passe-t-il après leur collecte et la séparation en entrée d'usine ?

Camille DEMAZURE : Les biodéchets captés au niveau du tri primaire des OMR à l'aide des séparateurs optiques seront transférés en benne ampliroll vers le module de préparation/méthanisation des biodéchets.

L'ensemble des biodéchets est ensuite préparé par une unité de déconditionnement. Deux produits sont alors extraits : la fraction fermentescible se présentant sous forme d'une pulpe (cette fraction rejoint une cuve de stockage de 120m³), la fraction de refus. Cette fraction est renvoyée vers la fosse de stockage des OMR pour être traitée en mélange avec les OMR.

Ainsi les refus de biodéchets permettront la production de biogaz grâce à la fraction

organique encore présente dans ce flux en sortie du déconditionneur.

La pulpe sera introduite 24h/24h vers le digesteur réalisé en acier vitrifié de 1 800m³ qui permettra la méthanisation de 6 500 t/an de pulpe issue du module de préparation des biodéchets. Le digestat va subir un traitement complémentaire par compostage au travers de 5 tunnels fermés avec pilotage de l'aération durant 4 semaines.

En fin de cycle de compostage, le produit est extrait des tunnels pour être criblé dans le bâtiment de stockage compost à l'aide d'un crible mobile. Le compost fini est stocké dans ce bâtiment pendant 3 mois avant d'être exporté comme amendement agricole.

Au-delà des performances de traitement, les performances environnementales ont-elles été prises en compte ?

Camille DEMAZURE : Trifyl a été particulièrement attentif à la qualité environnementale des installations et notamment de l'UTVD. Ont été scrutés la réduction des nuisances sonores, olfactives et visuelles ainsi que de la qualité de l'air intérieure. Notre objectif était de garantir à la fois la qualité de vie et la sécurité aussi bien pour le personnel d'exploitation que pour le voisinage. La problématique des envols connue sur les bioréacteurs est considérablement réduite du fait du confinement sous bâtiment.

Par ailleurs, l'usine est conçue pour minimiser les impacts environnementaux. Tous les équipements sont situés à l'intérieur des bâtiments afin de réduire toute nuisance olfactive, sonore et visuelle. Les prises d'air des bâtiments comprenant des équipements bruyants sont équipées de pièges à son et l'implantation des bâtiments a été pensée en intégrant l'ensemble des contraintes du site, notamment les vents dominants afin de limiter les nuisances sonores et les envols.

L'ensemble des bâtiments dédiés au traitement des OMR sont fermés et mis en

dépression ce qui assure un confinement de l'air vicié et évite toute propagation d'air vicié à l'extérieur. Le dispositif de captation de l'air s'effectue par ailleurs à deux niveaux : captation directe à la source par des dispositifs de hotte aspirante au niveau des fortes sources d'émissions et captation générale au niveau de chaque bâtiment.

L'étanchéité des bâtiments au niveau des jonctions bardage/mur ainsi qu'au niveau de tous les passages de tuyauteries a été réalisée ainsi qu'une gestion dynamique de l'air au sein des bâtiments pour éviter les zones mortes basée sur une étude aéraulique poussée.

La totalité de l'air capté est traité en continu 24h/24, avant d'être rejeté dans l'atmosphère. Une garantie maximale est atteinte grâce à notre traitement composé de 2 étapes de traitement : un traitement chimique réalisé par deux tours de lavage, et un traitement biologique réalisé par un biofiltre composé de 3 modules.

Maintenant que les 3 usines sont entrées en fonctionnement, quels sont les projets pour développer la valorisation énergétique des déchets ?

Philippe HENRY : La valorisation déchets est soumise à la fluctuation des cours des matières et de l'énergie. Aussi, il est indispensable de diversifier nos activités pour assurer une stabilité des recettes. C'est pour cette raison que nous avons lancé des AMI pour développer le photovoltaïque sur nos anciens sites d'enfouissement en post-exploitation. Aujourd'hui, un site est équipé et un second de 10 hectares est en cours de déploiement.

Nous avons également une cellule innovation qui travaille sur la captation du CO₂ sur le biogaz, la méthanation pour augmenter la production de biométhane ou la pyrogazéification. Elle travaille également à la valorisation des mâchefers de la chaudière CSR et des cendres volantes et de manière plus générale, aux

déchets ultimes qui sont aujourd'hui enfouis.
Son objectif : atteindre le 0 déchet enfouis.

L'hydrogène est par ailleurs l'un des sujets majeurs sur lesquels Trifyl travaille depuis 2008. L'hydrogène est obtenu par reformage du biogaz issu des déchets et à ce titre. Un pilote a été développé avec le Centre Rapsodee de l'IMT Mines Albi et est aujourd'hui utilisé pour des tests sur des boues de station d'épuration.

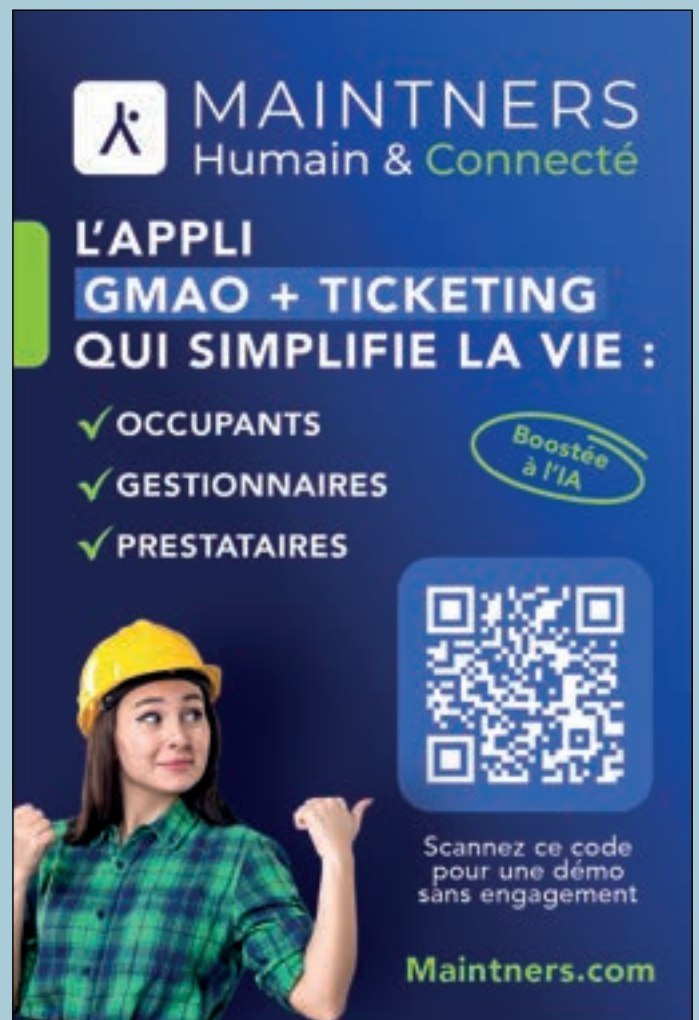
Bioréacteur : Il s'agit d'un ensemble de casiers étanches, dans lesquels la dégradation des déchets est accélérée. Au sein du bioréacteur, un système de réinjection des lixiviats apporte l'humidité et les nutriments nécessaires aux bactéries à l'œuvre, accélérant ainsi le processus de dégradation et donc la méthanisation des déchets. Le biogaz produit, contenant près de 50 % de méthane, est capté puis valorisé. ■



ERASTEEL

ACTEUR MAJEUR DES ACIERS RAPIDES,
LEADER MONDIAL DE LA MÉTALLURGIE
DES POUDRES ET ACTEUR EUROPÉEN DU
RECYCLAGE DE MÉTAUX STRATÉGIQUES

WWW.ERASTEEL.COM



MAINTNERS
Humain & Connecté

L'APPLI
GMAO + TICKETING
QUI SIMPLIFIE LA VIE :

- ✓ OCCUPANTS
- ✓ GESTIONNAIRES
- ✓ PRESTATAIRES

Boostée à l'IA

Scannez ce code pour une démo sans engagement

Maintners.com



Solutions & Services for Industry

ACTEMIUM Projets Nucléaires France

25 rue de l'Energie - Parc d'Activité de l'Avenir -
26700 PIERRELATTE - projets-nucleaires@actemium.com

- + Grands projets ensemble
- + Courants Forts & Courants faibles
- + Contrôle commande, Instrumentation, Analyse Industrielle, Radioprotection, Protection Physique de sites sensibles

Vous avez de l'avenir dans le nucléaire !



Rejoignez-nous !



Créée en 1951, l'entreprise JULIOT est spécialisée dans l'électricité tertiaire et industrielle, l'automatisme et l'informatique industrielle. Elle dispose d'une agence sur le parc de la Mongie aux Essarts en Bocage (en Vendée) et une agence à Sainte Luce sur Loire (en Loire Atlantique) pour réagir à la demande de ses clients professionnels.

Nous mettons au cœur de nos missions la technicité et la complémentarité de nos équipes pour agir de la conception à la réalisation des installations clients jusqu'à la maintenance. Notre équipe analyse vos besoins pour vous proposer des prestations de qualité.

Si tu as de l'énergie à revendre et que tu es un électricien industriel, N'attends pas et rejoins notre équipe ! Présente toi à : recrutement@juliot.fr
PS : On recrute aussi en alternance.

En Électricité, l'avenir a déjà commencé.



ÉLECTRICITÉ TERTIAIRE & INDUSTRIELLE
B.T. & H.T.
AUTOMATISME & INFORMATIQUE
INDUSTRIELLE



**EUROVIA PAS-DE-CALAIS
AGENCE DE MAZINGARBE**

4 rue Montaigne – 62670 Mazingarbe
Tel : 03 21 45 62 20 - mazingarbe@eurovia.com

**À VOS CÔTÉS, POUR CONCEVOIR ET CONSTRUIRE
LES SOLUTIONS ADAPTÉES À VOS BESOINS**

PARTENAIRE DES TERRITOIRES, EUROVIA DÉVELOPPE DES SOLUTIONS DE MOBILITÉ POUR AMÉLIORER LA COMPÉTITIVITÉ ÉCONOMIQUE ET RENFORCER LE LIEN SOCIAL, PAR LA CONCEPTION, LA CONSTRUCTION ET L'ENTRETIEN DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT ET DES AMÉNAGEMENTS URBAINS.

Les déchets

Une matière diverse, qui appelle à l'innovation

La valorisation de la matière organique des ordures ménagères en France

La valorisation de la matière organique des ordures ménagères en France : enjeux et défis. La pertinence et la place des traitements mécano-biologiques producteurs de compost pour l'atteinte des objectifs nationaux.

Le fort potentiel des déchets organiques dans nos poubelles mis à mal par une législation hors-sol

En 2020, la production de déchets en France représente 310 millions de tonnes (ADEME, 2023) pour environ 20,6 Md€ (soit 0,8 % du PIB), dont 34 millions de tonnes pour les ménages, **part mineure mais au coût de gestion important** (Fig. 1). Les déchets ménagers et assimilés (DMA) sont, pour l'essentiel, les déchets municipaux produits quotidiennement par les foyers (80 %). Ils sont principalement collectés en porte à porte. Les DMA représentent 582 kg par habitant et par an dont la moitié non triée, soit 249 kg d'ordures ménagères résiduelles (OMR) mais **61,5 % des dépenses publiques de collecte et de traitement (Cour des comptes, 2023)** (Répartition en Fig. 2).

On estime le potentiel maximal de valorisation organique des OMR à 52 %, soit environ 167 kg par an et par habitant : 36 % pour les biodéchets, 10,3 % pour les papiers mal triés et 5,7 % pour les cartons eux aussi mal triés mais présents (ADEME & THAUVIN, 2014).

PARCOURS



Victor GUIGAND
IMT Mines Albi, promo 2017

Responsable du site de traitement mécano-biologique d'Etoile-sur-Rhône (80 000 tonnes par an) exploité par la société VALOMSY, filiale VEOLIA, pour le compte du SYTRAD (Syndicat de traitement des déchets Ardèche-Drôme).

Parmi ces déchets, la matière organique représente donc une part importante et des enjeux financiers forts, dont la valorisation est cruciale pour l'environnement par leur retour au sol.

Cet article se penche sur les sites de traitement mécano-biologique (TMB) comme solution de traitement intermédiaire pour valoriser cette

matière organique et réduire la part d'ultimes envoyée en enfouissement ou en incinération. Il a pour but de mettre en lumière son intérêt et de montrer la schizophrénie actuelle du législateur qui, par manque de réalisme et de pragmatisme, a doré et déjà programmé la fin de ces installations. Laissant ainsi de côté par la même occasion l'atteinte de ses objectifs en matière de réduction de l'enfouissement des déchets, les collectivités ayant fait le choix de ces traitements avec des amortissements importants à supporter et toute une filière mature.

Le retour au sol des matières organiques est nécessaire pour une gestion durable

En France, l'incinération et l'enfouissement constituent les modes principaux de traitement des OMR (respectivement 60 et 30 % en moyenne) (Fig. 3). Or, l'enfouissement des déchets organiques produit environ 400 kg de CO² équivalent par tonne de déchets essentiellement par production de méthane (CH₄). Le retour au sol de ces matières organiques, composées majoritairement d'eau, pour enrichir les sols

agricoles serait beaucoup plus utile que leur traitement par incinération (dont la seule utilité dans cette filière est de limiter le pouvoir calorifique des déchets brûlés et de préserver les corps de chauffe).

Cette matière organique est essentielle pour nos sols agricoles, apportant des nutriments et améliorant la structure du sol comme le montre l'étude QualiAgro débutée en 1998 par l'INRAE³. Malheureusement, l'enfouissement ou l'incinération de ces déchets organiques prive les sols d'une part importante de ces bénéfiques : **en ordre d'idée c'est donc 9 millions de tonnes par an qui en sont détournées.**

Le compost est bénéfique pour la santé globale du sol à long terme **car il le structure**, là où par exemple des engrais minéraux (provenant majoritairement des mines marocaines de phosphates ou de la chimie pétrolière pour l'azote) fournissent des nutriments rapidement disponibles pour les plantes mais qui appauvrissent les sols à long terme.

Résumé des bénéfices du compost pour les sols :

- 1. Libération des nutriments :** Rapide
- 2. Prix :** attractif pour les agriculteurs entre 5-7 €/tonne (variable selon la zone)
- 3. Impact sur le sol :** Améliore la structure du sol et la vie microbienne via les déchets verts utilisés en structurant (environ 30 % en masse)
- 4. Origine :** Locale, issue du traitement des déchets (biodéchets, OMR etc...)
- 5. Empreinte carbone :** Généralement faible voire négatif, contribue à la réduction des déchets
- 6. Teneur en nutriments :** Variable et moins concentrée qu'un engrais chimique
- 7. Effets à long terme :** Amélioration de la qualité du sol, dynamise la biodiversité et donc maintient la productivité (fertilité) des sols

A noter qu'une approche équilibrée combinant les deux types peut être bénéfique pour l'agriculture durable.

1. ADEME. 2023. "Déchets Chiffres-clés - Edition 2023." Déchets Chiffres-clés - Edition 2023 - La librairie ADEME
2. Cour des comptes. 2023. "Rapport public annuel 2023, Les déchets ménagers." Synthèse Prévention, collecte et traitement des déchets ménager (ccomptes.fr)
3. ADEME, and Philippe THAUVIN. 2014. "TRAITEMENT MECANO-BIOLOGIQUE (TMB)." TMB-Ademe-fiche-tech-03-14.pdf (lagazettedescommunes.com)
4. Etude QualiAgro de l'INRAE, QualiAgro (inrae.fr)

Fig. 3 Répartition des tonnages d'OMR par filière de traitement en 2012 et 2014 en France (Schéma de l'auteur)

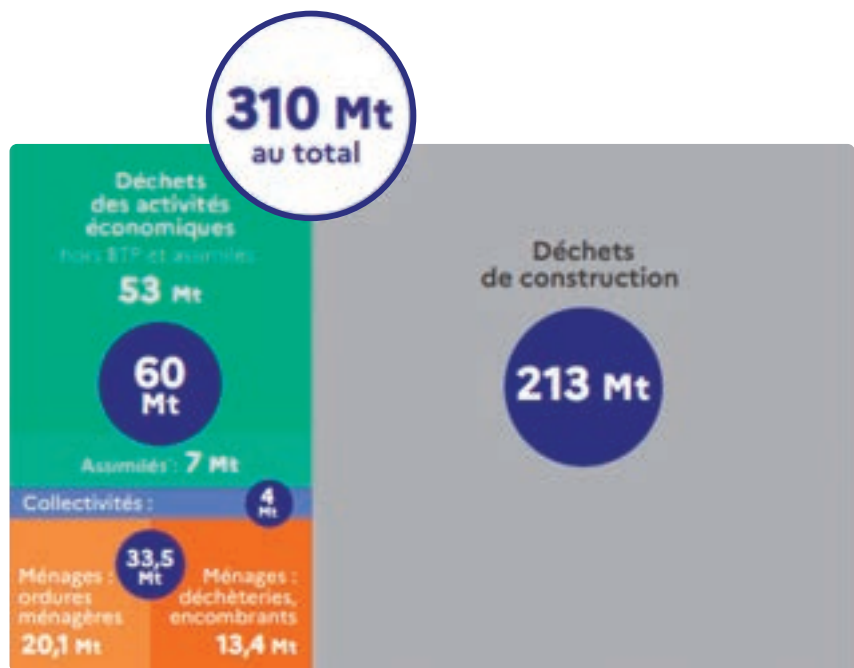


Fig. 1 Production des déchets en France en 2020¹
Source : ADEME. Règlement Statistiques sur les Déchets, 2020 ; Enquête Collecte 2019 ; Estimations IN NUMERI par calage des résultats de l'enquête collecte 2019 sur les données du RSD 2020.

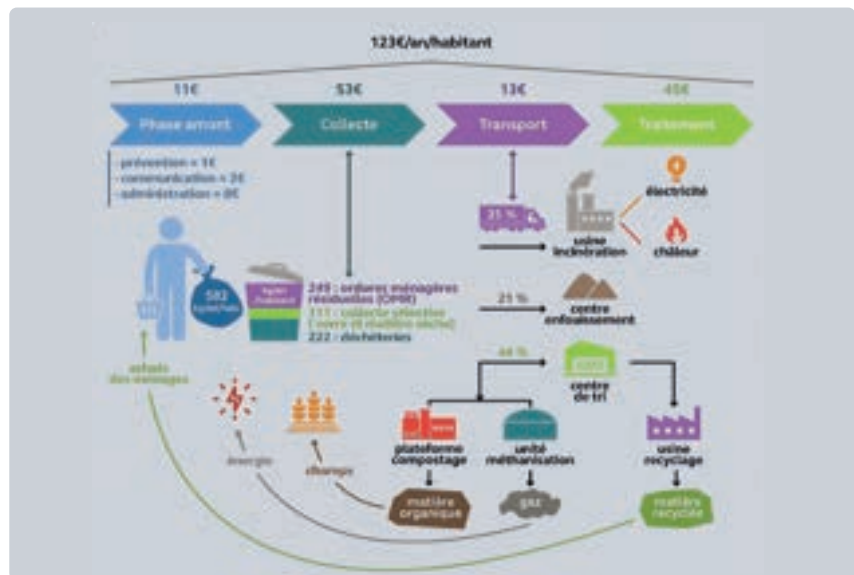
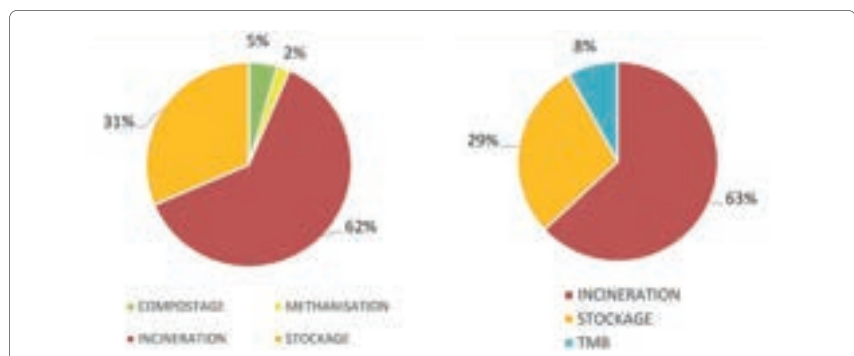


Fig. 2 Les dépenses des services publics des déchets (Cour des comptes)²



Les déchets

Une matière diverse, qui appelle à l'innovation

Et le tri à la source des biodéchets me direz-vous ? Bien, mais pas suffisant

Depuis le 1^{er} janvier 2024 vous avez dû voir apparaître près de chez vous une des trois solutions suivantes :

1. des composteurs de quartier ou individuels,
2. des bornes d'apports volontaires
3. un bac supplémentaire collecté séparément.

Si ce n'est pas le cas, c'est que votre collectivité est en retard dans la mise en place de sa stratégie de tri à la source des biodéchets. En effet, à juste titre, la réglementation oblige le tri à la source des biodéchets pour tous les producteurs afin de disposer d'un gisement plus propre car non mélangé. **L'idée est bien de capter ce flux pour en faire bénéficier les sols mais le taux de captage reste faible.**

Les collectivités qui ont mis en place ce tri à la source depuis longtemps plafonnent,

tel que Lorient qui est à 36 kg/hab (Rapport Annuel 2021, agglomération de Lorient) ¹. A titre d'exemple, en 2023, Lyon a capté avec ses 1 400 bornes un total de 3 540 tonnes, soit 6 kg/hab pour les 550 000 habitants équipés. L'objectif est de monter à 30 000 tonnes pour 1,1 million d'habitants soit 27 kg/hab. On est donc là aussi très loin du potentiel estimé à 60 kg/hab (Jame, 2024) ². De plus, le taux de refus de **6 % implique souvent un sur-tri à la main par des opérateurs (Les Alchimistes, 2023)** ³ car il n'y a pas de tri mécanique avant compostage. Le contact des opérateurs avec les fractions organiques a été banni par l'interprofessionnalité et les grands groupes français (VEOLIA, SUEZ etc.) depuis longtemps pour des raisons sanitaires, ce retour en arrière n'est pas de bon augure pour les conditions de travail...

On peut ici regretter que **la prévention pour la réduction et la bonne éducation des populations ne représente qu'1 % du budget total** de la gestion des déchets en France et que **30 % des biodéchets présents dans les OMR soient issus du gaspillage alimentaire**. Cela laisse donc de place pour d'autres acteurs pertinents, les TMB !

Les sites de traitement mécano-biologiques (TMB) : des traitements intermédiaires essentiels

Les installations de TMB visent à extraire des valorisables (métaux/plastiques) et la fraction organique des ordures ménagères résiduelles pour produire majoritairement du compost (modèle le plus courant en France) et/ou du biogaz. En 2019, la France comptait environ 40 sites de TMB traitant près de 2,7 millions de tonnes de déchets par an (source : SINOE) ⁴. Ces installations permettent de réduire la quantité de déchets enfouis ou incinérés (environ 50 à 60 % du déchets entrant), contribuant ainsi à l'économie circulaire. Ces installations sont complémentaires à des sites de traitement des ultimes : incinérateurs et centre d'enfouissement. **Les TMB sont donc une "brique" intermédiaire de traitement entre l'usager et l'enfouissement ou l'incinération.**

Déphasage entre objectifs et réglementation

La réglementation a donc sonné le glas des TMB producteurs de compost en France, d'ici 2027 leur production sera interdite de retour au sol et d'ici là ils verront leurs seuils d'impuretés fortement abaissés. Voici ci-dessous une analyse contradictoire des objectifs fixés par la législation et les évolutions réglementaires à venir :

1. Réduction de l'enfouissement

(Loi de transition énergétique, 2015) ⁵ :

- Objectif : Réduire de 50 % l'enfouissement d'ici 2025.
- Cet objectif louable pousse à trouver des alternatives à l'enfouissement dont le compostage

2. Fin du retour au sol des composts issus de TMB (Loi AGE, 2020) ⁶ :

- Mesure : Interdiction du retour au sol des composts issus de Tri Mécano-Biologique (TMB) en 2027.
- Contradiction : Cette mesure limite les options de valorisation des biodéchets, en conflit avec l'objectif de réduction de l'enfouissement. Elle laisse également

EXEMPLE D'APPLICATION

La société VALOMSY (filiale de VEOLIA) exploite pour le compte du SYTRAD (Syndicat de traitement des déchets Ardèche-Drôme) 3 unités de traitement : Etoiles-sur-Rhône, Saint Barthélemy de Vals et Beauregard-Baret. Les 2 premières visent à valoriser la fraction fermentescible des déchets en compost, la troisième vise à transformer le reste en Combustible Solide de Récupération (CSR) - un produit homogène à fort pouvoir calorifique pouvant être substitué à du charbon dans l'industrie par exemple. De fait, la part de refus ultimes destinés à l'enfouissement tombe à 20 %.

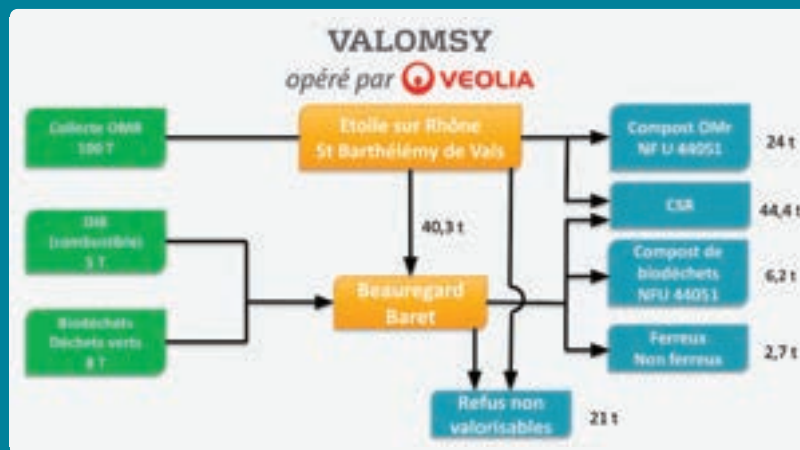


Fig. 4 Schématisation du processus de VALOMSY

au milieu du gué les collectivités qui ont investi dans ces solutions et qui doivent supporter les amortissements en cours.

3. Future loi sur les matières fertilisantes et supports de culture (MFSC) :

- **Mesure prévue :** Abaissement significatif des seuils d'impuretés autorisés.
- **Contradictions :** Louable en théorie, avec les seuils actuels sur 1 tonne de compost on peut trouver jusqu'à 10 kg de verre/métaux >2mm (2 %MS) et 5,5 kg de plastiques (films et autres) >5mm (1,1 %MS). On doit donc faire mieux. Cela rend quand même plus difficile et coûteuse la production de compost conforme, ce qui pourrait décourager cette filière. Augmente les coûts de traitement et les investissements nécessaires, limite les alternatives à l'enfouissement et fait supporter des coûts de traitement énormes si un lot de production est non-conforme et doit être éliminé.

4. Maîtrise des coûts de gestion des déchets

- **Mesure prévue :** réduire et rationaliser les coûts
- **Contradiction :** la hausse de la taxe générale sur les activités polluantes

(TGAP) sur l'enfouissement et l'incinération allié à la fin des TMB qui détourne une majeure partie du flux fait payer un lourd tribut aux collectivités et aux habitants. Et dans une approche plus globale, elle prive les exploitants agricoles d'une matière aux bénéfices agro-écologiques certains à bon prix.

Analyse critique de la situation

Bien que la valorisation de la matière organique soit cruciale pour l'environnement, les choix politiques et réglementaires semblent parfois contradictoires et manquent de hauteur et de considération à long terme. D'un côté, on encourage la valorisation des déchets organiques et on limite l'enfouissement, de l'autre, on supprime les possibilités de retour au sol des composts issus de TMB. Cette "schizophrénie" dans la gestion des déchets et le fantasme du zéro déchet freine l'innovation et crée une incertitude paralysante pour les acteurs du secteur y compris les collectivités.

Il est crucial de trouver des solutions cohérentes pour maximiser le potentiel de ces ressources. Une approche plus pragmatique, combinant la prévention, le tri à la source, l'amélioration des technologies de TMB et une réglementation adaptée, pourrait ouvrir la voie à une gestion plus durable de nos déchets organiques au bénéfice conjoint de l'environnement et du monde agricole. ■

5. Rapport annuel de 2021 de la gestion des déchets de l'agglomération de Lorient, 20_Rapport_d_Activites_Dejets_2021.pdf (lorient-agglo.bzh)
6. Article de presse, Jame, Hadrien. 2024. "La Métropole de Lyon, bon élève du compostage individuel ?" Lyon Capitale. <https://www.lyoncapitale.fr/actualite/la-metropole-de-lyon-bon-eleve-du-compostage-individuel#:~:text=Les%20bornes%20%C3%A0%20compost%20de,-Foy-L%20%C3%A8s-Lyon.>
7. Comment les Alchimistes valorisent les bio-déchets ?" 2023. YouTube. https://youtu.be/LNNe9S8hCA?si=drfmGI_IzZivU1EZ
8. SINOEO® - Accueil
9. Loi de la transition énergétique, Loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (TEPCV) | Ministère du Partenariat avec les territoires et de la Décentralisation Ministère de la Transition écologique, de l'Énergie, du Climat et de la Prévention des risques Ministère du Logement et de la Rénovation urbaine (ecologie.gouv.fr)
10. Loi AGEC, Loi anti-gaspillage économie circulaire (ecologie.gouv.fr)

FICHE DESCRIPTIVE
Technique de couverture thermorétractable - shrink wrapping -

UNE SOLUTION CLÉ EN MAIN

Après un incendie ou un dégât des eaux dans des usines ou de grands complexes, il est souvent nécessaire d'isoler certaines zones pour empêcher la poussière de se propager, mais aussi pour pouvoir réaliser les travaux d'assainissement à l'abri des regards. Le film forme une « combinaison de protection sur mesure » qui s'adapte facilement sur le lieu du sinistre.

Le procédé « Thermo-bâchage » est une solution idéale pour éviter la corrosion. Combiné à des mesures supplémentaires de déshumidification, il permet de réduire l'humidité relative de l'air sous la couverture mise en place.

Cette technique permet d'obtenir une couverture parfaitement étanche et lisse.

BELFOR (●)

Beaucoup d'intelligence peu d'artificiel

4 domaines d'expertise



Informatique



Électronique



Mécatronique



Robotique

Une idée ?

Un projet ?

Un retrofit ?

Ne jetez plus.

Recyclage Dépannage Réétude :

- Remise en état de matériels anciens.
- Etude de fonctions équivalentes.
- Reprogrammation d'anciens processeurs.
- Réparation de matériels industriels.

Confiez-nous votre projet, notre service de conception vous aidera à le développer en version industrialisable

CB4Tech est une entreprise de développement de solutions dans les domaines de l'électronique, de l'informatique, de la mécatronique et de la robotique. Nos prestations vont de l'élaboration du cahier des charges à l'industrialisation du produit.

Informatique :

Intelligence Artificielle embarquée

IOT (objets connectés)

Applications informatiques embarquées

Langages de programmation : C, C++, QT et PYTHON

Electronique :

Développement électronique, étude schéma, routage et réalisation de prototypes.

Circuits analogiques et circuits à base de microcontrôleurs (NXP, STMicroelectronics, Microchip, Cypress Semiconductor, Silicon Labb, RENESAS).

Développement circuits HF LORA, WIFI, Bluetooth, BLE, 433Mhz 860Mhz.



Révolutionner la Gestion des Déchets : L'Alliance de la Robotique et de la Vision Industrielle

Dans un monde où la gestion des déchets devient de plus en plus complexe, les avancées technologiques en matière de robotique et de vision industrielle ouvrent la voie à une révolution dans le tri des déchets. Le passage à l'automatisation et à l'intelligence artificielle (IA) permet non seulement d'améliorer l'efficacité, mais aussi de réduire les coûts, de minimiser l'impact environnemental et surtout, de pallier une pénurie de main d'œuvre dans ces métiers difficiles et présentant un déficit d'image. Parmi ces innovations, la vision hyperspectrale, couplée à des systèmes robotiques avancés, joue un rôle central dans la transformation des pratiques de tri. Cet article explore comment la synergie entre le tri des déchets, la robotique et la vision industrielle hyperspectrale redéfinit les normes dans l'industrie du recyclage.

L'Importance du tri des déchets

Le tri des déchets est une étape cruciale dans le processus de recyclage. Il permet de séparer les matériaux recyclables des déchets non recyclables, facilitant ainsi leur réutilisation et minimisant la quantité de déchets envoyés en décharge. Cependant, le tri manuel est souvent inefficace, coûteux, et sujet à des erreurs.

Face à :

- l'augmentation des volumes de déchets
- la diversité croissante des matériaux et leur complexité (multi-matériaux)
- la pression réglementaire obligeant à augmenter les taux de valorisation (loi AGEC)
- les coûts de traitement grandissant vers les filières traditionnelles d'élimination (augmentation de la TGAP)

PARCOURS



Romain LARIVIÈRE
IMT Nord Europe, promo 2003

Il est Business Développeur Automatisation Tri de déchets chez Poly Process Solutions.

- la demande croissante en matériaux recyclés (ex : législation imposant l'incorporation de matières recyclées en plastique, épuisement des gisements carriers)

- le besoin de décarbonation, avec des combustibles de substitution (ex CSR ou bois énergie)

Il devient essentiel de moderniser les méthodes de tri pour répondre aux défis environnementaux actuels.

L'émergence de la robotique dans le tri des déchets

La robotique a fait son entrée dans le secteur du recyclage pour répondre à la nécessité d'automatiser le tri des déchets. Les robots sont capables de trier des matériaux à une vitesse et avec une précision bien supérieures à celles des opérateurs humains. De plus, ils peuvent fonctionner sans interruption, augmentant ainsi la capacité de traitement des installations de recyclage.

Les déchets

Une matière diverse, qui appelle à l'innovation



Les robots et l'automatisation

Les robots de tri des déchets utilisent principalement deux types de technologies : la préhension et la vision industrielle. Les systèmes de préhension sont conçus pour manipuler divers matériaux, qu'il s'agisse de plastiques légers ou de métaux lourds. Les robots sont équipés de pinces mécaniques, de ventouses, ou de bras robotisés, capables de saisir, de trier et de déplacer les objets en fonction de leur classification.

Cas d'utilisation

Des entreprises comme AMP Robotics, Recycl'eye et ZenRobotics ont développé des systèmes robotiques capables de trier les déchets avec une grande précision. AMP Robotics, par exemple, utilise des systèmes basés sur l'intelligence artificielle pour reconnaître et trier différents types de matériaux en temps réel. ZenRobotics, de son côté, se spécialise dans le tri des déchets de construction et de démolition, utilisant des robots capables de manipuler des matériaux lourds et volumineux. Recycl'eye propose des solutions dans le tri des déchets banals et de collecte sélective.

La vision industrielle : voir au-delà de l'œil humain

La vision industrielle est une technologie clé qui permet aux robots de « voir » et d'analyser les matériaux avant de les trier. Elle utilise des caméras et des capteurs pour capturer des images des objets,

puis les analyse pour en extraire des informations pertinentes, comme la forme, la couleur, la texture, et plus encore.

Caméras et capteurs

Les systèmes de vision industrielle utilisent différents types de caméras, notamment des caméras haute résolution, des capteurs 3D, et des caméras multispectrales, pour capturer des images détaillées des matériaux. Ces images sont ensuite traitées par des logiciels d'analyse d'image qui utilisent des algorithmes sophistiqués pour identifier les matériaux.

Traitement et classification

L'algorithme de traitement d'image analyse les données collectées par les caméras et les capteurs pour identifier et classer les matériaux. Par exemple, une caméra peut capturer une image d'une bouteille en plastique, et l'algorithme peut la reconnaître comme étant du PET (polyéthylène téréphtalate), un type de plastique couramment utilisé dans les bouteilles de boissons. Une fois identifié, le matériau est trié en conséquence.

La vision hyperspectrale : une révolution dans le tri des déchets

La vision hyperspectrale va au-delà de la vision industrielle traditionnelle en capturant des informations sur un large spectre de longueurs d'onde, couvrant généralement l'ultraviolet, le visible et l'infrarouge. Chaque matériau a une signature spectrale unique, c'est-à-dire une empreinte numérique qui correspond à la manière dont il réfléchit la lumière à différentes longueurs d'onde. Cela permet à la vision hyperspectrale d'identifier des matériaux qui seraient impossibles à distinguer avec des méthodes conventionnelles.

Fonctionnement de la vision hyperspectrale

La vision hyperspectrale capture un « cube de données » où chaque pixel de l'image est associé à une série de valeurs représentant l'intensité de la lumière à différentes longueurs d'onde. En analysant ces données, il est possible de déterminer la composition chimique d'un matériau avec une précision exceptionnelle.

Applications dans le tri des déchets

Dans le contexte du tri des déchets, la vision hyperspectrale est utilisée pour identifier et trier une grande variété de matériaux, y compris les plastiques, les métaux, les verres, et même les matériaux composites. Par exemple, la technologie peut distinguer :

- différents types de plastiques, comme le PET, le HDPE (polyéthylène haute densité), et le PVC (polychlorure de vinyle) (Fig. 1).
- différents types de bois : bois non-traités des bois traités (Fig. 2). Ces distingos sont, pour la plupart, invisible à l'œil nu.

Ci-contre exemples de traitement d'image pour reconnaissance des matériaux (Fig. 3).

Défis et opportunités

Bien que la vision hyperspectrale offre une précision inégalée, son coût élevé et sa complexité technique restent des défis. Cependant, avec les progrès continus de la technologie et la réduction des coûts, il est probable que la vision hyperspectrale devienne plus accessible à un plus grand nombre d'installations de recyclage.

Synergie entre robotique et vision hyperspectrale

La véritable révolution dans le tri des déchets réside dans la synergie entre la robotique et la vision hyperspectrale. Ensemble, ces technologies permettent de créer des systèmes de tri automatisés extrêmement efficaces, capables de traiter des volumes élevés de déchets tout en maintenant une précision élevée.

Automatisation intelligente

Les robots, équipés de systèmes de vision hyperspectrale, peuvent identifier et trier les matériaux en temps réel, sans intervention humaine. Cela permet non seulement d'accélérer le processus de tri, mais aussi d'améliorer la qualité des matériaux triés, en réduisant les taux de contamination.

Réduction des coûts

Bien que l'investissement initial dans ces technologies puisse être élevé, les économies réalisées à long terme compensent largement ces coûts. La réduction des erreurs de tri, l'augmentation de la productivité, et la diminution des coûts de main-d'œuvre sont autant de bénéfices tangibles de l'automatisation intelligente.

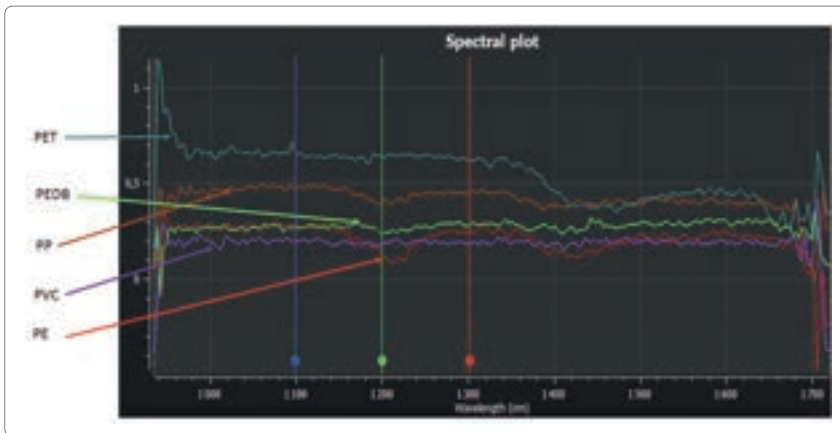


Fig. 1
Image spectrale des différents types de plastique.
Source : Poly Process Solutions

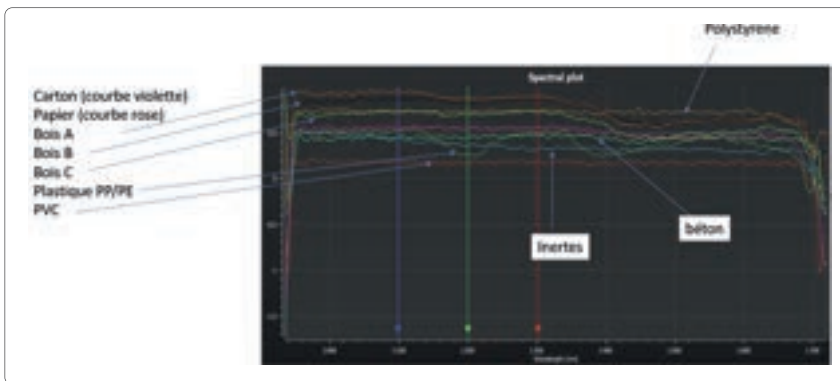


Fig. 2
Image spectrale de différentes matières.
Source : Poly Process Solutions



Fig. 3
Exemples de traitement d'image pour reconnaissance des matériaux.
Source : Poly Process Solutions

Cas pratiques

Un exemple concret de cette synergie est le système de tri développé par Tomra Sorting Solutions, qui combine la vision hyperspectrale et la robotique pour trier efficacement les plastiques, les métaux et autres matériaux recyclables. Leurs systèmes sont utilisés dans des centres de recyclage à travers le monde, où ils améliorent considérablement les taux de récupération des matériaux.

Perspectives futures

L'avenir du tri des déchets sera indéniablement marqué par l'adoption croissante de la robotique et de la vision hyperspectrale. Ces technologies continuent de se développer, avec des innovations constantes qui visent à améliorer encore leur précision, leur efficacité et leur accessibilité.

Intégration avec l'IA et l'industrie 4.0

L'intégration des systèmes de tri automatisés avec l'intelligence artificielle et les technologies de l'industrie 4.0, comme l'Internet des objets (IoT) et les systèmes de gestion des données en temps réel, permettra de créer des réseaux de recyclage encore plus connectés et optimisés. Cela offrira des possibilités d'adaptation dynamique aux variations des flux de déchets et aux évolutions des marchés des matières premières.

Miniaturisation et accessibilité

À mesure que la technologie devient plus mature, on peut s'attendre à une miniaturisation des composants et à une réduction des coûts, ce qui rendra ces systèmes accessibles à une plus grande variété d'installations, y compris les plus petites. Cela pourrait transformer la manière dont le tri des déchets est géré dans les pays en développement, où les infrastructures de recyclage sont souvent limitées.

Applications étendues

Outre les applications traditionnelles dans le tri des plastiques, des métaux, et des déchets industriels, la vision hyperspectrale pourrait être utilisée pour des flux de déchets plus complexes, comme les déchets électroniques (e-waste) et les textiles. Ces secteurs présentent des défis uniques en matière de tri, mais pourraient grandement bénéficier de la précision offerte par la vision hyperspectrale.

Points clés pour la robotisation d'une ligne de tri de déchets avec vision industrielle

L'intégration de la robotique avec la vision industrielle dans une ligne de tri de déchets est un processus complexe qui nécessite une attention particulière à plusieurs aspects pour garantir son efficacité et sa rentabilité. Voici les points clés à considérer lors de la robotisation d'une ligne de tri :

1. Analyse des besoins et objectifs :

Avant de mettre en place un système robotisé, il est essentiel de définir clairement les objectifs de la ligne de tri. Cela inclut le type de déchets à traiter, les volumes de déchets à trier, et le niveau de pureté requis pour les matériaux triés. Une compréhension précise des besoins permet de choisir les technologies les plus adaptées.

Les déchets

Une matière diverse, qui appelle à l'innovation

2. Sélection des technologies de vision :

Le choix des technologies de vision industrielle (2D, 3D, hyperspectrale) doit être basé sur les types de matériaux à trier. Par exemple, la vision hyperspectrale est idéale pour différencier des matériaux ayant des signatures spectrales similaires, comme différents types de plastiques. La vision 3D peut être préférable pour des objets volumineux ou irréguliers.

3. Conception du système de préemption :

Le système de préhension doit être conçu pour manipuler en toute sécurité et efficacement les différents types de matériaux identifiés par le système de vision. Cela peut inclure des pinces robotiques, des ventouses, ou des systèmes hybrides capables de manipuler des matériaux fragiles ou volumineux.

4. Intégration de l'intelligence artificielle :

L'IA joue un rôle crucial dans l'analyse des données capturées par les systèmes de vision. L'intégration de l'apprentissage automatique permet d'améliorer continuellement la précision du tri en apprenant à partir des erreurs et des nouveaux types de déchets. Cette capacité d'apprentissage rend le système adaptable aux changements dans les flux de déchets.

5. Synchronisation et coordination :

Pour maximiser l'efficacité, il est important de synchroniser les différents éléments de la ligne de tri, y compris les convoyeurs, les systèmes de vision, et les robots. Une coordination précise assure que les matériaux sont triés en continu, sans accumulation ni interruption dans le processus.

6. Ergonomie et sécurité :

L'intégration de robots dans une ligne de tri implique également des considérations ergonomiques et de sécurité. Les systèmes doivent être conçus pour minimiser les risques pour les opérateurs humains, notamment en évitant les zones de contact direct avec les robots en fonctionnement. Des dispositifs de sécurité tels que des capteurs de présence et des arrêts d'urgence doivent être installés pour prévenir les accidents.

7. Maintenance et support technique :

Un plan de maintenance rigoureux est essentiel pour assurer le bon fonctionnement du système robotisé. Cela inclut des contrôles réguliers des caméras, des capteurs, et des robots, ainsi que la mise à jour des logiciels pour maintenir la précision de la vision et des algorithmes d'IA. Le support technique doit être facilement disponible pour résoudre rapidement les problèmes qui peuvent survenir.

8. Coût-bénéfice et retour sur investissement (ROI) :

L'analyse économique doit être réalisée pour évaluer le coût d'investissement initial par rapport aux économies réalisées à long terme grâce à l'automatisation. Les bénéfices peuvent inclure une réduction des coûts de main-d'œuvre, une augmentation de la productivité, et une amélioration de la qualité des matériaux triés. Un ROI favorable est crucial pour justifier l'investissement dans la robotisation. ■



SARENS
NOTHING TOO HEAVY, NOTHING TOO HIGH

Spécialiste du levage de la manutention et du transport de charges toutes dimensions.

Notre expertise s'étend à travers toute la France pour répondre aux besoins de déplacement de charges horizontales ou verticales, des plus simples aux plus complexes :

- Location de grues mobiles
- Projets intégrés
- Maintenance - Montage - Transfert
- Etudes / Solution d'ingénierie

CONTACT
Mail: info@sarens.fr
Tel: 03 28 64 01 10
Découvrez nos agences sur sarens.fr

Sarens recrute et recherche des talents comme vous pour renforcer ses équipes !

Découvrez nos offres d'emploi en scannant le QR CODE:



Ou envoyez votre cv à aline.hess@sarens.fr





**VOTRE PARTENAIRE LOCAL DANS LA CONSTRUCTION, L'ENTRETIEN ET LA MAINTENANCE
DES ROUTES POUR LES TRAVAUX PUBLICS ET LES PARTICULIERS**

**Terrassement - Voirie et réseaux divers - Enrobés
Aménagement d'espaces publics ou privés**

EUROVIA PICARDIE - AGENCE DE COMPIÈGNE

Boulevard Henri Barbusse - BP 10064 - 60777 Thourotte cedex
T/ 03 44 90 40 40 - email : thourotte@eurovia.com
www.eurovia.fr



**Cemex est un leader mondial de l'industrie du ciment,
des granulats, du béton prêt à l'emploi et des solutions
d'urbanisation.**

En France, Cemex est un acteur de premier plan du béton prêt à l'emploi et des granulats avec plus de 260 implantations réparties sur le territoire.

L'entreprise propose des produits et services innovants et durables, qui permettent de répondre aux défis techniques de la construction et de contribuer à l'amélioration du cadre de vie, tout en limitant l'impact de ses activités sur l'environnement et la société.

Ses sites bétons et granulats sont certifiés ISO 14001 et Engagement biodiversité, ils ont atteint le niveau "exemplarité" dans le cadre du Label RSE UNICEM Entreprises Engagées.

Cemex France a adopté la qualité de société à mission en mars 2023.

Vous souhaitez nous rejoindre ? N'hésitez plus et envoyer votre CV :

rhfrancerecrutement@cemex.com





DESGRANGES CDE
L'ÉNERGIE DE L'EAU

C.D.E HYDRAULIQUE

Taillage - Profilage de roues neuves
Réparation de roues en ateliers et sur site

Francis - Pelton - Kaplan

Inox - Acier - Cupro-Aluminium - Fonte

1535, chemin des Levées 26600 TAIN L'HERMITAGE
Tél. : 04 75 07 25 61 - Mail : contact@cde-hydraulique.fr
NOUVEAU : www.desgranges-cde.fr



Profilage de roues neuves

Réparation en atelier

Réparation sur site

DESGRANGES CDE assure la précision et la maintenance de vos équipements pour des installations allant jusqu'à plusieurs dizaines de MW.



Profilage et réparations de roues

PROFILAGE DE ROUES NEUVES



Caractéristiques

Type de roue : Pelton / Francis / Kaplan / Turgo
Matériau : inox / cupro-aluminium / acier / fonte / cuivre
Puissance : de 100 kW à 10 MW
Vitesse : de 10 à 10 000 tr/min

REPARATIONS SUR SITE



Caractéristiques

Type de roue : Pelton / Francis / Kaplan / Turgo / Sirocco
Matériau : inox / cupro-aluminium / acier / fonte / cuivre
Puissance : de 100 kW à 10 MW
Vitesse : de 10 à 10 000 tr/min

REPARATIONS EN ATELIER



Caractéristiques

Type de roue : Pelton / Francis / Kaplan / Turgo
Matériau : inox / cupro-aluminium / acier / fonte / cuivre
Puissance : de 100 kW à 10 MW
Vitesse : de 10 à 10 000 tr/min

MACHINERIE ET RESSOURCES



Caractéristiques

Type de roue : Pelton / Francis / Kaplan / Turgo
Matériau : inox / cupro-aluminium / acier / fonte / cuivre
Puissance : de 100 kW à 10 MW
Vitesse : de 10 à 10 000 tr/min

Roger MUSTIERE

Nos activités

- Pipeline
- Terrassement
- V.R.D.
- Réseaux Secs
- Assainissement Eaux Usées / Pluviales

Nos forces

- Ecoute
- Force de frappe
- Réactivité
- Adaptabilité



Grâce à son expertise et ses compétences techniques, l'entreprise Roger MUSTIERE offre des solutions de qualité dans les domaines du terrassement, des travaux publics et du génie civil, depuis la conception jusqu'à la réalisation des projets.

www.rogermustiere.fr

Implantée entre Nantes et Rennes depuis plus de 60 ans, l'entreprise Roger MUSTIERE se distingue par un parc d'engins conséquent, une grande réactivité et la diversité de ses activités

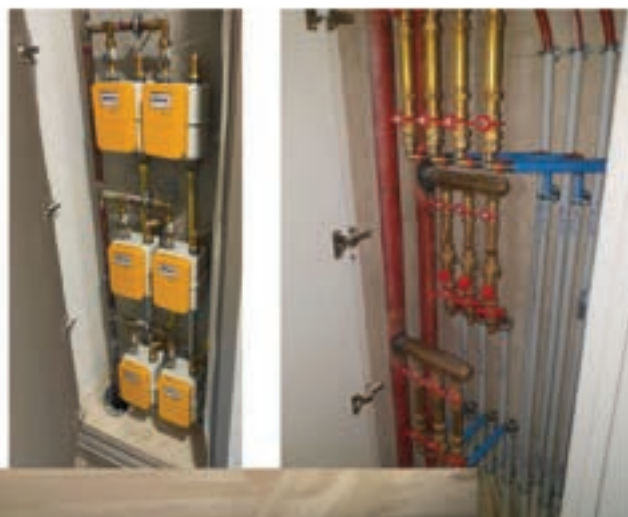


Les Grandes Haies,
44590 Derval
02 40 07 71 36

contact@rogermustiere.fr



*Faire confiance à une équipe de professionnels
pour vos futurs chantiers*



PIS PRO 6, rue des Bateliers - Bureau 3 - 92110 CLICHY - Email : pispro93@gmail.com - Tél. : 06 52 89 07 80



à SAINT-AVOLD

DNS Group

DNS Métal

- Soudure
- Tuyauterie industrielle
- Maintenance industrielle
- Travaux neufs
- Découpe laser
- Pliage et façonnage de tôle

DNS Solution

- Génie civil
- Second oeuvre
- Multiservices entreprises
- VRD

CONTACTS

 **03 87 92 55 59**

 contact@dns-group.fr

La Responsabilité élargie du producteur : Un outil essentiel mais à perfectionner pour la transition écologique

La France a été en 1992 parmi les premiers pays européens à développer le concept de « responsabilité du producteur ».

Qu'est-ce que la Responsabilité élargie du producteur

Le principe est simple : celui qui fabrique, qui distribue un produit ou qui l'importe doit prendre en charge sa fin de vie. Le producteur et le distributeur doivent ainsi financer, organiser et mettre en place les solutions de collecte, de réutilisation ou de recyclage appropriées pour son produit à sa fin de vie. C'est une application du concept du pollueur payeur : plus un produit est polluant, plus les coûts pour sa fin de vie sont importants pour le producteur. C'est une vraie rupture de la gestion linéaire d'un produit, autrefois, un produit est conçu, produit, consommé puis éliminé, cette solution encore très en vigueur dans les années 1980 n'était pas durable.

Ce concept très novateur des années 90 n'enlève rien à la responsabilité de celui qui abandonnerait son produit après usage de façon inappropriée. Pour le dire plus simplement : le déchet sauvage, abandonné dans la nature relève toujours de la responsabilité directe de celui qui a fait cette incivilité.

Historique du concept

L'OCDE avait dès 1989 commencé à travailler sur les instruments économiques

pour la protection de l'environnement, leurs travaux avaient été complétés ensuite en 1994/1995 par des travaux sur la Responsabilité élargie du producteur.

L'Ordonnance Topfer en Allemagne en 1990 fut à l'origine de la création du *Duales System Deutschland* (DSD) et du Point vert sur les emballages avec l'objectif de les collecter pour les recycler.

En France, sous l'impulsion du Ministre Brice LALONDE les travaux relatifs au tri et au recyclage avaient démarré : Comment générer des moyens financiers pour réduire le gaspillage et la pollution sans impacter la fiscalité ? Comment mettre en place une dynamique de tri et de recyclage des emballages et des papiers/cartons ?

La synergie des acteurs publics et privés a très bien fonctionné : Cabinet du Ministre de l'Environnement, administrations de l'écologie, de l'industrie, de l'agriculture, des collectivités locales et des finances, ANRED (ancêtre de l'ADEME, l'Agence de la transition écologique), Association des Maires de France, associations de protection de l'environnement et de défense des consommateurs, Danone. Danone a entraîné avec lui de nombreux acteurs industriels au travers de l'Institut de liaisons des entreprises de consommation « ILEC » tels que Coca, Procter, Unilever et de nombreux autres ..., auxquels se sont ralliés

PARCOURS



Johann LECONTE

IMT Nord Europe, promo 1981

Il est retraité après une carrière à développer le tri sélectif dans le public puis dans le privé. A titre bénévole, il est Pilote du Réseau « Prévention et gestion des déchets » de France Nature Environnement, membre du Conseil National de l'Economie Circulaire.

progressivement les filières de matériaux et la Fédération Professionnelle des Entreprises du Recyclage (Federec).

A la demande de Brice LALONDE, Antoine RIBOUD (Président de Danone), entouré d'autres acteurs industriels, a rédigé un premier projet dit Rapport Riboud pour proposer une solution opérationnelle permettant d'impliquer les entreprises dans la mise en œuvre d'un dispositif économique qui permettrait de financer le déploiement de la collecte sélective en France.

Ces premiers travaux furent suivis d'un second rapport de Jean-Louis BEFFA (PDG de Saint-Gobain) visant à préciser la mise en œuvre, ces deux rapports entraînent la publication du décret "Lalonde" le 1^{er} avril 1992 et la création d'Eco-Emballages (décembre 1992)

La hiérarchie des modes de traitement fut un autre élément fondateur de la politique nationale de gestion des déchets, il s'agit d'un ordre de priorité défini au niveau européen pour la gestion et la valorisation des déchets.

La première priorité est évidemment d'éviter la production du déchet : Cette hiérarchie des modes de traitement a pour but d'encourager la valorisation des déchets et donc de diminuer l'utilisation de matières premières vierges. Elle est un des piliers de la réglementation relative aux déchets.

Cette obligation n'est pas directement applicable aux ménages, car leurs déchets sont gérés par le service public. Chaque personne est en revanche en mesure d'y participer activement, en triant ses déchets. Cette action quotidienne et simple permet d'améliorer les taux de valorisation des déchets ménagers et la qualité des matières valorisées.

A l'origine le mécanisme de « REP » (Responsabilité élargie du producteur) ne visait que la mise en œuvre de la collecte sélective, du tri et du recyclage, l'écoconception s'est rapidement ajoutée aux objectifs. Depuis lors, au fil des agréments ou réagréments des filières concernées se sont ajoutées des responsabilités en matière de réemploi et de réparation.

La première REP mise en place a concerné les emballages ménagers. A l'origine, le projet visait également les emballages industriels et commerciaux et les journaux. La complexité de la concertation et de la coordination a amené rapidement à se focaliser sur les emballages ménagers en reportant à plus tard les deux autres sujets.

Trente ans plus tard il est sans doute difficile d'imaginer les difficultés pour réaliser cette concertation car chacun des acteurs avait de bonnes raisons de défendre ses intérêts et ceux-ci n'étaient pas toujours convergents. Et pourtant, après plus un an de travaux et de discussions, le consensus fut atteint et permit simultanément la parution d'un décret d'application in extremis (le jour-même d'un changement de gouvernement) et la création d'Eco-Emballages, 1^{er} éco-organisme créé par les entreprises metteurs en marché.

La 1^{ère} REP devint opérationnelle le 1^{er} janvier 1993, Eco-Emballages suivie par Adelphi (pour les vins et spiritueux) commença à collecter des cotisations auprès de ses adhérents. Il est important de bien noter qu'il ne s'agit pas d'une taxe mais d'une cotisation volontaire dont le dispositif économique est géré par les entreprises au travers d'un éco organisme après avoir reçu un agrément des pouvoirs publics). La complexité économique du projet était qu'il fallait évaluer le plus justement possible le besoin financier à couvrir, de bien mesurer les unités de produits concernés par la REP mises en marché en France qu'elles soient produites en France ou importées puis à répartir la cotisation de la façon la plus équilibrée possible pour que les cotisations reçues permettent de couvrir le besoin financier. Ce sont donc les entreprises qui paient cette contribution à l'éco-organisme agréé de leur choix, et pas le consommateur, en pratique on peut penser qu'avec le temps le coût de cette cotisation intègre progressivement le coût du produit et qu'*in fine* c'est bien le consommateur qui en supporte la charge, ce n'est pas en tout cas le contribuable et cela change tout.

Ce dispositif a fonctionné immédiatement et la levée des cotisations s'est déroulée sans heurts majeurs. Cet argent privé avait comme objectif de participer au financement de la filière nationale de collecte et de tri des emballages en vue du recyclage et de permettre aux entreprises d'assumer leur responsabilité.

Les collectivités locales représentées par l'AMF (Association des Maires de France) étaient en responsabilité de l'organisation opérationnelle de la collecte sélective et du tri, mais avaient exigé une garantie de reprise des matériaux triés. Par le passé (1980-1985) certaines collectes sélectives avaient dû être abandonnées faute de trouver des repreneurs des matériaux. Il fallait donc sécuriser les débouchés par une garantie de reprise.

La garantie de reprise

Il fallut donc que les industriels des filières de matériaux et les récupérateurs se mettent autour de la table, définissent des critères de qualité des matériaux à reprendre, et les conditions de leur reprise et notamment un prix de reprise minimum. Le recyclage était bien connu pour certains matériaux (verre, papier et carton, acier) mais d'autres l'étaient moins (alu, plastiques). Pas facile à mettre au point et à négocier mais là aussi le consensus fut trouvé et cette garantie de reprise fut apportée aux collectivités locales via Eco-Emballages et les filières de matériaux dès le 1^{er} janvier 1993.

Cette première REP permit le déploiement de la collecte sélective progressivement et en moins de 10 ans le territoire fut couvert avec plus ou moins d'efficacité et de performance : La méthode de collecte sélective n'est pas homogène sur notre territoire, ici les bacs de collectes sont jaunes, là bleus et d'autres couleurs existent. Ici la collecte se fait au porte-à-porte, là en point d'apport volontaire, d'autres dispositifs peuvent cohabiter. Ici on sépare les journaux des emballages et là on les met ensemble, ici les boîtes de conserves sont avec les plastiques et là non... La difficulté qu'a rencontré Eco-Emballages (devenue Citéo aujourd'hui) est que les collectivités locales étaient libres de leurs choix et aucune réglementation ne permettait d'imposer une standardisation. C'est assurément un point qui mériterait d'être revu.

Chez nos voisins européens ce n'est pas plus homogène ! J'ai pu le constater très récemment dans les pays du Nord de l'Europe. La France n'a pas à rougir de son dispositif.

Extension des REP

Depuis le dispositif s'est largement étendu et pourrait l'être encore un peu plus. C'est un mécanisme très opérationnel pour engager les entreprises dans la transition écologique, pour développer l'écoconception, développer la réparabilité, réduire le gaspillage. A ce jour le mécanisme des REP couvre 25 filières de produits :

Les emballages ménagers, les piles et accumulateurs, les équipements électriques et électroniques (EEE), les papiers

Les déchets

Un enjeu de responsabilité

graphiques ménagers, les véhicules hors d'usage, les médicaments non utilisés, les pneus, les textiles et chaussures, les produits chimiques ménagers, les meubles, les bouteilles de gaz, les bateaux de plaisance et de sport hors d'usage, les objets perforants des patients en autotraitement (DASRI) et les fluides frigorigènes, les produits du tabac, les jouets, les articles de sport et de loisirs, les articles de bricolage et de jardin, les produits ou matériaux de construction du bâtiment, les voitures, camionnettes, véhicules à moteur à deux ou trois roues et les quadricycles à moteur, les huiles minérales ou synthétiques, lubrifiantes ou industrielles, les pneus, les chewing-gums, les textiles sanitaires à usage unique, y compris les lingettes préimbibées et les engins de pêche contenant du plastique.

8,1 millions de tonnes de matériaux ont été recyclées en 2023 au travers des filières REP. 1,7 milliards d'euros ont été perçus par les éco-organismes pour la gestion des déchets des filières REP et 811 millions d'euros ont été versés aux collectivités locales en contrepartie du tri et du recyclage. (source MTE/ADEME). Ce mécanisme des REP est donc un outil majeur de la transition écologique.

Toutes les entreprises qui produisent des objets à destination du grand public sont concernées par ce mécanisme qui représente une véritable mise en œuvre opérationnelle de l'économie circulaire. Tout ingénieur en responsabilité doit connaître le concept pour s'y adapter et faire en sorte que l'activité de l'entreprise dans laquelle il travaille œuvre bien dans le bon sens. Le dérèglement climatique le prouve tous les jours, nous ne pouvons plus produire et consommer sans prendre en compte la fin de vie des produits.

Et la REP dans le monde ?

Le principe de la Responsabilité Élargie du Producteur (REP) a été adopté par de nombreux pays dans le monde, chacun l'adaptant en fonction de ses priorités environnementales et de son cadre législatif.

L'Union Européenne a été pionnière dans ce domaine

- **Cadre Réglementaire** : L'Union européenne (UE) a été un précurseur dans la promotion de la REP, intégrant

ce principe dans plusieurs directives, telles que celles sur les emballages et les déchets d'emballages, les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), et les véhicules hors d'usage (VHU). La directive-cadre sur les déchets de 2008 impose aux États membres de mettre en place des régimes de REP pour divers produits, y compris les emballages, les pneus, et les équipements électroniques.

- **Mise en Œuvre** : Les pays membres de l'UE ont mis en place des systèmes de REP, mais avec des niveaux d'efficacité variables. Certains pays, comme l'Allemagne et les Pays-Bas, ont des systèmes très développés avec des taux de recyclage élevés, tandis que d'autres, notamment en Europe de l'Est, rencontrent encore des défis pour atteindre les objectifs européens.

Mais le reste du monde s'est également intéressé au concept et s'est mis en mouvement, quelques exemples :

Japon

- **Système de REP** : Le Japon a adopté un système de REP très structuré, notamment pour les appareils électroniques, les véhicules, et les emballages. Le pays se distingue par un haut niveau de recyclage, favorisé par une culture de la réutilisation et du recyclage, ainsi que par des lois strictes comme la "*Home Appliance Recycling Law*" et la "*End-of-Life Vehicle Recycling Law*".
- **Innovations** : Le Japon se concentre également sur l'innovation technologique pour améliorer l'efficacité du recyclage et réduire les déchets.

États-Unis

- **Développement Hétérogène** : Aux États-Unis, le développement de la REP est moins centralisé que dans l'UE ou au Japon. Les programmes de REP sont principalement établis au niveau des États. Certains États, comme la Californie et New York, ont des systèmes avancés pour les appareils électroniques, les piles, et les emballages.
- **Défis** : L'absence d'un cadre fédéral harmonisé a conduit à des résultats inégaux à travers le pays. Cependant, l'intérêt pour la REP augmente, avec de plus en plus d'États adoptant des législations spécifiques.

Canada

- **Approche Provinciale** : Comme aux États-Unis, le Canada applique le principe de la REP au niveau provincial. La Colombie-

Britannique et l'Ontario sont des leaders avec des programmes étendus couvrant les produits électroniques, les piles, les pneus, et les peintures.

- **Initiatives Nationales** : Bien que la gestion des déchets soit de compétence provinciale, il existe des efforts pour coordonner les programmes à l'échelle nationale, notamment à travers le Conseil canadien des ministres de l'environnement.

Chine

- **Émergence de la REP** : La Chine, confrontée à d'importants défis environnementaux, a commencé à adopter la REP dans les années 2000, en se concentrant initialement sur les équipements électroniques et les véhicules.
- **Mise en Place Progressive** : Le pays a introduit la "*Circular Economy Promotion Law*" en 2009, qui soutient la REP. Cependant, la mise en œuvre reste inégale, en partie à cause de la taille du pays et de la complexité de son système industriel.

Amérique Latine

- **Développement en Cours** : La REP est en développement dans plusieurs pays d'Amérique Latine, comme le Chili, le Brésil, et le Mexique. Le Chili a adopté une loi sur la REP en 2016, couvrant divers produits, y compris les batteries et les appareils électroniques. Le Brésil a également des initiatives en place, mais leur efficacité varie selon les régions.

Afrique

- **Développement Progressif** : En Afrique, le concept de REP est encore en phase de développement. Des pays comme l'Afrique du Sud et le Kenya ont commencé à mettre en œuvre des systèmes de REP pour certains produits, notamment les équipements électroniques et les pneus. Cependant, le continent fait face à des défis considérables en termes d'infrastructure et de financement pour une mise en œuvre plus large.

L'Europe demeure un leader incontesté du concept avec des cadres législatifs robustes et des systèmes bien établis. En Amérique du Nord et en Asie, la mise en œuvre de la REP progresse, bien que de manière plus fragmentée et avec des défis spécifiques. D'autres régions, comme l'Océanie, l'Amérique Latine, et l'Afrique, sont à différents stades de développement de la REP, avec des initiatives prometteuses mais

nécessitant souvent un soutien accru en termes de législation et d'infrastructure.

Pour que la REP atteigne son plein potentiel mondialement, il est essentiel de partager les meilleures pratiques, d'adapter les cadres législatifs aux réalités locales, et de renforcer la coopération internationale. Cela permettra de créer une économie circulaire plus harmonieuse et efficace, contribuant ainsi de manière significative à la transition écologique globale.

Des points de vigilance et/ou d'amélioration restent à travailler

De nombreuses entreprises s'inscrivent déjà dans la transition écologique, avec conviction, mais pas toutes ! certaines sont plus à la traîne, ne regarde encore que le court terme. Pour une efficacité optimale, il faut une réelle synergie des acteurs, des entreprises pour commencer, et notamment en surmontant la difficulté de leur concurrence entre elles, les filières de collecte, de tri et de recyclage, les collectivités locales, les consommateurs/citoyens/trieurs.

Cette synergie des acteurs fonctionne bien dans la plupart des cas mais dans certaines filières moins bien, ce qui n'aide pas à accroître l'efficacité générale.

Toutes les filières REP n'ont pas encore la Responsabilité complète de la fin de vie des produits que leurs industriels mettent sur le marché pour différentes raisons : souvent parce qu'il existait des filières de recyclage préexistantes et qu'il a été souhaité les préserver, mais est-ce efficace ?

La cotisation unitaire versée par les entreprises est calculée pour être adaptée à chaque contexte de REP, plus un produit est complexe à collecter, trier et recycler, plus il paie, et inversement. Nous ne sommes pas encore assez différenciant économique, ce coût de contribution n'est pas suffisamment visible pour le grand public pour que ce montant devienne un des critères de choix des consommateurs et pourtant ce serait essentiel pour inciter à préférer les produits plus vertueux et à délaissier ceux qui le sont moins.

L'écoconception est promue dans le mécanisme de cotisation via des dispositifs de bonus/malus qui visent à créer un intérêt économique à faire mieux



et consommer moins mais les montants de ces bonus/malus sont aujourd'hui insuffisamment discriminants pour que les mauvaises pratiques disparaissent rapidement.

Les premiers fonds réemploi et réparation viennent d'être créés, c'est une très bonne chose, car nous étions dans une spirale infernale de jeter systématiquement un produit avant même d'avoir tenté de le réparer. Bien des emplois de la réparation ont disparu ces dernières années. Ces fonds spéciaux doivent permettre de recréer une dynamique économique et professionnelle en faveur du réemploi et de la réparation qui se situe dans la hiérarchie de gestion des déchets bien avant le recyclage et la valorisation. Ces fonds ne sont pas suffisants aujourd'hui, et il faut soutenir très fortement la filière professionnelle de réparation pour lui permettre de répondre aux enjeux.

La formation professionnelle de tous les métiers concernés par ces REP est-elle suffisante pour inciter les acteurs à mieux faire ? Prenons l'exemple des BTP dont les activités viennent de rentrer dans une nouvelle REP : Comment mieux trier, mieux déconstruire, mieux réemployer, mieux recycler ? ça doit évidemment être porté, piloté par les maîtres d'ouvrage et les maîtres d'œuvre mais ça ne marchera pas si le maçon, celui qui utilise les outils de démolition, le grutier, le conducteur de la pelle mécanique... ne sont pas formés, sensibilisés à faire différemment d'avant. Il faut aussi qu'à la construction, dès la conception, les nouveaux ouvrages aient

été pensés pour pouvoir longtemps après, le plus longtemps possible après, être démontés, déconstruits en permettant au maximum le réemploi et le recyclage : c'est ce que faisaient systématiquement nos ancêtres autrefois mais ce bon sens avait disparu des radars, hélas.

L'adhésion des consommateurs/citoyens/contribuables est encore à accompagner pour rendre le mécanisme totalement efficace dans la lutte contre le gaspillage et la pollution. Il y a encore aujourd'hui trop de personnes à ne pas savoir trier correctement ou ne pas y accorder d'attention suffisante, leur geste est pourtant essentiel à l'efficacité. Il y a donc un très important travail à mener d'information et de sensibilisation de toutes les classes d'âge. A la création d'Eco-Emballages, des équipes d'« ambassadeurs du tri » avaient été développées dans les communes, cela avait été très efficace. Elles ont progressivement disparu alors qu'avec le développement des filières REP il y en a encore un crucial besoin. Les marques elles-mêmes ont une responsabilité pour informer leurs consommateurs, pas seulement sur le geste de tri pour permettre le recyclage mais aussi pour redonner du sens à la réflexion préalable à la consommation : quel besoin ? quelle qualité ? quelle réparabilité ?

Les enjeux du développement des REP sont multiples : certains de ces enjeux relèvent du régalien, d'autres relèvent de la

Les déchets

Un enjeu de responsabilité

responsabilité des entreprises sous REP :

- Réduire la consommation de matières premières, lutter contre le gaspillage, réduire la pollution
- La mise en marché de produits non réparables, non recyclables devrait être interdite
- Réduire l'impact environnemental d'un produit de sa conception à sa fin de vie (matière et énergie)
- Respecter la hiérarchie européenne de traitement des déchets
- Permettre et développer le réemploi et la réparation et leurs filières professionnelles
- Lutter contre l'obsolescence programmée, allonger la durée de vie des produits
- Développer la réparation, le recyclage et la réutilisation
- Valoriser en matière et sinon en énergie pour ne détruire que la fraction ultime incompressible, cette dernière solution ayant vocation à disparaître.
- Aider le consommateur à consommer mieux, à réduire le gaspillage de matière et d'énergie
- Consommer moins de plastique dont on découvre tous les jours qu'ils produisent des micro-polluants dont on ne mesure pas bien aujourd'hui les impacts sur le vivant

La Responsabilité Individuelle, une valeur à cultiver

Il est indispensable qu'un travail de fond soit mené sur la notion de responsabilité individuelle, pas seulement au niveau du consommateur mais plus encore à tous les stades de l'entreprise : de la conception au marketing : Comment peut-on raisonnablement encore commercialiser des produits, fortement consommateurs d'énergie ou de métaux précieux à durée de vie très courte, non réparables et non recyclables ? Nous avons tous une responsabilité dans chacun de nos faits et gestes, mais en avons-nous pleinement conscience ? L'ingénieur en train de concevoir un nouveau produit, une procédure de mise en œuvre ou une règle de contrôle intègre-t-il bien tous les paramètres de l'environnement de son sujet ? Souvent la pression économique réduit le champ de vision : il faut aller vite, faire simple et économique, oui mais quelles sont les conséquences sur les impacts environnementaux du produit, du processus

de contrôle ? sur la durée de vie du produit, sur sa qualité ou sur sa réparabilité ?

Quel chemin pour demain ?

Les formations professionnelles que nous avons eu la chance de suivre ou que nous suivons en ce moment doivent nous aider à penser autrement, à prendre de la hauteur, à bien mesurer la responsabilité qui est la nôtre dans nos activités professionnelles pour que la transition écologique puisse devenir une réalité. Le sujet est un peu technique mais pas tant que cela, il relève d'abord du bon sens, de notre capacité à analyser et à nous projeter, à résister à la pression professionnelle qui tente de nous imposer de faire trop vite et trop simple. Ceux qui ont construit les cathédrales prenaient beaucoup plus de temps à réfléchir, à observer, à ressentir mais c'est grâce à ce temps que mille ans après les cathédrales sont encore debout, ça ne risque pas d'être le cas de nombreux ouvrages actuels. Mon propos s'applique à tous nos métiers car que dire de l'obsolescence programmée dans les produits électriques et électroniques ? Que dire des métiers de la communication et du marketing lorsqu'ils ne vendent que du rêve inaccessible et de la superficialité ? J'ai la chance d'habiter dans un petit coin de France (la Bretagne) où les gens ont encore le bon sens de vous dire : avez-vous vraiment besoin de cela ? ne pouvez-vous pas l'emprunter ? ce produit est plus durable que celui-là... La transition écologique est d'abord une question de conviction et de volonté, elle est possible si nous voulons bien !

Conclusion

La Responsabilité Élargie du Producteur (REP) s'est imposée en France et dans le monde comme un mécanisme clé pour la transition écologique, ancrant l'idée que les producteurs doivent assumer la gestion de la fin de vie de leurs produits. En s'appuyant sur le principe du pollueur-payeur, la REP a permis de faire évoluer les pratiques industrielles vers une prise en compte accrue des impacts environnementaux, tout en engageant les entreprises dans un processus d'écoconception et de réduction des déchets, ce n'est pas encore parfait

mais des progrès existent et les pistes d'amélioration sont identifiées. Les jeunes promotions d'ingénieurs qui rejoignent chaque année le monde du travail sont une source d'espoir dans ce sens !

En effet, malgré les progrès accomplis, de nombreux défis subsistent. La diversité des filières REP et la complexité des processus de tri et de recyclage soulignent la nécessité d'une coordination plus étroite entre les acteurs, ainsi qu'une standardisation des pratiques à l'échelle nationale. De plus, la montée en puissance des concepts de réemploi et de réparabilité appelle à des actions plus ambitieuses, tant du côté des entreprises que des pouvoirs publics, pour renforcer ces initiatives et inverser la tendance actuelle de l'obsolescence programmée.

Le succès de la REP repose également sur l'engagement des consommateurs, qui doivent être davantage sensibilisés et informés pour jouer pleinement leur rôle dans ce processus. Les marques, en particulier, ont une responsabilité à cet égard, non seulement en guidant leurs clients vers des choix plus durables, mais aussi en réévaluant les produits qu'elles mettent sur le marché. La sobriété est une nécessité, il y a peu ce vocable était encore tabou, il commence à pouvoir être prononcé, c'est bien mais ça ne va pas assez vite, les dérèglements climatiques nous le rappellent.

À l'aube de nouvelles régulations et avec une conscience écologique croissante, il devient crucial d'affiner et d'élargir le cadre de la REP pour répondre aux exigences de la transition écologique. L'enjeu est de taille : il s'agit de créer un modèle économique circulaire qui ne soit pas seulement vertueux, mais aussi résilient et pérenne, capable de s'adapter aux défis environnementaux et de contribuer de manière significative à la lutte contre le gaspillage et la pollution.

En définitive, la REP ne doit pas être vue comme une contrainte, mais comme une opportunité : celle de repenser notre manière de produire et de consommer, pour construire un avenir plus durable. C'est un défi pour les marques qui veulent durer car les consommateurs ne tarderont pas à boudier à juste titre celles qui ne s'inscrivent pas dans la transition écologique. Cette transformation ne pourra réussir qu'à travers une responsabilité partagée, comprise et acceptée où chaque acteur, des producteurs aux consommateurs, en passant par les pouvoirs publics, se sentira pleinement investi dans ce processus de transition. ■

SOYEZ ACTEUR DE
VOTRE ÉVOLUTION
PROFESSIONNELLE AVEC

NOUS



Découvrez toutes nos offres d'emploi sur :
www.intm.fr



URANO

VOUS AIMEZ LE BLEU ?

Rejoignez-nous !
www.urano.fr

Bureaux : Warcq (08) - Reims (51) - Serris (77)

L'écoconception

Une mine d'opportunités contre des mines à risques

Juillet 2024 : le Règlement « écoconception » est entré en vigueur. Il impose aux acteurs économiques un changement de pratiques important pour fournir des produits durables, bousculant un large panel de métiers, en ingénierie comme en communication. Et ce, pour presque tous les biens physiques circulant sur les marchés de l'UE. Pourtant je tombe de haut en consultant les médias. Est-ce par déformation professionnelle que j'imaginai l'écoconception connue des entreprises ? Aucun résultat de recherche au mot-clé éco conception pour 2024 pour des hebdomadaires de 150-300 000 tirages. L'un des sites aux rubriques-clés « entreprise » et « économie » renvoie exactement 2 articles : en 2023 sur les difficultés de l'industrie textile et en... 2006 pour un Prix de Développement Durable ! Aie, il y a de sacrés défis à relever sur ce sujet pilier de l'économie circulaire !

Les principes

En découpant, éco-conception, ou encore, ecodesign, l'écoconception fait penser à du design optimisé, une conception économe, des quantités de matières réduites, des matériaux durables...

L'écoconception va plus loin que la forme et la matière. C'est une démarche pour réduire les impacts négatifs sur l'environnement des produits, procédés et services, tout en conservant leurs qualités d'usage, en suivant deux perspectives indissociables :

1. Une approche cycle de vie :

c'est lors de la conception que l'on peut le plus influencer les impacts qu'un produit aura sur l'environnement durant toute sa vie - depuis l'extraction des matières premières nécessaires jusqu'à sa fin de vie, en passant par sa fabrication, son transport et ses différentes vies.

2. Une approche multicritère :

ici, on veillera à tenir compte de l'ensemble des enjeux environnementaux afin de limiter les transferts d'impacts.

Ces approches s'appliquent à toutes sortes de systèmes, autant aux produits qu'aux procédés, ainsi qu'aux services, puisque ces derniers reposent aussi sur des biens

PARCOURS



Aude BOUGAIN
IMT Nord Europe, promo 2011
Elle est Ingénieure écoconception à l'ADEME.

physiques pour fonctionner. Diffère alors simplement la définition du cycle de vie, pour lequel l'on retrouve les étapes de conception, acquisition, promotion, logistique, prestation, entretien du matériel et fin de vie des consommables.

Ces approches reposent sur la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV), qui porte en elle-même la notion « multicritère ». Cela permet d'éviter les fausses bonnes idées de produits soi-disant « écologiques », qui

par exemple réussissent une réduction d'émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) au prix d'une consommation et/ou pollution d'eau plus importante ou d'effets néfastes sur la santé humaine ou des écosystèmes. Les transferts d'impacts environnementaux peuvent aussi avoir lieu d'une étape à d'autres, comme certains systèmes dont on annonce une empreinte réduite à l'utilisation en omettant le fait que leur fabrication aggrave la tension sur les ressources ou qu'il n'existe pas encore de vraie gestion de fin de vie.

Pour autant, il ne s'agit pas de regarder uniquement l'aspect environnemental du système. Sa fonctionnalité et ses performances techniques sont tout aussi importantes. Car un produit qui ne répondrait pas au besoin risque de ne pas être utilisé, et de finir à la benne avant d'avoir connu sa première vie, détruit malgré les ressources inutilement mobilisées en amont.

C'est dans cette optique de prévention des déchets que la loi Anti-Gaspillage pour une Économie Circulaire, promulguée en 2020, formule des principes et oblige les producteurs et metteurs en marché à élaborer des plans de prévention et d'écoconception quinquennaux, suivant des exigences de durabilité, réparabilité, recyclabilité, et de transparence d'information au consommateur.

Ecoconception : une approche multicritère par impact environnemental et cycle de vie, 2023.
Source : ADEME,
<https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/ecoconception>



Pourquoi faire de l'écoconception ?

Au-delà de la volonté de protéger l'environnement et de la pression réglementaire, l'écoconception apporte de multiples bénéfices pour les entreprises. Au cœur de la démarche, la question centrale de la satisfaction des besoins catalyse le développement de nouvelles offres et l'accès à de nouveaux marchés. Source d'innovation et de différenciation, la démarche d'écoconception est une opportunité pour améliorer la performance environnementale et technique du produit, et devancer les nouvelles attentes des clients. Ce levier de création de valeur assure aussi une meilleure compétitivité des entreprises. Il participe à sécuriser les approvisionnements et à réaliser des bénéfices économiques. La majorité des entreprises ayant adopté la démarche assurent que celle-ci leur a permis d'anticiper les contraintes externes, et d'améliorer leur capacité d'adaptation, la satisfaction client et l'image de l'entreprise.

Et du côté des Ressources Humaines, pas de doute. Avec des équipes soudées autour d'un projet fédérateur et contributeur de sens, la satisfaction d'avoir réussi à répondre aux enjeux de pollution et de sobriété participe à pérenniser les ressources internes comme les parties prenantes externes. Car l'écoconception est un sujet transverse, et chaque métier apporte sa pierre à l'édifice, depuis le choix du système à écoconcevoir jusqu'à la communication au consommateur. Prod, R&D, QHSE, *supply chain*, marketing, RSE, direction, ... la liste est infinie puisque chacun détient des informations-clés pour stimuler la mise en service de la solution optimale.



La démarche

L'écoconception embarque tout le monde. Cela n'empêche pas de démarrer à petite échelle, avant de déployer la démarche à une plus grande part de l'offre de l'entreprise par amélioration continue.

La démarche comprend 3 étapes itératives :

- 1. Faire un état des lieux :** Réaliser une évaluation initiale des impacts environnementaux du système pour en identifier les principaux enjeux, dits « points chauds ». Des outils simplifiés donnent des orientations pour l'aide à la décision. Pour la quantification, la méthode d'ACV est particulièrement adaptée pour explorer les spécificités du système sur 16 indicateurs.
- 2. Tester des solutions techniques** pour réduire les impacts sans compromettre la réponse du système au besoin. C'est dans cette étape que l'on remet tout à plat en questionnant les fonctionnalités attendues et les choix réalisés dans les versions précédentes. Cette étape peut

aller du post-it de brainstorming au prototypage, de simples améliorations à la reconception du système complet avec saut technologique. Entre autres outils d'inspiration la Roue de Brezet¹ recense une quarantaine de pistes d'amélioration, classées selon le cycle de vie.

- 1bis. Lorsque les solutions techniques sont validées,** l'évaluation environnementale est réitérée afin de valider la réduction effective des impacts environnementaux du système final par rapport à la version initiale, sans transfert d'impacts.
- 3. Une fois que le système écoconçu rend satisfaction,** il est temps de préparer à communiquer sur sa plus-value environnementale. La loi Climat & Résilience (22 août 2021) et le projet de directive *Green Claims* encadrent l'usage des allégations environnementales et défendent la clarté et la transparence des informations fournies. Les normes dites de communication environnementale (série ISO 14020) seront utiles pour éviter le *greenwashing*, que ce soit via des sous-entendus, des informations partielles, ou même des choix visuels².



Ademe, les 3 étapes de la démarche d'écoconception, 2023.
Source : ADEME

1. ADEME, Ecoconcevoir un produit, un procédé ou un service, Quels sont les leviers d'écoconception possibles ?, 2023. <https://librairie.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/6121-ecoconcevoir-un-produit-un-procede-ou-un-service.html>
2. Voir : Le Panthéon du greenwashing <https://www.panthéondugreenwashing.fr/> et DGCCRF, Bilan de la première grande enquête de la DGCCRF sur l'éco-blanchiment des produits non-alimentaires et des services : un quart d'anomalies et de nombreuses suites, 25/05/2023. <https://www.economie.gouv.fr/dgccrf/bilan-de-la-premiere-grande-enquete-de-la-dgccrf-sur-leco-blanchiment-des-produits-non-1>

Les déchets

Un enjeu de responsabilité

En pratique

Des aides financières et des formations peuvent aider au démarrage. La fresque de l'écoconception est un outil de sensibilisation idéal qui conclut avec des pistes d'actions concrètes. Plus convenue, la norme NF X30-264 fournit des lignes directrices. Pour quelques catégories de produits, des écolabels, des référentiels et des *checklists* existent.

De manière générale pour limiter les impacts, une solution fiable est bien connue : la sobriété. Quel que soit le secteur, les pratiques généralisables à appliquer sont dans l'ordre : sensibiliser, réduire, réemployer, recycler. Ensuite, comme chaque secteur a ses propres enjeux environnementaux, et ses contraintes économiques, sociales et politiques, des approches différenciées restent nécessaires.

Les industries mécaniques et manufacturières sont plutôt bien rodées. L'aérospatial, la défense ou les télécommunications font partie des plus avancés. Les pratiques de gestion de la qualité et les méthodes d'optimisation de la production comme le LEAN management ont participé à déployer une vision partagée de minimisation des pertes, simplification des systèmes, et facilitation des mises à niveau.

Secteurs d'actualité

Alors que les enjeux environnementaux sont clairement identifiés pour le textile et l'alimentaire, le contexte politique sous tension, les pressions économiques et sociales et les chaînes de valeur fractionnées freinent la mise en pratique de l'écoconception.

Ainsi, bien que la majorité des impacts viennent des matières premières notamment animales, les industries agroalimentaires délaissent les actions d'amélioration de leurs flux entrants pour des projets d'emballages plus légers, plus biosourcés, et de plus faible pertinence. Les raisons évoquées frôlent la déresponsabilisation : d'un côté peu de motivation pour déployer une offre réduite en viande, de l'autre une incapacité à embarquer les fournisseurs dans les changements de pratique. Soit qu'il n'existe pas de relation pérenne avec ceux-ci, souvent renouvelés aux aléas des cours

de marché, soit que la conversion des agriculteurs aux pratiques d'agroécologie comme le bio nécessite naturellement des investissements humains et financiers de plusieurs années - rythme que l'industrie ne veut adopter.

Dans l'habillement aussi, le tempo des saisons a fragilisé le tissu économique. La surproduction et l'importation (de 95 % de nos vêtements en France) continuent d'entraîner la faillite de marques françaises historiques. En moyenne, un jean fait 1,5 fois le tour de la Terre depuis l'extraction du coton jusqu'à sa destination finale. Les étapes de fabrication, responsables de 80 % des émissions GES des vêtements, sont souvent réalisées dans plusieurs pays aux normes et réglementations variables. Malgré les récents scandales sociaux, la traçabilité des fournisseurs peine à se pratiquer, limitant l'évolution vers des procédés plus vertueux. Pourtant le secteur serait responsable de 26 % des GES mondiaux en 2050 si les tendances actuelles de consommation se poursuivaient.

Au top de la *to-do list* dans ces secteurs, « faire moins, c'est plus ». Concrètement :

1. **Au quotidien**, arrêter la surconsommation animale et textile ;
2. **Dans l'industrie**, favoriser les circuits courts et locaux.

Focus bâtiment

Pour le bâtiment, il y a autant de pistes différentes que d'industries et d'acteurs impliqués. A l'échelle de l'ouvrage, il est nécessaire de sensibiliser les maîtres d'ouvrages au plus tôt sur un point fondamental : calculer l'empreinte carbone et suivre les indicateurs de performance courants de respect des coûts et délais ne suffisent pas pour parler de « multicritère » ! Sauf que sous pression temporelle et budgétaire, les pratiques conservatrices menant à des prises de décisions centrées sur les premières années d'usage d'ouvrages sont tenaces, au détriment de la centaine d'années de vie espérée restante de la plupart des ouvrages, et des enjeux qui se jouent aussi sur les consommations et rejets d'eau, la pénurie de certaines ressources ou encore la qualité de l'air. Alors pourquoi scander la décarbonation ? D'une part parce que nos bâtiments modernes utilisent énormément de ciment, contributeur majeur de GES ; d'autre part parce que notre usage en France

métropolitaine et nos exigences de confort intérieur consomment beaucoup d'énergie via les systèmes actifs de régulation thermique. D'où la priorité à la mise en place de solutions passives et *low tech* par le retour aux systèmes traditionnels dans le neuf, et à la rénovation thermique. Il s'agit par exemple d'installer des isolants et des pare-soleils, mais aussi de faire connaître aux utilisateurs les leviers déjà en leur possession. Pour beaucoup du bon sens, quoique peu exécuté : au bureau l'hiver, baisser ses volets dès qu'il fait nuit pour limiter les déperditions par les surfaces vitrées ; en été dans les bâtiments tertiaires, s'organiser pour faire du rafraîchissement nocturne en ouvrant les fenêtres la nuit, et pour atténuer et décaler le pic de chaleur en fermant les stores durant les quelques heures de rayonnement direct, dès le lever du jour et jusqu'à l'arrivée des occupants. Oui, écoconcevoir c'est aussi :

- **à l'usage**, repenser les besoins en collaboration avec les occupants et organiser des campagnes de sensibilisation en plus d'optimiser les solutions ; allonger la durée d'usage du bâtiment entier comme de l'aménagement intérieur par le choix, l'entretien et la réparation des matériaux et équipements (qui durent souvent plus d'une décennie) ;
- **durant la conception**, opter par exemple pour la reconversion de friches industrielles et ainsi réduire l'artificialisation des sols ; optimiser la forme et l'orientation de l'ouvrage neuf pour favoriser son insertion dans son environnement, et ainsi limiter les actions correctives à réaliser durant son utilisation ;
- **pour la construction et la rénovation**, s'approvisionner en ressources par le réemploi de proximité, ce qui permet de valoriser des équipements fonctionnels et des matières parfois précieuses, tout en diminuant les impacts de la fin de vie liée à la gestion des mélanges de déchets de démolition, les impacts à l'extraction, la fabrication et le transport des matériaux, ainsi qu'en réduisant les émissions de Composés Organiques Volatiles (COV) nocifs pour la santé...

Les technologies comme le BIM peuvent aussi aider à réaliser des ACV plus tôt qu'auparavant. Gare toutefois au niveau de précision demandé pour les modélisations et à l'impact masqué du numérique. Le compromis est à trouver sur la quantité de données à intégrer aux modèles pour obtenir des évaluations de qualité suffisante aux prises de décision.

Focus numérique

Le numérique français représente par personne en France 6 % de la consommation d'eau douce quotidienne³ et 10 % de la consommation électrique annuelle⁴. Bien que l'on parle de « dématérialisation », la majorité de l'impact des services numériques est en fait liée à l'étape de fabrication. Allonger la durée d'usage des équipements permet de répartir cet impact par une durée de vie plus longue des produits. Ainsi, le référentiel général d'écoconception de services numériques (RGESN) définit des bonnes pratiques pour réduire l'impact de ces deux étapes.

Mais ces pratiques sont insuffisantes. Avec une croissance de 9 % par an lié au développement du parc de terminaux⁵, il est crucial d'avoir en tête l'étendue des enjeux du numérique. Aux émissions de GES et de radiations ionisantes s'ajoutent les enjeux liés à la surconsommation de ressources naturelles et en particulier de métaux rares pour la fabrication des terminaux. Alors qu'un smartphone comprend environ 50 métaux différents, on ne sait en recycler que 10. L'accès aux matières premières implique donc de développer des solutions techniques (logistique pour la collecte, le démantèlement et le tri, technologies pour améliorer la quantité et la qualité des matières recyclées), mais surtout d'assumer notre part de responsabilité liés à l'extraction minière, qui est à l'origine de conflits sociaux et environnementaux, et en particulier, des violations de droits humains⁶ et du franchissement des limites planétaires⁷.

Un sujet en filigrane de l'écoconception, qui a sa légitimité au sein de notre communauté⁸. ■

3. ADEME, Ecoconception : améliorer la performance environnementale de vos produits, procédés et services, 2023. <https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/ecoconception/ameliorer-performance>
4. Agribalyse, <https://agribalyse.ademe.fr> accédé le 15/09/2024 : Lait demi-écrémé, pasteurisé : 70 % des impacts totaux sont liés à l'agriculture, 12 % à l'emballage ; Raviolis au fromage, crus : 73 % agriculture, 6 % emballage.
5. ADEME, La mode sens dessus dessous, 2022. <https://multimedia.ademe.fr/infographies/infographie-mode-qqf/>
6. GreenIT, Etude « iNum2020 » Impact environnementaux du numérique en France, 2021. <https://www.greenit.fr/impacts-environnementaux-du-numerique-en-france/>
7. ADEME, Numérique responsable : réduisez l'empreinte écologique de vos usages, investissements, produits et services digitaux, 2023. <https://agirpourlatransition.ademe.fr/entreprises/numerique-responsable>
8. ADEME, ARCEP, Evaluation de l'impact environnemental du numérique en France et analyse prospective, 2022. <https://bibliothèque.ademe.fr/consommer-autrement/5226-evaluation-de-l-impact-environnemental-du-numerique-en-france-et-analyse-prospective.html>
9. Génération lumière, Témoignages et campagne contre l'extractivisme au Congo. <https://generationlumiere.fr/>
10. L'ADN, Métaux rares : « On ment aux jeunes générations » (25 juillet 2022) <https://www.ladn.eu/ladn-transition/notre-croissance-repose-sur-l'extraction-des-métaux-mais-cela-ne-pourra-pas-durer/>
11. Je vous invite à regarder l'excellente conférence d'Aurore STEPHANT, ingénieure géologue minier : Ruée minière au XXI^e siècle : jusqu'où les limites seront-elles repoussées ? (28 juin 2022) <https://www.youtube.com/watch?v=i8RMX80DWQs>



Lumière sur le paradoxe de la durabilité des industries extractives

1 Introduction

Le concept de durabilité, défini par les piliers économique, social et environnemental, semble incompatible avec les industries extractives. Ces secteurs reposent sur l'exploitation de ressources non renouvelables comme les minerais, le pétrole et le gaz naturel, essentiels pour le développement économique, mais responsables d'importants impacts environnementaux. Selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE, 2019), les industries extractives contribuent à environ 50 % des émissions mondiales de carbone et à plus de 80 % de la perte de biodiversité.

Ce paradoxe est exacerbé par les attentes croissantes des acteurs économiques et politiques. Ces industries fournissent des matières premières cruciales, telles que le lithium et le cobalt pour les batteries des véhicules électriques, tout en étant poussées à réduire leurs impacts environnementaux pour respecter les objectifs de l'Accord de Paris (AIE, 2021).

Le défi pour les ingénieurs et les professionnels des Mines est de concilier une activité intrinsèquement non durable avec les impératifs de durabilité. La transition vers des pratiques plus responsables est nécessaire, mais encore incomplète : en 2020, moins de 10 % des minerais extraits étaient recyclés ou réutilisés (Banque Mondiale, 2020).

L'objectif de cet article est de démontrer que, bien que le paradoxe de la durabilité dans les industries extractives puisse sembler insurmontable, des solutions existent. L'adoption de technologies propres, l'optimisation des processus

PARCOURS



**Philippe Lionel
EBENGUE ATEGA**
IMT Mines Alès, promo 2018

Il est Ingénieur de prospection et d'exploitation des ressources minérales et Docteur en environnement, Philippe Lionel est un expert reconnu dans le domaine de la durabilité des industries extractives. Fort de huit années d'expérience dans la recherche environnementale, il se distingue par son engagement à trouver des solutions innovantes pour une exploitation durable des ressources minérales.

d'extraction, et les principes de l'économie circulaire offrent des leviers pour réduire l'impact environnemental tout en maintenant l'exploitation des ressources (Ellen macarthur Foundation, 2020). Les ingénieurs des Mines, grâce à leur expertise et leur capacité d'innovation, jouent un rôle crucial dans cette transformation. Ils peuvent contribuer à une exploitation plus durable et responsable, équilibrant croissance économique et durabilité environnementale.

2. Paradoxe de la durabilité dans les industries extractives

Le paradoxe de la durabilité dans les industries extractives repose sur une contradiction apparente

Les industries extractives reposent sur l'exploitation de ressources naturelles non renouvelables, telles que les minerais, le pétrole et le gaz naturel, dont la disponibilité est limitée à l'échelle humaine. Cependant, les objectifs de durabilité, comme définis par les Objectifs de Développement Durable (ODD) des Nations Unies, visent à préserver ces ressources et à minimiser les impacts environnementaux pour les générations futures (PNUE, 2019). Ce paradoxe est particulièrement manifeste dans le contexte de la transition énergétique, où les matériaux nécessaires, tels que le lithium et le cobalt, proviennent justement de l'industrie minière.

L'exploitation minière de métaux critiques, essentiels pour la fabrication de batteries et de panneaux solaires, est devenue indispensable pour soutenir la croissance des énergies renouvelables. Néanmoins, ces activités génèrent des impacts environnementaux significatifs, incluant la pollution des sols et des eaux, la déforestation, et les émissions de gaz à effet de serre (AIE, 2021). Selon l'Agence Internationale de l'Énergie (AIE, 2021) ⁹, pour répondre à la demande mondiale croissante de technologies propres, la production de certains minerais pourrait devoir augmenter de 500 % d'ici 2050.

Enjeux économiques et environnementaux

Les industries extractives jouent un rôle crucial dans l'économie mondiale, générant des emplois, des investissements, et fournissant des ressources essentielles pour les infrastructures et les technologies. Par exemple, le secteur minier contribue à environ 10 % du PIB de nombreux pays en développement, faisant de lui un levier important pour la croissance économique et la réduction de la pauvreté (Banque Mondiale, 2020).

Cependant, ces avantages économiques à court terme sont souvent réalisés au détriment de l'environnement. Les mines occupent environ 1 % des terres émergées de la planète, mais leurs impacts écologiques sont disproportionnés, affectant gravement les écosystèmes environnants. Les exigences de rentabilité poussent fréquemment les industries à maximiser la production et à minimiser les coûts, exerçant une pression accrue sur les ressources naturelles. Ce modèle économique d'extraction rapide et intensive est en contradiction avec la nécessité de préserver les écosystèmes et de réduire les émissions de gaz à effet de serre (AIE, 2021).

À titre d'exemple, le secteur minier est responsable de 4 à 7 % des émissions mondiales de CO₂, principalement dues à l'énergie nécessaire pour l'extraction et le traitement des matériaux (PNUE, 2019). Les conflits entre ces impératifs de croissance économique et de préservation environnementale deviennent inévitables, soulevant des questions sur la viabilité à long terme de ces pratiques.

Rôle des industries extractives dans la société

Malgré leurs impacts environnementaux négatifs, les industries extractives jouent un rôle stratégique dans le développement économique mondial. Elles fournissent des matériaux essentiels pour divers secteurs, tels que la construction, la technologie, et le transport, et sont cruciales pour la transition énergétique. Les métaux rares, comme le cuivre, le nickel et le lithium, sont indispensables à la fabrication de batteries pour véhicules électriques, de turbines éoliennes, et de panneaux solaires (Banque Mondiale, 2020).

Les pays riches en ressources naturelles dépendent fortement de ces industries pour leur développement économique. En Afrique, par exemple, le secteur minier représente en moyenne 30 % des revenus

d'exportation pour plusieurs nations (Banque Mondiale, 2020). Cette importance économique place les industries extractives au centre des décisions politiques et des stratégies de développement, malgré les coûts environnementaux élevés.

Le défi pour les ingénieurs et décideurs est de trouver un équilibre entre la poursuite des activités extractives pour soutenir la croissance économique et l'atteinte des objectifs de durabilité. Bien que des solutions existent, telles que l'adoption de pratiques d'extraction plus propres et la réhabilitation des sites miniers, leur mise en œuvre est souvent freinée par des intérêts économiques à court terme (AIE, 2021). Le paradoxe de la durabilité persiste, mais des approches innovantes et des investissements dans des technologies vertes peuvent aider à atténuer cette tension.

3. Les impacts environnementaux des industries extractives

Dégradation des écosystèmes

Les industries extractives, par leur nature, ont des impacts considérables sur les écosystèmes. Les activités minières, par exemple, entraînent la destruction des habitats naturels, ce qui provoque la déforestation, la perte de biodiversité, et la fragmentation des écosystèmes. Selon une étude de la Banque Mondiale, l'extraction minière est responsable de la perte de 7 % des forêts tropicales dans le monde (Banque Mondiale, 2020). Ce chiffre est encore plus élevé dans des régions comme l'Amazonie, où les exploitations illégales d'or contribuent massivement à la déforestation.

La pollution des sols et des eaux constitue un autre effet néfaste. Les métaux lourds, les produits chimiques utilisés dans le traitement des minerais (comme le mercure et le cyanure), ainsi que les résidus miniers, contaminent souvent les sols et les nappes phréatiques. Un exemple emblématique est celui de la région du **Cerro de Pasco** au Pérou, où les exploitations minières ont pollué les sources d'eau locales avec du plomb et d'autres métaux toxiques, affectant gravement la santé des populations locales et l'environnement (PNUE, 2019).

Les conséquences de cette dégradation écologique ne se limitent pas aux zones d'extraction. Elles impactent également les communautés locales, les écosystèmes environnants et les services écosystémiques essentiels, tels que la filtration de l'eau et la régulation climatique, contribuant à la désertification et à l'appauvrissement des sols (AIE, 2021).

Pollution et gestion des déchets

Les activités extractives produisent une quantité énorme de déchets sous diverses formes. Les **résidus miniers**, qui sont les matériaux restants après l'extraction des minéraux précieux, sont souvent stockés dans des bassins ou des digues, posant un risque sérieux pour l'environnement en cas de défaillance structurelle. Un exemple dramatique est l'effondrement du barrage de Brumadinho au Brésil en 2019, qui a libéré **12 millions de mètres cubes de boue toxique**, tuant plus de 270 personnes et contaminant des kilomètres de rivière (PNUE, 2019).

Parmi les autres types de déchets figurent les stériles, qui sont des matériaux rocheux extraits sans valeur économique immédiate, ainsi que les boues toxiques provenant du traitement des minerais. Ces déchets contiennent souvent des métaux lourds et des produits chimiques qui peuvent contaminer l'eau et les sols s'ils ne sont pas correctement gérés. Le PNUE rapporte que chaque tonne de minerai traité produit entre 1,5 à 3 tonnes de résidus selon le type d'exploitation, accentuant ainsi les enjeux de gestion des déchets (PNUE, 2019).

La mauvaise gestion de ces déchets a des répercussions directes sur la santé publique. En particulier dans les pays en développement, les communautés locales vivant à proximité des sites extractifs souffrent souvent de maladies respiratoires, de troubles neurologiques et de cancers causés par la contamination de leur environnement. Le cas de la contamination au plomb des enfants de Kabwe en Zambie, due à l'exploitation minière de plomb et de zinc, en est un exemple criant (AIE, 2021).

Changements climatiques

Les industries extractives jouent également un rôle majeur dans la production de gaz à effet de serre (GES), contribuant ainsi de manière significative aux changements climatiques. Les processus d'extraction et de transformation des ressources naturelles, notamment dans l'industrie des combustibles fossiles, sont extrêmement émissifs. Selon l'Agence Internationale

Les déchets

Un enjeu de responsabilité

de l'Énergie (AIE), le secteur minier et l'industrie des métaux génèrent environ 10 % des émissions mondiales de GES (AIE, 2021).

Outre la consommation directe d'énergie, ces industries accélèrent le réchauffement climatique en détruisant les puits de carbone naturels, comme les forêts, lors de la préparation des sites d'extraction. La combustion de charbon, de pétrole et de gaz extrait par ces industries reste la principale source d'émissions de CO₂, représentant environ **75 % des émissions globales** de gaz à effet de serre (Banque Mondiale, 2020).

Les effets climatiques sont exacerbés par les émissions fugitives de méthane lors de l'extraction de gaz naturel, ainsi que par la déforestation massive associée à certains projets extractifs. Le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE) estime que, si aucune mesure corrective n'est prise, les émissions de l'industrie extractive pourraient encore augmenter de 20 % d'ici 2040, en raison de la demande croissante de matériaux pour les technologies vertes (PNUE, 2019).

En conclusion, les industries extractives sont responsables d'une large gamme d'impacts environnementaux et climatiques, qu'il s'agisse de la dégradation des écosystèmes, de la pollution due aux déchets ou de leur contribution directe au réchauffement climatique. Ces défis imposent aux ingénieurs et aux décideurs une réflexion sur la façon d'intégrer des pratiques plus durables et des technologies plus propres pour atténuer ces effets néfastes.

4. L'économie circulaire : une solution au paradoxe ?

Repenser l'utilisation des ressources

L'économie circulaire propose une nouvelle approche face aux défis des industries extractives, en visant à maximiser la valeur des ressources tout en minimisant les déchets. Contrairement au modèle traditionnel linéaire de "prendre, fabriquer, jeter", l'économie circulaire cherche à boucler le cycle de vie des produits, en favorisant la réutilisation, la réparation, le recyclage et la transformation des déchets en nouvelles ressources.

Dans le contexte des industries extractives, cela signifie transformer les résidus miniers et autres sous produits en ressources exploitables, réduisant ainsi la pression sur les ressources naturelles et les écosystèmes. L'intégration de l'économie circulaire dans ce secteur permet de prolonger la durée de vie des matériaux et de limiter les effets néfastes sur l'environnement. Par exemple, les **résidus de roche** et les **boues minières** peuvent être réintroduits dans des processus industriels, au lieu d'être simplement stockés ou abandonnés, créant ainsi une nouvelle valeur économique.

L'un des exemples les plus pertinents de l'économie circulaire dans ce domaine est l'optimisation de la gestion des **métaux rares**. Aujourd'hui, seulement **12 % du cobalt** et **17 % du lithium** utilisés dans les batteries des véhicules électriques sont recyclés. Le développement de techniques plus efficaces pour récupérer ces matériaux pourrait considérablement réduire la dépendance à l'extraction minière primaire.

Exemples de valorisation des déchets

Des initiatives concrètes de valorisation des déchets miniers commencent à voir le jour dans plusieurs régions du monde, illustrant ainsi comment l'économie circulaire peut être appliquée aux industries extractives. Par exemple, en Australie, certains résidus miniers contenant des silicates de magnésium sont utilisés pour produire des engrais, réduisant ainsi le besoin d'exploiter de nouvelles ressources naturelles tout en apportant une solution aux problématiques de gestion des déchets.

De même, certaines entreprises transforment les stériles (les matériaux sans valeur minérale immédiate) en matériaux de construction. Un exemple notable est l'utilisation des résidus de bauxite dans la fabrication de ciments ou de briques. En Chine, les résidus de bauxite (également appelés "boue rouge") sont transformés en additifs pour la construction, réduisant ainsi l'empreinte environnementale des mines tout en contribuant à un secteur de la construction plus durable.

Un autre exemple est celui de la société finlandaise Keliber, qui a développé un procédé pour utiliser les sous-produits de l'extraction du lithium dans la fabrication de produits de verre et de céramique, ce

qui permet de limiter les déchets miniers et de créer une nouvelle chaîne de valeur.

Réduction des impacts environnementaux

L'application des principes de l'économie circulaire dans les industries extractives à le potentiel de réduire significativement les impacts environnementaux. En réutilisant et recyclant les sous-produits, il est possible de diminuer les besoins en extraction de nouvelles ressources, limitant ainsi la déforestation, la perte de biodiversité et la pollution des sols et des eaux.

Par exemple, la réutilisation des matériaux dans les processus industriels permet de réduire de 30 % les émissions de gaz à effet de serre dans certains secteurs miniers grâce à une baisse de la consommation d'énergie nécessaire à l'extraction primaire. En Europe, des projets de réhabilitation de sites miniers mettent en œuvre des techniques de **phytoremédiation**, utilisant des plantes pour absorber les métaux lourds des sols pollués, permettant ainsi de réduire les impacts environnementaux à long terme et de restaurer les écosystèmes.

En outre, la circularité permet de maintenir la **rentabilité économique**. Bien que certaines de ces solutions nécessitent des investissements initiaux, les économies réalisées à long terme par la réutilisation des matériaux, la réduction des coûts de gestion des déchets et l'optimisation des processus compensent largement ces dépenses. Une étude menée par l'Ellen macarthur Foundation montre que l'adoption de pratiques d'économie circulaire pourrait générer jusqu'à 4 500 milliards de dollars d'économies d'ici 2030 pour les industries à forte intensité de ressources, dont les industries extractives.

Ainsi, l'économie circulaire apparaît non seulement comme une réponse au paradoxe de la durabilité dans les industries extractives, mais également comme une opportunité pour ces industries de repenser leurs modèles d'affaires en conciliant performance économique et respect de l'environnement. La transition vers ce modèle circulaire demande des efforts concertés entre les ingénieurs, les décideurs politiques et les entreprises, mais elle ouvre la voie à une exploitation plus responsable et durable des ressources naturelles.

5. Innovations technologiques pour une extraction plus durable

Technologies d'extraction propre

Les innovations technologiques offrent aujourd'hui de nouvelles perspectives pour rendre les activités extractives plus respectueuses de l'environnement. Parmi ces technologies, l'extraction en profondeur à impact minimal se distingue. Elle permet d'exploiter les ressources minérales situées à de grandes profondeurs tout en limitant la perturbation des écosystèmes en surface. En suède, par exemple, l'entreprise Ikab a développé des méthodes de forage directionnel qui permettent d'extraire les minerais sans avoir recours à de grandes ouvertures à ciel ouvert, réduisant ainsi les impacts visuels et environnementaux.

Par ailleurs, l'utilisation de drones et de capteurs intelligents pour la surveillance environnementale devient courante dans l'industrie minière. Ces drones sont équipés de caméras haute résolution et de capteurs infrarouges pour surveiller la qualité de l'air, des sols et des eaux autour des sites d'extraction. Ils permettent une surveillance en temps réel, minimisant ainsi les risques de pollution accidentelle et permettant une réaction rapide en cas de fuite ou de défaillance technique. Un exemple notable est celui de Barrick gold corporation, qui utilise des drones pour surveiller l'environnement autour de ses mines d'or, réduisant ainsi les besoins en inspections humaines et améliorant la sécurité environnementale.

D'autres technologies comme l'extraction hydrométallurgique offrent des solutions pour réduire la consommation d'eau et d'énergie lors de l'extraction des minerais. Cette technique utilise des solutions aqueuses pour dissoudre et récupérer les métaux, évitant ainsi le recours à des méthodes plus polluantes telles que la pyrométallurgie, qui produit des émissions de gaz à effet de serre.

Bioremédiation et dépollution

La **bioremédiation** est une technique prometteuse pour la dépollution des sites miniers, utilisant des organismes vivants (bactéries, champignons, plantes) pour dégrader ou neutraliser les contaminants

présents dans les sols et les eaux. Cette méthode s'avère particulièrement efficace pour le traitement des métaux lourds et autres polluants issus des résidus industriels.

Un exemple emblématique est l'utilisation de phytoremédiation, une forme de bioremédiation où des plantes spécifiques absorbent les métaux lourds du sol. La fétuque rouge, par exemple, est capable d'extraire des métaux comme le plomb et le cadmium des sols pollués. En inde, des projets de phytoremédiation ont permis de dépolluer des sols contaminés par des résidus miniers, tout en restaurant les écosystèmes dégradés.

Les techniques de dépollution chimique, telles que la stabilisation des métaux par ajout d'agents neutralisants (comme la chaux ou le phosphate), complètent également ces efforts. Ces méthodes réduisent la mobilité des contaminants dans les sols, empêchant ainsi leur infiltration dans les nappes phréatiques.

La **biolixiviation**, une technique utilisant des bactéries pour extraire les métaux précieux à partir de minerais à faible teneur, est également en plein essor. Elle présente l'avantage d'être moins énergivore et moins polluante que les méthodes traditionnelles. En Amérique du sud, les compagnies minières adoptent cette approche pour extraire l'or et le cuivre tout en réduisant les déchets toxiques.

Réhabilitation des sites miniers

La réhabilitation des sites miniers après leur fermeture est un enjeu crucial pour limiter les impacts à long terme des activités extractives. Plusieurs projets réussis démontrent que la restauration environnementale est possible, et qu'elle peut même offrir des avantages pour les communautés locales.

Un exemple emblématique est le projet de **réhabilitation de la mine de ranger** en Australie, autrefois l'une des plus grandes mines d'uranium au monde. Après la fin de son exploitation en 2021, un plan de réhabilitation ambitieux a été mis en œuvre, impliquant la reconstitution des sols, la replantation de la végétation indigène et la surveillance à long terme de la qualité des eaux et des sols. Ce projet vise à restaurer les écosystèmes d'origine, avec l'objectif de rendre la zone aussi productive sur le plan écologique qu'avant les activités minières.

De même, en **Allemagne**, les anciennes mines de charbon de la région de la **Rhénanie-du-nord westphalie** ont été transformées en parcs naturels et en centres touristiques. Le projet de **Reche zollverein**, site classé au patrimoine mondial de l'Unesco, est un exemple de conversion réussie, où les bâtiments industriels historiques ont été intégrés à un vaste programme de réhabilitation paysagère, incluant la reforestation et la création d'espaces de loisirs.

En Amérique du sud, des projets de réhabilitation des **mines d'or artisanales** ont démontré que l'on pouvait non seulement réduire la pollution due au mercure et à l'extraction illégale, mais aussi réintroduire des activités agricoles durables dans les régions concernées. Cela crée des opportunités économiques pour les communautés locales tout en réhabilitant les terres endommagées.

Ces initiatives montrent que, grâce aux technologies et à la planification stratégique, il est possible de **minimiser les impacts** à long terme de l'exploitation minière et de restaurer les écosystèmes. Toutefois, la réussite de ces projets dépend d'une volonté politique forte, d'une réglementation stricte et d'une collaboration étroite entre les industriels, les scientifiques et les communautés locales.

6. Partage d'expérience : dépollution d'un site contaminé par des hydrocarbures lourds

Actuellement, je suis impliqué dans un projet de dépollution complexe sur une friche industrielle actuellement exploitée par la société Total. Ce site a été gravement contaminé par des hydrocarbures lourds, résultant de décennies d'activités industrielles. L'objectif principal est de restaurer l'intégrité environnementale du site et de le rendre à nouveau utilisable pour des activités sans risque pour la santé publique et les écosystèmes locaux.

Le projet, d'une durée de 10 mois, suit une approche structurée en plusieurs étapes clés : diagnostic, conception de la dépollution, exécution des travaux et surveillance. Voici un aperçu détaillé de chacune de ces étapes ainsi que du processus de dépollution proprement dit.

Les déchets

Un enjeu de responsabilité

Diagnostic

La première étape a consisté en un diagnostic complet du site. Cette phase a impliqué :

- **études préliminaires et cartographie** : analyse des archives historiques pour comprendre les anciennes activités industrielles et localiser les zones les plus susceptibles d'être contaminées.
- **prélèvements et analyses** : réalisation de prélèvements de sols et d'eaux souterraines pour mesurer les concentrations d'hydrocarbures lourds. Les analyses de laboratoire ont permis de déterminer la nature et l'étendue de la contamination.

Les résultats ont révélé que le site était gravement pollué par des hydrocarbures lourds, nécessitant une intervention de grande envergure.

Conception de la dépollution

En fonction des résultats du diagnostic, une conception détaillée de la stratégie de dépollution a été élaborée :

- **planification des interventions** : définition des zones à traiter, estimation des volumes de sol contaminé, et choix des techniques de dépollution appropriées.
- **conception des infrastructures de traitement** : aménagement des plateformes de stockage pour les sols excavés, et conception des systèmes de bioremédiation adaptés.

La méthode retenue pour ce projet a été l'excavation des sols contaminés, leur stockage en fonction des niveaux de concentration, et le traitement par bioremédiation.

Exécution des travaux

La phase d'**exécution** des travaux a impliqué :

- **excavation** : enlèvement de 100 000 m³ de sols pollués, avec une segmentation des sols en différentes gammes de concentration sur des plateformes de stockage.
- **stockage et gestion des terres** : les sols excavés ont été stockés séparément selon leur niveau de contamination. Les plateformes ont été équipées pour gérer les risques de contamination.

- **bioremédiation** : traitement des sols stockés en utilisant des techniques biologiques, où des microorganismes dégradent les hydrocarbures lourds présents dans les sols.

Cette phase a été supervisée en continu pour garantir le respect des normes environnementales et la sécurité du site.

Surveillance

La surveillance est cruciale pour évaluer l'efficacité du traitement et s'assurer que les objectifs de dépollution sont atteints :

- **suivi en temps réel** : surveillance de la qualité des sols et des eaux autour du site, ainsi que des progrès du processus de bioremédiation.
- **analyses régulières** : réalisation d'analyses périodiques pour vérifier la diminution des concentrations d'hydrocarbures. Les ajustements nécessaires sont apportés en fonction des résultats obtenus.
- **rapports et documentation** : production de rapports détaillés sur l'avancement des travaux, les résultats de la bioremédiation, et la conformité aux normes environnementales.

7. Conclusion

Synthèse du paradoxe et des solutions

Cet article a mis en lumière le paradoxe de la durabilité auquel sont confrontées les industries extractives. Ce secteur, fondé sur l'exploitation de ressources naturelles limitées, semble en contradiction avec les objectifs de durabilité, qui prônent une gestion responsable et la préservation des écosystèmes. Les défis sont multiples : la tension entre les exigences économiques à court terme et les impératifs écologiques à long terme, ainsi que les impacts environnementaux significatifs, notamment la dégradation des écosystèmes, la pollution et les émissions de gaz à effet de serre.

Cependant, il est crucial de souligner que ce paradoxe n'est pas insurmontable. Des solutions innovantes sont à

notre disposition pour atténuer ces contradictions. L'économie circulaire offre des méthodes pour réutiliser et recycler les déchets miniers, réduisant ainsi la pression sur les ressources naturelles et diminuant les impacts environnementaux. De plus, les technologies d'extraction propre et les techniques de **bioremédiation** représentent des avancées significatives dans la gestion des déchets et la réduction de la pollution. La réhabilitation réussie des sites miniers démontre également qu'il est possible de restaurer des environnements dégradés tout en tirant parti des leçons apprises pour améliorer les pratiques futures.

L'intégration de ces innovations et pratiques durables est essentielle pour évoluer vers une industrie extractive qui peut concilier performance économique et responsabilité environnementale. ■

RÉFÉRENCES

1. Banque Mondiale. "The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future", 2020.
2. Ellen macarthur Foundation. "Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition", 2020.
3. Agence Internationale de l'Énergie (AIE). "The Role of Critical Minerals in Clean Energy Transitions", 2021.
4. Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). "Global Resources Outlook 2019: Natural Resources for the Future We Want", 2019.
5. International Council on Mining and Metals (ICMM). "Mining's Contribution to Sustainable Development", 2021.
6. World Economic Forum. "The Future of Mining: Towards a More Sustainable Industry", 2022.
7. Australian Centre for Geomechanics. "Reusing Waste in Mining for Fertiliser Production", 2019.
8. Agence Européenne pour l'Environnement (AEE). "Remediation of Contaminated Sites: Strategies and Techniques", 2020.
9. Total. "Sustainability Report: Environmental Impact and Site Remediation", 2019.
10. UNEP. "Bioremediation in Contaminated Lands: A Global Perspective", 2021.



TRAVAUX PUBLICS GÉNIE CIVIL

Usines de traitement des eaux usées / Traitement de l'eau potable /
Réservoirs d'eau / traitement des déchets.

Méthanisation / Bâtiments / Silos / Ouvrages d'art / Centrales hydrauliques,
écluses / Terrassement, canalisations...

Agence

Siège Social

ZA du Régé - 32310 VALENCE SUR BAÏSE

ZA des Garrigues - 31 Imp. Jacquard
34170 CASTELNAU LE LEZ

Tél : 05 62 28 51 77 • Fax : 05 62 28 59 27 • www.sas-touja.com

ALPHA STRUCTURE ATLANTIQUE
BUREAU D'ÉTUDES STRUCTURES
LEADER DES ENERGIES RENOUVELABLES

DIAG STRUCTURE ET EXPERTISE

INGÉNIERIE DES STRUCTURES EN BÉTON ARMÉ ET CHARPENTE MÉTALLIQUE,
AVEC UNE FORTE EXPERTISE SUR LE CALCUL DES STRUCTURES EN
CHARPENTE MÉTALLIQUE ET FONDATIONS SUR L'ENSEMBLE DU PARC
PHOTOVOLTAÏQUE FRANÇAIS ET INTERNATIONAL

OMBRIERES SOLAIRES
CENTRALES SOLAIRES AU SOL
DIAG STRUCTURES EXISTANTES

CONTACT

06-30-37-51-13

La Rochelle, Toulon

lionelbossy@alpha-structure.fr

www.alpha-structure-atlantique.fr/

Considérer les déchets du bâtiment comme des ressources

A l'échelle mondiale, depuis plusieurs décennies, l'extraction de ressources naturelles dans le monde ne cesse d'augmenter chaque année. Elle a triplé en 50 ans et pourrait atteindre une hausse de 60 % d'ici à 2060. En France, plus de 500 millions de tonnes sont extraites chaque année, tandis que le poids des déchets du BTP s'élève à 46 millions de tonnes par an dans le Bâtiment et 185 millions de tonnes pour les Travaux Publics⁹. Ces 231 millions de tonnes de déchets générés par le BTP représentent plus de 70 % des déchets en France. A titre de comparaison, chaque année 30 millions de tonnes de déchets sont produits par les ménages (nos poubelles noires et jaunes qui se remplissent bien trop vite).

Le secteur du BTP est ainsi le secteur qui consomme le plus de ressources et qui produit le plus de déchets. Ce secteur doit donc assurer une transition vers de nouveaux modes de consommation et de prévention et de gestion des déchets. Sans ressources, pas de matériaux, et sans matériaux, pas de construction ni de rénovation !

Quand les déchets du BTP deviennent des ressources : une transition vers une économie circulaire

Dans le but d'améliorer la gestion et la valorisation des déchets et de réduire l'impact environnemental des chantiers, le secteur du BTP commence à s'inscrire dans des démarches d'économie circulaire.

L'économie circulaire consiste à produire des biens et des services de manière durable en limitant la consommation et le gaspillage des ressources et la production de déchets. Elle vise à passer d'une économie linéaire (extraire, fabriquer, consommer, jeter) vers une économie circulaire (recycler et réutiliser au lieu de jeter, limitant ainsi l'extraction de ressources). Le modèle de l'économie circulaire appliquée à la construction est présenté dans la figure ci-contre. On retrouve les différents modes de

PARCOURS



Lisa FLAHAUT
IMT Nord Europe, promo 2022
Elle est référente économie circulaire et gestion des déchets à la Direction Excellence Opérationnelle de Bouygues Bâtiment Grand Ouest.

traitement des déchets du BTP, du plus vertueux au moins vertueux : réemploi et réutilisation, recyclage, incinération ou enfouissement.

Afin de réduire au maximum l'enfouissement des déchets, la première étape sur les chantiers est de mettre en place les moyens nécessaires pour trier ces déchets. Depuis la publication du décret n° 2021-950 du 16 juillet 2021, les conditions de tri des déchets sur les chantiers doivent respecter le tri de 7 flux : gravats, bois, métaux, plâtre, verre, carton et plastique. Il est déjà parfois difficile de trier nos déchets ménagers, alors imaginez devoir trier 7 types de déchets, et même parfois plus, sur votre lieu de travail !

Le tri des déchets n'est pas le cœur de métier des ouvriers, mais prend une place de plus en plus importante dans leur travail. Un gros travail de sensibilisation et de formation est donc nécessaire.

Ces matières ainsi triées peuvent être recyclées et donc réintégrées dans la fabrication de nouveaux matériaux. Cependant, ces processus de transformation sont coûteux en énergie et le principal axe pour diminuer l'impact de la construction sur les ressources et diminuer les quantités de déchets est de considérer ces derniers comme de véritables ressources. Comme chacun sait, le meilleur déchet est celui que l'on ne produit pas !

Le réemploi des matériaux

Depuis des années, les bâtiments sont construits et déconstruits sans prendre en compte ce qu'ils contiennent. Il peut être choquant de voir un tel gaspillage. Par exemple, sur un chantier de rénovation, des centaines de lavabos peuvent être changés alors que la moitié sont encore en bon état et n'auraient besoin que d'un simple nettoyage. Sur un chantier de déconstruction, des tonnes de matériaux, du faux-plafonds à la moquette, des portes jusqu'aux cloisons, finissent dans des bennes et terminent aux mieux recyclés s'ils sont triés, alors que ces matériaux pourraient être réemployés et avoir une deuxième vie sur un chantier de construction neuve voisin. C'est ce qu'on appelle le réemploi. Au-delà de la préservation des ressources, le réemploi est également un levier de décarbonation important pour le secteur du BTP. Une étude de l'IFPEB (l'Institut Français pour la Performance du Bâtiment) démontre que les émissions d'un bâtiment peuvent être réduites entre 20 et 100 kg CO₂/m² en intégrant des matériaux issus du réemploi !

Au premier abord, le réemploi de matériaux peut paraître simple. A l'échelle des particuliers, ceci se fait depuis des années : nous avons tous déjà acheté ou récupéré un meuble, un matériau, ou encore un outil d'occasion par bouche à oreille ou via les plateformes en ligne bien connues. Cependant, dans le monde professionnel,

le réemploi de matériaux de construction est une pratique récente et il existe de nombreux freins à sa mise en œuvre.

Tout d'abord, le frein le plus important est d'ordres technique, juridique et assurantiel. Les matériaux de réemploi peuvent ne pas être aussi performants que les matériaux neufs. Par exemple, une tuile qui a été posée il y a 20 ans et a subi les intempéries pendant toutes ces années peut être devenue poreuse et ne plus assurer sa fonctionnalité d'être étanche à l'eau. Cependant, un lavabo n'a pas besoin d'avoir de caractéristiques techniques particulières et peut ne nécessiter qu'un nettoyage et détartrage. Il est nécessaire d'évaluer les performances des matériaux que l'on souhaite réemployer, en fonction de l'usage souhaité. Cette évaluation passe souvent par des tests en laboratoire. Ces étapes de requalification permettent de réassurer ces matériaux, ce qui est nécessaire pour que les entreprises puissent poser ces matériaux sans risque, car la garantie décennale s'applique dans ce secteur.

Le deuxième frein est organisationnel : la mise en œuvre de matériaux de réemploi chamboule le fonctionnement classique d'achat et de fourniture de matériaux. En effet, très peu de fournisseurs de matériaux de réemploi réellement structurés existent. Il faut bien souvent chercher et trouver le gisement de matériaux que l'on souhaite, définir avec le bureau de contrôle les tests de requalification à réaliser, et ensuite organiser la logistique et le stockage pour acheminer les matériaux jusqu'au chantier

où ils seront posés. Un des gros défis du réemploi est de faire concorder le temps entre l'offre et la demande. Dans l'idéal, il faut que le chantier où sont déposés les matériaux ait lieu en même temps que celui où on doit poser ces matériaux.

Le troisième frein est économique : les matériaux de réemploi nécessitent d'être déposés soigneusement, stockés, parfois d'être réparés et nettoyés. Ces opérations entraînent un coût supplémentaire, qui peuvent aboutir à un coût global plus élevé par rapport à un matériau neuf.

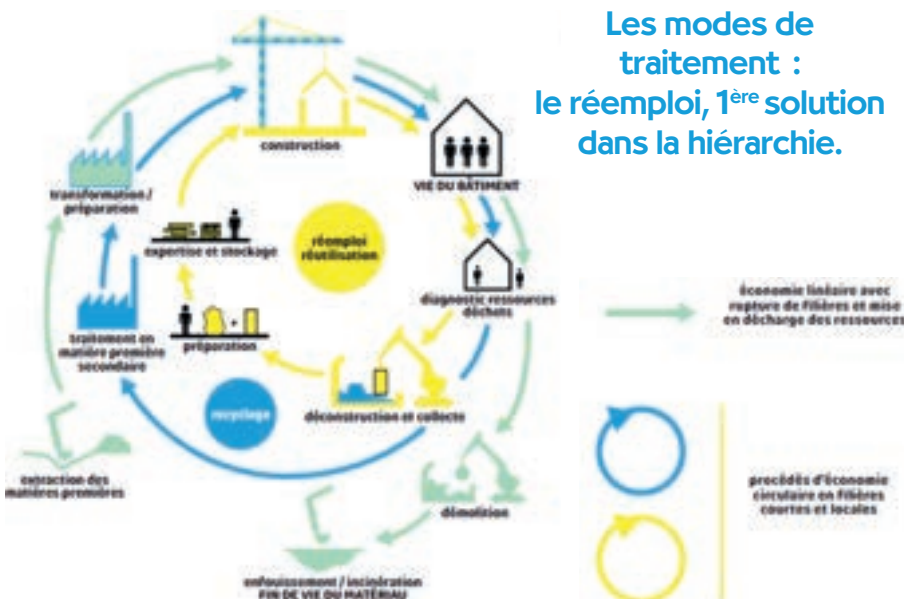
De plus, aujourd'hui le marché est encore peu développé et la demande est faible, ce qui nous amène au dernier frein, le frein culturel. En effet, les professionnels autant que les acquéreurs restent frileux à la pose de matériaux de réemploi. Plutôt pour un sujet de qualité et d'esthétique pour les autres. La meilleure façon de faire changer d'avis est de faire visiter les sites qui commencent à reconditionner des matériaux et à exposer côte à côte un matériau neuf et un matériau issu du réemploi et reconditionné. La plupart du temps, on n'y voit aucune différence !

Conclusion

Concernant les déchets, le défi du secteur du BTP est de passer d'une logique de jeter à réemployer. Dans mon entreprise, nous travaillons sur une démarche « Zéro Déchet Ultime » qui vise à réduire les quantités de déchets produites sur les chantiers et éliminer au maximum les déchets non valorisables. En réalité, un chantier « zéro déchet » n'existe pas, pour le moment, mais de nombreuses solutions sont déployées pour atteindre cet objectif. ■

← **Le réemploi dans le bâtiment - Réemploi Bâtiment Normandie**
Source : NECI Normandie Club

Les modes de traitement : le réemploi, 1^{ère} solution dans la hiérarchie.



1. <https://www.ecologie.gouv.fr/politiques-publiques/dechets-du-batiment>

La gestion des déchets du bâtiment : un enjeu majeur pour l'avenir de notre secteur

Après des débuts dans le bâtiment et l'informatique, j'ai lancé Les Ripeurs en 2017 pour répondre à une problématique qui me passionne : la gestion des déchets de chantier. Aujourd'hui, Les Ripeurs, c'est une équipe de 30 collaborateurs dévoués et un chiffre d'affaires de 10 millions d'euros par an, tout cela grâce à un principe simple mais redoutablement efficace : trier vos déchets sur chantier pour moins payer. Dans cet article, je partage avec vous mon expérience, les problématiques et les enjeux auxquels nous faisons face, tout en glissant une petite pub pour mon entreprise.

Le secteur du bâtiment face à ses déchets

En tant que professionnels du bâtiment, nous sommes tous confrontés à une réalité : nos chantiers génèrent des déchets, beaucoup de déchets. La construction représente à elle seule 70 % de la production totale de déchets en France, soit environ 240 millions de tonnes par an. Que ce soit en construction, réhabilitation ou démolition, ces déchets posent des défis écologiques et logistiques importants. Et pourtant, je suis convaincu qu'en changeant notre façon de les gérer, nous pouvons transformer ce problème en une véritable opportunité.

Les décharges sauvages : un fléau écologique et économique

Avant d'être un problème logistique, les déchets du bâtiment sont d'abord une question environnementale. On estime

PARCOURS



Romain ICOL
IMT Nord Europe, promo 2011

Il est le fondateur et CEO de l'entreprise Les Ripeurs, une société de collecte et de revalorisation de déchets de chantier.

qu'environ 10 % des déchets de chantier finissent en décharge sauvage, ce qui représente un véritable fléau écologique et économique. Ces dépôts illégaux de déchets sont non seulement une catastrophe écologique, mais aussi un coût énorme pour les collectivités : entre 350 et 420 millions d'euros chaque année pour nettoyer et remettre en état.

1. Pourquoi ces dépôts illégaux ?

Les causes sont multiples : déchetteries trop éloignées ou fermées aux horaires de chantier, coût de dépôt des déchets, manque de solutions ou des solutions de collecte inadaptées pour les professionnels du BTP, ou tout simplement, un manque de sensibilisation et de contrôle.

2. Les conséquences pour l'environnement

Ces décharges polluent les sols, les nappes phréatiques et la faune. Les matériaux toxiques comme les solvants ou l'amiante aggravent encore cette pollution. C'est une situation inacceptable, et chaque filière peut prendre sa part pour y mettre fin.

3. Comment lutter contre ce fléau ?

Il faut rendre l'accès aux infrastructures de traitement plus simple, renforcer les sanctions et surtout, mieux informer et accompagner les entreprises. Chez Les Ripeurs, on mise sur la proximité : des collectes régulières, des conseils pratiques et des services adaptés aux réalités de chaque chantier. **Nos prix attractifs et notre investissement dans un service de qualité ont été les clés de notre succès et nous permettent de répondre efficacement à ce défi.** (Fig. 1 & 2)



← Fig. 1
Déchetterie sauvage AVANT
le passage des Ripeurs.



← Fig. 2
Déchetterie sauvage APRÈS
le passage des Ripeurs.

Les différentes catégories de déchets du bâtiment : caractéristiques et enjeux

1. Les déchets inertes : le poids lourd du gros œuvre

Si vous travaillez dans le gros œuvre, vous savez à quel point les déchets inertes, comme le béton, les tuiles et les gravats, sont omniprésents sur les chantiers. Ils représentent la majorité des déchets produits, non seulement dans le gros œuvre (81 %), mais aussi dans le second œuvre (58 %).

- **Exemples courants** : pierres, béton, céramiques, verre non feuilleté.
- **Corps d'état concernés** : maçons, couvreurs, carreleurs.

Ces matériaux sont non dangereux, mais leur gestion peut vite devenir un casse-tête logistique. Il faut des solutions de tri sur place et des circuits de collecte efficaces pour éviter l'enfouissement systématique et maximiser leur réutilisation comme matériaux de construction.

2. Les déchets non inertes et non dangereux : la diversité des matériaux composites

Ces déchets, que l'on appelle aussi « déchets industriels banals » ou DIB, sont très variés : métaux, bois, plastiques, emballages... Dans le gros œuvre, ils représentent 16 % des déchets, mais montent à 41 % dans le second œuvre.

- **Exemples** : métaux, bois, plâtre, matières plastiques, peintures à l'eau.
- **Corps d'état concernés** : électriciens, plaquistes, monteurs d'isolation.

Ces déchets peuvent paraître anodins, mais leur gestion reste complexe. Pourtant, c'est avec un tri en amont que l'on peut vraiment faire la différence et réduire les coûts de traitement. Chez Les Ripeurs, on constate fréquemment qu'en triant correctement sur chantier, on peut passer d'un taux de revalorisation de 25 % à 80 %. Ce simple geste optimise la gestion des matériaux et limite considérablement le volume de déchets destinés à l'enfouissement.

3. Les déchets dangereux : des précautions indispensables

On ne peut pas parler de déchets du bâtiment sans évoquer les déchets dangereux. Ils ne représentent que 3 % des déchets du gros œuvre et 2 % du second

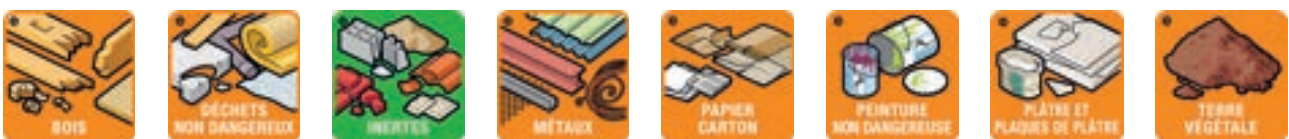
œuvre, mais leur impact potentiel est énorme.

- **Exemples** : peintures contenant des solvants, bois traité, aérosols.
- **Corps d'état concernés** : peintres, plombiers, menuisiers.

Ces déchets nécessitent une gestion spécifique, avec des règles de traçabilité très strictes. Leur élimination ne doit jamais être prise à la légère, car elle engage notre responsabilité en tant que professionnels. (Fig.3)

Les contraintes logistiques : un défi quotidien sur nos chantiers

Gérer les déchets, c'est aussi gérer un flux logistique complexe. Que ce soit en ville, avec des accès difficiles, ou sur des chantiers plus grands, les déchets représentent un véritable défi au quotidien. Chaque chantier a ses spécificités, et on doit composer avec des volumes qui varient, des contraintes de sécurité et des règles à respecter.



↑ Fig. 2
Pictogramme déchets FFB. Source : Libre de droit

Les déchets

Le BTP, premier générateur de déchets



Fig. 3
Trie déchetterie.

Optimiser la gestion des déchets : les leviers d'action

1. Le tri à la source : un enjeu crucial pour une meilleure valorisation

Le tri à la source, c'est la clé. Ce n'est pas juste une question de réglementation, c'est aussi une question de bon sens. Quand on trie directement sur chantier, on facilite tout le reste : la collecte, la valorisation, et au final, on réduit les coûts.

Concrètement, voici comment cela se passe :

Nous sommes capables d'installer des zones de tri bien identifiées en fonction des typologies de déchets, avec des solutions adaptées à chaque type de matériau :

1. Bennes pour les déchets lourds en grande quantité : Pour les déchets inertes comme le béton, les tuiles et les gravats, nous installons des bennes robustes capables de recevoir de grandes quantités. Ces bennes sont idéalement placées pour faciliter le dépôt des matériaux et optimiser leur collecte.

2. Big bags pour les déchets lourds en petite quantité : Pour les déchets comme les gravats en petites quantités, les métaux ou les déchets de gros œuvre, nous proposons des big bags. Ces sacs sont faciles à manipuler et permettent de trier efficacement sans encombrer l'espace du chantier.

3. Contenants fermés pour les matériaux sensibles à l'humidité : Les déchets tels que le plâtre, la laine de roche et la laine de verre ne peuvent pas être valorisés s'ils sont mouillés. Pour ces matériaux, nous mettons à disposition des contenants fermés, protégeant ainsi les déchets des intempéries et garantissant leur réutilisation ou recyclage.

4. Zone de stockage tampon pour les déchets légers : Pour les déchets légers comme le bois, le plastique et les emballages, nous créons une zone de stockage temporaire. Cette zone facilite la gestion de ces matériaux en attente de collecte et permet à nos équipes d'intervenir rapidement, sans laisser d'emprise importante sur le chantier.

5. Bacs roulants pour les déchets spécifiques : Pour les déchets spécifiques comme les néons, les piles ou les cartouches d'encre, nous fournissons des bacs roulants qui permettent un tri précis. Ces bacs sont faciles à déplacer et facilitent le transport des déchets vers les filières de traitement adaptées.

2. La réutilisation et le réemploi : transformer les déchets en ressources

On a souvent tendance à voir le déchet comme quelque chose dont il faut se débarrasser. Pourtant, certains matériaux peuvent être réutilisés directement sur le chantier, comme les gravats pour du remblai. Chez Les Ripeurs, nous encourageons le réemploi, car c'est non seulement bon pour l'environnement, mais aussi pour le portefeuille. Aujourd'hui, le réemploi est encore à un stade

artisanal, mais de nombreux acteurs se mobilisent pour transformer ce secteur et l'industrialiser. Cette dynamique vise à créer des filières organisées qui permettront de valoriser davantage de matériaux, tout en standardisant les processus pour rendre le réemploi accessible à une échelle plus large. Ce mouvement est essentiel pour faire du déchet une véritable ressource. (Fig. 4)

La REP PMCB : un outil gouvernemental pour lutter contre les décharges sauvages et améliorer le tri des déchets

La Responsabilité Élargie du Producteur (REP) pour les Produits et Matériaux de Construction du Bâtiment (PMCB) est un dispositif mis en place par le gouvernement pour répondre aux enjeux environnementaux majeurs liés à la gestion des déchets du bâtiment. En vigueur depuis 2023, la REP PMCB vise à responsabiliser les producteurs de matériaux de construction en les obligeant à prendre en charge la fin de vie de leurs produits. L'objectif ? Réduire les décharges sauvages, améliorer le tri des déchets et encourager le réemploi et la valorisation des matériaux.

1. Qu'est-ce que la REP PMCB ?

La REP PMCB est un système qui impose aux producteurs, distributeurs et importateurs de produits de construction de financer et d'organiser la collecte et le traitement des déchets issus de leurs produits une fois ceux-ci arrivés en fin de vie. Ce mécanisme repose sur le principe du "pollueur-payeur", où les entreprises qui mettent sur le marché des produits et matériaux de construction doivent contribuer financièrement à leur gestion en fin de vie.

Les principaux objectifs de la REP PMCB sont :

- **Limiter les décharges sauvages :** En facilitant la reprise gratuite des déchets triés, la REP vise à réduire l'abandon de déchets dans la nature.

- **Augmenter le taux de tri et de valorisation :** La REP encourage les entreprises à trier les déchets dès leur production sur les chantiers, en offrant des solutions de collecte adaptées.
- **Favoriser le réemploi et le recyclage :** En soutenant les filières de réemploi et de recyclage, la REP PMCB contribue à donner une seconde vie aux matériaux.

2. Comment fonctionne la REP PMCB ?

La REP PMCB fonctionne principalement grâce à la mise en place d'éco-organismes tels que VALOBAT, Écomaison, Écominéro, et Valdelia, qui collectent les contributions financières des producteurs et utilisent ces fonds pour gérer les déchets de manière durable. Les entreprises du bâtiment, en tant que producteurs de déchets, peuvent ainsi bénéficier d'un soutien financier pour le tri et la gestion des déchets, à condition de respecter les règles de tri imposées par la REP.

Les points clés du fonctionnement de la REP PMCB :

- **Contributions financières :** Les fabricants de matériaux paient une éco-contribution incluse dans le prix de vente des produits, destinée à financer la collecte et le traitement des déchets.
- **Soutien aux professionnels du BTP :** Les éco-organismes mettent en place des points de collecte, financent la gestion des déchets et encouragent le tri sur les chantiers grâce à des aides spécifiques.
- **Infrastructures adaptées :** La REP PMCB favorise le développement de déchetteries professionnelles et de centres de collecte adaptés aux besoins des chantiers du BTP, rendant la gestion des déchets plus accessible et efficace.



↑ Fig. 6
Equipe Les Ripeurs.

3. Une opportunité pour transformer le secteur

Cette REP PMCB est une opportunité immense pour notre entreprise et le secteur du BTP, car elle pousse notre concept de **trier pour moins payer** à un niveau supérieur : **trier pour ne pas payer**. Nos concurrents majoritaires, souvent issus de l'économie souterraine, voient leur activité encadrée par cette REP, qui permet de réguler le marché de la collecte de déchets. Cependant, la complexité de la REP et de ses règles nécessite souvent que l'on prodigue des formations, puis un accompagnement dans les premières commandes de nos clients pour qu'ils bénéficient pleinement des soutiens de la REP PMCB. (Fig. 5)

Agissons ensemble pour un bâtiment plus durable

La gestion des déchets, c'est l'affaire de tous. Nous avons le pouvoir, à notre échelle, de transformer ce défi en opportunité. En adoptant de bonnes pratiques de tri, en valorisant ce qui peut l'être, et en luttant contre les décharges sauvages, nous pouvons rendre le secteur du bâtiment plus respectueux de l'environnement. C'est tout l'enjeu des Ripeurs, et je sais que nous pouvons faire bouger les lignes, ensemble.

Grâce à nos 7 ans de dur labeur, nous avons réussi à collecter 250 000 tonnes de déchets, valorisés à 87 % contre 70 % en moyenne pour le secteur du BTP. Cette performance a permis d'économiser l'équivalent de l'impact environnemental de plus de 2 000 allers-retours Paris-New York. Un résultat dont nous sommes fiers et qui montre qu'ensemble, avec des solutions adaptées, nous pouvons vraiment faire la différence. ■

Cet article reflète ma vision en tant que professionnel engagé dans la gestion des déchets du bâtiment, et j'espère qu'il vous aura donné des clés pour repenser votre approche de la gestion des déchets sur vos chantiers.

← Fig. 5
Fonctionnement d'une REP.



Les déchets

Le BTP, premier générateur de déchets

L'article suivant a été co-écrit par :

Mouhamadou AMAR* Enseignant-Chercheur, Habilité à Diriger des Recherches, à l'IMT Nord Europe.
Nor-Edine ABRIAK* Professeur à l'IMT Nord Europe et chef du Laboratoire de mécanique de matériaux.
Mahfoud BENZERZOUR* Professeur à l'IMT Nord Europe et directeur du CERI Matériaux et Procédés.

* Organismes : Univ. Lille, IMT Nord Europe, Université d'Artois, Yncrea Hauts-de-France, ULR 4515 - LGCgE, Laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement, F-59000 Lille, France

Chaire ECOSED Traitement et valorisation des matières minérales : étude de cas des sédiments et terres excavées

1 Quelles sont les problématiques relatives à la gestion des sédiments ?

La France fait face à des défis importants dans le secteur de la construction, avec une demande annuelle de 16,7 millions de tonnes de ciment en 2022 et environ 400 millions de tonnes de matériaux granulaires, dont 96 % sont d'origine naturelle. Cette situation souligne l'urgence de trouver des alternatives durables et écoresponsables.

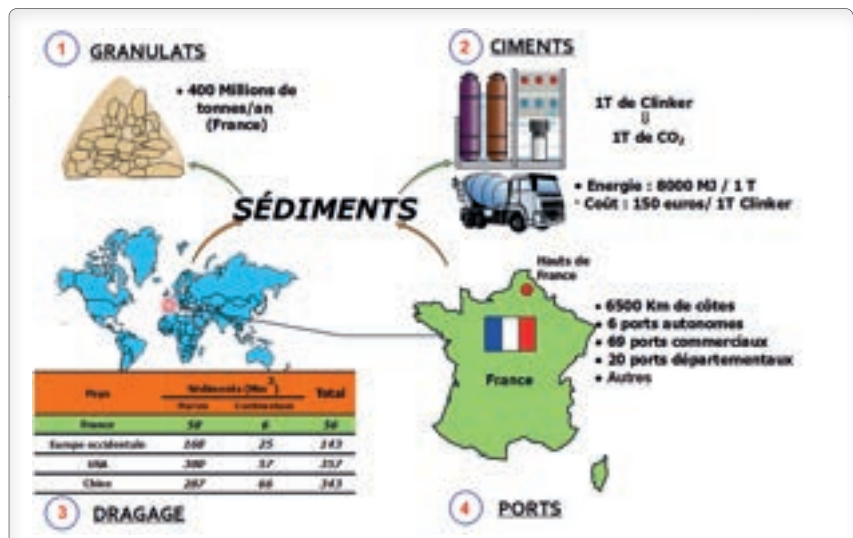
Une solution prometteuse réside dans la valorisation des sous-produits industriels (SPI), en particulier les sédiments de dragage. Ces sédiments, composés de particules de tailles variées ayant subi un transport, représentent un volume considérable : environ 56 millions de m³ sont dragués chaque année en France, puis stockés, traités ou rejetés en mer (Fig. 1).

La gestion de ces sédiments de dragage est une problématique complexe qui nécessite une approche multidimensionnelle. C'est ainsi que la chaire Ecosed fut mise en place.

Elle implique :

- Le développement de solutions techniques innovantes
- Une prise de conscience écologique accrue
- Le respect strict des réglementations en vigueur
- La prise en compte des aspects socio-économiques

En exploitant ces ressources, on pourrait non seulement réduire l'impact environnemental de l'industrie de la construction, mais aussi transformer un déchet potentiel en une matière première secondaire précieuse. Cette approche met en évidence l'ampleur du défi et l'importance de trouver des solutions



↑ Fig. 1 - Schématisation des interactions dans le cadre du principe 3R (Réduire, Réutiliser, Recycler) Source : Thèse AMAR, 2017

Sédiments	Densité (g/cm ³)	BET (m ² /g)	PAF (950°C/1h) (%)	Granulométrie			
				%<2µm	>2µm et <63µm	%> 63µm	Dmax (µm)
ASL	2.65	90305	9.74	12.2	61.3	21.2	90
NSL	2.43	43765	26.08	7.12	82.7	10.1	100

← **Tableau 1**
Caractéristiques physico-chimiques des matières valorisées utilisées pour la fabrication des ciments.

Oxyde (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	TiO ₂	P ₂ O ₅	ZnO	PAF	Total
ASL	65.15	7.35	3.1	7.55	0.7	0.85	1.65	0.1	0.65	0.25	0.1	12.1	99.5
NSL	60.58	10.99	6.35	4.95	0.99	0.82	2.18	0	0.82	0.30	-	11.39	99.3

← **Tableau 2**
Composition chimique en oxydes.

↓ **Tableau 3**
Composition des bétons pour l'étude de durabilité (en Kg/m³).

	Déblai flash calciné (DFC)	Laitier (LHF)	Ciment CEM I 52.5 N	Ciment CEM III/A 52,5 N ES	Volume total (Litre de liant pour 1 m ³ de béton)*	Eau	Rapport G/S	Superplastifiant
B5_30%DFC	86,40	0	201,60	-	91,42	130	1	5,76
B2_20%DFC+20%LHF	68,52	68,52	196,68	-	113,55	144	1,86	7,29
B8_20%DFC+20%LHF	60	60	180	-	101,24	150	1,86	6,00
B11_30%DFC	66		154	-	73,08	110	1,86	4,40
T_CEM III 52.5ES pour B2	-	-	-	358,81	113,55	144	1,86	7,89
T_CEM III 52.5ES pour B5	-	-	-	288	288.00	130	1	5,76
T_CEM I 52.5 pour B8			277,82		87,92	142	1,86	6,11
T_CEM I 52.5 pour B11			220		87,92	142	1,86	4,64

* Volume de liant constant car masse volumique des additions minérales inférieures à celle du ciment.

durables, tout en soulignant le potentiel des sédiments de dragage comme alternative aux matériaux traditionnels.

Pour ce qui est des sédiments étudiés et valorisés, on présente ci-dessous (Tableau 1) leurs caractéristiques physico-chimiques principales.

La chimie et la minéralogie sont étudiées en utilisant une caractérisation FX et DRX. Dans les résultats présentés au Tableau 2, on voit donc la présence prédominante de silice, d'alumine et de calcaire. Cela en fait donc des matériaux adéquats pour la formulation de clinker où ces éléments sont nécessaires. La présence de phases argileuses est également très bénéfique (car valorisable en principe jusqu'à 20 %

dans le cru en principe). La présence de TiO₂ sur l'ASL et le NSL peut avoir les effets suivants : améliorer l'aptitude à la cuisson du cru, affecte les CSH, diminue le temps de prise. Pour ce qui est du P₂O₅, il peut empêcher la conversion de la bélite en alite. Enfin pour les alcalins K₂O et Na₂O. Ils facilitent la clinkérisation mais peuvent avoir des effets néfastes sur les bétons.

Dans un autre volet, il existe l'utilisation d'additions minérales issues de terres excavées dans le béton et qui offre des avantages économiques et écologiques. Cette approche valorise des ressources secondaires comme les déblais calcinés, permettant de développer des liants moins carbonés, mais aussi performants que les

traditionnels. C'est dans ce cadre que l'IMT Nord Europe a également mené un projet avec La Société des Grands Projets (SGP) et visant à valider la valorisation des 70 % des 47 millions de tonnes de déblais de ses chantiers. Parmi les options étudiées, la SGP explore la transformation partielle de ces déblais en additions minérales pour la fabrication de liants destinés au béton bas-carbone (Fig. 2). Cette démarche performantielle optimise l'utilisation des ressources tout en réduisant l'empreinte carbone du secteur de la construction, illustrant une transition vers des pratiques plus durables dans l'industrie du BTP.

Pour les travaux en laboratoire, de multiples formulations ont été développées et étudiées. Quatre familles de béton ont été formulées : B2 (parois moulées), B8 (structure interne), B11 (rechargement), et B5 (voussoir). Les formulations incluent des taux de substitution variés de ciment par des déblais flash calcinés (DFC), du métakaolin, et du laitier. Les essais de résistance à la compression et de durabilité ont été effectués sur ces formulations. Les formulations de béton sont résumées dans le Tableau 3.



↑ **Fig. 2** - Analyse et sélection des déblais destinés au procédé de flash-calcination et échantillons formulés.

Les déchets

Le BTP, premier générateur de déchets

2. La chaire ECOSED

La chaire de recherche Ecosed digital4.0, succédant à Ecosed1, a été créée pour répondre au défi de la valorisation des sédiments provenant des activités de dragage. En France, ces sédiments représentent environ 50 millions de m³ chaque année. C'est en 2014 qu'est lancée Ecosed 1, et qui s'est achevée en 2019, la chaire s'est poursuivie dans sa phase 2 en 2020 avec Ecosed digital 4.0 pour une durée de 5 ans. Son objectif est de créer une dynamique scientifique, technologique et partenariale autour de la gestion des sédiments portuaires et fluviaux, en vue de développer des solutions de valorisation adaptées aux applications de génie civil, telles que la construction de routes, la fabrication de béton, de liants, la création de buttes paysagères, de remblais, ou encore de granulats artificiels pour le renforcement des plages.

En plus du développement d'un logiciel d'optimisation destiné à identifier les filières de valorisation des sédiments, Ecosed digital 4.0 conduit neuf programmes de recherche pluridisciplinaires combinant des aspects matériaux et environnementaux (mécanique, physique, chimie) avec des aspects numériques et d'optimisation opérationnelle.

Les enjeux scientifiques de la chaire, qui sont de nature fortement pluridisciplinaire, sont organisés par thématiques au sein de groupes de travail collaboratifs réunissant les partenaires de la chaire et les chercheurs.

Les missions réalisées par les équipes d'IMT Nord Europe incluent la formation d'ingénieurs généralistes et spécialisés, l'innovation et la recherche. Quelques chiffres illustrent son activité : 30 % de son activité est contractuelle, représentant près de 8 millions d'euros.

Dans le cadre des travaux menés dans cette chaire, plusieurs techniques ont été employées afin d'améliorer les matériaux. Parmi celles-ci figure la calcination flash.

3. Qu'est-ce que calcination flash ?

La calcination flash est une technique de traitement thermique qui consiste à exposer rapidement des matériaux finement broyés à des températures élevées en présence d'air (voir Fig. 3). Cette méthode

Fig. 3
Chambre de Flash-calcination
Réhabilitation.
Source : Thèse AMAR, 2017

a été initialement employée pour activer chimiquement certaines argiles, comme la kaolinite, afin de leur conférer des propriétés pouzzolaniques¹. Lorsqu'on applique cette technique à des argiles spécifiques, telles que les kaolins, on observe un processus de déshydroxylation, c'est-à-dire l'élimination d'une liaison hydroxyle (-OH). De plus, en raison de la rapidité du processus, la calcination flash entraîne une déstructuration des phases minérales et donc leur activation.

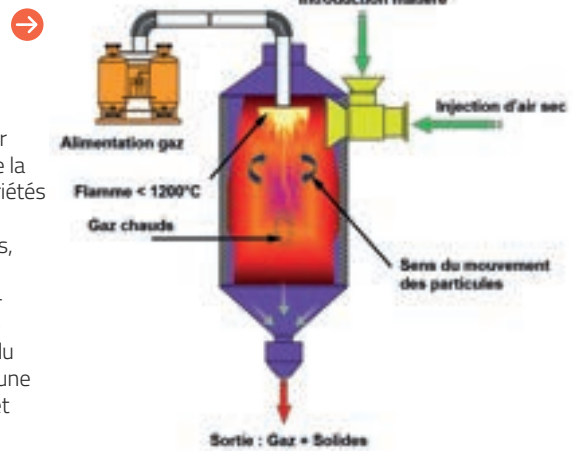
La calcination directe (ou traditionnelle) peut également produire de tels résultats, mais elle est souvent associée à des coûts énergétiques très élevés, voire prohibitifs, ce qui rend ce choix moins avantageux.

Dans le cadre de la calcination flash, deux paramètres sont essentiels : le temps d'exposition, qui se mesure en dixièmes de seconde, et la température de cuisson, qui est en général à une température entre 500 °C et 900 °C. La rapidité de ce procédé permet ainsi de réaliser des économies d'énergie significatives.

4. Quelques résultats obtenus sur quelques projets menés

La chaire EcoSed digital 4.0 mène des recherches approfondies sur la valorisation des sédiments à travers plusieurs groupes thématiques interconnectés. Les travaux sont organisés dans des Groupes de Travail (GT). Au cœur de cette initiative, le GTO développe le logiciel "DIGISED 4.0" pour optimiser la valorisation des sédiments, s'appuyant sur une base de données exhaustive nommée "WikiSed". En parallèle, le GT2 se concentre sur la valorisation des sédiments organiques avec le projet SEDIMEL 2, étudiant des échantillons représentatifs des Hauts-de-France et réalisant des chantiers pilotes expérimentaux.

Les travaux du GT3 sur les liants ont démontré le potentiel des matériaux excavés flash-calcinés dans les bétons (projet SGP), de même que le projet SEDICIM qui s'est intéressé à la réutilisation des sédiments dans l'industrie cimentaire. Tandis que le GT5 aborde l'érosion littorale à travers le projet NEO'BLOCK, soulignant



l'importance de développer des plateformes de gestion des sédiments pour soutenir les filières industrielles.

D'autres travaux effectués se sont penchés sur la gestion à la source avec les projets GESS et TRACS, développant des modèles mathématiques pour comprendre les dynamiques sédimentaires et leur contamination. De même que l'exploration de l'utilisation des sédiments dans les liants hydrocarbonés via le projet SEDIASPHALTE, obtenant des résultats prometteurs dans la formulation d'asphaltes coulés. On voit donc qu'à la lumière de ces éléments que ces différents axes de recherche convergent vers un objectif commun : valoriser efficacement les sédiments dans divers domaines de la construction et de la gestion environnementale, ouvrant la voie à des pratiques plus durables et innovantes dans ces secteurs. ■

1. Propriété d'un matériau qui, en présence d'eau et de chaux, réagit avec l'eau pour former deshydrates de type C-S-H.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Mouhamadou AMAR.

Traitement et valorisation des sédiments de dragage dans les matrices cimentaires, Thèse de doctorat, Université de Lille, 2017

M. AMAR, J. KLEIB, M. TALL, A. ALLOUL, A. ZERAUI, A. ALLOUL, N-E. ABRIAK, M. BENZERZOUR.

Case study: reuse of excavated soils from the Grand Paris Express project for the formulation of low-carbon cementitious matrices: Part 1, Journal of Material Cycles and Waste Management, vol. 20, p 1-12, 2024, Impact factor: 3.3, <https://doi.org/10.1007/s10163-024-01957-z>



AMOPSI
EXPERTISE ASSISTANCE ETUDES

- SPRINKLEURS → RIA → EXTINCTION MOUSSE
- CANONS INCENDIE → RISQUES SPÉCIAUX



L'INGÉNIERIE AU SERVICE DE LA SÉCURITÉ INCENDIE

AMOPSI met son expertise au service des secteurs d'activité les plus exigeants, en France comme en Europe.



Centres Commerciaux



Agroalimentaire



Chimie / Pharma



Industries Générales



Logistique



Tertiaire

ZI des Garennes - 1 rue Chappe 78130 LES MUREAUX - Mail : contact@amopsi.com
www.amopsi.com

SNF
WATER SCIENCE

**Join us and act
for Responsible Chemistry**



SNF est un groupe de chimie de spécialité dont les produits contribuent soit à traiter, recycler, préserver l'eau, soit à économiser l'énergie et réduire l'empreinte carbone.

93% du chiffre d'affaires de SNF est aligné avec les Objectifs de Développement Durable de l'ONU. Pionnier de la chimie douce et des technologies responsables, le groupe est présent sur tous les continents, employant plus de 8150 personnes dont 1500 en France et réalise un chiffre d'affaires de 4,5 milliards € en 2023.

Rejoignez-nous et contribuez à une chimie responsable.

www.snf.com

recrutement@snf.com



OARD : Démolition, reconstruction vs. Réhabilitation

Développement d'un outil d'aide à la décision pour l'évaluation du coût et de l'empreinte carbone des modifications bâtementaires

1 Introduction

La décision de démolir ou de réhabiliter un bâtiment repose sur de nombreux critères, notamment les coûts engendrés par les travaux et l'empreinte carbone. Cette question est d'autant plus pertinente dans le contexte actuel, où les considérations économiques et environnementales sont déterminantes dans le processus de décision. Les décideurs sont souvent confrontés à un dilemme : conserver et réhabiliter les structures existantes ou opter pour une déconstruction suivie d'une reconstruction. Ce choix n'est pas trivial et nécessite une analyse approfondie des implications économiques et environnementales.

En synthèse, la question centrale de l'étude est de déterminer le scénario le plus favorable, entre la conservation de l'existant et la démolition suivie d'une reconstruction, tant sur le plan économique qu'environnemental.

2. Revue de la littérature

Les recherches actuelles sur les outils d'aide à la décision dans le secteur de la construction se concentrent principalement sur des aspects spécifiques, tels que l'évaluation des coûts ou l'analyse de l'empreinte carbone, sans les combiner. Une étude menée par la Direction régionale et interdépartementale de l'Environnement, de l'Aménagement et des Transports d'Île-de-France souligne que la réhabilitation d'un bâtiment émet en phase travaux moins de gaz à effet de serre (GES) que la construction d'un bâtiment neuf identique (DRIEAT, 2020). Cependant, en raison des meilleures performances énergétiques des bâtiments neufs, cet écart se réduit avec le temps et, après 30 à 40 ans de service, les émissions cumulées des deux scénarii deviennent comparables. Au bout de 50 ans, le bâtiment neuf aura émis moins de GES, selon la même étude.

En 2019, les coûts de réhabilitation ont été estimés environ 10-15 % moins élevés que ceux de la démolition suivie de la reconstruction, selon les études de cas analysées (Villey et al., 2023). Toutefois, il est important de noter que cette différence de coût doit être relativisée en tenant

compte de la phase exploitation des bâtiments, en fonction de leur durée de vie et de leurs performances énergétiques. En effet, pour un bâtiment réhabilité, ces dernières sont souvent inférieures à celles d'un bâtiment neuf, ce qui influence le bilan carbone à long terme.

L'impact environnemental global ne se limite pas aux seules émissions de GES. La réhabilitation permet de conserver une partie de la structure existante, réduisant ainsi la production de déchets et l'utilisation de matériaux neufs tel que le béton. En revanche, la construction neuve bénéficie des dernières normes environnementales, telles que la RE2020 qui intègrent des exigences de performance énergétique et d'émissions de GES sur un cycle de vie de 50 ans.

Le CEREMA a réalisé une étude sur la prise en compte du carbone dans les projets de rénovation, examinant les pratiques actuelles en France. Ce travail met en avant des méthodes comme les tests de performance haute qualité environnementale (HQE), Net Zero Carbon (NZC), et l'analyse de cycle de vie. L'objectif est de diriger les professionnels vers des pratiques plus respectueuses de l'environnement, conformes aux exigences de la RE2020, en promouvant notamment l'utilisation de matériaux écologiques et l'adoption de l'économie circulaire. (Villey et al., 2023).

En conclusion, bien que la réhabilitation présente des avantages initiaux en termes de coûts et d'émissions de GES, la démolition suivie de la reconstruction peut devenir plus favorable à long terme grâce aux meilleures performances énergétiques des bâtiments neufs. Cette complexité

PARCOURS



Nassim DERRADJI

IMT Mines Alès, promo 2018

Il est Chef de projet économie circulaire à la Société des grands projets (Ex-Société du Grand Paris).

souligne la nécessité d'un outil d'aide à la décision intégré, capable de comparer de manière exhaustive et au cas par cas, les scénarios de réhabilitation et de démolition/reconstruction, en tenant compte des coûts, de l'impact carbone et des performances environnementales sur l'ensemble du cycle de vie des bâtiments.

3. Méthodologie

Les deux scénarii analysés sont :

a. Démolition et reconstruction :

Démolition complète du bâtiment existant suivie de la construction d'une nouvelle structure.

b. Réhabilitation : Réhabilitation de la structure existante pour améliorer ses performances énergétiques et prolonger sa durée de vie.

1. Description de l'outil

Le choix de la segmentation est un élément indispensable dans la conception de l'outil. Il permet de clarifier les catégories de données sur lesquelles l'utilisateur a la main et établit les règles de comparaison et critères d'analyse des chantiers. L'organigramme présenté sur la Figure 1 schématise la segmentation retenue.

NB : le scénario D+C (déconstruction + construction) représente la déconstruction du bâtiment existant et la reconstruction d'un nouveau bâtiment.

Niveaux 1 et 3 :

Le volet intitulé « Tableau de bord » permet à l'utilisateur de saisir les données de base concernant l'ouvrage existant ainsi que le projet à développer. Pour simplifier le remplissage, des listes déroulantes offrent des options prédéfinies concernant la typologie du bâtiment, la surface de plancher, le nombre et la hauteur des niveaux, etc. Ce volet affiche également les résultats des calculs pour deux scénarii, incluant le bilan carbone selon la durée de vie prévue et les coûts associés, basés sur les hypothèses et calculs détaillés dans les volets de niveau 2.

Niveau 2 :

- Le volet « Calcullette CO₂ » fixe les hypothèses de calcul pour les deux scénarii envisagés, couvrant le type de travaux, la quantité de déchets produits par catégorie, les distances de transport et les performances énergétiques attendues.
- Le volet « Coût de réhabilitation » permet de sélectionner les différents lots et postes envisagés pour la réhabilitation afin de calculer le coût total du scénario de réhabilitation.
- Le volet « D+C Quantités » offre la possibilité de saisir les surfaces et les quantités nécessaires pour les aménagements extérieurs, afin de préciser le calcul des coûts des opérations pour le scénario D+C.
- Le volet « D+C Lots » permet de choisir les hypothèses, les lots et les labels envisageables pour la démarche D+C.

PARCOURS



Thomas GAUDRON
ICM Saint Etienne, promo 2004

Il est Responsable de l'équipe en charge des terres et de l'économie circulaire pour les chantiers de la Société des grands projets. (Ex-Société du Grand Paris).

- Le volet « D+C Doctrine Environnement » est conçu pour sélectionner les prescriptions et les niveaux d'ambition nécessaires pour intégrer la doctrine environnementale et calculer les plus-values associées.

2. Sources de données

Les données utilisées proviennent de bases de données industrielles et académiques, incluant les coûts des matériaux, les facteurs d'émission de GES des processus de construction et de démolition et les coûts de main-d'œuvre. Par exemple, la

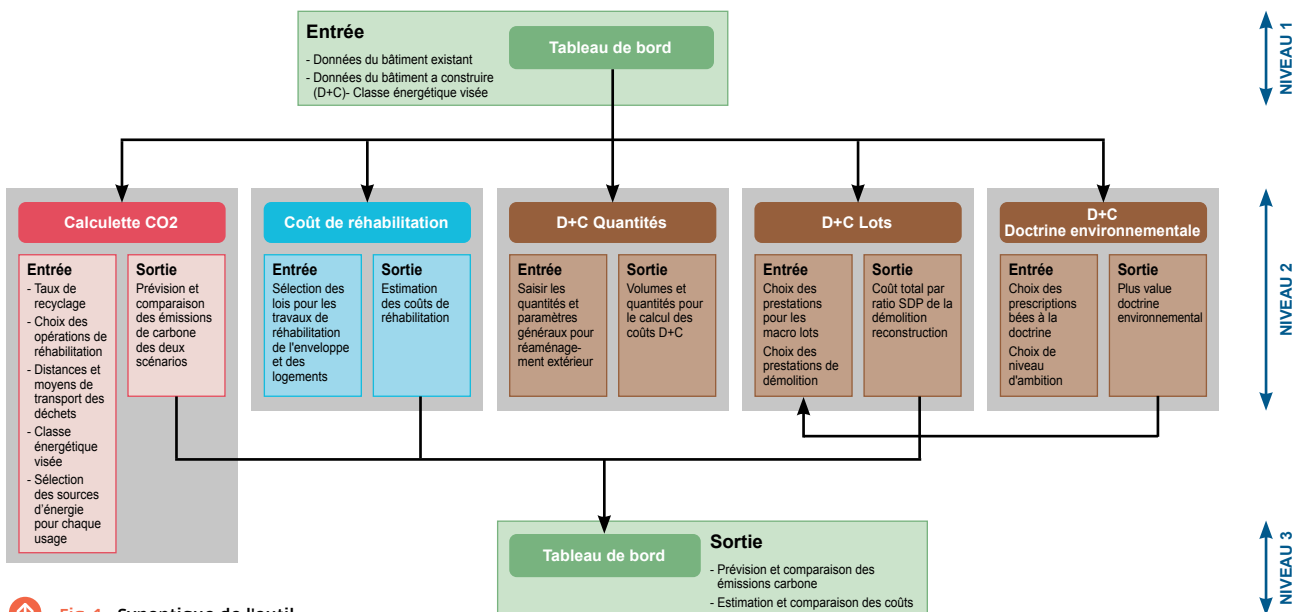


Fig. 1 - Synoptique de l'outil.

Les déchets

Le BTP, premier générateur de déchets

Tableau 1
Références des données utilisées pour l'élaboration de l'outil.



Données	Unités	Références
Flux de matériaux et gestion circulaire	Ratios [t/m ²]	Evaluation du métabolisme à l'échelle du projet - (Evalmetab, 2022)
Empreinte carbone de la démolition	kg CO ₂ / m ²	Evaluation d'une opération de déconstruction - CEREMA - (Desbois, 2022)
Empreinte carbone de la construction	kg CO ₂ / m ²	Seuils Ic_construction – RE2020 (Zefco, 2021)
Empreinte carbone de l'exploitation	kg CO ₂ / m ²	Seuils Ic_énergie – RE2020 (Zefco, 2021)
Empreinte carbone des opérations de réhabilitation	kg CO ₂ / m ²	Projet carbone - (L'observatoire de l'immobilier durable OID, 2019)
Répartition de la consommation d'énergie selon l'usage	Ratios [%]	Consommation d'énergie par usage dans le tertiaire/résidentiel - (Ceren, 2023)
Coefficients d'émission des ressources d'énergie	kg CO ₂ / kWh	Base empreinte - (ADEME, 2023)
Estimation du coût de la réhabilitation	€	Estimation du coût de la réhabilitation - (COSB)
Estimation du coût de la construction neuve	€	Calculateur de ratios - (COSB)

démolition d'un bâtiment peut générer entre 20 et 40 kg de CO₂ par m², tandis que les coûts de construction peuvent varier de 1 000 à 3 500 euros par m² selon le type de bâtiment et les matériaux utilisés (Tableau 1).

3. Estimation de l'empreinte carbone

A. PHASE CHANTIER

Pour estimer les quantités de matériaux de construction au mètre carré, un outil appelé EVALMETAB développé par la chaire ECMU (Economie circulaire et métabolisme urbain), pilotée par l'université Gustave Eiffel et dont la Société des grands projets est partenaire, a été utilisé comme référence pour l'estimation des quantités de matériaux et les émissions carbone de la gestion circulaire des déchets. EVALMETAB se base sur une étude d'analyse des flux de matériaux de construction à l'échelle territoriale, connue sous le nom de Projet ANR ASURET. Cet outil est utilisé pour les deux scénarii afin de déterminer l'empreinte carbone de la gestion des déchets, notamment leur transport.

Phase	D+C [kg CO ₂ /m ²]	Réhabilitation [kg CO ₂ /m ²]	D+C [t CO ₂ eq.]	Réhabilitation [t CO ₂ eq.]
Chantier	518	304	3 774	2 212
Exploitation sur 1 an	6	17	42	123
Exploitation sur 30 ans	174	506	1 267	3 683
Exploitation sur 50 ans	290	843	2 112	6 138
Chantier + exploitation sur 50 ans	808	1 147	5 886	8 350



Tableau 2
Estimation des empreintes carbone pour chaque scénario.

■ Scénario 1

Démolition et reconstruction :

L'empreinte carbone totale de la démolition a été calculée en fonction de la Surface de Plancher (SDP), utilisant une valeur d'émission spécifique de CO₂ par mètre carré. Cette valeur, qui est de 27.07 kgCO₂/m², provient d'une évaluation de l'impact environnemental en fin de vie d'un bâtiment réalisée par le Cerema. (Desbois, 2022)

Les seuils Ic_construction de la RE2020 ajustés par Zefco pour la SGP sont ensuite utilisés pour estimer l'empreinte carbone de la construction neuve, en fonction de la typologie du bâtiment. (Zefco, 2021)

■ Scénario 2

Réhabilitation :

Une étude menée par l'Observatoire de l'Immobilier Durable a conclu à des moyennes d'émissions de CO₂ par type de poste des travaux de réhabilitation, permettant ainsi de calculer l'empreinte carbone totale de l'opération en fonction de la SDP. (L'observatoire de l'immobilier durable OID, 2019)

B. PHASE D'EXPLOITATION

Pour la phase d'exploitation, l'outil se base sur deux différentes méthodes pour estimer l'empreinte carbone en fonction de la typologie du bâtiment et de la source d'énergie utilisée.

■ Scénario 1

Démolition et reconstruction :

Les seuils Ic_énergie de la RE2020 et ajustés par Zefco sont employés afin d'évaluer l'empreinte carbone de l'exploitation, en prenant en compte la typologie du bâtiment ainsi que l'année de commencement des travaux. (Zefco, 2021)

■ Scénario 2

Réhabilitation :

Une approche méthodologique a été élaborée pour estimer l'empreinte carbone résultant de l'exploitation du bâtiment sujet à réhabilitation, en fonction de l'étiquette énergétique visée. La sélection des sources énergétiques pour chaque usage est essentielle afin d'évaluer précisément l'empreinte carbone, utilisant pour cela les coefficients d'émission attribués à chaque type de source. (Ceren, 2023)

PARCOURS



Abdelfeteh SADOK

IMT Nord Europe,
promo doctorale 2016

Il est Responsable stratégie de l'économie circulaire de la Société des grands projets. (Ex-Société du Grand Paris).

Bâtiment existant

Type/Logement existant: Logement collectif 50-70

SOP bâtiment existant: 2782

Nombre de niveaux bâtiment existant: 8

Hauteur étages bâtiment existant: 2,5

Année de début des travaux: 2031

D+C (Déconstruction de l'existant + Construction neuve)

Type/Logement à construire: Logement collectif - classique

SOP bâtiment à construire: 2782

Niveau de niveaux bâtiment à construire: 8

Hauteur étages bâtiment à construire: 2,5

Stratégie logistique d'évacuation déchet

Catégorie	Tonnes	Distance	Transport	Impact CO2
DI	2565,18	5	Route	8716,30
DN2	524,59	1	Route	875,79
DD	233,58	9	Route	403,09
Total (kg CO2 eq.)				9643,69

Fig. 2 Données d'entrées de l'étude de cas - Existant / D+C (Déconstruction - construction).

Réhabilitation

Estimation de l'empreinte carbone des opérations de réhabilitation

- Revêtement sols, murs et plafonds
- Classement/ déblage/ plafond / reprise sous-toiture
- Rénov. énergie
- CVC et sanitaires
- Façades et menuiseries extérieures

	Coût	Impact CO2/m²
Coût	33,8	kg CO2/m²
Coût	228,7	kg CO2/m²
Coût	31,3	kg CO2/m²
Coût	9,7	kg CO2/m²
Coût	1,2	kg CO2/m²

Stratégie logistique d'évacuation déchet

Catégorie	Tonnes	Distance	Transport	Impact CO2
DI	117,36	5	Route	369,08
DN2	289,42	1	Route	177,82
DD	12,79	9	Route	25,33
Total (kg CO2 eq.)				712,93

Estimation de l'empreinte carbone de l'exploitation

Sélectionner l'étiquette énergie envisagée

Facteur d'émission mix électrique moyen 2022: 0,052

Sélectionner le type d'énergie de chauffage

Sélectionner le type d'énergie pour l'eau chaude sanitaire

Sélectionner le type d'énergie pour la cuisson

Sélectionner le type d'énergie pour la climatisation

	Impact
0	
Coût naturel	
Coût naturel	
Électrique	
Électrique	

Fig. 3 Données d'entrées de l'étude de cas - Réhabilitation.

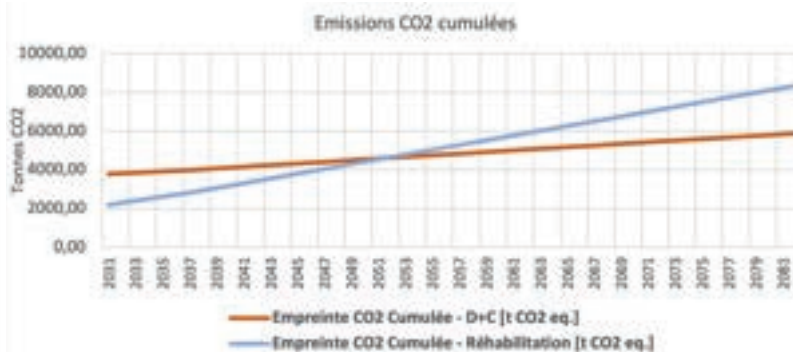


Fig. 4 Comparaison des émissions CO2 cumulées.

PARCOURS



Jawher TIMOUMI
Alternant

Il est chargé de mission économie circulaire chez la Société des grands projets. (Ex-Société du Grand Paris).

4. Résultats

1. Etude de cas : barre d'immeuble de 122 logements

Dans cette étude, nous analysons un immeuble de 122 unités résidentielles, offrant une surface de plancher totale de 7 282 m², répartis sur 8 niveaux, de 2,5 mètres de hauteur chacun. L'hypothèse retenue est un début des travaux en 2031 pour chacun des scénarii. (Figures 2 & 3)

2. Prédiction de l'impact carbone

Les empreintes carbonées de chaque scénario sont listées dans un tableau où se trouvent le bilan des émissions de la phase chantier, ainsi que des émissions de la phase d'exploitation sur des intervalles de 5 ans, couvrant une période totale de 50 ans. (Tableau 2 & Figure 4)

3. Prédiction des coûts

Les coûts prévisionnels indiquent que la démolition et la reconstruction coûtent 2 395 €/m², tandis que la réhabilitation est estimée à 1 615 €/m². Ainsi, sur la base des éléments économiques, choisir la réhabilitation plutôt que la démolition et reconstruction permet une réduction notable des coûts pour ce projet.

Notez que l'évaluation complète des coûts liés à l'exploitation reste complexe en raison de la difficulté à prédire le comportement des consommateurs et

Les déchets

Le BTP, premier générateur de déchets

Fig. 5
Comparaison des coûts cumulés des deux scénarii.



du fait que ces coûts sont généralement répercutés sur le consommateur final. (Figure 5)

4. Interprétation des résultats

Au départ, la réhabilitation produit moins d'émissions de carbone en conservant les structures existantes. Toutefois, les nécessités de maintenance et les améliorations pour l'efficacité énergétique diminuent progressivement ces bénéfices. À l'inverse, bien que les démolition et reconstruction sont la source de plus grandes émissions, les nouvelles constructions conformes aux normes RE2020 offrent une meilleure efficacité énergétique sur le long terme. Après 21 ans, leurs émissions totales deviennent inférieures à celles résultant de la réhabilitation, rendant cette option plus avantageuse pour un horizon de 30 à 50 ans.

Cette analyse démontre l'importance d'intégrer les impacts à long terme dans la prise de décision pour choisir la solution la plus durable et économiquement viable.

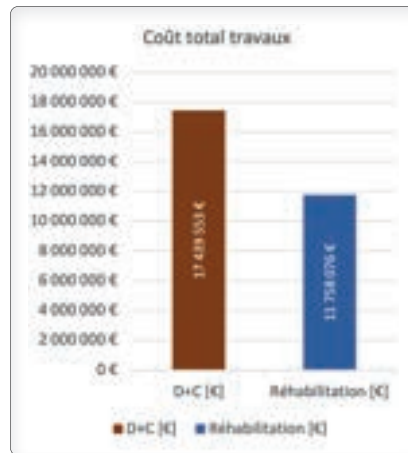
5. Discussion

1. Limites et contraintes

L'outil repose sur certaines hypothèses et simplifications, notamment en ce qui concerne les données utilisées pour les calculs. De plus, il existe un manque de données librement accessibles, ce qui peut limiter la précision des résultats. Ces limitations doivent être prises en compte lors de l'interprétation des résultats.

Pour obtenir des résultats fiables, il est essentiel que le projet analysé par OARD présente des caractéristiques similaires à celles des typologies de bâtiments incluses dans l'outil Evalmetab.

L'efficacité de l'outil pourrait être renforcée en élargissant son champ d'application pour intégrer des études de métabolisme urbain



représentatives d'autres villes, au-delà du seul exemple du projet ANR ASURET pour la ville d'Orléans (ANR ASURET, 2012).

2. Axes d'amélioration de l'outil

Le développement de modules supplémentaires pour explorer des aspects comme l'impact social et la résilience des bâtiments pourrait améliorer l'outil. Ceci permettrait d'enrichir les analyses et offrirait une perspective plus globale sur les conséquences des choix entre la démolition et la réhabilitation.

6. Conclusions

Les principaux résultats et observations sont les suivants :

- 1. Temps de retour carbone :** l'étude de cas a révélé que la réhabilitation présente initialement un avantage en termes d'empreinte carbone. Cependant, après 21 ans, ce bénéfice diminue et le scénario de démolition et reconstruction devient plus favorable en termes d'émissions carbone.
- 2. Analyse économique et environnementale :** à court terme, la réhabilitation est moins coûteuse et plus respectueuse de l'environnement grâce à la conservation des structures existantes. Toutefois, les bâtiments neufs, avec leurs meilleures performances énergétiques, offrent des avantages économiques et écologiques significatifs à long terme.

3. Précision et intégration des données : le rapport a identifié des limitations liées aux hypothèses et simplifications nécessaires pour les données d'entrée et les modèles utilisés. Le manque de données librement accessibles a également été souligné comme une contrainte importante. ■

RÉFÉRENCES

ADEME (2023). Base Empreinte. Récupéré sur <https://base-empreinte.ademe.fr/>

ANR ASURET (2012). Analyse de flux de matière du secteur de la construction à l'échelle de l'ouvrage et du territoire.

Cerema (2024). GuideRE2020.

Ceren (2023). Consommation d'énergie par usage du tertiaire/residentiel. Récupéré sur <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/consommation-denergie-par-usage-du-tertiaire>

COSB (s.d.). Calculateur faisabilité, réalisée par COSB pour le compte de la SGP.

COSB (s.d.). Estimation du coût des travaux de réhabilitation.

Desbois, T (2022). Évaluation de l'impact environnemental de la fin de vie d'un bâtiment au travers du suivi d'un chantier de déconstruction.

DRIEAT (2020). Réhabilitation vs reconstruction à neuf ? Île-de-France.

Evalmetab (2022). EVALMETAB. Récupéré sur <https://chaire-ecmu.univ-gustave-eiffel.fr/recherche/evalmetab>

L'observatoire de l'immobilier durable OID (2019). Projet Carbone Décryptage : Les émissions de GES liées aux rénovations légères et rafraichissements.

Villey et al (2023). Prise en compte du carbone dans les projets de rénovation. CEREMA.

Zefco (2021). Rédaction d'une doctrine environnementale et sociétale pour les projets immobiliers de la SGP.



NOTRE SAVOIR-FAIRE

La gestion et l'organisation de projet en tant qu'Entreprise Générale, principalement en site occupé et en site contraint (groupe scolaire, magasins, EHPAD hôtels, etc...)

Espace Antibes
2208 route de Grasse
06600 ANTIBES
06 81 4 81 68 - contact@rg2c.fr
www.rg2c.fr



ENTREPRISE DE RAVALEMENT FAÇADE ISOLATION

1 allée Kilian 93270 SEVRAN
Tél. 06 17 89 53 78
Mail : rfi.ozyurt@gmail.com



ENTREPRISE **CORTIER**

**TRAVAUX
SOUDURE
TUYAUTERIE**

**GAZ
PETROLE
NUCLEAIRE**

 **06 89 14 78 88**

Agréée GRDF & APAVE

1515 rue Berthelot - DENAIN 59220



EN FRANCE ET À L'INTERNATIONAL



3 RUE DE L'EXPANSION - 73460 FRONTENEX
09 63 48 06 46
info@tasip.fr

**TASIP est spécialisée dans la supervision, le montage,
la mise en route de l'exploitation de :**


Tunneliers
Matériel minier
Convoyeurs
Centrales à béton
...

TASIP propose un savoir-faire reconnu dans les domaines de :

La mécanique
L'hydraulique
La production
Les automatismes
L'électrique



ELIO



**Nous réalisons
tous types
de couvertures
& façades.**

ELIO
15, rue Pierre Nobel
45700 VILLEMANDEUR

Tél. : 02 38 85 75 98
Email : ej@eliosas.com



Cabinet
CIEL
Conseil en Environnement

**ACTEUR INDÉPENDANT - ENGAGÉ ET SPÉCIALISÉ DANS
LE SECTEUR DE LA GESTION DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT -
SOLUTIONS ADAPTÉES AUX EXIGENCES DE VOS PROJETS**



04 94 52 97 00



IMPLANTATIONS FRÉJUS • LYON

INTERVENTION SUR LE TERRITOIRE NATIONAL

www.ciel-environnement.fr

**PASSIONNÉ(E) PAR LA SECURITE DES SI ?
REJOIGNEZ-NOUS !**

- / Pentest
- / Conformité PCI DSS
- / Formation développement sécurisé
- / Accompagnement vers ISO 27001
- / RSSI Part Time
- / devSECops

www.orasys.fr



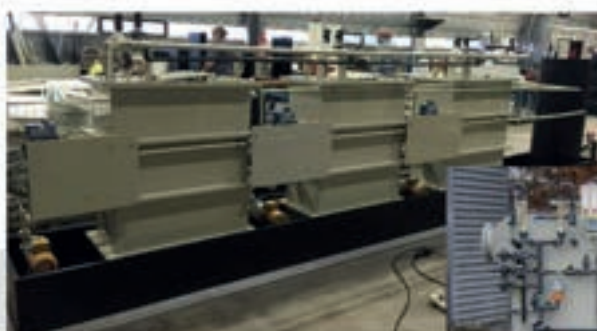
7, rue de la Croix Maître 91120 Palaiseau

erla
chaudronnerie plastique
TECHNOLOGIE

ETUDE – CONSTRUCTION – INSTALLATION –
D'EQUIPEMENTS – EN CHAUDRONNERIE PLASTIQUE
ET TECHNIQUES ASSOCIEES

ZAC de la Belle Etoile
72 230 Mancé en Bélin
Tél : 02 43 87 18 82

<http://www.erla-technologie.com>
Info@erla-technologie.com



Chaîne de préparation PPH sur
rétention PEHD noir



Laveur de gaz
horizontal



FONDERIES DE LA SCARPE
Modelage – Fonderie – Mécanique

27, rue Georges Clémenceau - CS 80012 - 62051 Saint-Laurent Blangy
Tél : 03 21 60 41 00 - Fax 03 21 60 41 01
groupefscom2@fondriesdelascarpe.com



EIFFAGE
ÉNERGIE SYSTÈMES



Bureau d'études structures

CEBA

860 chemin des Plantades
83130 LA GARDE
Tél. : (04) 86 11 96 76
contact@bet-ceba.fr
www.bet-ceba.fr

Le recyclage des batteries électriques la mise en place d'une filière

” J'ai toujours cherché, au cours de mes expériences en *Supply Chain*, à évoluer dans des environnements toujours différents, mouvants, changeants. Et depuis une petite année, je suis servi ! En effet, après avoir mis en place des *Supply Chain* dans la fabrication de pièces automobiles, l'entreposage de produits ménagers, de crèmes cosmétiques, de pots de confitures et de lubrifiants intimes (il y a une *Supply* pour tout !), je découvre maintenant le domaine fascinant, extraordinaire, méconnu et trop souvent mal considéré... de la gestion des déchets ! Et pas n'importe lesquels : les batteries de nos chers véhicules électriques.

En effet Renault, dans sa filiale The Future is NEUTRAL dédiée à l'économie circulaire automobile, se prépare à l'arrivée d'un nombre croissant de batteries de véhicules électriques en fin de vie. Il y a donc besoin de structurer tout cela, et la *Supply Chain* est assez complexe, comme nous allons le voir. Depuis 6 ans au sein du groupe Renault, j'avais eu l'occasion déjà de traiter les flux de réparation sur ces mêmes batteries : une bonne base pour commencer cette mission. J'avais de mon côté envie de nouvelles expériences... deal accepté !

1 Contexte : le véhicule électrique et sa batterie

Avant de parler de la triste fin de notre batterie, remontons à la raison de son existence : le véhicule électrique. Sujet hautement clivant sur lequel tout et son contraire ont été dits, je me garderai de tout jugement et en resterai aux faits. Rien n'est plus juste que cet adage : « *solutionner un problème, c'est le remplacer par un autre que l'on souhaite plus simple à gérer* ».

Le développement du parc de véhicules électriques

L'électrification du parc automobile a été décidée et poussée par les instances gouvernementales afin de contribuer à

PARCOURS



Nicolas LOUCHEZ

IMT Nord Europe, promo 2008

Il est Responsable Logistique Recyclage Batteries chez The Future is NEUTRAL, une filiale de Renault dédiée aux solutions d'économie circulaire en boucle fermée pour l'automobile.

solutionner principalement 2 problèmes actuels :

- D'une part, le réchauffement climatique : couplé à une électricité décarbonée, il est un levier de diminution de l'empreinte CO₂ globale (le transport représentant 28,7 % des émissions nationales de GES) ¹.
- D'autre part, la dépendance aux énergies fossiles : une question de souveraineté énergétique donc.

L'Union Européenne a, sur cet aspect comme sur beaucoup d'autres, utilisé massivement les contraintes réglementaires vis-à-vis des constructeurs automobiles pour pousser cet objectif. Parmi les plus emblématiques : les normes CAFE (*Corporate Average Fuel Economy*) imposant d'année en année que les véhicules produits aient un taux d'émissions de CO₂ décroissant, sous peine de pénalités

1. Citepa, rapport Secten, juillet 2021

Les déchets

La gestion des déchets technologiques

réhibitores. Citons également pêle-mêle également les Zones Faibles Emissions, Loi d'Orientation des Mobilités, Loi Climat et Résilience, Critical Raw Materials Act, ICE Ban, Battery Regulation... au bout du compte, les constructeurs automobiles ont pour obligation de ramener les émissions des véhicules à zéro sur l'Europe d'ici 2035, ce qui est un défi assez unique qui a impliqué - entre 2022 et 2024 - 252 milliards€ engagés par les constructeurs européens².

Du côté de la Chine (car c'est le principal concurrent géographique sur ce secteur)³, l'électrification du parc est également massive. La politique chinoise a été, dès 2012, de ne pas chercher à rattraper son retard sur le thermique mais de prendre de l'avance sur le développement des technologies électriques, mettant en ordre de marche tous les acteurs de la chaîne de manière rapide et simultanée. La Chine a également investi massivement dans tous les secteurs impliqués dans le cycle de vie de la voiture électrique, de l'extraction des métaux au recyclage des batteries, n'hésitant pas à subventionner généreusement les *start-ups* (dont 93 % perdent de l'argent) sur ces domaines ainsi que les constructeurs (pratique qui a conduit à la mise en place par l'Europe de taxes à l'importation cet été).

Cette stratégie a porté ses fruits : la Chine dispose aujourd'hui d'un avantage concurrentiel majeur sur toute la chaîne de valeur du véhicule électrique. Elle contrôle 75 % de la capacité mondiale de production des batteries, 80 à 90 % du raffinage des matériaux et 50 % des mines d'exploitation des métaux nécessaires à la production des VE.

Le cœur du véhicule électrique : la batterie !

La batterie, c'est un peu le moteur thermique de nos précédentes automobiles : c'est lui qui porte l'essentiel de la valeur du véhicule ainsi que les critères de performances les plus regardés et commentés.

Et de par leur avance technologique et industrielle, c'est principalement vers les fournisseurs... chinois (vous avez bien suivi) que les constructeurs européens ont dû se tourner dans un premier temps pour approvisionner les batteries indispensables à la réalisation de la *roadmap* imposée, le temps qu'un écosystème plus local puisse se développer (le fabricant des composants de batteries n'est souvent pas le constructeur lui-même mais des acteurs spécialisés : LG, CATL...).

Nous y reviendrons plus précisément concernant l'impact sur le recyclage, mais ces batteries sont des objets ayant certaines caractéristiques notables :

- Leur technologie très volatile (y compris au sein de la famille Lithium-ion, plusieurs nouvelles technologies plus ou moins disruptives sortent chaque année) : NCA, LMO, NMC, LFP, Sodium-Ion...
- Leur composition en matériaux très variée.
- L'assemblage des différents éléments (cellules, électronique, refroidissement, câblages...) sur le véhicule :
 - Le *cell-to-module-to-pack* est facilement démontable (et réparable)
 - Le *cell-to-pack & cell-to-chassis* le sont moins/pas mais moins chers et plus denses énergétiquement

2. Pourquoi le recyclage ?

La question telle qu'elle est posée semble triviale mais mérite de s'y attarder un peu néanmoins.

La première réponse, immédiate, est celle de l'impact environnemental : l'alternative au « recyclage » tel qu'on l'entend usuellement revient à laisser les déchets non traités s'accumuler et polluer l'environnement, ce qui n'est bon pour personne. Mais au-delà d'éviter une pollution, le recyclage est également un moyen de ré-utiliser certains composants (ce qu'on appelle les « matières premières secondaires ») et donc d'éviter l'extraction de ressources naturelles, leur raffinage... ainsi que leur achat et donc la dépendance vis-à-vis des fournisseurs.

Je parlais en préambule de remplacer un problème par un autre, une dépendance par une autre. Si l'abandon du moteur thermique éloigne la dépendance aux énergies fossiles, la construction de batteries électriques nécessite en revanche des sources d'approvisionnement en différents minerais : lithium, nickel, cobalt, manganèse...

L'accès à ces ressources qu'on appelle « matériaux critiques » devient un enjeu

2. Étude Lazard basée sur les rapports annuels des constructeurs automobiles (avril 2022)

3. Rapport sur la comparaison des cadres réglementaires américain, chinois et européen pour la transition vers une mobilité routière décarbonée. École Polytechnique, décembre 2023.



Fig. 1 Batterie cell-to-module-to-pack.



Fig. 2 Batterie cell-to-chassis (Tesla Model S).

géopolitique majeur, et le recyclage des objets composés de lithium est un moyen d'atténuer la dépendance économique vis-à-vis des pays ayant la mainmise sur l'extraction et le raffinage de ces matériaux critiques.

Pour ne parler que du lithium et comprendre l'impact :

- Entre 2020 et 2030, la part du lithium extrait mondialement qui sera consacré à la fabrication de batteries rechargeables passera de 20 % à presque 80 %.
- L'extraction minière du lithium est essentiellement concentrée en Australie et en Amérique du Sud
- Les scénarii les plus optimistes sur une exploitation minière du lithium européen indiquent que ceci ne suffira pas à couvrir 50 % de notre demande d'ici 2040.
- Les solutions de raffinage sont actuellement principalement concentrées en Chine.

Le recyclage et la récupération du lithium (entre autres) devient donc non seulement un enjeu environnemental, mais aussi et surtout un enjeu de souveraineté afin de réduire les risques d'approvisionnement en matière première. Sans lithium, pas de batteries, et sans batteries c'est une partie conséquente du secteur du transport (entre autres) qui s'arrête.

3. Comment on recycle ?

Les processus techniques actuels permettant de recycler une batterie de véhicule électrique sont les suivants dans cet ordre :

1. Logistique - récupération des batteries

en fin de vie : la première étape qui, sans être très technique, n'en est pas moins complexe et coûteuse. Il s'agit d'être capable d'aller chercher un objet de 400 kg à n'importe quel endroit pour l'emmener dans un centre de traitement, potentiellement distant de centaines ou de milliers de kilomètres. La réglementation impose un emballage agréé qu'il aura fallu acheter et acheminer préalablement, ainsi qu'une certaine dose d'administratif sur le transport de déchets. Cette simple étape représente jusqu'à 50 % du coût total de recyclage d'une batterie de véhicule électrique.

2. Décharge : la première étape avant le traitement physique est de décharger la

batterie. On en profitera pour récupérer l'énergie stockée et l'injecter sur le réseau.

3. Démantèlement : Selon la façon dont les cellules sont assemblées, on démontera plus ou moins facilement la batterie afin de récupérer les carters (aluminium), câblages (cuivre), plastiques... pour les revaloriser et ne garder que la plus petite unité possible dans les étapes suivantes.

4. Concentration de la matière : A ce stade, les cellules ou les modules extraits vont être broyés, tamisés, puis subir différentes étapes de purification physique afin de séparer aluminium, cuivre, acier... et d'obtenir ce qu'on appelle la « Black Mass », concentré des substances que sont le lithium, nickel, cobalt, manganèse...

5. Raffinage de la Black Mass : Etape clé, elle consiste à séparer les matériaux présents et les purifier jusqu'à un certain point (le « grade ») selon le débouché qu'on souhaite en avoir : obtenir un lithium très pur afin de le ré-utiliser pour la fabrication de nouvelles cellules (« battery grade ») est évidemment plus complexe et donc plus coûteux qu'un « technical grade » pour d'autres applications. Différentes technologies existent pour cette étape (pyrométallurgie, hydrométallurgie...) et d'autres sont en développement constant.

En 2024, la filière Européenne sait opérer les 4 premières étapes. La Chine - toujours elle - a une longueur d'avance conséquente sur le raffinage de la Black Mass. Sans cette dernière étape pour boucler la boucle, on comprend bien le problème : on a beau avoir localisé la production des batteries en France, avoir organisé la collecte des batteries et le recyclage jusqu'à l'obtention de la Black Mass... le précieux métal était alors exporté hors d'Europe.

Sécuriser la chaîne d'approvisionnement des matériaux critiques nécessite donc d'avoir localement une filière complète de bout en bout.

4. Comment donner vie à une filière complète ?

L'Europe fait donc appel à plusieurs méthodes réglementaires afin de donner vie à un écosystème complet. Le temps parlementaire étant extrêmement long, il s'agit souvent d'années entre l'intention et la mise en application dans chacun des pays

des réglementations, à des rythmes parfois différents :

- L'utilisation possible du statut de « produit dangereux » pour classer la Black Mass, interdisant de ce fait l'export à des pays hors de l'OCDE (dont la Chine),
- La création d'une filière de Responsabilité Elargie du Producteur pour les batteries, donnant l'obligation aux metteurs sur le marché d'organiser à leurs frais la collecte et le recyclage des batteries,
- Des obligations quant au % de batteries recyclées,
- La mise en place d'un passeport batterie avec l'obligation d'afficher le % de matière recyclée utilisée,
- Des obligations d'efficacité du processus de recyclage,
- Des obligations pour les producteurs de batteries à intégrer un pourcentage minimum de matière issue du recyclage pour le lithium, le cobalt, le nickel.

Ce dernier point est peut-être le plus impactant. Bien qu'aucune modalité concernant les pénalités en cas de non-respect n'ait pour le moment été défini, la filière sait qu'elles seront tout à fait réhabilitoires.

Si 12 % de lithium recyclé dans les batteries peut sembler peu, il faut prendre du recul sur l'échelle temporelle et confronter le besoin en 2036 (batteries neuves produites) et le sourcing disponible à la même date (batteries en fin de vie) : les projections à cette échéance sont d'une grande incertitude - nous reviendrons sur cela - mais certaines montrent qu'il y a un risque non négligeable de ne pas avoir assez de batteries à recycler pour obtenir la quantité de lithium recyclé nécessaire à la tenue des objectifs.

Quoiqu'il en soit, ces mesures ont tracé la voie et la filière est en train de se structurer : des dizaines d'annonces de partenariats, de sites pilotes, deancements... ont été fait et sont en cours partout en Europe.

Pour parler du Nord cher à mon cœur, c'est un véritable écosystème nommé « vallée de l'électrique » qui se met en place :

- Renault a concentré la fabrication de ses modèles électriques dans ses usines du Nord
- Les fabricants de batteries s'y sont implantés en masse (Orano, ACC, Verkor, Envision...)
- Et la boucle sera fermée lorsque des sites spécialisés dans le recyclage verront le jour (projet ReLieVe entre Suez & Eramet par exemple).
(Fig. 3 - page suivante)

Les déchets

La gestion des déchets technologiques



← Fig. 3 Carte de l'IFRI ; compilation de l'IFRI de données de BGS, USGS, WMD, Batterynews.de, annonces des entreprises et recherches. Source : ©Roole

5. Les challenges

Si l'objectif a été défini par les institutions politiques, la filière fait face à de nombreux défis structurels ou conjoncturels qui rendent difficile le déploiement des projets de recyclage à l'échelle industrielle :

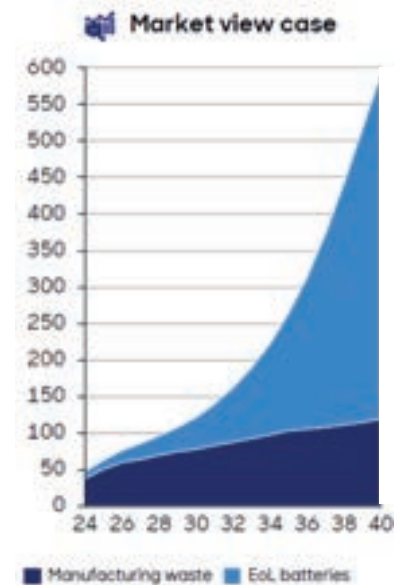
- Les délais et les coûts de mise en place.** Au-delà des délais extrêmement longs pour développer un projet (trouver un site pour des activités classifiées dangereuses, obtention du permis de construire, délais administratifs, éventuels recours...), les coûts de construction et d'exploitation - à processus technique équivalent - seraient 3 et 5 fois plus cher en Europe qu'en Chine (normes de sécurité et environnementales, conditions salariales, coût de l'énergie...). On parle de projets à plusieurs centaines de millions d'euros.
- La volatilité technologique des batteries :** les compositions des batteries de chaque génération diffèrent énormément. Les batteries roulant en Europe utilisaient jusqu'à présent une technologie NMC (Nickel Manganèse Cobalt), et les exigences réglementaires se sont calées dessus. Mais depuis quelques mois, les constructeurs européens opèrent un virage prononcé, annonçant l'utilisation du LFP (Lithium Fer Phosphate) sur la plupart des nouveaux modèles. Au-delà de l'aspect valorisation (le cours du fer et du phosphate est bien inférieur au cobalt et au nickel), le processus technique de recyclage est différent et des sites spécialisés par technologie devront probablement voir le jour, alors que toutes les annonces jusqu'à présent étaient concentrées sur le NMC ! Et il

n'est pas impossible qu'après le LFP une autre technologie rebatte les cartes d'ici quelques années, semant le doute dans l'esprit des investisseurs.

- La volatilité technologique du recyclage :** au-delà du « quoi » recycler, le « comment ». On assiste ici aussi chaque mois à de nouvelles annonces sur des méthodes (plus ou moins avancées) de recyclage. Là également, les investisseurs traînent les pieds à s'engager dans ce contexte.
- Des volumes très incertains :** même en s'en tenant aux technologies actuelles, la projection des volumes à traiter est très malaisée (et donc la construction d'un business plan robuste pour lever des fonds) :
 - La durée de vie des batteries est mal connue, par manque de recul suffisant pour constater leur fin de vie (à part les cas de pannes précoces, accidents...). Certaines hypothèses tablent sur une moyenne de 8 ans, d'autres plutôt 10, 12 ou 15 ans... sans que l'on précise la loi de distribution autour de cette moyenne (une certaine importance !), sachant que chaque modèle de batterie est différent.
 - Un secteur à lui tout seul, le marché de la réutilisation des batteries en solutions de stockage d'énergie (qui étend donc la durée de vie) est dans la tourmente : elle fait face de manière structurelle à la concurrence de batteries neuves fabriquées exclusivement et industriellement pour cet usage, et de manière conjoncturelle à des lots de batteries automobiles fabriquées en excès (le marché ralentissant) qui - à défaut de trouver véhicule - sont bradées sur le marché de la seconde vie alors qu'elles sont neuves.

- La « fuite » des batteries accessibles : les véhicules étant des objets mobiles par excellence, on sait qu'un pourcentage non négligeable de batteries mises sur le marché en Europe finiront leur vie sur un autre continent (environ 30 % des véhicules en fin de vie finissent dans un réseau non agréé).
- Enfin, le principal sourcing pour les futurs centres de recyclage sera pendant plusieurs années les rebuts de production des giga factories de batteries. Mais ici aussi, les industriels ont pour objectif affiché de réduire de manière drastique leurs rebuts.

- La volatilité des cours matière :** si la réglementation européenne a le mérite de garantir que les matériaux recyclés trouveront preneur - dans une certaine mesure - par les fabricants de batteries, leur cours matière et donc la valeur produite par le recyclage est en revanche extraordinairement fluctuante : le lithium a par exemple été multiplié par 14 entre novembre 2020 et novembre 2022, puis divisé par 3,5 en moins d'un an ! (Fig. 4)



↑ Fig. 4 - Part des batteries & des scraps de production en recyclage. Source : Rho Motion 2024

6. Conclusion

Pour moi il est clair que l'orientation est donnée et que l'essentiel des batteries mises sur le marché seront recyclées, le plus localement possible. Chaque continent, chaque pays y voit son intérêt et ce n'est qu'une question de temps avant que la filière entière ne soit en place. Quand sera-t-elle arrivée à maturité, stabilisée ? Probablement jamais, une technologie en chassant une autre. Mais cela existera, il ne peut en être autrement au vu de la raréfaction des ressources et des enjeux géopolitiques autour de celles-ci.

Bien des aspects passionnants n'ont pu être abordés ici : une pléthore d'acteurs se positionnent sur des fonctions « support » de ce nouveau business qu'ils voient naître (stockage, emballages, informatique, conseil, démantèlement...), rendant la chose encore plus complexe mais palpitante.

J'espère par ces quelques pages avoir pu vous donner quelques clés de compréhension sur ce sujet, mais aussi et surtout avoir su vous transmettre l'excitation et la chance de participer cette aventure. Aussi complexe que soit la création d'une telle filière, elle ne sera elle-même qu'une petite partie de toutes les solutions que nous devons collectivement trouver et mettre en place afin de faire face aux défis gigantesques auxquels notre société fait face actuellement.

Retroussons-nous les manches, et en avant camarades ! ■

LECTURE COMPLÉMENTAIRE RECOMMANDÉE

Roole Media Batteries de voitures électriques : l'enjeu des métaux critiques

<https://media.roole.fr/transition/voiture-propre/batteries-de-voitures-electriques-lenjeu-des-metaux-critiques>



SPÉCIALISTE ÉNERGIE ET FILIÈRE NUCLÉAIRE

INSTALLATION - MAINTENANCE
ÉTUDES - INGÉNIERIE & PRESTATIONS INTELLECTUELLES

INSTRUMENTATION	GÈNE ÉLECTRIQUE
INFORMATIQUE INDUSTRIELLE	ÉLECTRONIQUE
PRESTATIONS MULTI-MÉTIERS	AUTOMATISME
CHAUDRONNERIE	MÉCANIQUE

La formation est au cœur de notre projet d'entreprise !

Anta
Centre de formation intégré à ARDATEM

- Plusieurs parcours de formation (Automatisme, Chauffage, Fluides, Bâtiments...)
- Des outils pédagogiques au plus proche de terrain
- Prémiation en CNPE...

www.ardatem.fr

OZONE

TRAVAUX SPÉCIAUX

- Bâtiment
- Industrie
- Ouvrages d'art
- Monuments historiques
- Protection contre les chutes de pierres

Des spécialistes et des solutions

OZONE

TRAVAUX SPÉCIAUX

6 Rue des Vignes
66 160 Le BOULOU
Tél : 04 68 89 78 13
Mail : contact@ozone-ts.fr

© ozone ts 2017

L'article suivant a été publié le 8 septembre 2020 sur IMTech, le blog de l'actualité scientifique et technologique de l'IMT (www.imtech.imt.fr). Nous reproduisons ci-dessous cet article, avec l'aimable autorisation de Benjamin VIGNARD, Responsable du pôle Information et communication scientifiques.

Gérer les déchets électroniques : un problème global

La responsabilité autour des déchets issus du numérique est multiple. D'un côté, il incombe aux états de renforcer les contrôles aux frontières pour mieux gérer les flux de déchets et éviter leur transfert dans des pays en développement. De l'autre, les producteurs d'appareils électroniques doivent assumer leur position en facilitant la gestion de leurs produits en fin de vie. Quant au consommateur, il doit prendre conscience des conséquences « invisibles » de ses usages, car externalisées dans d'autres pays.

Pour comprendre comment sont gérés les déchets d'équipements électriques et électroniques (DEEE), il faut se tourner vers la Convention de Bâle de 1989. Ce traité multilatéral était initialement prévu pour gérer les mouvements transfrontières de déchets dangereux, auxquels les DEEE ont été rattachés a posteriori. « *La Convention de Bâle a été traduite en accords régionaux et en législations nationales par un grand nombre de pays qui, pour certains d'entre eux, interdisent l'exportation ou l'importation de DEEE* » précise Stéphanie REICHE DE VIGAN, enseignante-chercheuse en droit du développement durable et des nouvelles technologies à Mines ParisTech. « *Tel est le cas du règlement de l'UE sur les transferts de déchets qui interdit l'exportation de DEEE vers des pays tiers.* » Néanmoins, le projet européen de recherche EFFACE, dédié au combat contre le crime environnemental, estimait en 2015 qu'environ 2 millions de DEEE quittaient illégalement l'Europe chaque année. Comment autant de déchets électroniques peuvent-ils traverser les frontières de manière clandestine ? « *Un manque de collaboration internationale*

entrave les efforts visant à détecter, enquêter et poursuivre les crimes environnementaux liés au trafic de déchets électroniques » pointe la chercheuse. Ainsi, même si un accord international dédié aux DEEE venait à voir le jour, celui-ci n'aurait que peu d'impact sans volonté réelle des pays producteurs de ces déchets de limiter leur transfert.

À cela s'ajoute que le trafic de déchets électroniques est pris entre deux volontés des gouvernements : celle de punir les crimes environnementaux et celle de promouvoir le commerce international afin de récupérer des parts de marché liées au transport maritime international. Dans un souci de compétitivité, la Convention de Londres de 1965 visant à faciliter le trafic maritime international a permis un meilleur transfert des navires, des marchandises et des passagers vers les ports. « *En résulte une simplification des procédures douanières pour favoriser un passage compétitif dans les ports et des distorsions de concurrence entre ports de pays développés dans la mise en œuvre a minima de la réglementation relative aux transferts transfrontaliers de déchets électroniques et en particulier du contrôle par les autorités douanières*

et portuaires » souligne Stéphanie REICHE DE VIGAN. L'Union européenne a fait le constat que les entreprises d'exportation et d'importation des DEEE avaient tendance à utiliser les ports où l'application de la loi était la plus faible, et donc la moins efficace.

Alors comment couper l'engrenage de ce trafic international ? « *Il est indispensable que l'Organisation maritime internationale se saisisse du sujet afin de favoriser un partage des meilleures pratiques, et d'unifier les procédures de contrôle* » répond l'enseignante-chercheuse. Il en est de la responsabilité des États de renforcer leurs contrôles au niveau des ports pour limiter cette criminalité. Et pour les aider dans cette tâche, la technologie pourrait être un atout majeur. « *La mise en place et l'utilisation obligatoire par les ports de la visualisation par scanner à rayons-X du contenu des conteneurs pourrait permettre de réduire le problème* » insiste Stéphanie REICHE-DE VIGAN. À l'heure actuelle, seulement 2 % de tous les conteneurs maritimes du monde sont physiquement inspectés par les autorités douanières.

L'Institut Mines-Télécom et la Fondation Mines-Télécom publient leur 12^e cahier de veille annuel intitulé Numérique : Enjeux industriels et impératifs écologiques. En associant témoignages d'entreprises et de chercheurs spécialistes du domaine, cet ouvrage dresse un portrait des problématiques posées à l'intersection entre les transitions numérique et environnementale. En guise d'aperçu, l'MTech publie l'un des articles composant ce cahier de veille 2020.



Quelles responsabilités pour les entreprises du numérique ?

La chaîne du numérique est compartimentée en maillons distincts : l'extraction minière, la fabrication, la commercialisation et le recyclage. Les différentes étapes de vie d'un appareil électronique sont donc isolées et déconnectées les unes des autres. Ainsi, les producteurs ne sont qu'incités à collaborer avec la filière du recyclage. « *Tant que les producteurs des équipements électriques et électroniques n'auront aucune obligation de limiter leur production, d'amortir le coût du recyclage, ou d'améliorer la recyclabilité de leurs produits, alors les flux de déchets électroniques ne pourront être gérés* », insiste Stéphanie REICHE-DE VIGAN. Y remédier consisterait notamment à reconnecter les maillons de la chaîne dans une analyse du cycle de vie des équipements électriques et électroniques et redéfinir la responsabilité des entreprises.

Repenser la responsabilité des entreprises imposerait de faire pression sur les géants du numérique, mais les pays développés semblent en être incapables. Pourtant, c'est bien sur les États que se reportent les coûts associés au tri et au recyclage. Jusqu'à présent, cette prise de conscience ne suffit pas à mettre en place des actions concrètes qui s'avèrent être davantage des recommandations. Des Conseils nationaux du numérique en Allemagne et en France ont établi des feuilles de route afin de penser un numérique sobre. Ils proposent des pistes de réglementations futures telles que le rallongement de la durée de vie des appareils. Toutefois, la solution n'est pas simple, car un appareil qui dure deux fois plus longtemps signifie deux fois moins de production pour l'industriel. « *Investir dans quelques entreprises de plus chargées de reconditionner les appareils et allonger la durée de vie n'est pas suffisant. On est encore loin d'avoir des propositions viables pour l'environnement et l'économie* », insiste Fabrice FLIPO, philosophe des sciences à Institut Mines-Télécom Business School.

Par ailleurs, les pays ne sont pas les seuls à se confronter à la puissance des grandes entreprises du numérique. « *À partir de 2007 chez Orange, nous avons tenté de mettre en place un système d'affichage environnemental afin d'inciter les clients à acheter les téléphones ayant le moins d'impact* », révèle Samuli VAIJA, expert chargé des questions liées à l'analyse du cycle de vie des produits chez Orange. En amont, cette démarche incitait les fabricants à intégrer le respect de l'environnement dans leurs gammes de produits. Au moment d'être présentée à l'Union internationale des télécommunications, la démarche d'Orange se retrouve rapidement étouffée par l'opposition américaine (Apple, Intel) qui ne souhaite pas afficher la notion d'empreinte carbone sur ses appareils.

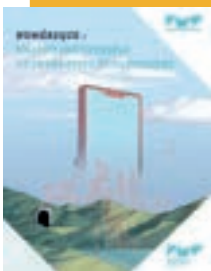
Reste encore la société civile et notamment les ONG pour enclencher une volonté politique. Le frein majeur : la population des pays développés n'a pas, ou peu conscience des impacts environnementaux causés par sa consommation excessive des outils du numérique, car elle ne les subit pas directement. « *On oublie trop souvent qu'il y a aussi des violations des droits de l'homme derrière les outils numériques sur lesquelles nos sociétés occidentales reposent, depuis l'extraction des ressources nécessaires à la fabrication des équipements, jusqu'au transfert des déchets qu'ils engendrent au bout de quelques années seulement. Du premier maillon au dernier, ce sont principalement les populations des pays en développement qui subissent les impacts de la consommation des populations des pays développés. Les effets sanitaires ne sont pas visibles en Europe, car ils sont externalisés* » constate Stéphanie



REICHE-DE VIGAN. Au cœur des pays riches, le numérique serait-il enfermé dans une bulle informationnelle ne contenant que la somme de ses aspects bénéfiques ? L'importance donnée aux technologies du numérique ne devrait pas se faire au détriment de ses aspects négatifs.

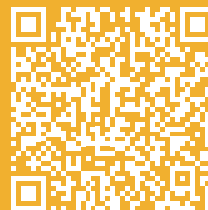
En ce sens, « *il en est aussi de la responsabilité des universités, des écoles d'ingénieurs et des écoles de commerce de former les étudiants dès le premier cycle aux enjeux environnementaux tout en intégrant l'analyse du cycle de vie avec la prise en considération des impacts environnementaux et humains à leurs programmes* » rappelle Stéphanie REICHE-DE VIGAN. Former sur ces thématiques, c'est surtout apporter ces profils aux entreprises qui concevront les outils de demain et aux administrations censées les encadrer. ■

A lire sur l'MTech :
Mieux responsabiliser les producteurs en matière d'écoconception



Lire et télécharger gratuitement le cahier de veille

Numérique : Enjeux industriels et impératifs écologiques



Les solutions de stockage pour les déchets radioactifs en France

Quand on parle déchets radioactifs, la majeure partie de l'attention publique est portée sur le projet Cigéo qui vise à la création d'un centre industriel géologique pour stocker les déchets radioactifs de moyenne activité à vie longue et de haute activité à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne. Si ces déchets nécessitent la solution de stockage la plus complexe, ils représentent moins de 3 % du volume total de déchets radioactifs produits en France.

Pour d'autres types de déchets, des solutions de stockage existent déjà. Deux centres industriels sont actuellement en exploitation dans l'Aube et permettent le stockage définitif de la majeure partie des déchets radioactifs produits en France. La gestion de ces centres est confiée à l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (Andra), un établissement public à caractère industriel et commercial placé sous la tutelle des ministères en charge de l'énergie, de la recherche et de l'environnement.

Des déchets très variés...

Les déchets radioactifs sont définis comme des substances radioactives qui ne peuvent ni être recyclées ni réutilisées. Ces déchets ont des formes très variées. Nous trouvons notamment les déchets constitués par le combustible usagé des centrales nucléaires, mais également de nombreux déchets prenant des formes plus habituelles : gravats, boue, combinaisons usagées, flacons, ...

En France, plus de la moitié des déchets radioactifs produits proviennent de l'industrie électronucléaire. Toutefois, la recherche, la défense nationale, certaines industries non électronucléaires ainsi que la médecine en produisent également. Il y a ainsi en France près de 1200 producteurs différents de déchets radioactifs. Plus marginalement, certains déchets radioactifs sont constitués d'anciens objets détenus par des particuliers ou collectivités : réveils avec aiguilles peintes au radium, fontaines au radium, certains paratonnerres, ...

PARCOURS



Arnaud HUBAIL

IMT Mines Albi, promo 2016 option Eco-Activités et Energie

Il a travaillé pour EDF sur la gestion de pièces de rechanges pour le parc nucléaire français, puis en Angleterre sur le projet EPR d'Hinkley Point C.

Il a rejoint l'Andra en 2020 où il est en charge de la mise en place de modifications dans les installations en lien avec les domaines de la ventilation nucléaire et de la protection incendie.

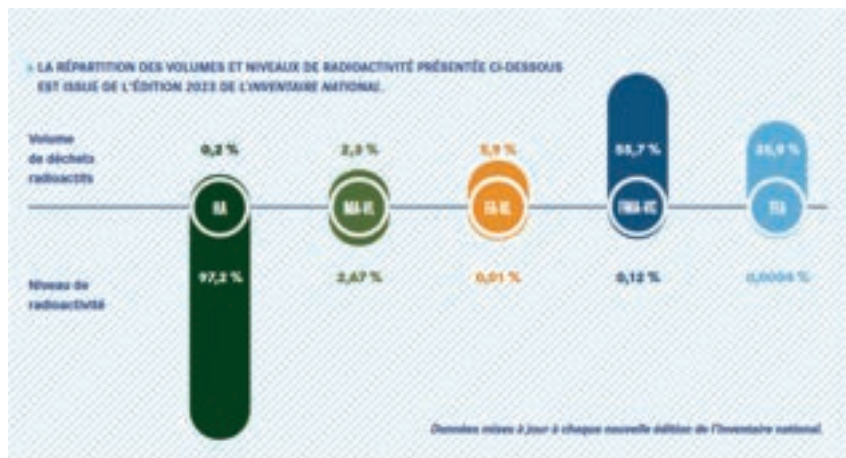
Les risques présentés par ces déchets varient énormément. Une classification a donc été créée afin de les différencier, reposant principalement sur deux paramètres :

- **Leur niveau de radioactivité** : très faible activité (TFA), faible activité (FA), moyenne activité (MA) ou haute activité (HA)
- **La durée durant laquelle ils vont rester radioactifs** :
 - déchets à vie très courte (VTC) qui contiennent des radionucléides dont la période radioactive est inférieure à 100 jours ;
 - déchets à vie courte (VC) dont la radioactivité provient principalement de radionucléides qui ont une période radioactive inférieure ou égale à 31 ans ;
 - déchets à vie longue (VL) qui contiennent une quantité importante de radionucléides dont la période radioactive est supérieure à 31 ans.

Les déchets VTC sont généralement entreposés chez leur producteur afin de laisser leur activité décroître naturellement, jusqu'à ce qu'ils puissent être gérés suivant des filières de traitement conventionnelles. Les déchets amenés à être gérés par l'Andra sont donc répartis dans 5 catégories : TFA,

FA-VC et MA-VC (regroupés en FMA-VC), FA-VL, MA-VL et HA. La répartition de ces déchets dans les différentes catégories est très inégale. D'un côté, les déchets HA et MA-VL concentrent plus de 99,8 % de la radioactivité présente dans les déchets français mais ne représentent que 2,5 % du volume total. De l'autre côté, les déchets TFA et FMA-VC représentent près de 90 % du volume des déchets produits mais moins de 0,2 % de la radioactivité.

Répartition en volume et en radioactivité contenue des différentes catégories de déchets radioactifs. →
 Source : [inventaire national 2023 des matières et déchets radioactifs](#).



... qui nécessitent des solutions de stockage adaptées

La solution de gestion à long terme retenue par la France pour les différentes catégories de déchets est le stockage. Celui-ci a pour vocation d'isoler les déchets jusqu'à ce que leur radioactivité soit revenue à des niveaux proches de la radioactivité naturelle grâce à la décroissance radioactive.

A ce jour, seuls les déchets TFA et FMA-VC possèdent une solution de stockage déjà mise en œuvre qui prend la forme de centres de stockage de surface. Deux centres sont en exploitation dans l'Aube : le Cires (Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage) pour les déchets TFA et le CSA (Centre de stockage de l'Aube) pour les déchets FMA-VC. Ce dernier a pris le relais du Centre de stockage de la Manche qui a été en exploitation de 1969 à 1994 et est aujourd'hui en phase de fermeture.

Pour les déchets FA-VL, plusieurs solutions de gestion sont à l'étude, dont le stockage à faible profondeur pour une partie de ces déchets. Pour les déchets MA-VL et HA, il existe un projet de centre de stockage géologique profond qui sera implanté (si le projet est autorisé) à la limite des départements de la Meuse et de la Haute-Marne. Il s'agit du projet Cigéo qui a déjà été décrit dans le Minéral n° 13 : « Nucléaire : enjeux et perspectives ».

Nous nous limiterons donc dans le présent article à la description des principes de stockage mis en œuvre dans les centres de stockage actuellement en activité, dédiés aux déchets TFA et FMA-VC.

Le stockage des déchets FMA-VC sur les centres de stockage de la Manche et de l'Aube

Les déchets FMA-VC sont les premiers déchets radioactifs à avoir eu une solution de stockage en France. Ils sont essentiellement issus des matériels utilisés dans des activités liées aux installations nucléaires : vêtements, outils, filtres, petits équipements, ...

De 1969 à 1994, ces déchets ont été stockés à La Hague dans le Centre de

stockage de la Manche (CSM) de l'Andra, qui a en tout réceptionné 527 225 m³ de colis radioactifs. Depuis 1992, l'Andra exploite un autre centre dédié à ces déchets, le Centre de stockage de l'Aube (CSA), implanté sur trois communes : Soulaines-Dhuys, Epothémont et Ville-aux-Bois. Il a une superficie totale de 95 hectares dont 30 réservés au stockage des déchets et est autorisé à accueillir 1 million de m³ de colis de déchets radioactifs. A fin 2023, un peu moins de 40 % de cette capacité totale de stockage autorisée étaient atteints.

↓ **Vue aérienne du Centre de stockage de l'Aube.**
 Source : [AirDrone](#).



Les déchets

La gestion des déchets technologiques

Le stockage des déchets FMA-VC a pour vocation de permettre le confinement des radionucléides qu'ils contiennent pendant une durée correspondant à 10 périodes radioactives, soit environ 300 ans.

La maîtrise de ce confinement repose en grande partie sur la gestion des eaux d'infiltration. L'eau qui rentrerait en contact avec les colis pourrait se charger en radionucléides, puis entraîner leur migration dans les nappes phréatiques ou les cours d'eau entourant le centre. Le contrôle et la limitation des volumes d'eau susceptibles d'entrer en contact avec les déchets est donc un des éléments clés permettant de garantir le confinement sur le long terme.

Le principe de confinement appliqué sur le Centre de stockage de l'Aube découle directement du retour d'expérience de l'exploitation du Centre de stockage de la Manche. Sur ce premier site, les déchets y étaient initialement placés dans des colis et enfouis dans des tranchées à même le sol. Il est vite apparu que ce type de stockage n'était pas pérenne et l'Andra a procédé à la reprise des premiers colis stockés et fait évoluer ses pratiques jusqu'à tendre vers celles mises en œuvre sur le CSA aujourd'hui. Le stockage y repose sur la mise en place de trois barrières de confinement :

- **la première barrière** est composée d'un colis dans lequel les déchets sont placés. Ces colis peuvent être des fûts ou caissons métalliques ou en béton. Ils sont ensuite complètement remplis par un matériau d'enrobage (mortier) afin de confiner la radioactivité à l'intérieur.

- **la deuxième barrière** est constituée par des ouvrages de stockage en béton armé de 25 m de côté sur 8 m de hauteur. Ces ouvrages de stockage sont complètement remplis avec les colis et les interstices sont comblés par du béton ou des gravillons en fonction du type de colis stockés.

Une fois remplis de colis de déchets, les ouvrages sont fermés par une dalle de béton ferrailé et une résine d'étanchéité est appliquée sur les parois extérieures afin d'éviter que de l'eau ne puisse pénétrer à l'intérieur de l'ouvrage. Un système de canalisation est présent au fond de chaque ouvrage afin de détecter et récupérer les éventuelles eaux d'infiltration qui auraient pu arriver en contact avec les colis de déchets.

A terme, les ouvrages seront complètement recouverts par une couverture définitive argileuse de plusieurs mètres de hauteur. L'argile est connue pour ses performances d'étanchéité et permettra d'isoler les ouvrages des eaux de pluie.

Ouvrage de stockage de déchets FMA-VC en cours de remplissage.

Source : Andra / N. Dohr.



- **la troisième barrière** de confinement repose sur la géologie du site retenu pour implanter le centre de stockage. Elle est notamment composée d'une couche de sable drainant en dessous de laquelle se trouve une épaisse couche d'argile. Cette dernière isole la zone de stockage des nappes souterraines et assure une fonction de confinement en cas de défaillance des premières barrières.

Le stockage des déchets TFA sur le Cires

Les déchets TFA proviennent essentiellement de la déconstruction des installations nucléaires mais également d'industries classiques (chimie, métallurgie...) utilisant des matériaux naturellement radioactifs. Ils sont également issus de l'assainissement et de la réhabilitation d'anciens sites pollués par la radioactivité. En raison de leur très faible niveau de radioactivité, ils sont, dans la plupart des pays, généralement considérés comme des déchets non radioactifs lorsque leur activité est inférieure à un seuil dit de relâchement pour lequel ils estiment que les déchets ne présentent pas de risques. La France n'a quant à elle pas introduit de tel seuil. Elle considère que tous les déchets produits dans une zone d'une installation susceptible d'être contaminée doivent être considérés comme déchets radioactifs, indépendamment de leur niveau de radioactivité. Cela conduit à considérer comme TFA certains déchets qui ne sont pourtant pas plus radioactifs que des déchets conventionnels.

Les déchets TFA sont stockés depuis 2003 sur le Centre industriel de regroupement, d'entreposage et de stockage (Cires)

exploité par l'Andra dans l'Aube sur les communes de La Chaise et de Morvilliers. D'une superficie totale de 46 hectares. Ce centre était initialement autorisé à stocker 650 000 m³ de déchets dont 470 000 m³ qui y étaient déjà stockés à fin 2023. Des optimisations dans les méthodes de stockage ont cependant permis d'augmenter les volumes de déchets qu'il sera possible de stocker sur le centre, sans augmenter l'emprise initiale de la zone de stockage. En juillet 2024 un arrêté préfectoral a ainsi passé la capacité de stockage autorisée du Cires à 950 000 m³.

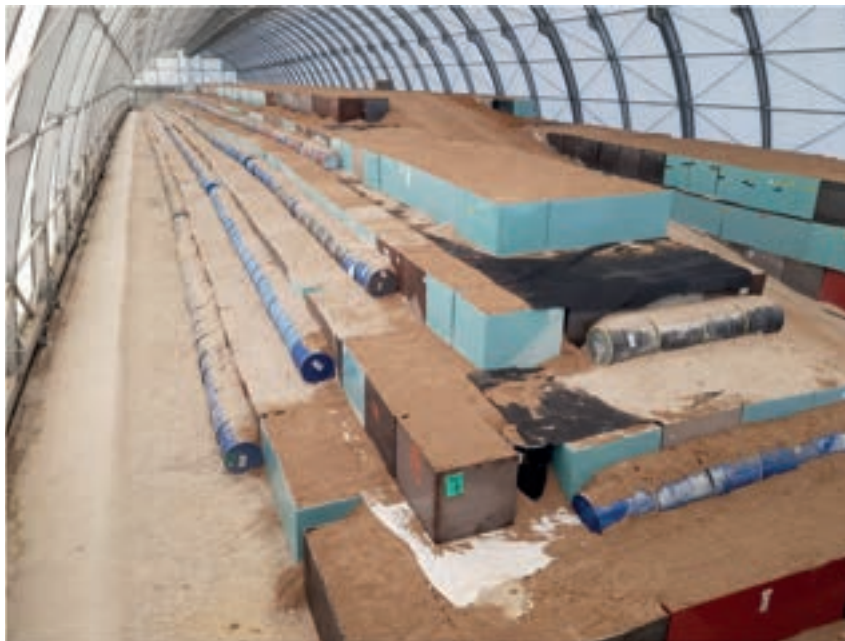
Les déchets TFA sont préparés sur les sites de production et conditionnés, pour la plupart, dans des caissons métalliques ou dans des grands sacs en tissu plastifié dits "big-bags". Certains déchets de grandes dimensions ne font l'objet d'aucun conditionnement. Le niveau de radioactivité très faible des déchets TFA ne nécessite pas de les isoler dans un colis de stockage comme c'est le cas pour les déchets FMA.

Les déchets TFA sont stockés dans des alvéoles de stockage, sortes de tranchées d'environ 180 m de longueur creusées dans le sol constitué d'une couche géologique d'argile. Une géomembrane en polyéthylène haute densité est disposée au fond de l'alvéole afin de renforcer l'étanchéité de l'alvéole. Un système de drains connectés à deux puits de contrôle permet la récupération des éventuelles eaux présentes dans l'alvéole.

Les déchets sont ensuite placés par couches successives dans les alvéoles jusqu'à dépasser du sol. Les vides sont comblés avec du sable. Une fois une alvéole pleine, elle est recouverte par une couverture comprenant notamment une géomembrane étanche et une couche argileuse qui assurera le confinement des déchets à long terme.



Alvéole de stockage de déchets TFA en cours de remplissage.
Source : Lauriane BECET.



Parallèlement au stockage des déchets TFA, l'Andra collecte les déchets radioactifs chez les producteurs non électronucléaires (hôpitaux, laboratoires pharmaceutiques ou autres filières industrielles...) et les achemine sur le Cires, dans un bâtiment où ils sont regroupés par nature : déchets incinérables, organiques, liquides... Certains déchets regroupés au Cires sont ensuite transférés dans une installation attenante dédiée aux opérations de tri et de traitement : séparation des matières solides et liquides contenues par exemple dans des fioles de scintillation, assemblages des déchets liquides par famille, contrôles de colis aux rayons X... Les déchets qui peuvent être stockés sont orientés vers le Cires ou le CSA en fonction de leur activité. Les déchets qui ne peuvent pas être stockés sont envoyés vers d'autres filières de traitement, notamment pour incinération.

Enfin, certains déchets issus d'activités non électronucléaires font l'objet d'un entreposage sur le Cires car ils ne disposent pas de centres de stockage opérationnels. C'est le cas des déchets à vie longue tels que des paratonnerres radioactifs, des objets radioactifs à usage médical utilisés durant l'entre-deux-guerres et conservés comme objets de collection (aiguilles, compresses, tubes au radium...), des objets radioactifs détenus par des particuliers (montres, fontaines au radium...), des terres ou gravats provenant d'anciens sites pollués par la radioactivité que l'Andra a assainis.

radiologiques et physico-chimiques pour déceler des éventuels rejets.

Cette surveillance de l'environnement autour des centres sera maintenue après leur fermeture, pour une durée d'au moins 30 ans pour le Cires et 300 ans pour les centres de stockage de déchets FMA-VC. Elle sera complétée par la surveillance des couvertures définitives mises en place sur les zones de stockage pour vérifier qu'elles ne se dégradent.

Cette surveillance aura ainsi pour objectif de garantir que les moyens de confinement mis en place autour des déchets radioactifs joueront toujours leur rôle dans la protection de l'homme ou de l'environnement dans le temps. ■



Le Centre de stockage de la Manche et sa couverture définitive.
Source : Andra.

Une fois les centres fermés, le passage à une phase de surveillance

Les impacts des centres de stockage gérés par l'Andra sur l'environnement sont surveillés durant toute leur phase exploitation. De nombreux prélèvements sont ainsi réalisés chaque année dans leur environnement immédiat, notamment dans l'air et dans l'eau des nappes phréatiques ou des ruisseaux présents à leur proximité. Ces prélèvements font l'objet d'analyses

POUR ALLER PLUS LOIN

Inventaire national des déchets radioactifs :
<https://inventaire.andra.fr/>

Site internet de l'Andra :
www.andra.fr

Sites internet des centres de l'Andra :
<https://aube.andra.fr/>
<https://manche.andra.fr/>
<https://meusehautemarne.andra.fr/>

L'esprit Sorcier :
Que deviennent nos déchets radioactifs ? :
<https://www.youtube.com/watch?v=dBw-sPgFSwc&t=1655s>

L'article suivant a été publié le 9 septembre 2019 sur IMTech, le blog de l'actualité scientifique et technologique de l'IMT (www.imtech.imt.fr).

Nous reproduisons ci-dessous cet article, avec l'aimable autorisation de Benjamin VIGNARD, Responsable du pôle Information et communication scientifiques.

Qu'advient-il des nanoparticules quand elles deviennent déchets ?

Depuis une vingtaine d'années, l'industrie, tous secteurs d'activité confondus, produit une grande diversité de nanomatériaux. Leur déploiement est rapide et peu régulé. Il en résulte un vide réglementaire sur la gestion de ces nanomatériaux lorsqu'ils arrivent en fin de vie. Peu de connaissances existent sur les impacts environnementaux et sanitaires liés au devenir de ces nanodéchets. Pour cette raison, des chercheurs d'IMT Atlantique ont mené, au sein d'un consortium de recherche, deux projets successifs sur l'incinération des nanodéchets : NanoFlueGas et Nano-Wet. Les résultats confirment la persistance de certaines nanoparticules en sortie de four d'incinération, à travers les effluents et les cendres. En avril dernier, le consortium de recherche composé d'IMT Atlantique, de l'INERIS et de l'industriel Trédi – Groupe Séché Environnement, remettait à l'ADEME ses préconisations techniques. Retour sur la mise en place de ce programme pionnier avec la chercheuse Aurélie Joubert, rédactrice principale du rapport Nano-Wet et chercheuse à IMT Atlantique.

Quelle a été la raison d'être des projets NanoFlueGas et Nano-Wet ?

Aurélien JOUBERT : Il n'existe aujourd'hui aucune réglementation sur la gestion des déchets de nanoparticules, en particulier pour la fin de vie. Si les nanoparticules contenues dans les déchets sont reconnues comme dangereuses pour l'environnement ou la santé, ces déchets sont considérés et traités dans la filière des déchets dangereux. Sinon ils suivent

une filière d'incinération d'ordures ménagères classique. Notre objectif était de comprendre ce qu'il advenait des nanoparticules au cours de ces traitements, pour savoir si les filières sont adaptées aux nanodéchets et éventuellement comprendre comment les optimiser.

Lors du projet NanoFlueGas, nous avons examiné l'incinération de nanodéchets à des températures de 850°C, comme elle est pratiquée dans la filière de gestion des ordures ménagères. Un four d'incinération « de laboratoire » a été développé à l'INERIS à cet effet. On y a reproduit notamment les conditions de température, de turbulence de l'air et de taux d'oxygène. Nous avons pu confirmer que durant le

traitement, des nanoparticules étaient émises à des concentrations variables en fonction de la nature du nanodéchet étudié. Nous avons également observé une efficacité de capture supérieure à 99 % des nanoparticules émises grâce à un dispositif mis au point à IMT Atlantique. Il s'agit d'un pilote de filtre à manche par rétro-soufflage.

Lors du second projet Nano-Wet, qui est clôturé depuis le 1er avril, nous nous sommes focalisés sur la filière d'incinération des déchets dangereux à 1100°C et sur un procédé de traitement des fumées par voie humide. Les résultats de l'étude sont entre les mains de l'ADEME, qui a subventionné le projet, et sont désormais publics.

L'incinération est la principale forme de traitement des nanomatériaux en fin de vie. Mais les procédés actuels sont-ils adaptés aux nanodéchets ?



Quels sont les nanodéchets sur lesquels vous avez travaillé, et d'où viennent-ils ?

AJ : Depuis 2013, il y a un registre national – baptisé R-nano¹ – qui impose la déclaration des produits présents sur le territoire français à l'état nanoparticulaire. Nous avons travaillé sur de vrais gisements de déchets reçus par Trédi et faisant partie de ce registre. Pour le projet Nano-Wet, il y avait un déchet chloré, qui est un rebut de fabrication de revêtement PVC de sol dans le secteur du BTP. Nous avons également un déchet soufré provenant de billes hydratées de résines échangeuses d'ions pour le traitement de l'eau. Et enfin, un déchet organosilicé, sous la forme d'un polymère issu des mastics, que nous avons déjà étudié dans le projet précédent et jugé très émissif.

Pour les déchets choisis, nous sommes passés par une étape de caractérisation assez longue et fine. C'est un choix par rapport à d'autres projets de recherche où les laboratoires produisent leur propre produit et en connaissent donc parfaitement la composition. Nous voulions utiliser de vrais gisements de déchets dont nous ne connaissons pas la composition exacte, pour développer des outils méthodologiques d'analyse pertinents. Grâce à cela, un industriel comme Trédi pourrait désormais envisager d'identifier dans son laboratoire les potentielles nanocharges contenues dans les déchets, et peut être en avance sur la réglementation à ce niveau.

Quelles sont les conclusions du projet Nano-Wet ?

AJ : Sur la partie incinération, nous avons observé différents scénarios vis-à-vis de la présence de nanoparticules dans les fumées. Ils montrent bien que les comportements des nanodéchets lors de l'incinération sont différents selon leur composition. Avec le déchet polymère organosilicé, la nanostructuration de la silice initialement présente est conservée. Elle est même augmentée par la formation de nano-silice issue de la dégradation d'un polymère. À l'inverse avec le déchet PVC, la nanostructuration disparaît. Et avec le déchet de type résine, qui ne contient pas de nanocharge à la base, une nanostructuration apparaît du fait de réactions impliquant les impuretés initialement présentes.

Les résultats tendent également à démontrer que la voie « déchet dangereux » à 1100°C est à favoriser pour les nanodéchets. En effet, nous avons mis en évidence avec le déchet polymère organosilicé qu'une incinération à 1100°C plutôt qu'à 850°C réduisait l'émission de nanoparticules par un phénomène de

frittage. Ce résultat intéressant serait à généraliser avec d'autres déchets. Concernant le système de traitement des fumées, nous nous sommes plus particulièrement intéressés à un dispositif de traitement dédié aux polluants gazeux : une colonne de lavage. Nous avons montré que la colonne de lavage permet de réduire de 60 % la quantité de nanoparticules émises en sortie d'incinération, cette colonne contribuant ainsi significativement à l'efficacité globale du système de traitement.

Pourquoi s'être penché sur le procédé de traitement des fumées par colonne de lavage ?

AJ : Les chercheurs comme les industriels considèrent les laveurs comme un procédé atypique pour les nanoparticules, puisqu'ils sont normalement utilisés pour traiter les gaz acides dans les fumées. Ce que

¹ R-Nano.fr
Déclaration des substances à l'état nanoparticulaire
<https://www.r-nano.fr/?locale=fr#>

Les déchets

La gestion des déchets technologiques

nous avons démontré dans Nano-Wet, c'est qu'ils ont pourtant une efficacité significative sur les nanoparticules, avec un abattement de 60 % de leur quantité. C'est une valeur assez inattendue, d'autant plus qu'elle est obtenue sans optimisation du procédé : nous avons étudié l'efficacité d'une colonne sans l'adapter au traitement des nanoparticules. Malgré cette bonne efficacité, il faut conserver la complémentarité de ces colonnes de lavage avec des procédés dédiés à la collecte de particules que sont les filtres à manches et les électrofiltres, ayant à eux seuls une efficacité de 99 %. Nous sommes pionniers sur ce type d'étude que nous allons poursuivre. Nous voulons notamment évaluer l'influence des conditions opératoires pour améliorer l'efficacité des laveurs sur les nanoparticules, tout en conservant celle vis-à-vis des gaz acides.

Comment avez-vous fait pour étudier l'efficacité des colonnes de lavage ?

AJ : L'idée était de construire dans notre halle de recherche une colonne d'aspersion par pulvérisation de gouttelettes. Nous avons développé notre pilote pour travailler en conditions réalistes de température et d'humidité mais à échelle réduite. Nous avons conservé le même régime d'écoulement turbulent, le même rapport entre le débit de liquide qui est pulvérisé dans la colonne et le débit d'air, la même taille de gouttelettes pulvérisées... C'était tout l'intérêt d'avoir l'industriel avec nous dans le projet : Trédi nous a fourni les conditions de fonctionnement sous forme de cahier des charges en début de programme. Nous avons tout de même simplifié l'expérimentation : dans les lignes de traitement de fumées, les conditions sont très compliquées parce qu'il y a beaucoup de gaz acides. Nous avons

pris le parti d'injecter de l'air enrichi en nanoparticules sans injection de gaz acide corrosif comme l'acide chlorhydrique ou le dioxyde de soufre.

Le passage du laboratoire au site industriel est-il facile ?

AJ : Nous essayons, quand c'est possible, de passer par une étape de mesure sur site pour comparer l'échelle laboratoire et l'échelle réelle. Dans le cadre du projet Nano-Wet, deux campagnes de mesure sur site industriel ont été réalisées par une équipe spécialisée de l'INERIS. Les conditions de prélèvement rencontrées étaient très complexes. Des résultats ont été obtenus en entrée de la colonne de lavage ce qui nous a permis de connaître les conditions de concentration et de granulométrie des particules qu'on a pu ensuite reproduire au laboratoire.

Une fois les particules éliminées dans la colonne, elles se retrouvent dans les eaux de lavage. Quel est alors leur devenir ?

AJ : C'est une problématique sur laquelle il faudra se pencher. Nous n'avons pas pu caractériser les particules dans la phase liquide en sortie de colonne. Nous ne savons pas sous quelle forme elles sont, si elles restent des nanoparticules ou si elles s'agglomèrent, auquel cas elles vont pouvoir être facilement séparées dans la station de traitement des eaux. D'autres

laboratoires de recherche se penchent sur ces questions.

Vous venez de rendre votre dernier rapport à l'ADEME, comment pourrait évoluer la législation ?

AJ : Les valeurs limites d'émission de particules pour les incinérateurs de déchets sont aujourd'hui exprimées en concentration totale massique, en microgramme par mètre cube d'air, ce qui n'est pas pertinent pour des nanoparticules qui ont une masse négligeable et pourtant une toxicité soupçonnée comme accrue. À l'avenir, je pense que les normes pourraient imposer une concentration limite en nombre de particules, ou alors en masse mais pour des tailles de particules données. Par exemple, pour la qualité de l'air intérieur des nouveaux outils ont été mis en place pour qualifier les concentrations massiques par taille de particules fines : PM 10, PM 2,5 ou PM 0,1.

Cet article a été rédigé par Alice MOUNISSAMY, pour l'MTech.

2. Quésaco les particules fines ? <https://imtech.imt.fr/2017/12/04/quesaco-particules-fines/>

SYLVESTRE

GCS Carrières Sylvestre
Granulats calcaires et alluvionnaires

GSB Sylvestre Béton
Béton prêt à l'emploi

NEG Négociés
Collecte de boues et de déchets du BTP

GPTP Prévoque de TP
Travaux publics, recyclage, concassage et mâchefer

GROCLINE by Groupe Sylvestre
Carrelage, pierre et sanitaire

SCANNEZ MOI
sylvestre.fr

JEAN LEFEBVRE
TRAVAILLE POUR VOUS
LILLE - FLANDRES

POUR TOUS VOS TRAVAUX PUBLICS ET PARTICULIERS

EJL LILLE FLANDRES : 03 20 00 96 40 - lille@ejl.fr

MEDIACO
Contact Agence de Belfort
03 84 36 13 18
WWW.MEDIACO.FR

Locations gros de 20 à 500 t
Canton bras de grue 200t à 150 t
Manufactures et transport industriel
Location nacelles grande hauteur 40 à 170m

GRAPHITECH
SOLUTIONS EN CARBONE, CÉRAMIQUES

Graphitech, entreprise de mécanique générale spécialisée dans l'usinage de graphites, carbones, fontes graphites, et composites carbones. Depuis 1980, l'entreprise réalise des prototypes et des productions en petites et moyennes séries.

Produits Carbone :
Graphites, carbones, composites carbone fibres de carbone (CFC), composites carbone épais, fontes graphites souples et rigides, carbones vitreux, poudre de graphite talcisé.

Produits Céramiques :
Alumine, Silice, Oxyde de Zirconium, Nitride de Silicium, SiAlON, Nitride de Bore, Quartz, Mullite, Saphir, Carbone de Bore ETC ...

Possibilité de réaliser des assemblés Mixteproduits carbones ou Mixteproduits céramiques.

2 Rue Jacques Brel 38190 FROGES Tél : 04 78 62 72 78
Mail : info@graphitech.fr
www.graphitech-usinage.fr

AUTOLIV
Leader mondial des systèmes de sécurité automobile

Sécurité et qualité ...
AUTOLIV, fournisseur de systèmes de retenue : Ceintures de sécurité, airbags frontaux, airbags latéraux, propose une gamme exceptionnelle de produits. Avec des systèmes innovants de protection des occupants automobiles, nous avons introduit de nouvelles normes de sécurité.

... dans le monde entier
La compétence, l'expérience, la capacité à être proche de nos clients nous ont permis de devenir le partenaire mondial de l'industrie automobile, pour la sécurité de tous.

Innovation technique et service client nourrissent notre passion du progrès.

Autoliv
Saving More Lives

Site de Production et Centre de Recherche & Développement d'airbags et de ceintures de sécurité
Avenue de l'Europe – BP99 – 76220 GOURNAY-EN-BRAY
Tél : 02 32 89 40 00 – www.autoliv.com

La valorisation des rejets miniers : une opportunité pour l'économie circulaire

Des montagnes de déchets

Chaque année, l'industrie minière génère une quantité considérable de déchets. Imaginez que pour chaque tonne de roche extraite, seulement 1 % à 5 % se compose de métaux précieux comme l'or ou l'argent. Le reste, soit 95 % à 99 %, deviendra des déchets miniers. Cela fait de cette industrie l'une des plus polluantes au monde. Les déchets miniers se présentent principalement sous deux formes : les stériles, qui sont des roches sans valeur économique extraites pour accéder au minerai, et les résidus, qui sont les rejets produits à la suite du broyage et du traitement du minerai. Au Québec, une mine peut produire jusqu'à un million de tonnes de déchets par an, combinant stériles et résidus.



↑ Parc à résidus miniers sur le site minier de Canadian Malartic (Québec, Canada)
Source : Mine Canadian Malartic - Agnico Eagle Ltée

PARCOURS



Audrey JALCE

IMT Mines Alès, promo 2018
Elle est actuellement étudiante au doctorat à l'Institut de Recherche en Mines et en Environnement (IRME-UQAT). Après deux ans d'études à IMT Mines Alès (promo 168), elle a complété sa formation par un double diplôme en génie civil à la PUC-Rio, au Brésil. Elle a commencé son doctorat au Canada en mai 2022. Son sujet porte sur la stabilisation cimentaire des résidus miniers réactifs. Ce projet vise à transformer les déchets miniers en matériaux stables, minimisant ainsi leur impact environnemental. Après son doctorat, elle souhaite poursuivre ses recherches dans la remise en état de sites miniers et la valorisation des déchets miniers.

Quand les déchets deviennent des ressources

Généralement, les déchets miniers sont perçus comme encombrants, polluants et sans valeur économique. Ils sont traditionnellement stockés en surface et confinés pour limiter les risques de pollution. Mais que se passerait-il si nous les envisagions sous un autre angle ? C'est l'objectif des chercheurs de l'Institut de Recherche en Mines et en Environnement (IRME) : reconsidérer les rejets miniers comme une seconde ressource.

Pour certains experts, les rejets miniers représentent une véritable mine d'or. En effet, contrairement à ce que l'on pourrait penser, les résidus miniers ne sont pas dénués de valeur. Ils contiennent des métaux précieux comme l'or, l'argent, le platine et le palladium, ainsi que des métaux de base tels que le cuivre, le zinc et le plomb. De plus, on y trouve parfois des terres rares, essentielles pour les nouvelles technologies et les énergies renouvelables. Ces éléments, bien que présents en faibles concentrations, peuvent être extraits de manière rentable grâce à des procédés de traitement spécifiques. Cependant, la valorisation des rejets miniers n'est pas sans défis. La présence de substances dangereuses, comme le mercure ou l'arsenic, nécessite une gestion rigoureuse des rejets pour éviter tout risque environnemental et sanitaire.

Les chercheurs de l'IRME travaillent sur le développement de procédés de retraitement des rejets pour extraire non seulement les éléments d'intérêt, mais aussi pour traiter les éléments problématiques afin d'éviter leur libération dans l'environnement. L'objectif est de diminuer l'impact environnemental de ces rejets tout en maximisant l'exploitation des ressources minérales.

En plus du retraitement des résidus miniers, les recherches se concentrent sur le potentiel de valorisation des rejets miniers en tant que matières premières secondaires pour d'autres secteurs industriels, notamment celui de la construction. Par exemple, certains rejets pourraient être utilisés en tant que matériaux de construction, dans la confection de ciment ou béton. L'utilisation des résidus dans la fabrication de briques cuites avait également montré des résultats très encourageants. D'autres industries pourraient également bénéficier de ces rejets. Récemment, la professeure Isabelle DEMERS souhaite explorer le potentiel des rejets miniers pour le marché des litières pour chats. En effet, les litières sont généralement fabriquées à partir d'argile ou de sable, dont l'extraction peut avoir un impact écologique significatif. Le projet vise à évaluer la possibilité d'utiliser des stériles des mines de graphite comme matière première dans la production de litières pour chats.

Vers une industrie minière plus durable

Ces travaux s'inscrivent dans une démarche d'économie circulaire, visant à maximiser la réutilisation des ressources et à minimiser les déchets. La valorisation des rejets miniers permettrait non seulement de réduire la quantité de matériaux déposés en surface, diminuant ainsi les risques environnementaux associés, mais aussi de réduire les coûts de gestion et de restauration. En transformant les déchets en nouvelles ressources, nous ouvrons la voie à des solutions innovantes et durables.

La prochaine fois que vous entendrez parler de "déchets" miniers, pensez à toutes les richesses cachées qui pourraient être récupérées et réutilisées, transformant ces résidus en une véritable opportunité pour l'avenir. ■



Une gamme étendue
d'agents filtrants minéraux

Clarcel®

Usine Chemviron
07210 Saint-Bauzile
Tél. 04 75 65 15 22

www.chemviron.eu - www.calgoncarbon.com - www.kuraray.com



GÉNIE CIVIL HYDRAULIQUE
BÂTIMENT INDUSTRIEL
FAÇADES

**PRO
G+**

PRO G+
ZAC Pole Actif
26, avenue de la Fontanisse
30660 GALLARGUES LE MONTUEUX
Tél. : 04 66 88 76 20
Fax : 04 66 88 74 47

CONTACT
Olivier LINTZ
Port. : 06 14 57 93 09
Email : olivier.lintz@gmail.com

L'article suivant a été publié le 19 janvier 2022 sur IMTech, le blog de l'actualité scientifique et technologique de l'IMT (www.imtech.imt.fr).

Nous reproduisons ci-dessous cet article, avec l'aimable autorisation de Benjamin VIGNARD, Responsable du pôle Information et communication scientifiques.

Déchets plastiques : transformer le problème en énergétique

Le cycle de vie linéaire des plastiques, trop peu recyclés, exerce une pression accrue sur l'environnement. Le procédé de gazéification permettrait de réduire cet impact en transformant davantage de déchets – actuellement incinérés ou mis en décharge – en ressources d'intérêt comme l'hydrogène ou le biométhane. Javier ESCUDERO, chercheur en génie des procédés à IMT Mines Albi, vise à perfectionner cette approche pour favoriser son implémentation locale.

Des déchets plastiques comme s'il en pleuvait. S'il est bien connu qu'ils s'accumulent dans les décharges et les océans, une étude américaine ¹ parue dans le journal Science a également montré que des fragments virevoltent dans l'air que nous respirons. Malgré cette pollution accrue, la production mondiale continue sa croissance fulgurante. Cependant, en bout de chaîne, le recyclage n'a jamais réussi à suivre la tendance. En France, le taux de recyclage moyen de l'ensemble des plastiques serait de 28 % ², un quota majoritairement obtenu grâce au recyclage des bouteilles (54,5 % du total). Une grande majorité de ces matériaux est donc incinérée ou mise en décharge.

Afin de répondre efficacement à la crise du plastique, d'autres formes de valorisation doivent être développées. « *La gazéification permet de transformer ces déchets en vecteurs énergétiques utiles tout en perdant le moins de matière possible* », expose Javier ESCUDERO ³, chercheur en génie des procédés à IMT Mines Albi ⁴. Une alternative qui s'inscrit dans un contexte d'économie circulaire.

Des emballages *made in plastic* pas fantastiques

Les plastiques rigides utilisés dans les bouteilles sont généralement constitués d'un seul matériau, ce qui facilite leur recyclage. Les films d'emballage, représentant 40 % des gisements de déchets, n'ont pas cette chance. Ils consistent en une combinaison multicouche de différents plastiques : polyéthylène, polyuréthane, etc. parfois mêlée à d'autres matériaux comme les cartons. Cette composition chimique complexe rend leur recyclage trop coûteux. Dans les centres de tri, ils se retrouvent donc en masse au sein des combustibles solides de récupération (CSR) – des déchets non dangereux utilisés pour la valorisation énergétique. Ils sont donc incinérés pour alimenter des turbines et générer de l'électricité.

Autres rebuts inéligibles au recyclage : les emballages de produits chimiques

(industriels et grande consommation), considérés comme dangereux. Un pré-lavage de ces gisements retire une partie des composés toxiques (chlore, soufre, métaux, etc.) en surface. Toutefois, certains atomes migrent à l'intérieur de la matière que le pré-lavage ne permet pas de retirer. C'est là qu'entrent en jeu les avantages de la gazéification. « *Elle permet de traiter tous les plastiques – les CSR et les pollués – et ce, avec un pré-traitement moindre en amont du procédé* », souligne Javier ESCUDERO.

De plus, ce procédé a une plus grande capacité de valorisation des déchets plastiques que l'incinération, car elle produit des composés chimiques réutilisables par l'industrie. Ces gaz de synthèse peuvent être brûlés pour générer de l'énergie (chaleur, électricité) avec un meilleur rendement que la combustion. Ils peuvent aussi être retraités et stockés sous forme de gaz d'intérêt énergétique (biométhane, hydrogène). Pour y parvenir, l'un des enjeux de recherche est d'observer l'influence des polluants, et donc de la composition des plastiques, sur les produits obtenus après gazéification.

Transformer la matière jusqu'à la dernière miette

Les déchets broyés sont compactés sous forme de pastilles de taille homogène facilitant leur transformation en gaz au sein d'un gazéifieur. Mais valoriser au maximum les déchets demande d'adapter les paramètres de fonctionnement de la gazéification selon une classification des plastiques contenus dans ces pastilles. Par exemple, un traitement à basse température casse les longues chaînes de polymères constituant les films plastiques. Les molécules sont ensuite recoupées lors d'une nouvelle étape comme cela se fait en pétrochimie. En résulte une grande diversité de produits : hydrogène, méthane, acétylène, ainsi que des molécules plus lourdes.

Une transformation à plus haute température produit davantage de gaz de synthèse. Toutefois, elle favorise aussi la production de molécules aromatiques comme le benzène et le naphthalène. Ces composés, à la structure très stable, sont très difficiles à casser pour obtenir des molécules d'intérêt et peuvent se convertir en suies – des solides qui se déposent dans les conduits – synonymes d'une importante

perte de matière. L'objectif des travaux de Javier ESCUDERO sur la gazéification est donc de combiner les avantages de ces deux traitements afin d'éviter la formation de résidus solides, tout en produisant un maximum de gaz.

Pour cela, le chercheur et son équipe jouent notamment sur l'injection de gaz qui vont briser les liaisons moléculaires des matières à transformer. Où et quand les injecter dans le procédé ? Avec quel rapport ? Comment réagit la matière ? Autant de questions nécessaires à l'amélioration du procédé. Pour les tests, le gazéifieur de la plateforme technologique Valthera ⁵ située à IMT Mines Albi permet de traiter une vingtaine de kilogrammes de matière par heure. En plus de la matière, le procédé valorise l'énergie des matériaux. « Les réactions de gazéification ont besoin d'énergie pour se produire. Cela signifie que nous utilisons l'énergie stockée dans la matière pour alimenter sa transformation », explique le chercheur.

Dépenser moins, transformer plus

L'hydrogène et le biométhane obtenus par gazéification alimentent directement

les ambitions de la transition énergétique française. La gazéification transforme donc un matériau d'origine fossile, en énergie renouvelable. Cependant, ce procédé reste cantonné au cadre de la recherche. « Il y a encore de nombreux petits aspects à étudier dans la conception des gazéifieurs pour les rendre plus performants et matures selon une quantité donnée de matière. Nous allons également nous concentrer sur l'épuration des gaz de synthèse dans le but d'identifier des solutions encore moins onéreuses », rapporte Javier ESCUDERO. La gazéification pourrait compléter les modes de gestion des déchets à l'échelle locale. Son coût demeure néanmoins le plus grand frein à son adoption par de petits acteurs industriels. ■

Anais CULOT

1. Plastic rain in protected areas of the United States
<https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaz5819>
2. Les chiffres du recyclage en France
<https://www.citeo.com/le-mag/les-chiffres-du-recyclage-en-france/>
3. Tag/Javier ESCUDERO
<https://imtech.imt.fr/tag/javier-escudero/>
4. IMT Mines Albi
<https://www.imt-mines-albi.fr>
5. VALTHERA
<https://valthera.wp.imt.fr>



Les déchets

DU DÉCHET À LA RESSOURCE

L'article suivant a été publié le 9 mars 2023 sur Polytechnique Insights, la revue de l'Institut Polytechnique de Paris (<https://www.polytechnique-insights.com>).

Nous reproduisons ci-dessous cet article, avec l'aimable autorisation de Viviane Castro RODRIGUEZ, Responsable Marketing.

Comment la biologie de synthèse pourrait aider à dégrader les déchets plastiques

Après une année de stagnation due à la crise sanitaire en 2020, la production mondiale de plastiques est repartie à la hausse : 390 millions de tonnes en ont été produites en 2021, dont 90 % à partir de ressources fossiles^①. Une fois utilisées, la majorité d'entre elles finiront vraisemblablement dans l'environnement, où elles s'ajouteront aux 5 milliards de tonnes déjà accumulées en 2015, soit 79 % de l'ensemble des déchets plastiques produits par l'humanité^②. Les problèmes environnementaux posés par ces matériaux sont nombreux. Les micro-organismes pourraient-ils aider à les résoudre ?

Mangeurs naturels de plastiques

Si les plastiques sont des polluants pour l'immense majorité des êtres vivants, certaines bactéries et champignons ont acquis la capacité d'en faire une source d'énergie. Repérées dans le sol, la mer ou les intestins de quelques animaux, plusieurs espèces de micro-organismes peuvent s'attaquer à différents types de plastiques (PET, PP, PS, PE, PUR, PLA...) grâce à des enzymes altérant ces longues chaînes d'hydrocarbures^③. Néanmoins, cela ne veut pas dire qu'il suffit de les mettre au contact du bon plastique pour qu'elles le fassent disparaître. (Fig. 1)

Visualisation 3D d'une enzyme bactérienne dégradant du PET, plastique notamment utilisé pour des textiles et des emballages.

Le processus est plus efficace lorsque les plastiques ont déjà été abîmés, par



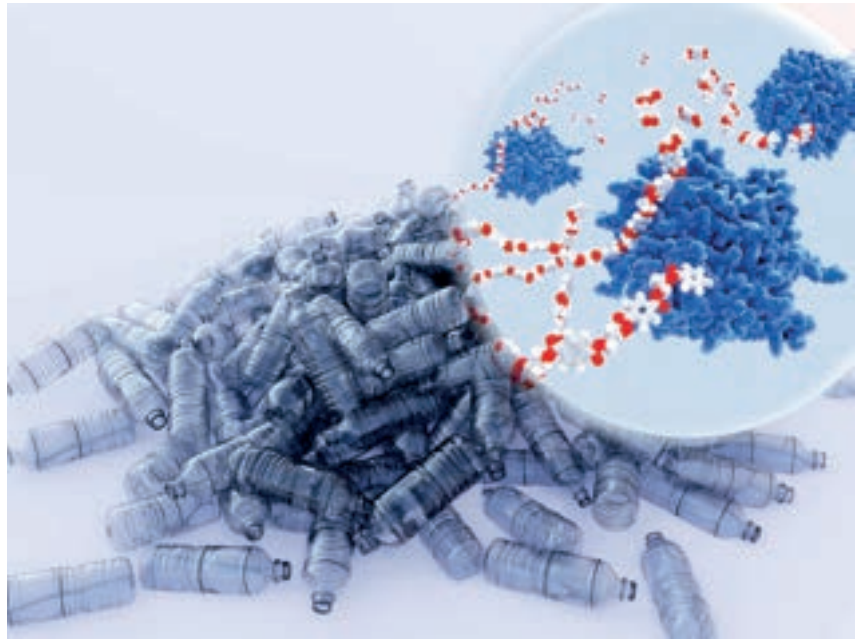
exemple par les UV ou des traitements chimiques, et quand les micro-organismes sont placés dans des conditions de pH et de température optimales^④. Reste que

chaque espèce n'est active que sur certains plastiques et que pouvoir attaquer un matériau n'implique pas d'être capable de le dégrader entièrement. Même les souches qui ont attiré le plus d'attention, comme *Ideonella sakaiensis*, une bactérie qui découpe le PET en ses monomères constitutifs^⑤, ont une limitation majeure : il leur faut quelques semaines, voire mois, pour dégrader des quantités limitées de plastiques. Autant dire que ces micro-organismes « mangeurs » de plastiques n'ont rien d'une solution idéale pour gérer notre pollution. Mais ils pourraient quand même nous apporter une aide précieuse !

Optimiser l'existant

Les progrès de la génétique, à la fois en termes de compréhension des mécanismes impliqués, d'anticipation des résultats possibles et de développement d'outils

Fig. 1 - Visualisation 3D d'une enzyme bactérienne dégradant du PET, plastique notamment utilisé pour des textiles et des emballages. →



moléculaires, permettent désormais de modifier volontairement des génomes, notamment pour faire synthétiser des protéines d'intérêt à des organismes. De nombreux projets de recherche en biologie passent aujourd'hui par la production de cellules voire d'individus sur- ou sous-exprimant certains gènes. Les modifications génétiques permettant de les obtenir relèvent presque de l'artisanat, chaque chercheur fabriquant ce dont il a besoin. Mais cette démarche peut être adaptée à une toute autre échelle !

Depuis l'an 2000, la biologie synthétique propose d'appliquer les méthodes de l'ingénierie à la biologie moléculaire. Elle considère les gènes et autres séquences d'ADN (notamment régulatrices) comme autant de briques de départ, qui peuvent être optimisées et combinées dans une logique d'ingénierie métabolique. Les nouvelles voies de synthèse biologique ainsi imaginées sont ensuite implantables dans des cellules, généralement de micro-organismes, qui deviennent autant de petites usines de production génétiquement modifiées. Cette approche a ses limites, la principale étant la complexité chaotique du vivant. Une voie de synthèse qui semble optimale en théorie ne fonctionne pas

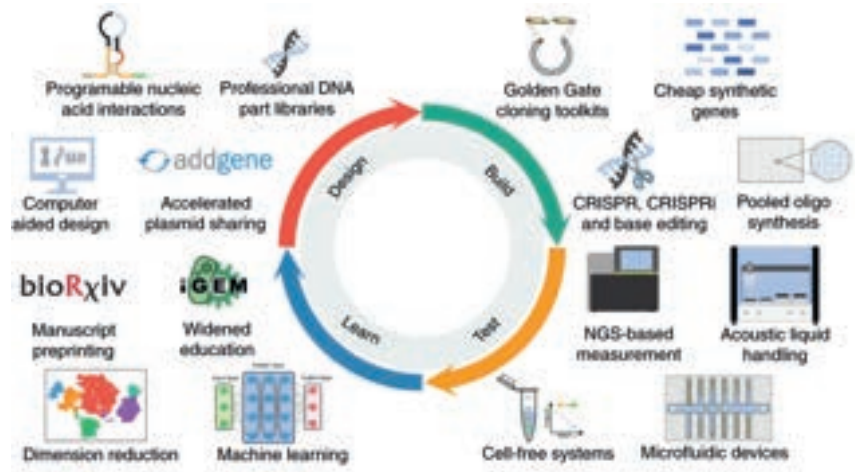
toujours en pratique, une fois confrontée à la réalité du contexte d'une cellule. Et le passage à large échelle, indispensable pour de nombreuses applications, constitue un niveau de difficulté supplémentaire : les systèmes vivants restent souvent sensibles et imprévisibles. (Fig. 2)

Néanmoins, en une vingtaine d'années, la biologie de synthèse est devenue bien plus qu'une vision théorique. De nombreuses entreprises parient sur cette approche, qui a déjà permis la commercialisation de différents produits dans des domaines aussi variés que la médecine, l'alimentation ou les matériaux¹. Nourrie par des progrès biotechnologiques comme la synthèse d'ADN, le séquençage haut-débit ou les nouvelles techniques d'édition génétique,

s'appuyant sur des outils informatiques de plus en plus performants et intégrant de nouvelles connaissances structurées dans des bases de données de plus en plus riches, il paraît raisonnable de s'attendre à ce que la biologie de synthèse produise des percées².

EN BREF

- **390 millions de tonnes de plastiques** ont été produites en 2021, dont la majorité sera vraisemblablement reversée dans l'environnement.
- Si les plastiques sont des polluants pour la majorité des êtres vivants, **certaines bactéries et champignons** ont acquis la capacité d'en faire une **source d'énergie**.
- La **biologie de synthèse** est un des outils qui pourraient permettre de **limiter la pollution** liée à la production et à l'utilisation des plastiques.
- Elle propose notamment d'appliquer les méthodes de l'ingénierie à la biologie moléculaire de façon à « **optimiser le vivant** ».
- Conjuguer la **biologie de synthèse** à ces micro-organismes pourrait constituer une solution pour le **recyclage des plastiques**.



↑ **Fig. 2 - Figure présentant le cycle de mise en œuvre standard de la biologie de synthèse, inspiré de l'ingénierie. Des éléments clés susceptibles d'être mobilisés au cours du processus sont indiqués à chaque étape.**

Les déchets

Du déchet à la ressource

À l'attaque des plastiques

Les micro-organismes capables de dégrader des plastiques ne le font peut-être pas avec une efficacité suffisante pour être utiles à large échelle, mais leur étude fournit de nouvelles munitions à la biologie de synthèse ! Chaque enzyme découverte vient en effet enrichir le catalogue des outils disponibles pour imaginer et optimiser des voies métaboliques. Et la modification de ces protéines après avoir étudié leur structure permet parfois d'en obtenir des versions encore plus efficaces, seulement quelques années après leur découverte 9,10.

Contrairement à d'autres méthodes de recyclage, qui impliquent une perte de qualité des matériaux, le passage par des voies de dégradation biologiques permet de revenir aux monomères constitutifs des plastiques. Ceux-ci peuvent ensuite être réassemblés pour obtenir un produit équivalent à du neuf, sans contrainte sur les couleurs ou les types d'objets fabricables. Il reste cependant des problèmes à contourner. D'une part, cette déconstruction des plastiques libère les additifs ajoutés dans ces matériaux, qui doivent être gérés de leur côté. D'autre part, ces approches restent plus coûteuses que la production à partir de ressources fossiles, et des incitations seront nécessaires pour pousser les industriels à les mettre en œuvre. Sans compter que les rendements n'étant jamais

parfaits, le cycle de vie des plastiques ne sera pas infini pour autant. Enfin, même s'ils ne sont plus purement théoriques, ces procédés restent encore en cours de mise au point ! (Fig. 3)

Parmi les pionniers de la dégradation des plastiques grâce à la biologie de synthèse se trouve une entreprise française : Carbios. Celle-ci a développé un procédé basé sur une enzyme appelée LCC, identifiée en 2012 par des chercheurs japonais ayant réalisé l'analyse métagénomique d'un compost 11. Comparée avec d'autres protéines capables de dégrader le PET, la LCC s'est avérée particulièrement efficace. Des mutations ont permis d'améliorer son activité et sa résistance à la température, pour produire des monomères qui ont effectivement permis de refabriquer du PET de qualité comparable à du neuf, à un coût raisonnable 12. Après avoir mis en place un démonstrateur industriel 13, l'entreprise poursuit son développement avec la construction d'un premier site de biorecyclage 14.

Des promesses et des limites

Au-delà de cet exemple, le nombre de brevets liés au recyclage des plastiques et au développement de matériaux alternatifs montre le dynamisme de ce secteur 15, qui

intéresse aussi bien les industriels que la recherche fondamentale. Seule ou en combinaison avec d'autres approches 16, la biologie de synthèse est un des outils qui pourraient permettre de limiter la pollution liée à la production et à l'utilisation des plastiques.

Cela ne doit cependant pas faire oublier les nombreuses questions que soulève son usage. Certaines sont très concrètes, comme la gestion des additifs, l'amélioration des rendements, l'optimisation des coûts, l'adaptation aux différents types de plastiques et, généralement, les difficultés de mise au point et de passage à l'échelle. D'autres touchent à des problématiques plus délicates. En effet, les micro-organismes produits par la biologie de synthèse sont génétiquement modifiés. Ce qui ne manque pas d'interroger sur la brevetabilité du vivant, mais aussi sur les risques de libération dans le milieu naturel. Car si la capacité à dégrader les plastiques est utile dans un contexte de gestion de déchets, il paraît important d'en garder le contrôle.

De façon générale, la marche est encore haute pour atteindre une utilisation raisonnable des plastiques. La mise en place d'une réelle économie circulaire est un défi en soi 17, la réduction de notre dépendance à ces matières devenues omniprésentes en est une autre. S'il est pertinent de considérer chaque outil permettant d'avancer dans la bonne direction, aucun d'entre eux ne sera suffisant pour régler à lui seul l'ensemble des problèmes. ■



9. <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1718804115>

10. <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2006753117>

11. <https://journals.asm.org/doi/10.1128/AEM.06725-11>

12. <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2149-4>

13. <https://www.carbios.com/wp-content/uploads/2021/09/2021-09-29-carbios-lancement-demonstrateur-industriel.pdf>

14. <https://www.radiofrance.fr/franceculture/carbios-le-recyclage-enzymatique-du-plastique-8791850>

15. [https://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/069F978FE569055EC125876F004FFBB1/\\$File/patents_for_tomorrows_plastics_study_en.pdf](https://documents.epo.org/projects/babylon/eponet.nsf/0/069F978FE569055EC125876F004FFBB1/$File/patents_for_tomorrows_plastics_study_en.pdf) Notamment pages 29 et 43.

16. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.ab04626>

17. <https://www.nature.com/articles/s41578-021-00407-8>

← Fig. 3
Granulés de PET.

GAXIEU

AU COEUR DE VOS PROJETS

depuis 1972

500 PROJETS PAR AN

115 COLLABORATEURS

11 ANNEES

50 ANS D'EXPERIENCE



ASSISTANCE A MAÎTRISE D'OUVRAGE



AMÉNAGEMENTS, V.R.D., AIRES DE SPORT ET DE LOISIRS



OUVRAGES HYDRAULIQUES, PORTUAIRES ET FLUVIAUX



OUVRAGES DE STOCKAGE ET TRAITEMENT DES EAUX, REUT



PRÉVENTION DES RISQUES NATURELS



GESTION ET TRAITEMENT DES DÉCHETS



ÉNERGIE



URBANISME



SIG-BIM-INFOGRAPHIE 3D

ÉTUDES TECHNIQUES
MAÎTRISE D'ŒUVRE
ASSISTANCE A MAÎTRISE D'OUVRAGE



Depuis plus de 50 ans, Gaxieu accompagne les Maîtres d'Ouvrages dans la réalisation de leurs projets d'infrastructures.



gaxieu.fr

PAPREC ENERGIES

Paprec recrute !

Pour en savoir plus, rendez-vous sur le site : <https://carrieres.paprec.com/>



Le groupe Paprec a recruté 2 000 personnes ces trois dernières années.

Nous cherchons des ingénieurs, chefs de projets, équipes techniques...



STIF

Concepteur-Fabricant de machines pour l'Industrie et l'Artisanat

Nicolas de Souffron
Z.I. du Petit Crachis 45210 FERRIÈRES-EN-GÂTINAIS
contact@stif-fr.com - Tél : 02 38 96 63 06



CANPLAST

solutions durables pour la gestion des eaux

Conseils Ateliers Engineering Services



www.canplast.fr 02 38 96 63 06 45210 Ferrières-en-Gâtinais France
Boulevard Kennedy - 20 Rue de la Paix - Tour de la Gare 02 - 10000 Longueville - 02 - Belgique (Région - Région) - 02 - Belgique (Schnee-Walzing) - 04

Phytocontrol

Laboratoire d'analyses

Au service de la sécurité sanitaire des aliments et de l'environnement

Expertise analytique

Contaminants Biologie moléculaire Authenticité

Physico-chimie alimentaire Microbiologie

Innovation

Centre de recherche Risques émergents

Intelligence artificielle Digitalisation



CONTACTEZ-NOUS
0800 900 775
www.phytocontrol.com



Vous en avez assez de refaire les mêmes erreurs? Vous avez besoin de développer votre résilience et votre agilité durablement? Vous souhaitez sélectionner vos savoir-faire?

ENGAGEZ-VOUS DANS LA VOIE DES ORGANISATIONS APPRENANTES



KIMETIS

CONSEIL EN STRATEGIE, MANAGEMENT DES ORGANISATIONS ET KNOWLEDGE MANAGEMENT

www.kimetis-consulting.com

Remerciements: ANR (ANR-10-SEMI-017-01) en collaboration avec le conseil et de l'Université avec le réseau IMT, ainsi que le contact: 0663475433

Ce magazine Minerai a été lancé avec la volonté de regrouper par thématique les contributions des diplômés de nos écoles,

en faisant participer les élèves et les partenaires (école, start-ups, ...) pour présenter un document riche en témoignages sur un sujet touchant à la vie professionnelle des ingénieurs. La démarche va donc de pair avec le développement des groupes professionnels de l'association, encouragée depuis quelques années pour développer le réseau professionnel des ingénieurs membres de **Mines+**, et faire rayonner la formation de qualité proposée par nos écoles.

La réalisation du numéro que vous tenez entre les mains ou lisez sur un écran est le fruit d'un travail passionnant, intellectuellement enrichissant, qui est actuellement supporté par une toute petite équipe.

Nous sommes donc à la recherche de personnes disposant d'un peu de temps (1h par mois est déjà suffisant), et de beaucoup de bonne volonté !

Les diplômés, élèves, enseignants-chercheurs, personnel de l'École, souhaitant contribuer sont donc les bienvenus pour collecter les informations sur un sujet d'ingénierie, et identifier des contributeurs parmi nos réseaux. Nous vous garantissons un accueil sympathique et enthousiaste dans cette aventure !

Pour tout renseignement (non engageant), nous vous invitons à prendre contact avec notre secrétariat :
minerai@mines-plus.org

>> Développer le réseau

Adhérer à l'association !

>> Pourquoi adhérer ?

Nous essayons de fournir un maximum de services aux Diplômés et aux Élèves. Toutefois, afin d'y parvenir, nous avons besoin de ton soutien financier.

>> Cotiser en ligne

www.imt-nord-europe.org
www.mines-albi.org
www.mines-ales.org

>> Prochain numéro

La Métrologie

Pour continuer de recevoir ton magazine, vérifie que les coordonnées et ta cotisation sont à jour sur le site.

>> Participer

Rédaction d'articles, idées à développer, relectures, avis et observations...

N'hésitez pas à nous contacter :
minerai@mines-plus.org





+ Cadarache

L'entreprise de proximité du CEA Cadarache et d'ITER

ÉLECTRICITÉ COURANTS FORTS & FAIBLES

PROTECTION Foudre

TUYAUTERIE

VENTILATION NUCLÉAIRE

RADIOPROTECTION AÉRAULIQUE



— ACTIVITÉ NUCLÉAIRE



**VOUS AVEZ DE L'AVENIR
DANS LE NUCLÉAIRE**

Nous recrutons ! Postulez à nos offres sur jobs.vinci.com/fr

Suivez-nous sur 



Dunkerque au cœur de l'écologie industrielle et territoriale

L'entreprise de recyclage **IndaChlor**, c'est :

- Un site unique et exemplaire basé à Loon Plage
- Une figure de référence en matière d'économie circulaire et de symbiose industrielle
- Un processus de traitement vertueux des déchets chlorés
- Une installation écologique et autosuffisante en énergie



www.indaver.fr

UN EXPERT DANS LA GESTION
DURABLE DES DÉCHETS

