

UNE SÉRIE DES
**ANNALES
DES MINES**
FONDÉES EN 1794

RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

ISSN 2271-8052 (en ligne)

ISSN 1268-4783 (imprimé)

Série trimestrielle - N°114 - Avril 2024

Rédaction

Conseil général de l'Économie (CGE)
Ministère de l'Économie, des Finances
et de la Souveraineté industrielle et numérique
120, rue de Bercy - Télédock 797
75572 Paris Cedex 12
Tél. : 01 53 18 52 68
<http://www.annales.org>

Grégoire Postel-Vinay

Rédacteur en chef

Alexia Kappelmann

Secrétaire générale

Daniel Boula

Secrétaire général adjoint

Magali Gimon

Assistante de rédaction et Maquettiste

Frédérique Linque

Webmestre et Maquettiste

Publication

Photo de couverture

Photo libre de droits téléchargée
sur le site AdobeStock
©metamorworks-stock.adobe.com

Iconographie

Daniel Boula

Mise en page

Magali Gimon

Impression

Dupliprint Mayenne

Membres du Comité de rédaction

Pierre Couveinhes

Président du Comité de rédaction

Paul-Henri Bourrelier

Mireille Campana

Fabrice Dambrine

Dominique Dron

Jean-Luc Laurent

Richard Lavergne

Philippe Merle

Michel Pascal

Didier Pillet

Grégoire Postel-Vinay

Anne-Cécile Sigwalt

Claire Tutenuit

Benjamin Vignard

La mention au regard de certaines illustrations du sigle « D. R. » correspond à des documents ou photographies pour lesquels nos recherches d'ayants droit ou d'héritiers se sont avérées infructueuses.

Le contenu des articles n'engage que la seule responsabilité de leurs auteurs.

04

Préface

Jacques VERNIER

06

Introduction

Philippe MERLE

Les milieux, les impacts

08

Évolution des émissions de certains polluants atmosphériques en France métropolitaine

Nadine ALLEMAND et Jean-Pierre CHANG

20

**Eau et industrie :
quelles pistes pour améliorer
la gestion de l'eau
par l'industrie en France ?**

Domitille LEGRAND

27

**Principes fondamentaux
et axes stratégiques
de la politique de protection
des sols et des sous-sols
en France**

Guillaume BAILLY

31

**Quels indicateurs pour surveiller
la santé de la population générale
autour des grands bassins
industriels français ?**Candice ROUDIER
et Cécile KAIRO**Quelles normes
pour demain ?**

36

Révision de la directive IEDJean-Luc PERRIN
et Loïc MALGORN

39

**Vision du Bureau européen
de l'Environnement
pour la révision
de la directive IED**

Christian SCHAIBLE

51

**Fondées sur la technologie
ou sur le risque : deux
approches complémentaires
pour déterminer
des limites de rejets**

Matthieu SCHULER

54

**Les vertus du principe
ALARA en radioprotection –
opportunités et limites
d'une transposition au domaine
des impacts industriels**

Pierre BOIS

60

**Comment avoir une politique
efficiente de réduction
des impacts de l'industrie ?**Sylvie SUTTER
et Thomas LÉOPOLD**D'autres regards**

64

**Les pollutions dues aux accidents :
un angle mort ?**

Jacky BONNEMAINS

67

**La prévention des pollutions
aux États-Unis**

Alexandre DAMIENS

71

**Quel contrôle de la pollution
industrielle en Chine ?**

Julien BOUDET

75

Polluer moins ici,
polluer plus ailleurs ?
La compétitivité de l'Europe

Éric BOURDON,
Emmanuel NORMANT
et Philippe PRUDHON

79

Green mining and refining:
yes this is possible

Victoire de MARGERIE

Hors-dossier

81

Les défis des
technologies quantiques

Ilarion PAVEL

91

Traductions des résumés

96

Biographies des auteurs

Ce numéro a été coordonné
par Philippe MERLE

Préface

Par Jacques VERNIER

Président du Conseil supérieur de la prévention
des risques technologiques (CSPRT)

Des progrès considérables contre la pollution industrielle ont été faits au cours de ces six dernières décennies, il faut bien le reconnaître. En ce qui concerne la pollution atmosphérique, par exemple, les poussières blanches autour des cimenteries, les rejets de fluor des usines d'aluminium de la Maurienne, les rejets de métaux des usines de plomb-zinc du Nord-Pas-de-Calais, les poussières brunâtres de la sidérurgie, les odeurs dégagées par les usines de pâte à papier, les raffineries de pétrole, voire les usines agroalimentaires ne sont plus qu'un mauvais souvenir.

Certaines des usines très polluantes du siècle dernier ont certes disparu, mais avant même leur disparition, des progrès avaient été spectaculaires : notons par exemple la performance des cimenteries qui, de 1960 à 1990 avaient diminué leur rejet de poussières de 99 % ou celle des usines d'aluminium qui avaient diminué leur rejet de fluor de 98 %. L'article de la présente revue consacrée à l'évolution des principaux polluants atmosphériques pendant la période suivante, de 1990 à 2022, montre que les progrès se sont poursuivis et que les rejets de certains polluants clés, comme l'oxyde de soufre, se sont effondrés.

En matière de pollution de l'eau, même chose, même si les données sur la pollution industrielle de l'eau sont malheureusement moins accessibles que les données sur les pollutions industrielles de l'air. La Deûle dans la traversée de Lille était il y a 60 ans un égout à ciel ouvert. Idem pour la Scarpe dans la traversée de Douai (ma ville de cœur...), malodorante car sévèrement polluée par une papeterie à l'amont, qui déversait l'équivalent de la pollution d'une ville de 1 million d'habitants, au point qu'on avait envisagé de couvrir la rivière...

Les lois françaises fondatrices sur l'air de 1961 et sur l'eau (créatrices des agences de l'eau) de 1964 étaient passées par là.

Pour autant, il est vite apparu, dès les années 1980-90, que des lois « franco-françaises » ne suffiraient pas pour aller plus loin, pour deux raisons majeures : l'une *physique*, l'autre *économique*.

La raison *physique*, c'est que la pollution peut se transporter sur des milliers de kilomètres, soit pour l'eau le long d'un grand fleuve (j'ai commencé ma carrière en me consacrant à la pollution du Rhin par les mines de potasse d'Alsace, grand sujet de contentieux à l'époque entre la France et les Pays-Bas...), soit plus loin encore pour certaines pollutions atmosphériques. On ne se souvient peut-être pas qu'en 1984, 200 000 personnes avaient manifesté à Munich pour sauver leurs forêts, qui, comme d'autres forêts d'Europe centrale ou des lacs scandinaves, étaient décimées par les pollutions acides venant de loin. Heureusement, la convention de Genève de 1979 sur les pollutions transfrontalières allait bientôt porter ses fruits (convention signée dans le cadre de la commission économique pour l'Europe de l'ONU).

La raison physique d'une intervention internationale s'est encore accrue lorsque les questions « globales » du « trou » dans la couche d'ozone (protocole de Montréal, 1987) et du réchauffement climatique (protocole de Kyoto, 1997) ont émergé. Certaines problématiques globales sont d'ailleurs moins connues, par exemple, en matière de production de biocarburants, le concept de *changement indirect d'affectation des sols* : si par exemple une surface agricole en Europe est convertie à la production de biocarburants, cela amènera par ricochet à recréer ailleurs dans le monde les cultures alimentaires manquantes et peut-être à supprimer pour ce faire des forêts ou autres zones riches en carbone et en biodiversité.

Pour autant, beaucoup de pollutions n'ont pas d'incidence globale, ni même à longue distance, sur l'environnement et il y a parfois débat sur la légitimité d'une action internationale, qu'elle soit européenne ou mondiale, pour régler des polluants dont l'incidence serait seulement locale.

Mais la deuxième raison de l'action internationale est clairement *économique*. Dans les années 1960, lorsque, directeur de l'agence de l'eau Artois-Picardie, je mettais en œuvre les premières redevances sur les industries du Nord, celles-ci m'opposaient que de telles charges n'étaient pas imposées à leurs voisins belges ou allemands. Soixante ans après, les Industriels (ou les éleveurs industriels), réclament toujours avec force une harmonisation des normes et des conditions de concurrence. L'essentiel des débats portait sur de telles questions lors du dernier conseil supérieur de la prévention des risques technologiques, le 12 mars :

- Pour les éleveurs industriels, alignement des seuils d'évaluation environnementale au niveau des seuils fixés par la directive européenne : pas de surtransposition !

- Pour toutes les installations classées soumises à autorisation, délai d'instruction raccourci (à ce propos, l'intéressant article de cette revue consacrée à la procédure en Chine nous dit que les permis sont accordés dans un délai de 30 jours : diable, comment font-ils ? !).

Cependant l'harmonisation, souhaitable et à mon sens nécessaire, est loin d'être facile à mettre en œuvre, que ce soit à l'intérieur de l'Europe et plus encore, évidemment, entre le reste du monde et l'Europe. Il faut noter en effet que les normes, imposées par voie réglementaire, ou incitées financièrement par des primes et des pénalités, peuvent porter, soit sur le produit fabriqué lui-même, soit sur les conditions dans lesquelles il a été fabriqué.

J'évoquerai quatre exemples dans lesquels on veut peser sur la qualité du processus de *fabrication* :

- la mise en œuvre des meilleures technologies disponibles (les fameuses MTD, dont il est beaucoup question dans plusieurs articles ci-après) ;
- l'exigence de fabriquer des objets en bois à partir de forêts gérées de manière durable ;
- les primes versées pour l'incorporation de matières premières recyclées qu'on trouve désormais dans la plupart des cahiers des charges des filières de responsabilité élargie des producteurs en matière de déchets (REP) ;
- l'empreinte carbone des biens fabriqués, notamment quand elle va devoir être mesurée pour percevoir la taxe carbone aux frontières de l'Europe, qui est censée être opérationnelle à partir de 2026 (pour le fer, l'acier, l'aluminium, le ciment, les engrais, l'électricité, l'hydrogène).

Comment fait-on en pratique pour contrôler tout cela en fabrication, en Europe et *a fortiori* à l'extérieur de l'Europe ?

Inversement, les normes seront beaucoup plus faciles à respecter si elles portent sur le *produit fabriqué* : soit sur sa composition (présence de substances chimiques dangereuses, d'OGM...), soit sur ses caractéristiques d'usage (bruit, réparabilité, durabilité...), caractéristiques que l'on peut vérifier dans le pays de destination.

On ajoutera que ce type de mesure (norme, prime, pénalité) est unilatéralement imposé aux pays tiers, contrairement aux accords multilatéraux qui ont été signés par eux, par exemple pour la couche d'ozone ou le changement climatique. Jouer le jeu d'un accord que l'on a signé est plus probable que de se conformer à une mesure imposée. En outre, dans les accords multilatéraux, des fonds sont prévus pour aider les pays les plus pauvres à s'y adapter, fonds qui ne sont évidemment pas prévus lors de règles imposées unilatéralement.

Ces difficultés concrètes de l'harmonisation mondiale, qui ne seront peut-être pas dirimantes, ne sont que l'illustration de la formule saisissante du rapport Brundtland publié par l'ONU en 1987 : « La Terre est une, le Monde ne l'est pas ».

PS : un dernier mot, une « postface ». J'ai lu tous les articles, je les ai trouvés fort intéressants ! Bravo à leurs auteurs !

Introduction

Par Philippe MERLE

Ingénieur général des Mines,
membre permanent du Conseil général de l'Économie

Qu'est-ce qu'une industrie propre ? La question qui fournit le titre à ce numéro n'a à l'évidence pas de réponse absolue. Tout au plus peut-on tenter de répondre aux questions « qu'est-ce qu'une industrie suffisamment propre » ou « qu'est-ce qu'une industrie comparativement propre ».

En France, le sujet de la pollution industrielle relève depuis plus d'un siècle du régime des installations classées, primitivement « établissements dangereux, incommodes et insalubres ». C'est dans ce corpus réglementaire que la France a transposé, quand l'Europe s'est intéressée au sujet, les directives d'abord sectorielles, puis unifiées à partir de 2010, traitant de cette importante question.

Le choix de l'Europe à travers la directive IED (*integrated emissions directive*), a été de tenter de concilier « suffisamment propre » et « comparativement propre » en posant comme principe que les activités dont la nature est polluante doivent faire l'objet d'autorisations les contraignant à ne pas polluer davantage que ce à quoi conduit l'application des meilleures techniques disponibles, pour minimiser leur impact sur l'environnement. Ces meilleures techniques disponibles sont déterminées secteur par secteur par un processus dit « processus de Séville » qu'on peut objectivement qualifier de lourd. Présentée par Jean-Luc Perrin et Loïc Malgorn et, du point de vue des associations de protection de l'environnement, par Christian Schaible, cette directive va entrer dans une nouvelle étape puisque, à l'heure où nous bouclons ce numéro, elle est en phase finale de révision à l'échelon européen.

Il ne sera question ici que des activités industrielles. Pourtant, si l'on regarde plus largement la question des pollutions, l'industrie a déjà réalisé, comparativement à d'autres secteurs, des efforts importants pour réduire son impact sur l'air et sur l'eau comme le montrent l'article de Nadine Allemand et Jean-Pierre Chang et celui de Domitille Legrand qui suggèrent d'ailleurs que nous approchons peut-être du moment où il serait pertinent de changer d'échelle, entre réglementer une installation individuellement (ce qui est l'objet de la directive IED) et inventer des obligations collectives pour ce qui impacte un environnement donné. La prise en compte de l'impact de l'industrie sur les sols a aussi beaucoup progressé même si le passé reste lourd, comme l'expose Guillaume Bailly qui dresse un panorama des différents types d'action publique en la matière.

On peut d'ailleurs s'interroger sur cette approche par compartiment, qui de surcroît se décline en limites par type de polluant, mais qui reste sans doute une nécessité, tant les approches visant à estimer un impact plus globalement demeurent encore fragiles. L'article de Candice Roudier et Cécile Kairo montre le chemin qui reste à parcourir pour estimer un impact sur la santé humaine, car les biais restent forts entre ce qui a été étudié et le reste, et aussi parce que l'industrie reste indissociable de son environnement qui apporte aussi ses nuisances et ses effets sanitaires.

La directive IED s'intéresse pourtant non seulement à l'industrie (y compris le traitement de déchets) mais encore à l'élevage intensif, en raison de l'importance de la pollution potentielle qu'il engendre. Plus précisément, elle couvre l'élevage intensif des porcs et volailles. La tentative d'inclure l'élevage intensif des ruminants et notamment des bovins, dont les déjections sont globalement de même nature et dont l'impact carbone est supérieur, s'est fracassée sur l'opposition du Parlement européen. En revanche, la révision de la directive inclut le secteur minier, depuis l'extraction elle-même : l'avenir dira comment l'Europe réglemente la question de la remise en état du site, un des piliers de la directive IED, pour une activité qui par sa nature même affecte son état initial, et qui n'est pas sans importance pour la souveraineté du continent.

Mais revenons à l'industrie. Les débats autour de la révision de la directive ont été nombreux. Parmi les points de discussion, la question de la « fourchette ». La laborieuse détermination à l'échelle européenne, secteur par secteur, des « meilleures techniques disponibles », débouche *in fine* sur une obligation de respecter, dans les autorisations, une fourchette pour certaines valeurs limites de rejets et demain pour des prélèvements d'eau. Jusque-là, le principe était de se caler sur le haut de la fourchette sauf s'il y avait une raison d'être plus contraignant. Une telle raison est principalement l'impact local sur le milieu (par exemple un débit faible du cours d'eau où s'effectue le rejet). À l'avenir, ce sera l'inverse : le bas de la fourchette devra être retenu, sauf justification (publiquement) que cela n'est pas « raisonnable ». Nous entrons ici largement dans l'inconnu, surtout pour les fourchettes qui ont été déterminées par le passé dans une tout autre optique.

Au final, l'avenir dira si ce pari de partir du principe que tout le monde doit faire ce qui est le mieux conduit effectivement à une réduction des rejets et des impacts, ou bien débouche seulement sur une augmentation des papiers nécessaires avant une autorisation, voire sur des contentieux...

D'autres méthodologies que ces fourchettes par polluant seraient-elles possibles ? Les articles de Matthieu Schuler et de Pierre Bois explorent des approches alternatives utilisables dans d'autres circonstances, et montrent les conditions et les limites de leur éventuelle transposition. Le monde industriel semble d'ailleurs avoir pris son parti de la méthode, comme l'illustrent Sylvie Sutter et Thomas Léopold, sans renoncer à faire le lien entre la directive IED et la santé humaine d'une part, l'étude globale de l'impact sur l'environnement d'autre part.

Les choix de l'Union européenne interrogent aussi quant à la bonne échelle, car ils ne sont par définition ni globaux ni locaux. Que la direction générale du Trésor soit remerciée pour les contributions de Julien Boudet et d'Alexandre Damiens qui présentent respectivement les systèmes chinois et américain. On en retire l'impression qu'ailleurs dans le monde, il y a finalement davantage de subsidiarité. L'exigence d'égalité sur fond de concurrence loyale entre européens fait partie des points mis en avant par Éric Bourdon, Emmanuel Normant et Philippe Prudhon, qui montrent les efforts faits en Europe tout en pointant la concurrence mondiale. C'est cette exigence qui conduit au choix d'élaborer des documents de milliers de pages pour contraindre *in fine* chaque industriel à avoir l'impact le plus faible possible en Europe. Mais cette approche n'est pas globale : en effet, elle ne permet pas d'intégrer les impacts de l'alternative, à savoir une usine construite ailleurs dans le monde. Qui se lancera dans des travaux pour éclairer un tel bilan global, largement étudié du point de vue économique, un peu – non sans mal – du point de vue de l'impact carbone, et jamais du point de vue de l'impact sur l'environnement local ?

À l'autre extrémité de l'échelle, on retrouve le caractère local d'un certain nombre de pollutions et nuisances, quand il s'agit de prendre en compte le milieu dans lequel s'insère une installation donnée, et aux premières loges, la population environnante. Sans oublier qu'au-delà des impacts en fonctionnement normal, la question de l'impact en cas d'accident est aussi éminemment locale. Pas vraiment traité par la directive IED mais plutôt par la directive Seveso, bien que cette dernière se focalise sur les personnes plutôt que sur le milieu naturel, c'est l'un des sujets qu'aborde l'article de Jacky Bonnemains.

Ainsi, l'Europe entre dans une nouvelle phase pour la maîtrise de « l'industrie propre », avec une ambition réhaussée, et une approche uniforme et technique (voire technocratique ?) pour une question qui présente pourtant, aussi, des enjeux plus locaux et des enjeux plus globaux que le continent européen. Puisse ce numéro fournir matière à réfléchir à une mise en œuvre réaliste et donc porteuse d'avenir de ces principes, car cette mise en œuvre est, à nouveau, devant nous.

Évolution des émissions de certains polluants atmosphériques en France métropolitaine

Par Nadine ALLEMAND et Jean-Pierre CHANG

Directeurs adjoints, Citepa

L'évolution des émissions de certains polluants atmosphériques entre 1990 et 2022 et la contribution des grands secteurs émetteurs sont le sujet de cet article avec un éclairage spécifique sur le secteur industriel et la production d'énergie. Les polluants considérés sont le SO_2 , les NO_x , les COVNM et les $\text{PM}_{2,5}$. Ces quatre polluants font l'objet d'engagements de réduction des émissions, mis en place par le Protocole de Göteborg amendé de 2012 de la Convention de la Commission pour l'Europe des Nations unies (CEE-NU) et par la directive européenne 2284/2016 relative à la Réduction des émissions de certains polluants atmosphériques, repris dans le Plan national de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques ou PREPA. La France a réussi à tenir ses engagements de réduction des émissions totales de SO_2 , NO_x , COVNM et $\text{PM}_{2,5}$ à partir de 2020. La diminution des émissions de ces quatre polluants est significative dans l'ensemble des secteurs émetteurs. Les émissions des secteurs de la production d'énergie et de l'industrie manufacturière étaient très importantes dans les années 1990. Aujourd'hui, leurs contributions dans les émissions totales sont bien moindres face au transport routier et à l'agriculture pour les NO_x , au chauffage domestique au bois pour les $\text{PM}_{2,5}$ et au chauffage domestique au bois et à l'agriculture pour les COVNM. Les émissions de l'industrie de l'énergie ont diminué de 80 % en NO_x et de 96 % en $\text{PM}_{2,5}$ entre 1990 et 2021. Pour l'industrie manufacturière des réductions de 58 % en NO_x et 61 % en $\text{PM}_{2,5}$ ont été obtenues sur la même période. Ces réductions peuvent s'expliquer en partie par des baisses des niveaux de consommation de combustible dans la production d'électricité ou de baisse de l'activité dans certains secteurs industriels, mais rapportées à l'unité de consommation de combustible ou unité de production, les émissions ont diminué sous l'impulsion des réglementations mises en œuvre et notamment la directive Émissions industrielles qui a imposé le recours aux meilleures techniques disponibles ou équivalent. Pour 2030, les actions de réduction devront se poursuivre pour assurer le respect des prochains engagements, notamment pour les NO_x et les $\text{PM}_{2,5}$.

Introduction, contexte

L'évolution des émissions de certains polluants atmosphériques entre 1990 et 2022 et la contribution des grands secteurs émetteurs sont le sujet de cet article avec un éclairage spécifique sur le secteur industriel. Les polluants considérés sont le SO_2 , les NO_x , les COVNM et les $\text{PM}_{2,5}$. Ces quatre polluants font l'objet d'engagements de réduction des émissions, mis en place par le Protocole de Göteborg amendé de 2012 [1] de la Convention de la Commission économique pour l'Europe des Nations unies (CEE-NU) [2] et par la directive européenne 2284/2016 relative à la Réduction des émissions de certains polluants atmosphériques [3]. Le Plan national de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques ou PREPA [4] constitue la réponse à ces engagements au niveau français. L'ammoniac couvert par ces textes, ayant des origines beaucoup plus liées aux activités agricoles, n'est traité que succinctement ici. Les métaux lourds et les compo-

sés organiques persistants¹ ne sont pas traités. L'article ne traite pas non plus des émissions de gaz à effet de serre.

Par ailleurs le SO_2 , le NO_2 , certains COVNM (Benzène) et les $\text{PM}_{2,5}$ font l'objet de valeurs limites de concentration dans l'air ambiant [5], encore bien souvent dépassées en France dans certaines agglomérations pour le NO_2 et les $\text{PM}_{2,5}$. Les concentrations d'ozone sont en croissance dans l'air ambiant. Il s'agit là d'un polluant secondaire formé principalement à partir de précurseurs tels que NO_x , COVNM et méthane, sous l'impact du rayonnement solaire et de conditions météorologiques favorables.

Cela étant, une amélioration de la qualité de l'air est observée selon le dernier état de la qualité de l'air publié par le Service des Données et Études Statistiques (SDES) en décembre 2023 [6]. Cette amé-

¹ Le lecteur peut se référer au rapport SECTEN 2023 pour des compléments sur ces polluants.

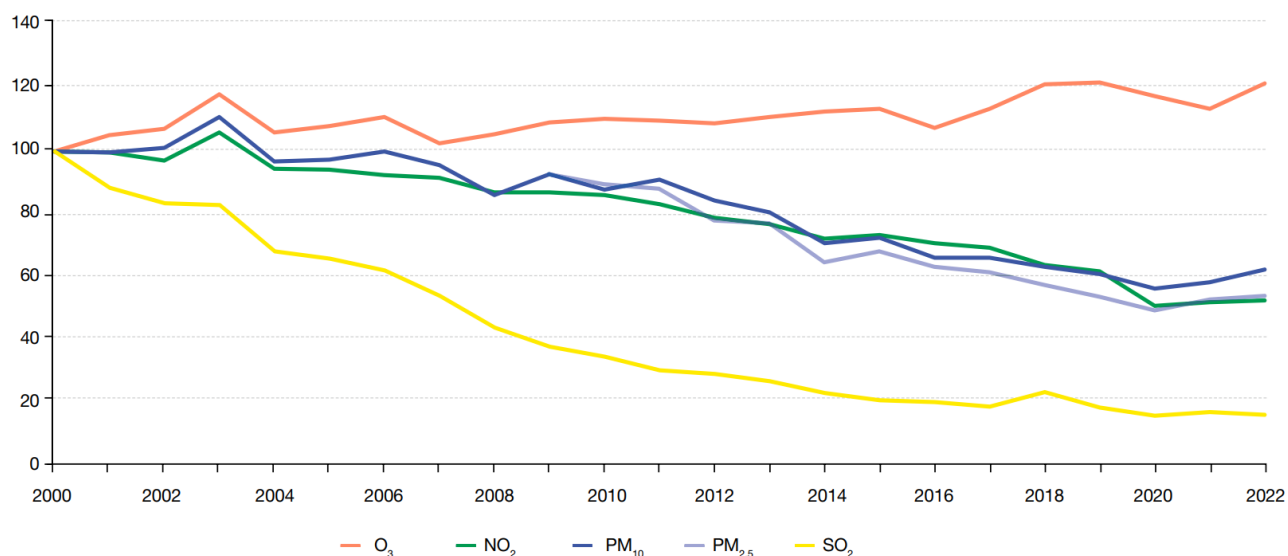


Figure 1 : Évolution des concentrations de certains polluants en moyenne annuelle entre 2000 et 2022 en France métropolitaine hors Corse (Source : Geod'air, juin 2023. Traitements : SDES, 2023).

Notes :

- la méthode de mesure des PM₁₀ a évolué en 2007 afin d'être équivalente à celle définie au niveau européen. Elle permet désormais de mesurer une fraction des particules non prise en compte avant 2007 et a eu pour conséquence une augmentation des concentrations. L'indice calculé ici étant un indice-chaîne qui mesure les évolutions par couple d'années (avec ancienne et nouvelle méthode pour l'année 2007), il n'y a pas de rupture de série malgré le changement de méthode ;
- les mesures de PM_{2,5} sont suffisamment nombreuses depuis 2009. La courbe les concernant débute ainsi en 2009, en prenant comme hypothèse que l'indice PM_{2,5} en 2009 était égal à l'indice PM₁₀.

lioration s'explique par les actions menées depuis de nombreuses années, pour réduire les émissions des principales sources d'émission à toutes les échelles du territoire en France mais aussi par les actions de réduction engagées au niveau international, que ce soit par la CEE-NU avec la Convention Air [2] et la Commission européenne [3].

Cet article présente le dernier état de la qualité de l'air publié par le SDES en décembre 2023 [6], l'évolution des émissions de certains polluants SO₂, NO_x, COVNM, NH₃ et PM_{2,5} selon divers secteurs émetteurs et dresse un bilan de l'évolution des émissions de NO_x et PM_{2,5} de l'industrie manufacturière et de l'industrie de l'énergie. Les bilans d'émissions sont issus du rapport SECTEN de 2023 [7] et du rapport OMIENEA 2023 [8] élaborés par le Citepa dans le cadre de sa mission d'intérêt général d'élaboration des inventaires d'émissions nationaux. Cette mission est confiée à Citepa par le ministère de la Transition écologique et la Cohésion des territoires (MTECT) dans le cadre du SNIEBA [9].

État de la qualité de l'air en 2022 et impacts sanitaires de la pollution atmosphérique

Selon le dernier bilan édité par le SDES [6], la qualité de l'air en France entre 2000 et 2022 s'est améliorée. Les concentrations de SO₂, NO₂, de PM₁₀ et de PM_{2,5} ont bien diminué sur cette période (cf. Figure 1). Les concentrations moyennes annuelles en fond urbain sont, en 2022, de 15 µg/m³ en NO₂, de 16 µg/m³ en PM₁₀ et de 10 µg/m³ en PM_{2,5} [6]. En matière d'ozone,

les teneurs moyennes en fond urbain sont malheureusement à la hausse sur la période, avec des années présentant des niveaux élevés (2003 ; 2018 à 2020 et 2022).

Le nombre d'agglomérations² présentant des dépassements des valeurs limites de concentrations réglementaires selon la directive 2008/50/CE [5] est de 4 pour le NO₂ (Lyon, Paris, Perpignan et Strasbourg) et de 3 pour les PM₁₀ (Marseille, Aix-en-Provence et Mayotte) en 2022. Ce nombre était beaucoup plus important auparavant. Le seuil réglementaire en O₃, fixé pour la protection de la santé, est dépassé en moyenne triennale sur la période 2020-2022 dans 20 agglomérations.

Il est à noter que la directive 2008/50/CE est en cours de révision [11]. Les nouvelles valeurs guides de l'OMS, publiées en 2021, pourraient être adoptées pour 2035 [10]. En 2030, des seuils intermédiaires sont proposés par le projet de directive en cours de négociation.

La pollution atmosphérique est reconnue pour avoir des impacts sanitaires importants. Selon le dernier rapport du Centre thématique européen sur la santé humaine et l'environnement (ETC HE) de l'Agence européenne pour l'environnement publié en 2023 [12], le nombre de morts attribuables à l'exposition à long terme aux PM_{2,5} et au NO₂ et à court terme à l'ozone (indicateur de mortalité), était de 27 400 en 2021 pour la France et le nombre d'années de vie perdues de 293 500.

² La définition d'une agglomération retenue dans le cadre du bilan est celle de l'unité urbaine définie par l'Insee. Selon le zonage 2020, elles sont au nombre de 2 467.

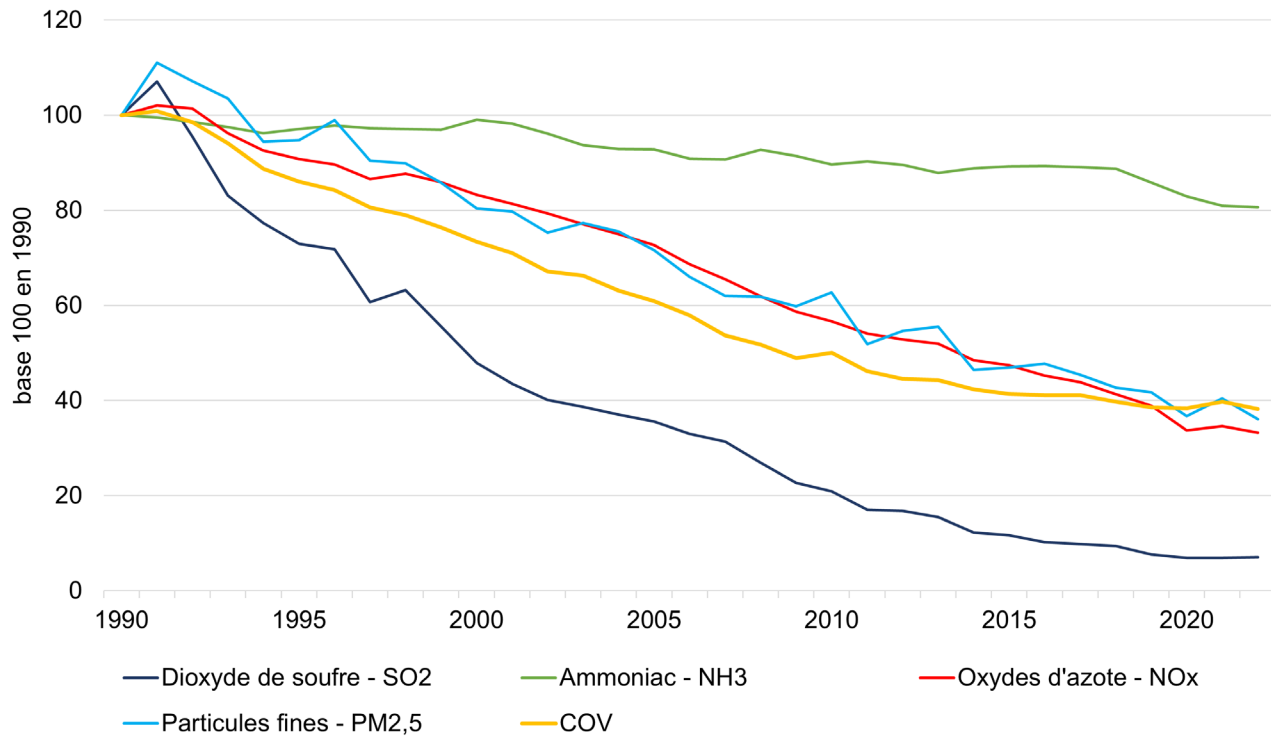


Figure 2 : Évolution des émissions de SO₂, NO_x, PM_{2,5}, COVM et NH₃ entre 1990 et 2022 (Source : Citepa SECTEN édition 2023 - inventaire national d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques).

L'exposition aux PM_{2,5} représente 73 % de ces cas en France³.

Évolution des émissions de polluants

Les émissions présentées ci-après sont issues du rapport SECTEN [7].

Les émissions de SO₂, NO_x, PM_{2,5}, COVM ont fortement diminué depuis 1990, celles de NH₃ beaucoup moins (cf. Figure 2, en base 100).

Ces réductions des émissions ont été permises par les politiques internationales (Convention sur la Pollution Atmosphérique Transfrontière à Longue Distance [2], Commission européenne [13]), nationales et territoriales [4] adoptées et mises en œuvre pour limiter les émissions des polluants primaires. Les émissions industrielles sont contrôlées par la réglementation relative aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) [14]. La réglementation ICPE s'est renforcée au fil du temps sous l'impulsion notamment de la directive européenne 2010/75 du 24 novembre 2010 relative aux Émissions industrielles [15] mais

aussi d'autres directives européennes sectorielles. Les émissions des véhicules routiers sont contrôlées depuis les années 1990 avec la mise en place de directives et règlements européens instituant les normes Euro limitant les émissions de polluants à l'échappement des véhicules mais également aux mesures de soutien au renouvellement du parc de véhicules et l'usage de véhicules moins émetteurs. La norme Euro 7 est en cours de discussion à Bruxelles [16]. La France a notamment établi son premier plan national de réduction des émissions de polluants (PREPA) en 2017. Elle a publié la deuxième version en décembre 2022 [4]. Le PREPA met en place une série de mesure de réduction des émissions dans tous les secteurs émetteurs. Le PREPA reprend les engagements de réduction des émissions imposés par le Protocole de Göteborg à partir de 2020 [1] et la directive européenne 2284/2016 [3] à partir de 2030 avec, de plus, un engagement en 2025, comme le présente le tableau page suivante.

Les inventaires des émissions [7] permettent de suivre l'évolution des émissions par rapport à ces objectifs comme cela est présenté dans les analyses suivantes.

Les politiques énergie climat [18] favorisent les baisses des consommations d'énergie par de meilleures efficacités énergétiques dans le bâtiment, les transports, l'industrie, les installations de combustion..., par la substitution des combustibles fossiles et l'évolution des caractéristiques des combustibles utilisés, etc. Les mesures énergie climat ont en général un effet gagnant-gagnant à la fois sur le climat et la qualité de l'air en favorisant le plus souvent aussi la réduction des émissions de polluants. Cela étant, dans certains cas,

³ En 2023, les évaluations menées par l'ETC pour 2021 prennent en compte les valeurs guides de l'OMS de 2021, soit les niveaux recommandés pour la qualité de l'air de 5 µg/m³ pour les PM_{2,5}, 10 µg/m³ pour le NO₂ et de la somme annuelle des concentrations d'ozone moyennes quotidiennes maximales sur 8 h supérieures à 35 ppb. Le rapport évalue en outre la mortalité et la morbidité sous les indicateurs respectifs de nombre de morts attribuables à l'exposition à long terme à des niveaux de concentrations supérieurs aux valeurs guides et de nombre d'années de vie perdues (YLL) dans chacun des 27 États membres et de 14 autres pays.

Tableau 1 : Réductions des émissions totales de polluants imposées par le PREPA par rapport aux émissions de 2005.

Polluants	Années 2020 à 2024	Années 2025 à 2029	À partir de 2030
SO ₂	- 55 %	- 66 %	- 77 %
NOx	- 50 %	- 60 %	- 69 %
PM _{2,5}	- 27 %	- 42 %	- 57 %
COVNM	- 43 %	- 47 %	- 52 %
NH ₃	- 4 %	- 8 %	- 13 %

des mesures climat peuvent avoir des effets négatifs sur la qualité de l'air. C'est le cas du développement de la combustion de bois dans les petits équipements de chauffage domestiques peu performants et très émetteurs de particules et du développement des véhicules diesel avant que les normes d'émissions de NOx et de PM de ces véhicules ne soient considérablement durcies et que les véhicules aux normes les plus contraignantes soient suffisamment présents dans la flotte de véhicules pour éviter les impacts négatifs.

Émissions de SO₂

En 2022, les émissions totales de SO₂ ont été réduites de 92,9 % par rapport à 1990 et de 80,1 % par rapport

à 2005. L'engagement de réduction des émissions imposé à partir de 2020 de -55 % par rapport à 2005 a été largement respecté. Celui de 2030 de - 77 % est déjà respecté en 2022 [7], cf. Figure 3.

Les émissions de l'industrie de l'énergie ont diminué de 95 % en 2022 par rapport à 1990 et de 88 % par rapport à 2005. Celles de l'industrie manufacturière ont diminué de 88,2 % en 2022 par rapport à 1990 et de 66,8 % par rapport à 2005. Dans l'ensemble des transports, les émissions ont diminué de 98,5 % en 2022 par rapport à 1990 et de 74 % par rapport à 2005. L'industrie de l'énergie était encore la principale source d'émissions de SO₂ en 2005 avec 52,8 % des émissions totales.

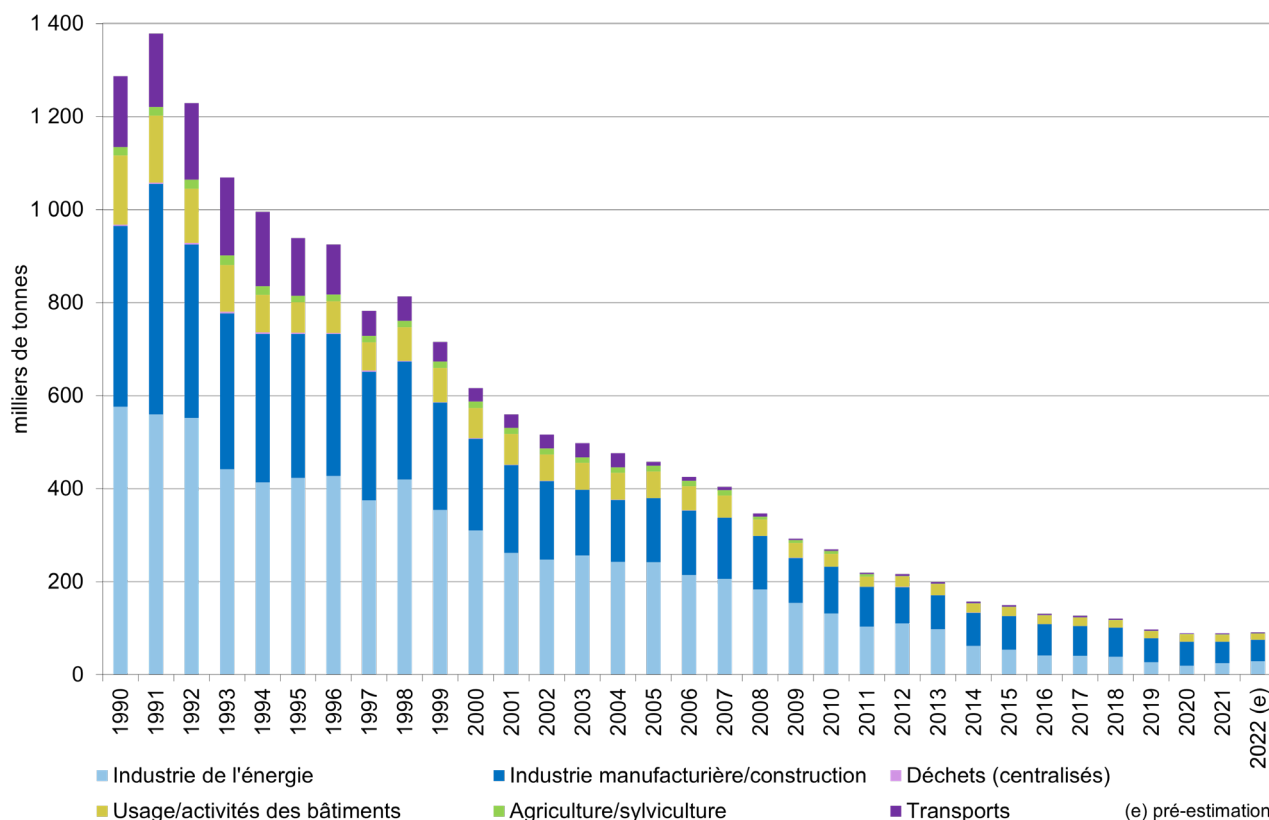


Figure 3 : Évolution des émissions de SO₂ en France métropolitaine depuis 1990 (Source : Citepa SECTEN édition 2023 - inventaire national d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques).

Émissions de NOx

En 2022, les émissions de NOx ont été réduites de 66,7 % par rapport à 1990 et de 54,2 % par rapport à 2005. L'engagement de réduction des émissions imposé à partir de 2020 de - 50 % par rapport à 2005 a été respecté. L'engagement de 2030, de - 69 % par

rapport à 2005, nécessite la poursuite des actions de réduction dans le transport routier qui reste la première source d'émissions de NOx, cf. Figure 4.

Dans l'ensemble des transports, les émissions ont diminué de 73,7 % en 2022 par rapport à 1990 et de

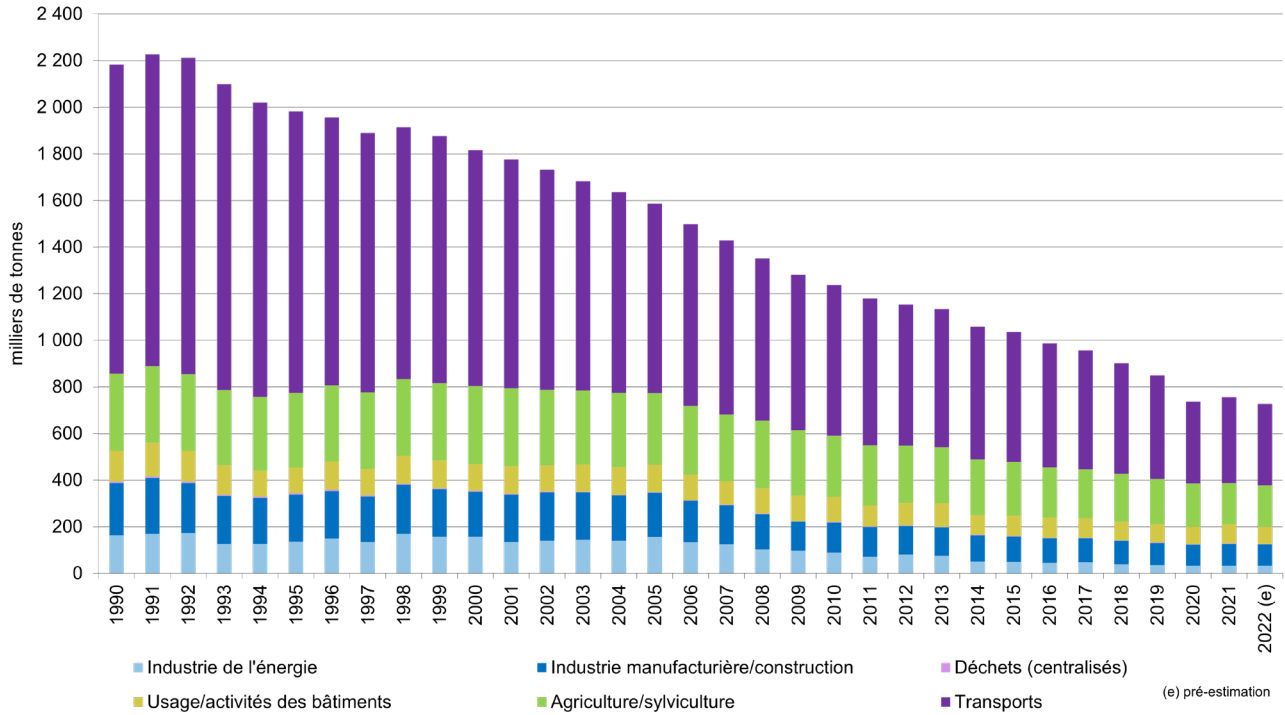


Figure 4 : Évolution des émissions de NOx en France métropolitaine depuis 1990 (Source : Citepa SECTEN édition 2023 - inventaire national d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques).

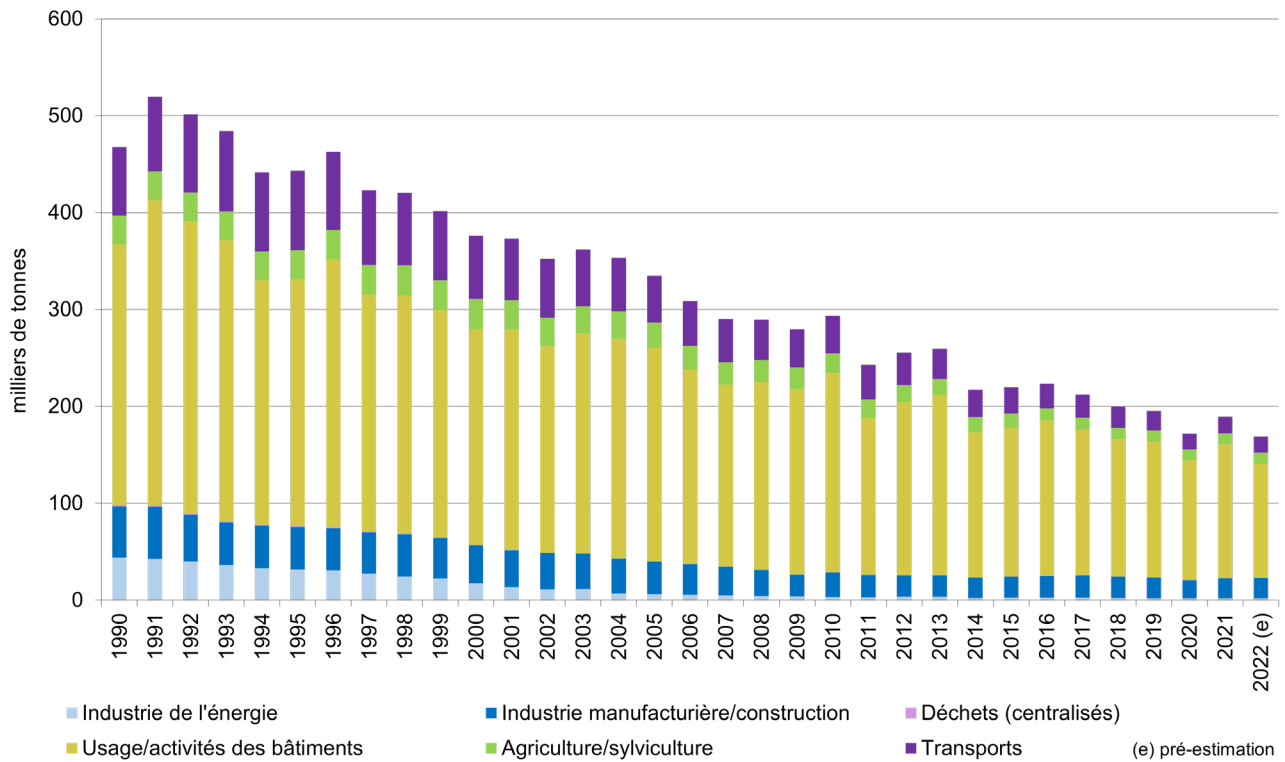


Figure 5 : Évolution des émissions de PM_{2,5} en France métropolitaine depuis 1990 (Source : Citepa SECTEN édition 2023 - inventaire national d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques).

57,2 % par rapport à 2005. Les émissions de l'industrie de l'énergie ont diminué de 79,6 % en 2022 par rapport à 1990 et de 78,7 % par rapport à 2005. Celles de l'industrie manufacturière ont diminué de 59,1 % en 2022 par rapport à 1990 et de 51,7 % par rapport à 2005.

Les transports constituent la part prédominante des émissions totales quelle que soit l'année : 60,7 % en 1990, 51,2 % en 2005 et 48,0 % en 2022. L'industrie de l'énergie représente 4,6 % des émissions totales en 2022 et l'industrie manufacturière représente 12,6 % des émissions totales. L'agriculture représente une part significative des émissions en 2022, avec 24,4 % des émissions totales. Le secteur résidentiel tertiaire représente 10,1 % des émissions en 2022.

Émissions de PM_{2,5}

En 2022, les émissions de PM_{2,5} ont été réduites de 63,9 % par rapport à 1990 et de 49,6 % par rapport à 2005. L'engagement de réduction des émissions imposé à partir de 2020 de - 27 % par rapport à 2005 a été largement respecté. L'engagement de 2030 de - 57 % ne pourra être respecté que si les actions de réduction se poursuivent notamment encore dans le secteur résidentiel/tertiaire avec le rôle majeur de la combustion du bois dans les installations domestiques dans les émissions de PM_{2,5}, cf. Figure 5 page précédente.

Le secteur résidentiel/tertiaire représente la part prédominante des émissions totales de PM_{2,5} quelle que soit l'année : 57,5 % en 1990, 65,7 % en 2005 et 69,9 % en 2022. Dans ce secteur, les émissions de PM_{2,5} sont essentiellement liées aux consommations de bois dans

les petits foyers domestiques de chauffage. Les émissions de ces équipements s'améliorent au fil du temps par la mise en place de label type Flamme Verte et l'obligation pour les nouveaux équipements mis sur le marché de posséder le label le plus récent. Dans le cadre du PREPA, un plan bois a été mis en place [4]. L'industrie de l'énergie représente 1,1 % des émissions totales en 2022 et l'industrie manufacturière représente 12,4 % des émissions totales. L'agriculture représente 6,7 % des émissions en 2022. L'ensemble des transports représente 9,9 % des émissions en 2022. Les émissions des transports ont diminué de 76,5 % en 2022 par rapport à 1990 et de 65,7 % par rapport à 2005. Les émissions de l'industrie de l'énergie ont diminué de 95,9 % en 2022 par rapport à 1990 et de 71,7 % par rapport à 2005. Celles de l'industrie manufacturière ont diminué de 60,5 % en 2022 par rapport à 1990 et de 37,7 % par rapport à 2005.

Émissions de COVNM

En 2022, les émissions de COV ont diminué de 61,8 % par rapport à 1990 et de 37,2 % par rapport à 2005, cf. Figure 6. À première vue, la France pourrait apparaître comme ne respectant pas son objectif de réduction. En fait, pour analyser le respect de cet engagement, la seule comparaison des émissions 2020 et 2005 n'est pas suffisante. L'examen de la conformité peut nécessiter le recours aux procédures d'ajustement prévues par le Protocole de Göteborg [1]. En effet, la comptabilité des émissions de COVNM a changé depuis 2012, date de mise en place du Protocole amendé. Pour faire les évaluations de conformité, les émissions de 2022

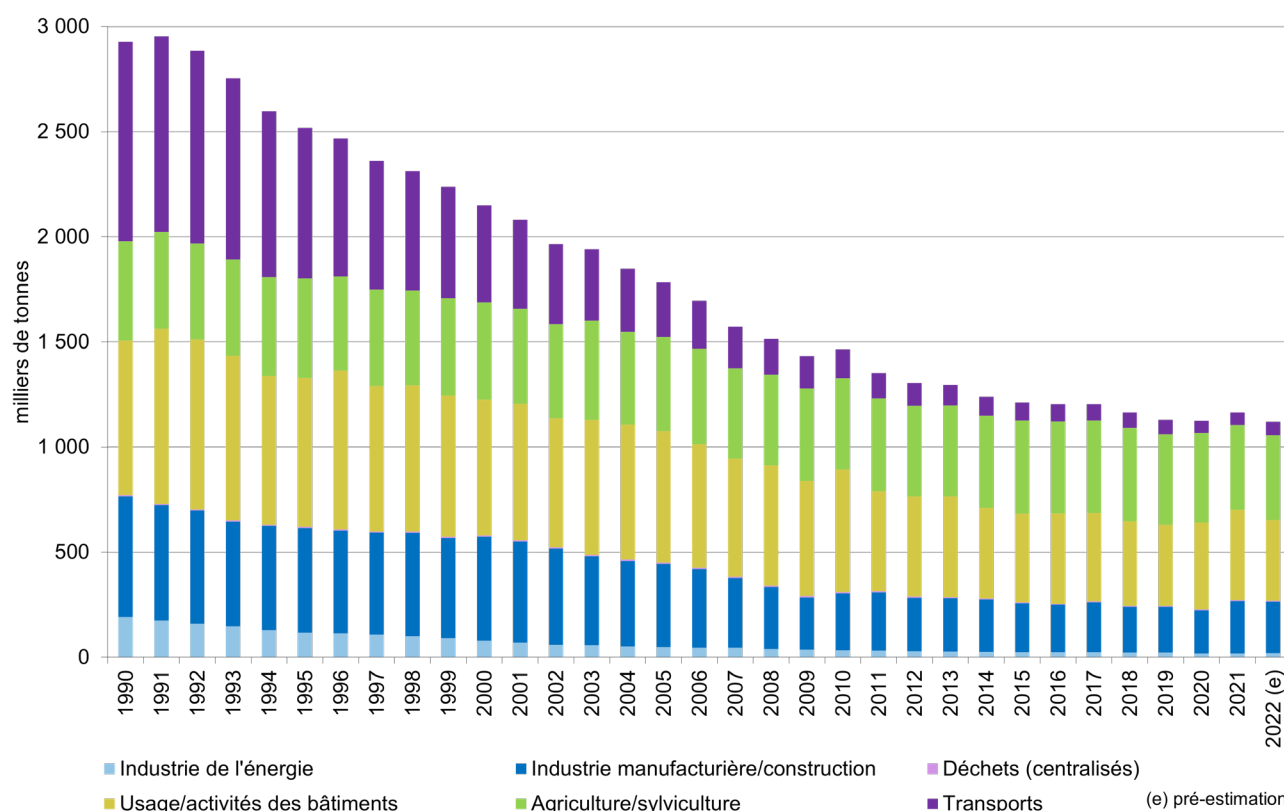


Figure 6 : Évolution des émissions de COVNM en France métropolitaine depuis 1990 (Source : Citepa SECTEN édition 2023 - inventaire national d'émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques).

doivent être ramenées au même périmètre que celui utilisé en 2012. Notamment les émissions de l'agriculture n'ont pas été considérées dans l'engagement de réduction défini par le Protocole en 2012. L'évaluation de la conformité doit donc se faire sans les émissions de l'agriculture. La procédure de contrôle de conformité avec ajustement n'est en fait réalisée que pour les années consolidées (*i.e.* 2020 et 2021 dans l'édition Secten de 2023). Ainsi, sans ces émissions agricoles, les émissions de COVNM de 2020 et 2021 sont réduites respectivement de 48 et 44 % par rapport à 2005 ce qui est conforme à l'engagement de réduction d'au moins 43 % à partir de 2020.

Le secteur résidentiel/tertiaire représente la part prédominante des émissions totales de COVNM : 35 % en 2005 et 37 % en 2022. L'industrie de l'énergie représente 1,7 % des émissions totales en 2022 et l'industrie manufacturière représente 22 % des émissions totales. L'agriculture représente 34,3 % des émissions en 2022. L'ensemble des transports représente 36,1 % des émissions en 2022.

Les émissions des transports ont diminué de 93,4 % en 2022 par rapport à 1990 et de 76,0 % par rapport à 2005. Les émissions de l'industrie de l'énergie ont chuté de 90,2 % en 2022 par rapport à 1990 et de 60,8 % par rapport à 2005. Celles de l'industrie manufacturière ont chuté de 57,1 % en 2022 par rapport à 1990 et de 37,7 % par rapport à 2005. Les émissions de l'agriculture restent plus stables avec une réduction de seulement 9,7 % entre 2005 et 2022.

Évolution des émissions dans l'industrie manufacturière

L'industrie manufacturière est caractérisée par les sources d'émissions et les secteurs d'activités suivants dans le rapport SECTEN [7] (*cf.* Figure 7).

Les émissions de SO₂, NO_x, PM_{2,5}, COVNM de l'industrie manufacturière ont fortement diminué depuis 1990 (*cf.* Figure 8, en base 100).

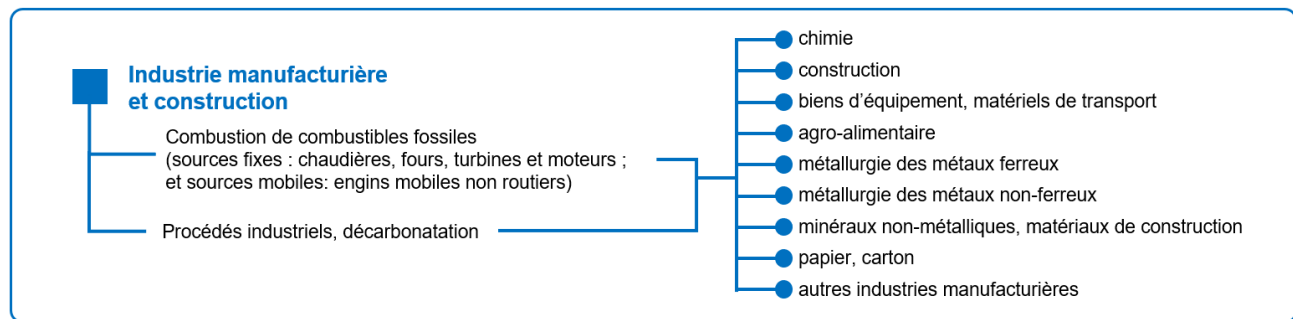


Figure 7 : Les émissions dans l'industrie manufacturière et construction (Source : Secten 2023 - Citepa).

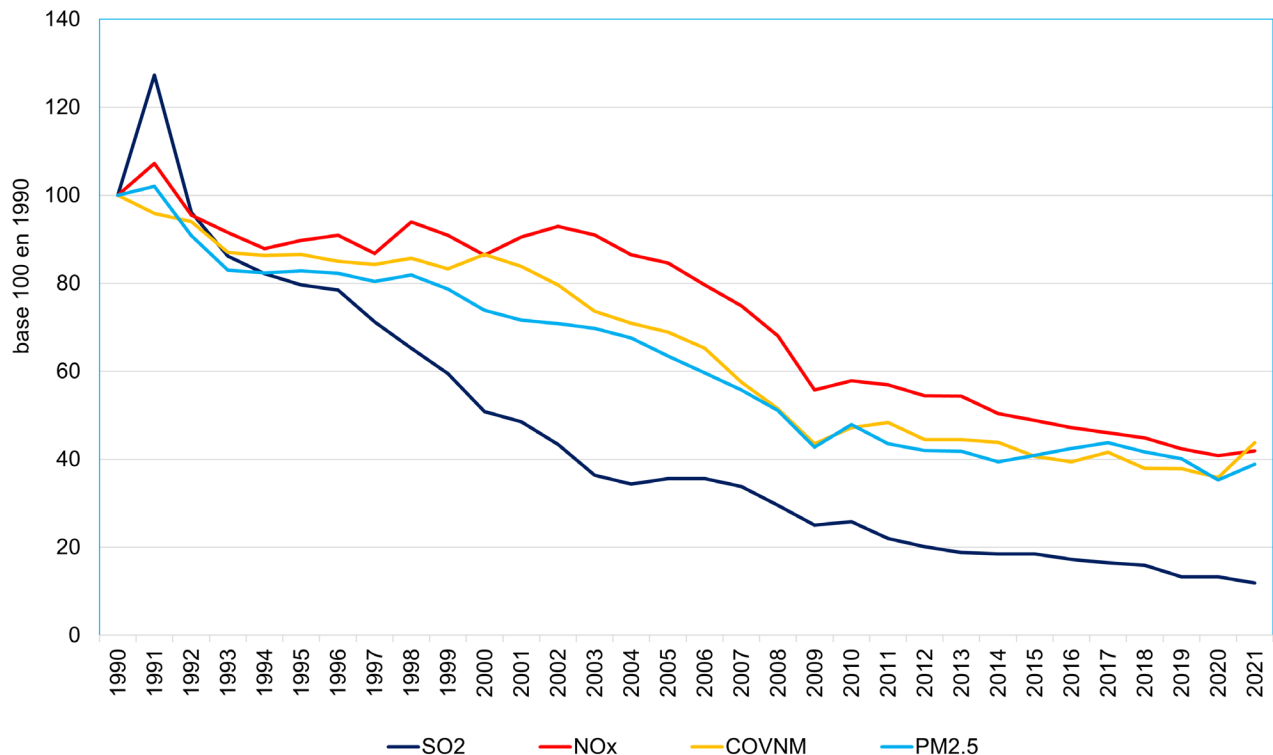


Figure 8 : Évolution des émissions de SO₂, NO_x, COVNM, PM_{2,5} de l'industrie manufacturière en France métropolitaine depuis 1990.

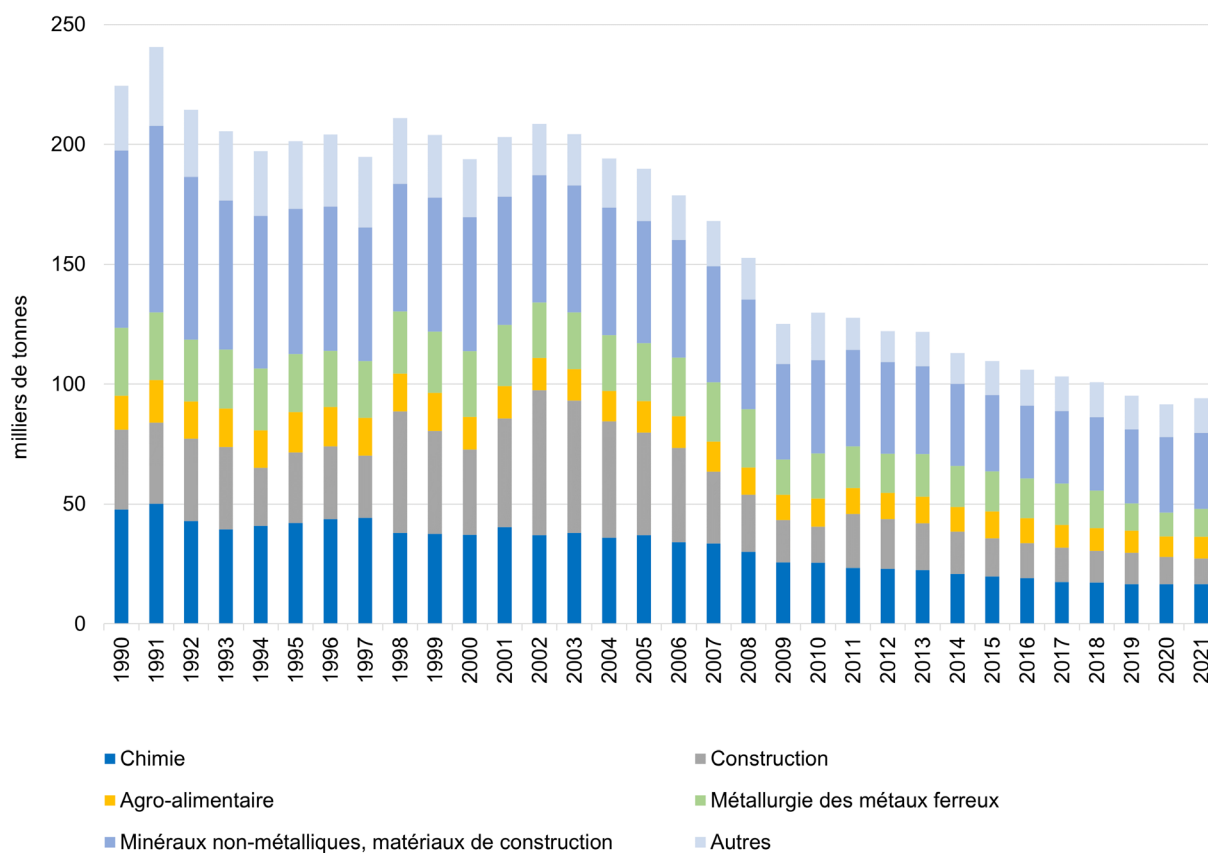


Figure 9 : Évolution des émissions de NOx de l'industrie manufacturière en France métropolitaine (Source : SECTEN 2023).

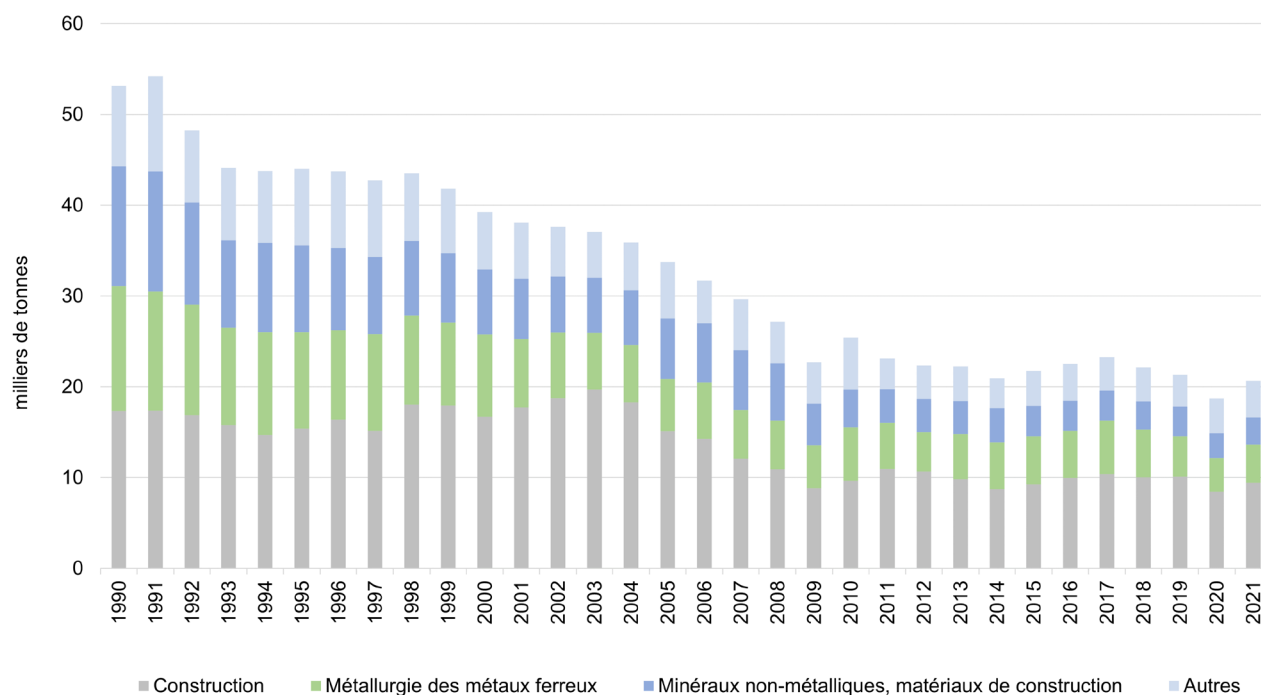


Figure 10 : Évolution des émissions de PM_{2,5} de l'industrie manufacturière en France métropolitaine (Source : SECTEN 2023).

Sur la période 1990-2021, les émissions de NOx du secteur ont diminué de 58 % (cf. Figure 9), celles de PM_{2,5} de 61 % (cf. Figure 10)⁴.

⁴ Le secteur « Autres » représente l'ensemble des autres secteurs de l'industrie considérés par SECTEN hors ceux présentés séparément dans la figure. Le périmètre de ce secteur est différent entre les Figures 9 et 10.

La combustion des combustibles fossiles et de la biomasse est la principale source d'émissions de NOx et PM_{2,5} dans le secteur de l'industrie manufacturière et construction. Cette combustion se fait dans des équipements de combustion de type chaudières, moteurs et turbines et un ensemble de fours variés (fours à ciment, fours à verre...) avec contact ou sans contact.

La baisse des émissions de NOx et de PM_{2,5} est imputable essentiellement aux meilleures performances des installations avec la mise en œuvre des meilleures techniques disponibles (MTD) imposées par la réglementation IED notamment (en particulier dans les secteurs des minéraux non-métalliques et des matériaux de construction, de la métallurgie et de la chimie), ainsi qu'aux réglementations relatives aux installations de combustion de moins de 50 MW et les engins mobiles non routiers. L'évolution du mix énergétique d'ailleurs favorisé par la mise en place des réglementations limitant les émissions, explique aussi les diminutions avec plus de gaz naturel et moins de charbon dans les installations de combustion. Pour les engins mobiles non routiers (EMNR), la réglementation a imposé des normes plus contraignantes [17]. Des baisses d'activités peuvent aussi expliquer certaines diminutions des émissions comme celles observées en 2009, en 2020.

L'examen des émissions par unité de production permet d'apprécier les réductions apportées par l'amélioration des performances des procédés industriels. Ainsi, par exemple :

- Les émissions de NOx par unité de production entre 2005 et 2021 ont diminué de 70 % dans les fours à oxygène et de 40 % dans les fours électriques en sidérurgie, de 17 % dans les chaînes d'agglomération, de 65 % dans la production d'acide nitrique, de 60 % dans la production de verre plat, de 14 % dans la production de ciment, de 31 % dans les installations de combustion de 50 à 300 MW utilisant du gaz naturel [8]. D'autres exemples pourraient être cités.
- La baisse des émissions de PM_{2,5} est liée à la mise en place de dépoussiéreur plus performants. Ainsi, par exemple, les émissions de PM_{2,5} par unité de pro-

duction entre 2005 et 2021 ont diminué de 30 % dans les fours à oxygène, de 61 % dans les fours électriques, de 69 % dans les chaînes d'agglomération, de 91 % dans la production de verre plat, de 24 % dans la production de ciment [8].

Évolution des émissions dans l'industrie de l'énergie

L'industrie de l'énergie est caractérisée par les sources d'émissions et les secteurs d'activités suivants dans le rapport SECTEN [7] (cf. Figure 11).

Entre 1990 et 2021, les émissions de NOx ont diminué de 80 % (cf. Figure 12 page suivante) et celles de PM_{2,5} de 96 % (cf. Figure 13 page suivante).

En production d'électricité, les émissions de NOx ont diminué de 92 % sur la période et celles de PM_{2,5} de 95 %. La baisse de la consommation de combustibles minéraux fossiles de 89 % sur la période contribue à cette baisse mais des réductions importantes ont été effectuées sur les unités de production avec la mise en place de systèmes de traitement des fumées notamment de type SCR (Réduction Sélective Catalytique) pour les NOx et de systèmes de dépoussiérage très performants pour les particules. Quelques exemples sont donnés. Les émissions de NOx par GJ de combustibles minéraux ont diminué de 73 % entre 2005 et 2021 et celles de PM_{2,5} de 97 % dans les installations de plus de 300 MW [8]. Les émissions de NOx par GJ de gaz naturel ont diminué de 66 % dans les turbines à gaz et les émissions de NOx par GJ de fioul lourd ont diminué de 69 % dans les moteurs fixes [8].

En chauffage urbain, les émissions de NOx ont baissé - 8 % entre 1990 et 2021 et celles de PM_{2,5} augmenté de 76 %. L'activité n'a cessé d'augmenter sur la période (+ 83 % par rapport à 1990) et le mix énergétique a évolué avec un recours accru au gaz naturel et à la biomasse bois (notamment dans les installations de moins de 20 MW) au détriment des combustibles fossiles solides et liquides (par rapport à la consommation

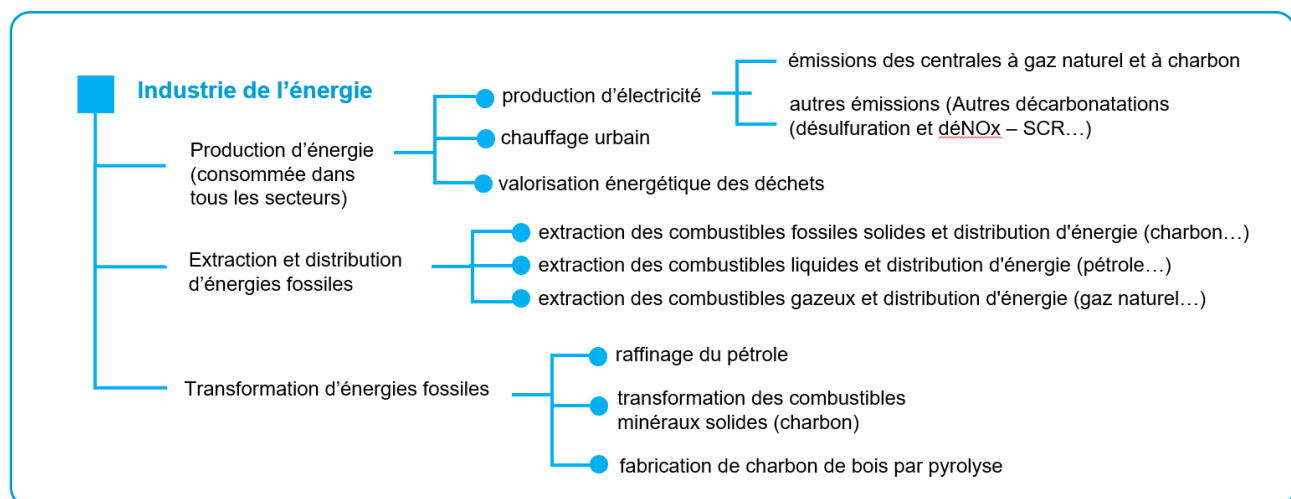


Figure 11 : Les émissions dans l'industrie de l'énergie (Source : Secten 2023 - Citepa).

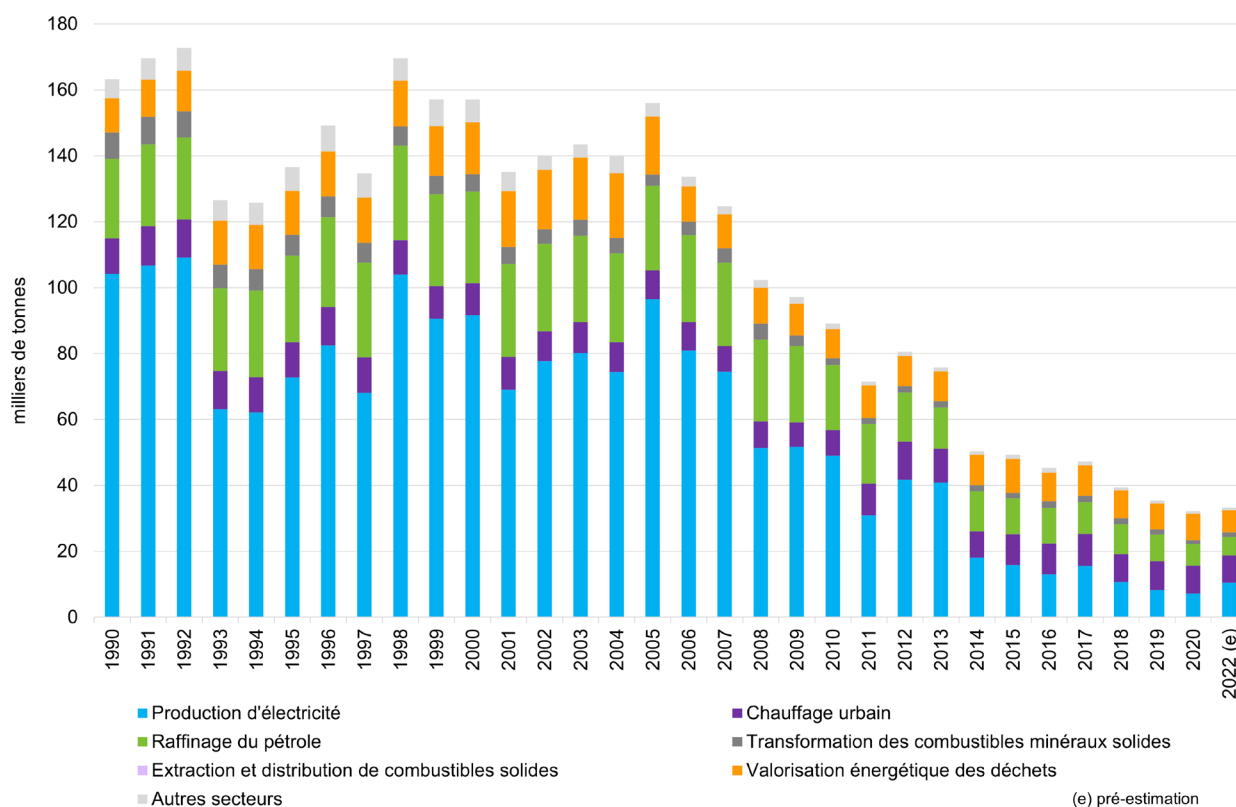


Figure 12 : Évolution des émissions de NOx de l'industrie de l'énergie en France métropolitaine depuis 1990 (Source : Citepa, avril 2023 - Format SECTEN).

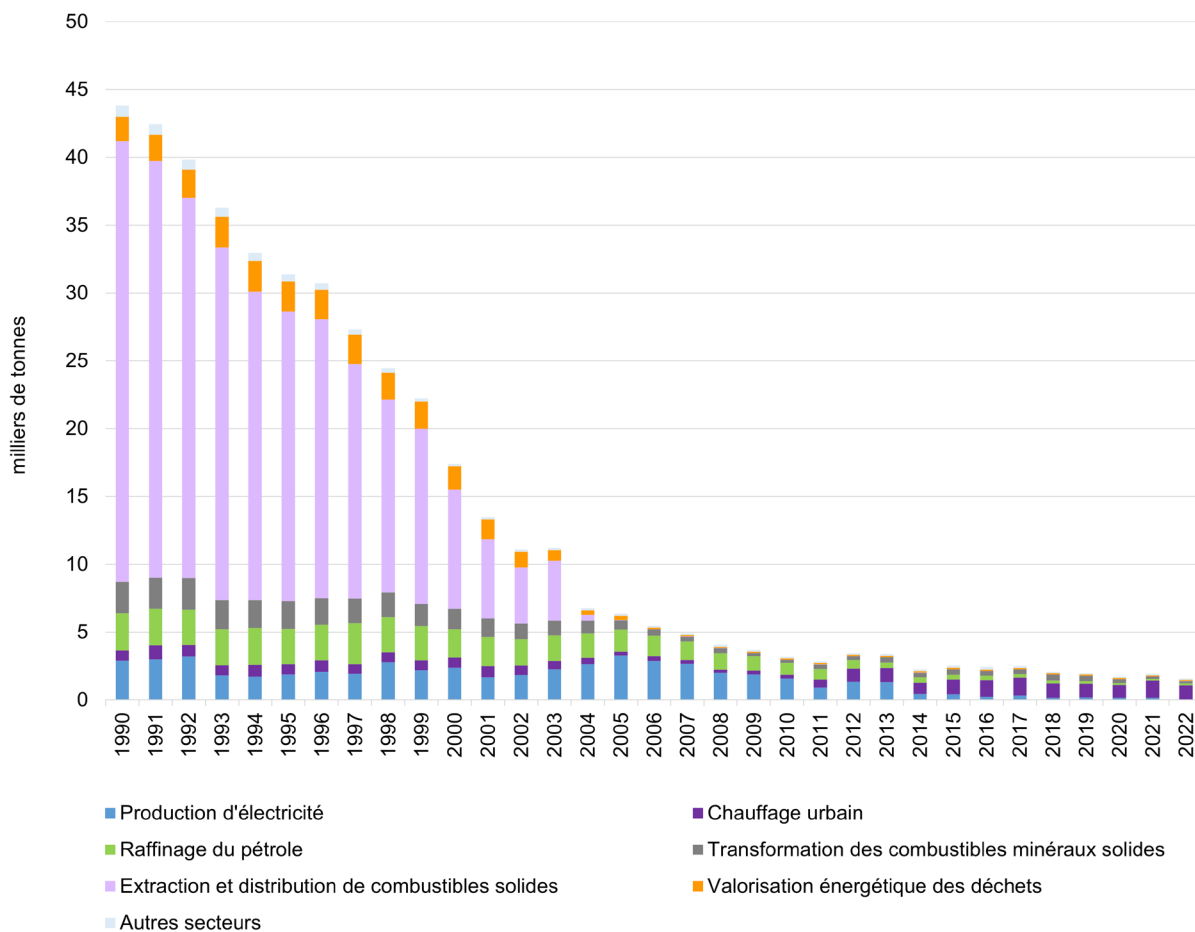


Figure 13 : Évolution des émissions de PM_{2,5} de l'industrie de l'énergie en France métropolitaine depuis 1990 (Source : Citepa, avril 2023 - Format SECTEN).

de combustible totale, le gaz naturel représente 68 % en 2021 contre 22 % en 1990. La biomasse bois n'était pas employée en 1990 mais représente 27 % de la consommation totale en 2021). La mise en œuvre de techniques de réduction de NOx et de particules performantes afin de respecter les réglementations relatives aux installations de combustion permet de limiter la croissance des émissions totales du secteur. Par exemple, les émissions de NOx par GJ de combustibles minéraux consommés ont diminué de 24 % entre 2005 et 2021 dans les installations entre 50 et 300 MW [8]. Pour ces mêmes installations, celles de PM_{2,5} ont diminué de 95 % [8].

Une baisse marquée des émissions du raffinage de pétrole s'observe à la fois pour les NOx et les PM_{2,5}. Entre 2005 et 2021, la quantité de brut traité a diminué de 61 %, les émissions de NOx de 80 % et celles de PM_{2,5} de 93 %. Les émissions de NOx ont, par exemple, diminué de 56 % dans les craqueurs catalytiques entre 2005 et 2021 [8].

La valorisation énergétique des déchets, contribue pour 20 % aux émissions totales de NOx et pour 3,8 % aux émissions totales de PM_{2,5} du secteur de l'industrie de l'énergie en 2021. Les émissions de NOx par unité de déchets ménagers incinérés ont diminué de 63 % entre 2005 et 2021 et celles de PM_{2,5} de 76 % [8].

Les émissions de PM_{2,5} ont fortement baissé dans les années 1990 en raison de la disparition de l'activité extraction de combustibles solides.

Conclusions

La France a réussi à tenir ses engagements de réduction de ses émissions totales de SO₂, NOx, COVNM et PM_{2,5} à partir de 2020. Des réductions importantes ont été obtenues dans l'ensemble des secteurs émetteurs, notamment les transports, l'industrie de l'énergie et l'industrie manufacturière. Les émissions des secteurs de la production d'énergie et l'industrie manufacturière étaient très importantes dans les années 1990. Aujourd'hui, leurs contributions dans les émissions totales sont bien moindres, face au transport routier et à l'agriculture pour les NOx, au chauffage domestique au bois pour les PM_{2,5} et au chauffage domestique au bois et à l'agriculture pour les COVNM. Les émissions de l'industrie de l'énergie ont diminué de 80 % en NOx et de 96 % en PM_{2,5} entre 1990 et 2021. Pour l'industrie manufacturière des réductions de 58 % en NOx et 61 % en PM_{2,5} ont été obtenues sur la même période. Ces réductions peuvent s'expliquer, en partie, par des baisses des niveaux de consommation de combustible dans la production d'électricité ou de baisses de l'activité dans certains secteurs industriels, mais rapportées à l'unité de consommation de combustible ou unité de production, les émissions ont diminué sous l'impulsion des réglementations mises en œuvre et notamment la directive émissions industrielles qui a imposé le recours aux meilleures techniques disponibles ou équivalent.

Pour 2030, les actions de réduction doivent se poursuivre pour assurer le respect des prochains engagements de réduction, notamment pour les NOx et les

PM_{2,5}. Les évaluations faites par le MTECT montrent la faisabilité de ces réductions [20]. Il est nécessaire de garder en mémoire que le projet de nouvelle directive Qualité de l'air en préparation [11], va fortement abaisser les valeurs limites de concentrations de polluants en 2030 pour ensuite adopter les nouvelles valeurs guides de l'OMS [10] à un horizon de 2035, ou peut-être un peu plus tard, en fonction des résultats des négociations en cours. Des nouvelles valeurs guides nécessiteront de réduire encore les émissions. Les politiques énergie/climat renforcées [18] [19], les nouveaux textes réglementaires comme le projet de révision de la directive 2010/75/UE Émissions industrielles [21], devraient permettre d'abaisser encore les émissions de polluants.

Références

- [1] Protocol to the 1979 Convention on long-range transboundary air pollution to abate acidification, eutrophication and ground-level ozone (2012), https://unece.org/sites/default/files/2021-10/1999.Multi_.F.Amended.2005.pdf
- [2] 1979 Convention on long-range transboundary air pollution, <https://unece.org/sites/default/files/2021-10/1999%20Multi.E.Amended.2005.pdf>
- [3] Directive 2284/2016 du Parlement européen et du Conseil du 14 décembre 2016 concernant la réduction des émissions nationales de certains polluants atmosphériques.
- [4] MTECT (2022), « Plan national de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) 2022-2025 », https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/23028_PREPA_BAT_web.pdf
- [5] Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/fr/ALL/?uri=CELEX%3A32008L0050>
- [6] Service des données et études statistiques (2023), « Bilan de la qualité de l'air extérieur en France en 2022 ».
- [7] Citepa (2023), « Rapport SECTEN 2023 », <https://www.citepa.org/fr/secten/>
- [8] Citepa (2023), « Rapport OMINEA2023 », <https://www.citepa.org/fr/ominea/>
- [9] Arrêté du 24 août 2011 relatif au système national d'inventaires d'émissions et de bilans dans l'atmosphère, <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000024556265/2012-08-10/>
- [10] OMS (2021), « Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air 2021 », <https://www.who.int/fr/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
- [11] Proposal for a revision of the Ambient Air Quality Directives, https://environment.ec.europa.eu/publications/revision-eu-ambient-air-quality-legislation_en
- [12] European Topic Center on Human Health and the Environment (2023), "Health risk assessment of air pollution: assessing the environmental burden of disease in Europe in 2021", Report 2023/7, ETC HE Report 2023/7, Eionet Portal (europa.eu).
- [13] European Commission. Reducing emissions of air pollutants, https://environment.ec.europa.eu/topics/air/reducing-emissions-air-pollutants_en
- [14] Code de l'Environnement, partie législative : Titre 1^{er} : Installations classées pour la protection de l'environnement (articles L.511-1 A à L.517-2) – Légifrance.
- [15] Directive 2010/75/UE du Parlement européen et du Conseil du 24 novembre 2010 relative aux émissions indus-

rielles. EUR-Lex - 02010L0075-20110106 - EN - EUR-Lex (europa.eu).

[16] Conseil de l'Europe (2023). Euro 7 : le Conseil et le Parlement parviennent à un accord provisoire sur les limites d'émissions des véhicules routiers. Communiqué de presse du 18 décembre 2023.

[17] Règlement (UE) 2016/1628 du Parlement européen et du Conseil du 14 septembre 2016 relatif aux exigences concernant les limites d'émission pour les gaz polluants et les particules polluantes et la réception par type pour les moteurs à combustion interne destinés aux engins mobiles non routiers, modifiant les règlements (UE) n°1024/2012 et (UE) n°167/2013 et modifiant et abrogeant la directive 97/68/CE.

[18] Ministère de la transition énergétique (2023), « Stratégie française énergie climat », Dossier de presse du 22 novembre 2023, <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-francaise-lenergie-et-climat>

[19] Signature des contrats de transition écologique de l'industrie, 22 novembre 2023.

[20] Citepa (2023), « Scénarios prospectifs d'émissions de polluants atmosphériques pour la France de 2020 à 2050 par intervalle de 5 ans selon un scénario AME et un scénario AMS, sur la base du scénario énergie climat AME 2023 Rapport hypothèses et résultats des scénarios AME et AMS », Citepa pour le MECT, https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Rapport-final-AME_AMS2023.pdf

[21] European Commission (2022), "Green deal: Modernising EU industrial emissions rules to steer industry in the long-term transition", https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_22_2238

Eau et industrie : quelles pistes pour améliorer la gestion de l'eau par l'industrie en France ?

Par Domitille LEGRAND

Responsable du Service économique régional de Bourgogne Franche-Comté et conseillère économie et innovation auprès du préfet de région

Comment dépasser le clivage entre la préservation de la qualité et de la disponibilité de la ressource en eau, et la (ré)industrialisation ? Des pistes peuvent être envisagées au niveau d'un territoire industriel. En construisant une collaboration étroite publique privée à cette échelle, les acteurs du développement économique peuvent construire une vision écosystémique de la gestion de l'eau industrielle et renforcer leur solidarité dans la gestion de cette ressource essentielle aux activités industrielles.

Un constat alarmant sur la disponibilité de la ressource en eau fait consensus. En France, des restrictions d'usage sont déclenchées par des tensions hydriques importantes : en 2020, plus de 67 % du territoire métropolitain était concerné¹. Parallèlement, la priorité politique est à la réindustrialisation, pour soutenir l'emploi, renforcer la souveraineté industrielle, réaliser la transition environnementale². L'eau est clé dans cette dynamique, car essentielle pour toute activité industrielle, dans les processus industriels, le lavage ou le refroidissement. La consommation en eau des industries inquiète, comme en témoignent les exemples de Bridor ou STMicroelectronics³. Comment alors dépasser le clivage entre la préservation de la qualité et de la disponibilité de la ressource en eau, et la (ré)industrialisation ?

¹ MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE (2020), « Eau et milieux aquatiques - Les chiffres clés - Édition 2020 », https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2021-02/datalab_80_chiffres_cles_eau_edition_2020_decembre2020v2.pdf

² Depuis 2021, le plan France 2030 dédie 54 Mds d'euros à la politique industrielle, qui prend alors une dimension inédite, et s'ajoute aux autres dispositifs et instruments qui poussent le développement de l'industrie : crédits d'impôts, loi d'accélération des implantations, etc. Le Gouvernement entend concilier réindustrialisation et transition écologique. Le projet « France Nation Verte » s'est notamment décliné en « loi industrie verte », appuyé par la planification écologique et le plan eau, qui prévoit l'inclusion d'un volet de France 2030 qui couvrira l'ensemble de la chaîne de valeur et des usages liés à cette ressource : l'appel à projet Innov'eau est notamment doté de 100 M€. Des outils de diagnostic et de sensibilisation sont aussi développés, comme Drias-Eau de Météo-France.

³ STMicroelectronics à Grenoble a prélevé 29 000 m³ par jour en 2023. *Les Échos* titraient en juillet 2023 « Les opposants [au projet d'extension de STMicroelectronics] dénoncent "l'accaparement" de l'eau par l'usine de semi-conducteurs ». De même, Bridor à Liffré a abandonné son projet d'usine à la suite d'oppositions face à une estimation de consommation trop importante d'eau.

Ce texte tente de brosser un portrait des problématiques actuelles rencontrées par l'industrie en matière de ressource en eau, sur le territoire français métropolitain. Il est réalisé à partir du mémoire du corps des mines de Jacques Bourgeaux et Domitille Legrand, « Comment réindustrialiser les territoires ? »

Des industriels conscients d'une raréfaction de l'eau, des prélèvements industriels globalement en diminution qui ne parviennent pas à suivre la rapidité de la baisse de la ressource renouvelable

La ressource en eau renouvelable a fortement diminué au cours des dernières décennies. Entre la période 1990-2001 et la période 2002-2018, elle a diminué de 14 %. Ceci est majoritairement dû à une augmentation de l'évapotranspiration, qui entre 1959 et 2018 a crû sur le territoire métropolitain de 29 % l'été à 100 % au printemps⁴. En comparaison, les prélèvements en eau tous usages confondus en 2020 sont en diminution de 10 % par rapport à 2002. La qualité de l'eau est aussi dégradée⁵.

⁴ MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE (2022), « Évolutions de la ressource en eau renouvelable en France métropolitaine de 1990 à 2018 », https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2022-07/datalab_102_ressources_en_eau_juin2022_v6.pdf

⁵ MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DE LA PRÉVENTION, « Qualité de l'eau potable », <https://sante.gouv.fr/sante-et-environnement/eaux/eau>

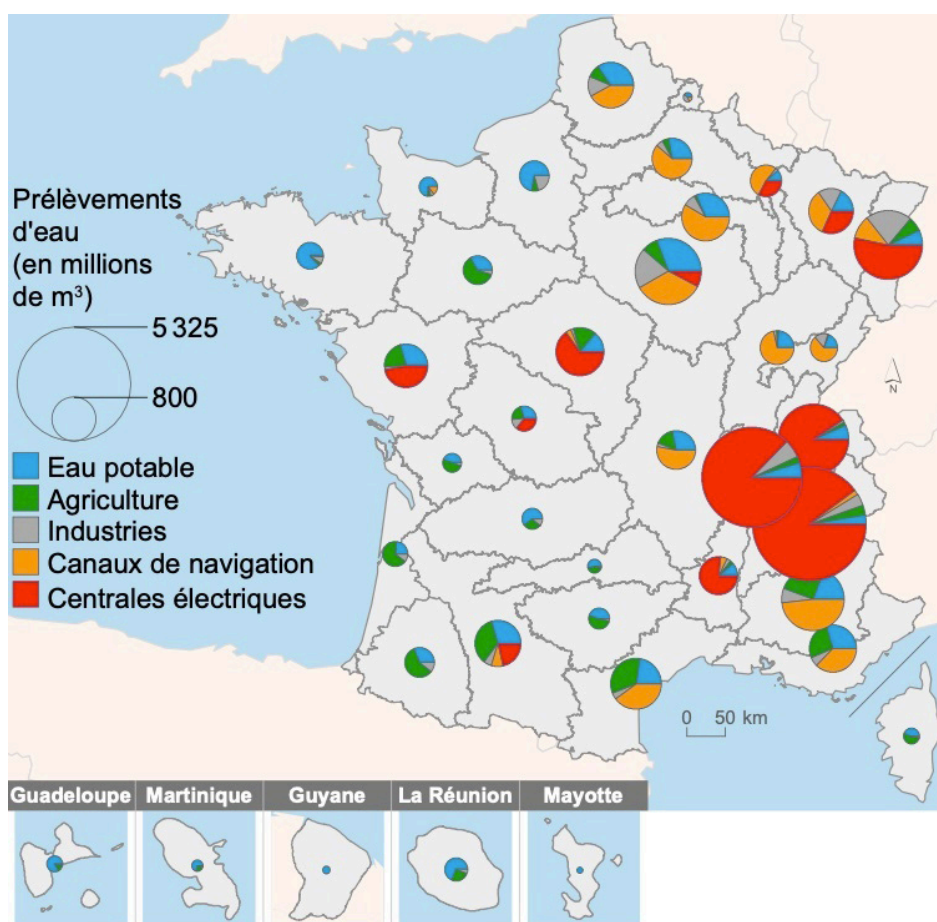


Figure 1 : Carte des prélèvements d'eau douce (Source : Office français de la biodiversité, Banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau ; traitements : SDES, 2023).

Une étude du BRGM, « Explore 2070 », montre une faible disponibilité de la ressource à horizon 2070⁶. Sur l'hydrologie de surface 60 % des prélèvements industriels en 2019⁷, les résultats obtenus indiquent sur la métropole une tendance à la baisse des précipitations en été, de 16 à 23 % ; une diminution globale des débits moyens annuels, de 10 à 40 % ; sur l'hydrologie souterraine, une baisse quasi générale de la piézométrie associée à une diminution de la recharge comprise entre 10 et 25 %, et une baisse du niveau moyen mensuel des nappes. Ainsi, les scénarii climatiques montrent suivant les bassins versants, une variation de la ressource comprise entre 0 et 50 %.

L'industrie hors centrales électriques est aujourd'hui responsable de 4 % du total des prélèvements, dont 90 % est restitué au milieu naturel selon le centre d'in-

formation sur l'eau⁸. Ceux-ci ont diminué de 1,8 % par an en moyenne entre 1995 et 2020⁹. L'objectif du plan eau est de diminuer de 10 % les prélèvements à horizon 2030, soit 1,5 % de diminution annuelle.

Cet objectif, qui paraît peu ambitieux en comparaison de la progression passée, l'est en réalité.

Cette diminution des prélèvements s'explique en effet en partie par la déprise industrielle. La part de la richesse française créée par l'industrie est en effet passée de 25 % en 1995 à 14 % en 2019. Réaliser de nouveaux projets industriels, réindustrialiser revient à augmenter la consommation de l'eau par l'industrie.

L'amélioration des procédés et l'innovation technologique a aussi permis cette diminution. Par exemple, sur l'ensemble des sites du groupe Cristal Union, depuis la mise en place d'osmoseurs en 2009, le groupe a réduit

⁶ Le scénario d'émission de gaz à effet de serre retenu pour cette étude est le A1B du GIEC, médian qui conduit à une augmentation de la température moyenne mondiale de 2,8°C en 2100 par rapport à 2000.

⁷ COMMISSARIAT GÉNÉRAL AU DÉVELOPPEMENT DURABLE (2023), Les prélèvements d'eau douce par usages et par ressources - notre-environnement, consulté en décembre 2023, <https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/economie/l-utilisation-des-ressources-naturelles-ressources/article/les-prelevements-d-eau-douce-par-usages-et-par-ressources>

⁸ LES INDUSTRIELS ET L'EAU : des actions concrètes pour préserver la ressource (ofb.fr), [https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/documentation/Pollution/2019%2005%20RAPPORT%20C3%A9tude%20FENARIVE%20\(3\).pdf](https://professionnels.ofb.fr/sites/default/files/pdf/documentation/Pollution/2019%2005%20RAPPORT%20C3%A9tude%20FENARIVE%20(3).pdf)

⁹ MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE (2023), « Les prélèvements d'eau douce en France : les grands usages en 2013 et leur évolution depuis 20 ans », Données et études statistiques, <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/les-prelevements-deau-douce-en-france-les-grands-usages-en-2013-et-leur-evolution-depuis-20-ans>

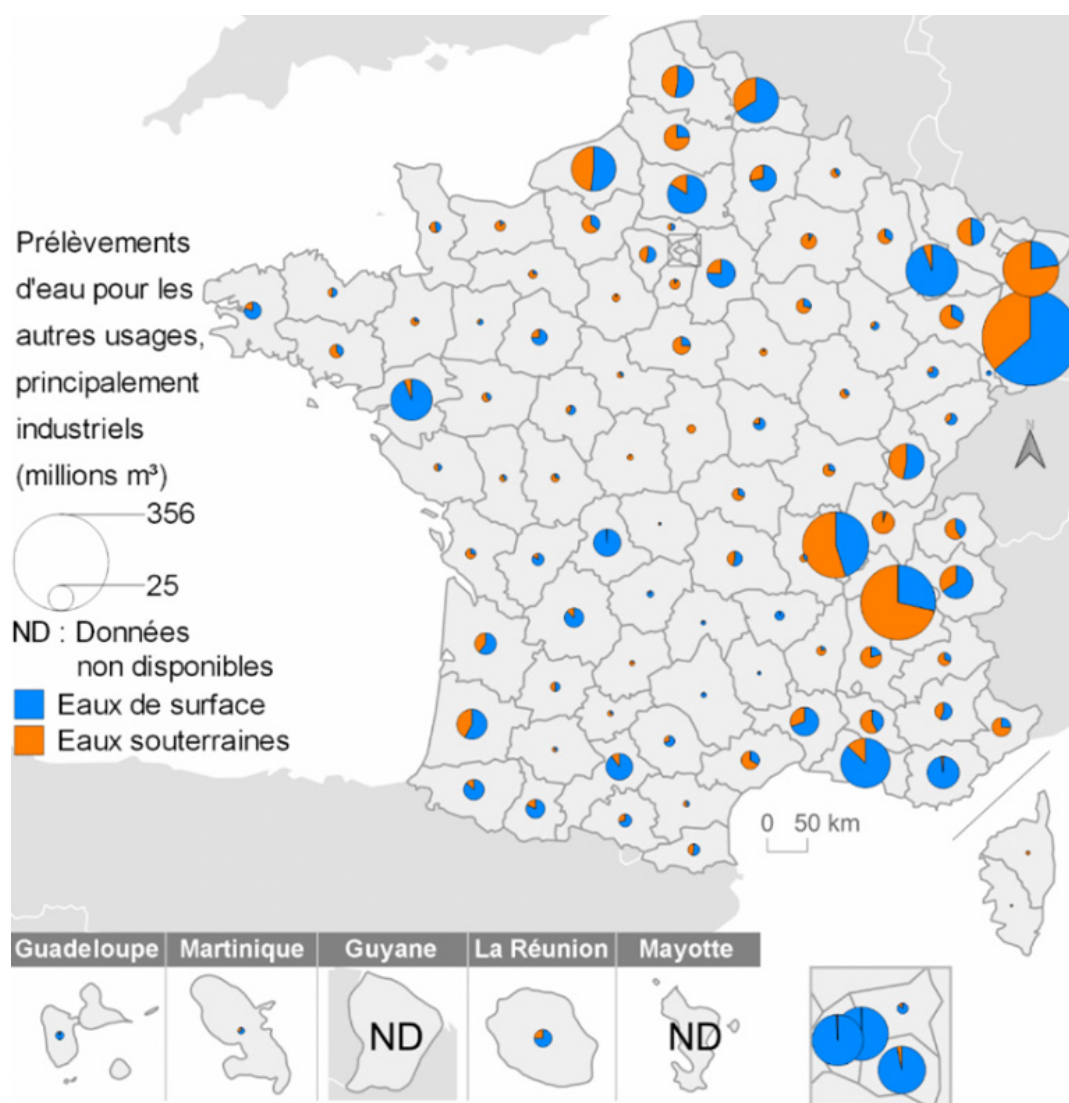


Figure 2 : Carte des prélèvements d'eau douce pour les usages principalement industriels par département, en 2019 (Source : Office français de la biodiversité, Banque nationale des prélèvements quantitatifs en eau ; traitements : SDES, 2020).

ses prélèvements d'eau du milieu naturel de près de 57 %¹⁰. Certains industriels sont déjà à des niveaux d'efficacité de procédés qui ne leur permettent pas d'aller au-delà des efforts déjà consentis, ou alors, à un coût important pour améliorer la consommation par unité produite. Certains comme Michelin ou Solvay prennent d'ailleurs en compte un prix interne de l'eau fonction des tensions hydriques locales, de la compétition d'usage, des sécheresses pour orienter leurs décisions d'investissements.

Cette diminution des prélèvements industriels au global cache par ailleurs des inégalités géographiques importantes, en termes de volumes et d'évolutions. Par exemple, les prélèvements sont en augmentation à Grenoble : 35 Mm³ en 2021 vs. 6 Mm³ en 2018, diminuent à Dole : 1,9 Mm³ en 2021 vs. 3 Mm³ en 2018¹¹.

Face à ce constat, comment la puissance publique s'approprie-t-elle la problématique des prélèvements en eau de l'industrie ?

¹⁰ TECHNIQUES DE L'INGÉNIEUR (2023), « Valorisation et réutilisation de l'eau : l'exemple de Cristal Union à Bazancourt », L'actu de l'innovation, <https://www.techniques-ingenieur.fr/actualite/articles/valorisation-et-reutilisation-de-leau-lexemple-de-cristal-union-123463/>

¹¹ BNPE, Accès aux données (eaufrance.fr), <https://bnpe.eaufrance.fr/?q=acces-donnees/codeCommune/38185/annee/2021/usage/IND/etCommunesAdjacentes>

Une gestion efficace par la puissance publique de la ressource en eau disponible pour l'industrie, mais qui ne prend pas en compte les eaux industrielles usées, délaissant ainsi une source supplémentaire, un levier important de réduction des prélèvements

La puissance publique a une visibilité de longue date sur la ressource en eau disponible, mais ne compte pas l'eau utilisée par l'industrie comme s'ajoutant au total de la ressource disponible pour les industries

Depuis la loi de 1964, la collecte des données sur les prélèvements en eau est primordiale. Ces dossiers sont instruits, sous l'autorité des préfets, par les services de police de l'eau. Par ailleurs, la réglementation s'impose aux industriels depuis de nombreuses années, pour préserver la disponibilité et la qualité de l'eau. Tous les prélèvements en eau sont soumis à déclaration ou demande d'autorisation en fonction des volumes prélevés sur la ressource, c'est *a fortiori* le cas des ICPE¹², qui doivent déclarer chaque mois leurs prélèvements d'eau. En 2023, en situation de crise, une réduction du prélèvement d'eau de 25 % peut être imposée à ces ICPE, en fonction de la situation déclarée par arrêté préfectoral.

Ainsi, la puissance publique a connaissance des volumes prélevés et des usages – qui sont accessibles publiquement sur le portail BNPE¹³ intégré au Système d'Information sur l'Eau (SIE), et dispose de leviers pour restreindre ces volumes en cas de sécheresse, notamment en ce qui concerne les industriels.

Toutefois, en sortie de l'usine, si les eaux usées industrielles font l'objet de qualité à respecter pour être rejetées et sont donc traitées par des stations d'épuration, il n'existe pas de base de données partagée qui recense la qualité et quantité des eaux usées¹⁴.

La plupart du temps, aucun acteur n'est identifié comme ayant pour rôle de promouvoir les synergies industrielles, et peu d'outils existent pour les identifier

Les ressources en eau font l'objet d'une gestion par bassin hydrographique. La stratégie des bassins se décline dans les SDAGE¹⁵, préparés et validés par les acteurs de l'eau, dans le cadre des grandes orientations des politiques nationale et européenne de l'eau, au sein des Comités de bassin où s'exercent le débat et la concertation locale (composés de représentants de l'État, des collectivités territoriales et des usagers). Les agences de l'eau ont une mission de collecte de redevances sur les usages de l'eau et de financement des projets favorisant la préservation et la reconquête du bon état de la ressource. Elles peuvent avoir un rôle de conseil pour l'identification et la mise en œuvre de synergies, mais ne sont pas clairement identifiées

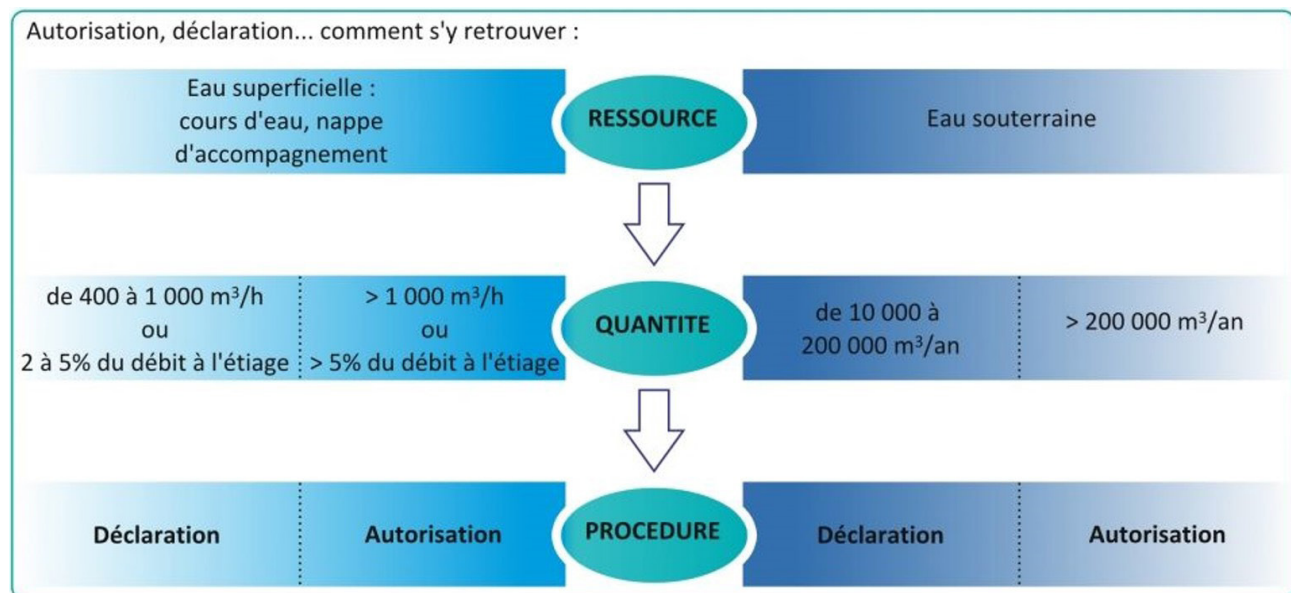


Figure 3 : Seuils de prélèvements, déclaration et autorisation (Source : La réglementation sur les prélèvements, eyrieux-clair.fr).

¹³ BANQUE NATIONALE DES PRÉLÈVEMENTS QUANTITATIFS EN EAU, Présentation (eaufrance.fr), <https://bnpe.eaufrance.fr/presentation>

¹⁴ Par ailleurs, le décret n°2023-835 du 29 août 2023 permet la réutilisation des eaux traitées pour un nombre restreint d'applications, il reste du chemin à parcourir pour augmenter l'actuel faible taux de réutilisation (REUT) des eaux usées, de 1 à 10 % d'ici 2030 selon le Plan eau, et notamment permettre plus largement de la réutilisation industrielle.

¹⁵ Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux.

¹² Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.

comme telles. Le cadre juridique sur la gestion de l'eau industrielle n'est pas clair, et de nombreuses collectivités habilitées à ne traiter que l'eau potable ne prennent pas en charge sa gestion.

Ainsi, l'organisation de la gestion de l'eau est individuelle, au cas par cas en fonction des industries, et n'inclut pas de dispositions collectives de gestion¹⁶.

Quelles pistes pour une gestion écosystémique de l'eau industrielle, prenant en compte l'eau disponible naturellement, mais aussi l'eau issue d'une utilisation par l'industrie ?

Pistes de réflexions pour une meilleure gestion de l'eau industrielle

Au niveau national lorsque l'on considère individuellement les acteurs économiques (puissance publique, citoyens, entreprises), les actions proposées en matière d'industrie et de préservation de la ressource en eau semblent logiques et articulées. Au niveau local, cela pose des problèmes dans de nombreuses situations. C'est ce qui implique un traitement de la question au niveau territorial, et concerté public et privé. La simple accessibilité de l'eau de qualité industrielle devient un atout territorial d'implantation. La question à se poser n'est alors pas celle des techniques individuelles industrielles d'économie d'eau ou de dépollution, mais plutôt une question collective de transformation de nos modes de gestions de cette ressource. De quelles industries veut-on réellement, comment assurer la fédération des acteurs autour d'une problématique commune, pouvant même aboutir à un « péril commun » ?

Fédérer les acteurs pour une meilleure gestion : les éco parcs et outils de synergies industrielles

L'écologie industrielle et territoriale consiste à mettre en synergie et à mutualiser entre plusieurs acteurs les flux de matières, d'énergie, d'eau, les infrastructures, les biens ou encore les services afin d'optimiser l'utilisation de l'ensemble des ressources sur un territoire. L'eau est un cas d'application. Parmi les différentes couleurs de l'eau, la question est de savoir quelle eau il s'agit « d'industrialiser », en fonction de sa composition physico-chimique, de sa température, de sa qualité... L'eau peut devenir une commodité avec toutes ses particularités, et ainsi s'échanger entre industriels localement, se partager, être sujette à des projets communs, comme c'est déjà le cas sur de nombreux éco parcs. L'eau sur des écosystèmes industriels permet de gagner en résilience industrielle territoriale dès lors qu'elle arrive sur un mode de gestion partagée. Cela nécessiterait d'assouplir les conditions d'application du décret n°2023-835 du 29 août 2023, pour l'instant restreintes à un faible nombre d'usages (irrigation de cultures, espaces verts).

¹⁶ Hors plateformes industrielles, pour lesquelles l'article R515-121 encadre le traitement d'effluents lorsqu'il est inscrit au contrat de plateforme.

Ces outils et méthodes de gestion sont donc bien adaptés à la prospective, à la détection de vulnérabilités dans un écosystème industriel. Mais quels outils de gestion commune existent-ils lorsque l'on est en situation de pénurie d'eau ?

Vers un modèle de gestion industrielle solidaire en cas de pénurie ?

La gestion collective des ressources industrielles, dont l'eau, peut être opérée *via* des mécanismes de solidarité financière innovants.

Une idée originale du Centre de Gestion Scientifique (CGS)¹⁷ de Mines Paris consiste à mettre en avant l'application du principe d'avaries communes pour concilier action climatique et justice sociale. Dans le cas de la déplétion d'eau utilisée par l'industrie, cette idée apporte une piste originale pour repenser la juste valorisation des ressources et la solidarité des acteurs usagers de cette ressource.

Le principe des avaries communes repose sur le concept de solidarité entre les parties impliquées dans un voyage maritime : marchands, assureurs, etc. Selon ce principe, si une mesure comme le jet de marchandises est prise délibérément pour éviter un péril commun (le naufrage du bateau), ces dommages et pertes doivent être partagés entre toutes les parties concernées. La contribution de chaque partie impliquée est déterminée en fonction de la valeur respective qu'il a pu sauver. En effet, ce que chacun a pu sauver est un gain particulier obtenu grâce à l'effort imposé à d'autres. Le principe des avaries communes a pour objectif d'encourager la coopération entre les parties impliquées pour minimiser les pertes et les dommages en cas de situation d'urgence, tout en répartissant équitablement les charges financières associées.

Ce concept se distingue du principe pollueur-payeur. En effet, suivant ce dernier, celui qui pollue le plus paie le plus. Sur les zones à faible émission (ZFE) comme étudié par Charlotte Demonsant, le principe du pollueur-payeur pose la question de l'équité sociale, puisque les plus pauvres sont moins en capacité de changer de voiture pour un nouveau modèle électrique que les riches, et seront donc amenés à payer pour entrer dans les ZFE en voiture. Efficacité et équité sont donc couplées dans ce modèle.

Illustrons le principe des avaries communes sur l'eau très concrètement. Trois industriels (A, B et C) sont consommateurs, avec des valeurs d'usage de l'eau A1, B1, C1. Le syndicat de l'eau local fait face à une sécheresse et se doit de couper l'eau pour l'un des trois. Cela peut être considéré comme un péril commun : celui que tous les industriels manquent sur le long terme d'eau si aucune action n'est prise. Le syndicat (capitaine qui a la compétence « technique » de décider de la meilleure solution) décide de couper A. B et C ont sauvé leur production. Ils contribueront donc à la perte de A selon le

¹⁷ DEMONSANT C., LEVILLAIN K. & SEGRESTIN B. (2021), « Les avaries communes : étude d'une alternative plus équitable à la taxe carbone », RIODD, septembre 2021, Montpellier, <https://hal-mines-paristech.archives-ouvertes.fr/hal-03406020>

Un exemple d'écoparc industriel abouti : le bassin de Dunkerque

L'écosystème industriel de Dunkerque présente un grand nombre d'établissements spécialisés dans la sidérurgie, la métallurgie, l'énergie et les activités de maintenance et de logistique. Ils sont structurés autour de grandes unités de production. Parmi celles-ci, certaines sont de très gros consommateurs d'eau. Dès 1972, un réseau d'eau industrielle a ainsi été mis en place pour préserver les ressources en poursuivant le développement économique. Aujourd'hui, le réseau d'eau industrielle compte 150 km de canalisations. 14 entreprises sont desservies, pour un volume total de 22 Mm³. L'hydrosystème est modélisé numériquement, et il est possible de connaître les volumes pouvant être prélevés sans impact sur la soutenabilité du système. Le Syndicat de gestion de l'Eau du Dunkerquois (SED) estime que les pressions sur l'eau à horizon 2070 seront très importantes : les débits moyens des cours d'eau seront inférieurs de 40 % à la moyenne actuelle, et les débits d'étiage de 60 % par rapport à leur moyenne actuelle. Le SED prend en charge la responsabilité de la gestion de l'eau industrielle, ce que de nombreuses collectivités hésitent à faire car la réglementation à date n'encadre pas clairement la compétence de gestion de cette catégorie d'eau.

En se saisissant de cette responsabilité, le SED a identifié des économies possibles d'eau pour les sites industriels déjà implantés et pour les projets d'implantation. Le SED s'intéresse à tous les types d'eau et élargit en ce sens le spectre d'analyse. L'eau industrielle n'est en effet pas que l'eau qui vient du ruissellement du bassin versant, mais c'est aussi l'eau des stations d'épuration des eaux usées (STEP), l'eau de mer, l'eau de rejets de certains industriels, l'eau de pluie, etc. Ainsi, pour la gigafactory de batteries, Verkor et le SED ont étudié la possibilité de l'installation de tours aéroréfrigérantes en circuit fermé, l'utilisation des eaux pluviales ou encore la réutilisation de l'eau rejetée par un site industriel agroalimentaire à proximité immédiate du site d'implantation, divisant par plus de 10 les prélèvements initialement envisagés.

Le concept a été davantage approfondi, en développant un outil pour visualiser ces synergies : la toile industrielle. Celle-ci consiste à représenter les industriels du bassin, leurs intrants et produits, et l'interaction de l'écosystème industriel avec l'extérieur. Ainsi, sur un schéma, toutes les interactions sont matérialisées, avec les volumes d'eau échangés, ce qui permet d'identifier des synergies ou des projets potentiellement communs à plusieurs industriels. Par exemple, cette toile a permis d'identifier quelques centaines de projets et synergies possibles en cours de réalisation ou d'étude. C'est le fruit d'un travail collectif public-privé étroit. Quelques projets détectés incluent le lancement d'une étude d'opportunité et de faisabilité REUT portée par la Communauté Urbaine de Dunkerque pour la réutilisation des rejets de STEP en eau industrielle, la réutilisation d'une eau d'un industriel en vue de la recycler et la réinjecter dans le process interne de l'entreprise ; valorisation de la chaleur fatale en alimentant un procédé de production d'eau osmosée par de l'eau de process en substitution de l'eau industrielle, etc. L'utilisation de cet outil, très puissant, nécessite néanmoins un bon partage de la donnée industrielle et une collecte avec un degré de précision adéquat.

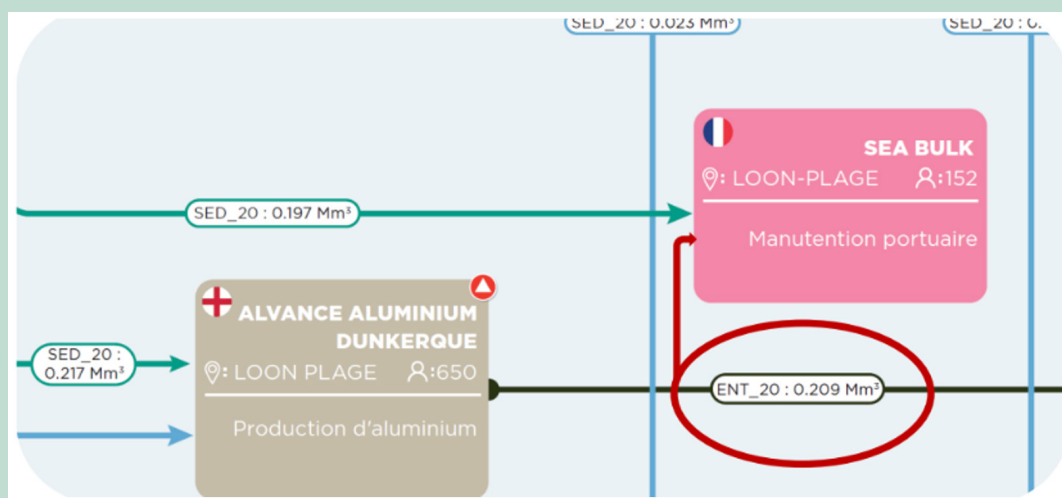


Figure 4 : Extrait de la toile industrielle de l'eau : les eaux rejetées sont en noir, usées en vert, eaux de surface en bleu.

principe de solidarité des avaries communes. Le répartiteur établit le taux d'avaries, le total des pertes (A1) sur la totalité en jeu (A1+B1+C1). Le taux d'avaries est multiplié par l'intérêt de l'industriel à utiliser l'eau *a priori*. Les contributions dans notre cas sont donc :

$$A : A1 * A1 / (A1+B1+C1)$$

$$B : B1 * A1 * / (A1+B1+C1)$$

$$C : C1 * A1 / (A1+B1+C1)$$

Dans le cas de la règle des avaries, la règle de distribution des pertes mises en commun au prorata des richesses à l'arrivée (les productions permises) a pour effet une égalisation des efforts individuels (contribution/richeesse).

Dans le cas du pollueur payeur, la règle de contribution n'existe pas et l'action de couper l'eau n'aurait pas été prise avec autant de latitude de liberté par le capitaine. Elle aurait été motivée par d'autres critères que l'efficacité et l'adéquation technique de la solution.

L'introduction de ce modèle des avaries communes soulève de nombreuses questions : Comment évaluer les pertes ? Que compter dans les pertes dans le cas de la réduction de la pression sur les ressources locales d'un territoire ? Comment qualifier les richesses à l'arrivée ? Quelle figure pour le rôle technico-organisationnel du capitaine ? Quelles influences de la règle de redistribution *ex ante* sur l'action collective ? Si les conditions de mise en œuvre opérationnelle restent à étudier, la métaphore de la règle des avaries communes paraît prometteuse pour poser les bases d'une théorisation de l'action solidarisante face à un péril et apparaît comme une voie encore non explorée dans les mécanismes actuels pour rétablir une forme de coopération dans l'effort de réduction des pressions sur les ressources locales.

Conclusion

Même si bien articulées au niveau national, les politiques de réindustrialisation et de préservation de la ressource en eau n'apportent aujourd'hui pas de réponse à hauteur de la situation : de rapides baisse de la disponibilité et dégradation de la ressource en eau. Pour davantage d'efficacité, des pistes peuvent être envisagées notamment sur le plan local pour renforcer la solidarité des acteurs et la vision écosystémique de la gestion de l'eau industrielle : construire une vision globale d'échanges d'eaux dans les bassins industriels, intégrer tous types d'eau dans la réflexion, développer des outils d'identification de synergies, et encourager les collectivités à se saisir du sujet de l'eau industrielle.

Principes fondamentaux et axes stratégiques de la politique de protection des sols et des sous-sols en France

Par Guillaume BAILLY

Chef du bureau du Sol et du Sous-sol à la direction générale
de la Prévention des risques (DGPR)

L'action de l'État en matière de protection des sols et des sous-sols s'est articulée autour de trois principes généraux indissociables : la prévention et remédiation des pollutions, l'étude au cas par cas de la situation de chaque site prenant en compte les vecteurs et les cibles d'exposition, et l'évaluation du risque fondée sur les usages du site.

Dernièrement, la loi climat et résilience a consacré ces principes en introduisant dans le code de l'environnement un nouveau chapitre unique dédié aux « Principes généraux de la protection des sols et des sous-sols ».

Conservation de la mémoire : un corollaire indispensable à l'approche de gestion des risques selon les usages

La mise en œuvre efficace d'une politique de gestion des sites pollués repose sur une connaissance des pollutions historiques et des sites susceptibles d'être pollués. À cette fin, un long travail de recensement et de connaissance des sites, dont les premières démarches remontent au début des années 1990, a été entrepris. Pendant plus d'une dizaine d'années, les sites pollués ont été recensés au travers de deux bases de données, la base dite « Basol », qui répertorie des sites faisant l'objet de mesures de gestion pour prévenir les risques pour les populations riveraines et les atteintes à l'environnement et, la base « Basias », qui recense les sites qui ont accueilli par le passé une activité industrielle ou de service.

Cette démarche d'inventaire des sites pollués ou susceptibles d'être pollués a été largement inspirée par la circulaire dite « Barnier », de décembre 1993, relative à la politique de réhabilitation et de traitement des sites et sols pollués, qui constitue la genèse d'une politique de réhabilitation et de traitement des sites et sols pollués.

Dans le prolongement, la loi Alur de 2014 a créé le mécanisme des secteurs d'information sur les sols

(SIS) là où l'État a la connaissance d'une pollution avérée. Au-delà de l'amélioration et du partage de la connaissance de sites pollués, ce mécanisme novateur a surtout eu le mérite de permettre de gérer « à façon » les pollutions en cas de changement d'usage d'une installation classée régulièrement réhabilitée ou de projet d'aménagement sur les parcelles recensées en tant que SIS. Le lien entre pollution des sols et urbanisme était créé.

La construction d'une méthodologie nationale de gestion des sites et sols pollués au service de cette politique

La politique de gestion des sites et de traitement des sites s'est infléchie à la fin des années 1990 vers une gestion des risques selon les usages. La circulaire du 10 décembre 1999 a introduit des outils méthodologiques appropriés à la mise en œuvre de cette politique que sont les diagnostics approfondis et l'évaluation détaillée des risques (EDR). Cette approche a bousculé les pratiques antérieures, qui étaient avant tout fondées sur le niveau de pollution intrinsèque contenu dans les sols, avec des valeurs guides qui permettaient

d'évaluer l'impact de ces pollutions sur l'environnement selon des usages sensibles ou non sensibles.

Au terme d'un retour d'expérience mené en 2005, le ministère de l'Écologie a élaboré une méthodologie intégrée de gestion des sites et sols pollués, qui affirme un certain nombre de principes de gestion : justification des choix techniques retenus sur des critères explicites, argumentés et transparents et nécessité de rechercher et de mieux traiter les sources de pollutions. Elle confirme également la priorité à l'élimination des sources de pollution. Quand la suppression totale des sources de pollution n'est pas possible, une démarche « coûts/avantages » ainsi qu'une revue des meilleures techniques disponibles à des coûts économiquement acceptables doivent être menées, avant d'en choisir une qui permet dans la durée de garantir que les impacts provenant des sources résiduelles sont maîtrisés et acceptables, tant pour les populations que pour l'environnement.

Sans maîtrise des sources de pollution, il est techniquement inenvisageable de chercher à maîtriser correctement les impacts.

La note ministérielle du 08 février 2001¹ consacre cette méthodologie avec l'introduction de deux outils :

- La démarche d'interprétation de l'état des milieux (IEM) : comparable à une photographie de l'état des milieux et des usages, il s'agit de s'assurer que l'état des milieux est compatible avec des usages présents déjà fixés. La démarche d'interprétation de l'état des milieux permet de différencier les situations qui permettent une libre jouissance des milieux, de celles qui sont susceptibles de poser un problème. Elle peut parfaitement être mise en œuvre également pour apprécier des impacts hors site d'une installation classée en fonctionnement.
- Le plan de gestion : il intervient lorsque la situation permet d'agir aussi bien sur l'état du site (par des aménagements ou des mesures de dépollution) que sur les usages, qui peuvent être choisis ou adaptés. Il peut être utilisé pour des projets de changement d'usage sur des sites pollués (liés à une installation classée ou non). Il est également requis pour une installation classée relevant du régime de l'autorisation ou de l'enregistrement lors de la cessation d'activité et de la remise en état, pour un usage comparable ou non à celui de la dernière période d'activité.

Selon les cas, ces deux démarches peuvent être mises en œuvre indépendamment l'une de l'autre, simultanément ou successivement. Par exemple, à l'issue d'une démarche d'interprétation de l'état des milieux, et dès lors que des actions simples de gestion ne sont pas suffisantes, un plan de gestion peut être nécessaire pour rétablir la compatibilité entre l'état des milieux et les usages constatés.

¹ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?article19381>

Il est apparu, simultanément à la publication de cette méthodologie de 2007, un besoin d'élever et d'homogénéiser la qualité des prestations délivrées par les bureaux d'études spécialisés, en s'appuyant sur une certification de service. Ainsi sont nés en 2011 la norme de services NF X31-620 et un référentiel de certification dans le domaine des sites et sols pollués.

En faisant écho à l'une des recommandations de commission sénatoriale de 2010, le décret du 19 août 2021 pris en application de la loi Asap du 7 décembre 2020 a permis l'inscription réglementaire de principes généraux structurant de la méthodologie nationale sur les sites et les sols pollués.

Le projet de directive sur la surveillance et la résilience des sols, en cours de discussion, dont l'ambition est de rendre tous les sols de l'Union en « bonne santé » d'ici 2050 consacre un chapitre aux sites pollués qui s'appuie sur une méthodologie d'évaluation des risques dont l'approche est globalement cohérente avec la méthodologie de 2007, révisée en 2017.

La prévention des pollutions futures doit demeurer la pièce essentielle du dispositif

Gérer la pollution des sols, ce n'est pas uniquement traiter l'héritage du passé, c'est également gérer correctement les émissions et les déchets des activités actuelles. C'est en maîtrisant les émissions de substances potentiellement polluantes et en améliorant en continu tant la gestion des risques de pollution que la surveillance des émissions et des milieux que la pollution des sols peut être évitée, ou réduite à des niveaux ne portant pas atteinte aux différents enjeux.

Les dispositions réglementaires prises en application de la législation des installations classées permettent, lorsqu'elles sont correctement respectées, de prévenir l'apparition de telles pollutions. L'arrêté du 1^{er} mars 1993, dit arrêté Barthélemy, précisait d'ailleurs : « L'exploitant doit prendre toutes les dispositions nécessaires dans la conception, la construction et l'exploitation des installations pour limiter les risques de pollution accidentelle de l'air, des eaux ou des sols ».

Sans prétendre aucunement à l'exhaustivité, certaines techniques méritent d'être mentionnées : la mise en place de dispositifs de rétention et de confinement, l'obligation de cuves à double enveloppe pour certaines cuves enterrées, des dispositions relatives à l'épandage et à la gestion des déchets, etc. En étant par essence un milieu intermédiaire, la qualité d'un sol dépend principalement d'autres milieux, comme l'air et l'eau, qui l'influencent grandement. Aussi tout le corpus réglementaire sur la mise en œuvre des meilleures techniques à des coûts économiquement acceptables permet sans conteste de préserver et de maintenir en bon état le sol. Dans la transposition en droit national de la directive IED (*Industrial Emissions Directive*), les exploitants soumis à celle-ci sont, en cas de menace imminente, dans l'obligation de prendre toutes les

mesures de prévention afin d'empêcher la réalisation ou de limiter les effets d'un dommage. De même, dans la modernisation du code minier intervenue en 2021 avec la loi Climat et Résilience, les travaux miniers relevant du régime légal des mines sont aussi visés par ce régime de réparation du dommage, y compris en l'absence de faute ou de négligence.

Malgré toutes les dispositions pouvant être prises en matière de prévention, force est de constater que, trop souvent par le passé, la gestion des sites pollués n'a commencé que lors de la cessation d'activité de l'industriel. Le cas de l'usine Métaleurop à Noyelles Godault, une usine de récupération de métaux par un procédé thermique de première fusion, est un exemple symptomatique d'une pollution des sols par un transfert de pollution des sols *via* l'air ambiant. Malgré une action de l'inspection des installations classées pour réduire drastiquement les rejets atmosphériques annuels, de 350 tonnes en 1970 à une quinzaine de tonnes en 2002, l'accumulation dans les sols du plomb déjà rejeté reste à l'origine d'impacts non négligeables, dont la mémoire et les restrictions afférentes ont été intégrées dans un PIG (projet d'intérêt général).

La surveillance des milieux est un deuxième pilier des actions de gestion de la pollution des sols. C'est assez logiquement qu'un accent sur la surveillance des eaux souterraines a été mis en place, dans les années 1990-2000, pour certains types d'installations classées : elle permet, d'une part, de détecter, même à retardement et à des coûts acceptables, des pollutions de sols qui migrent vers les eaux souterraines et, d'autre part, d'identifier des migrations de pollution de nappe à l'extérieur des sites industriels.

Un rapport sur l'état des sols et une obligation de surveillance, quinquennale pour les eaux souterraines et décennale pour les sols, sont imposés pour les installations soumises à la directive IED. Devrait-on élargir ce type de surveillance à tout ou partie des sites relevant du régime de l'autorisation mais non soumis à la directive IED ? La réponse n'est évidemment pas univoque, dans la mesure où un réseau piézométrique non correctement entretenu et surtout incorrectement rebouché est un vecteur possible de pollution des nappes et, par ricochet, des sols. Au-delà du périmètre sur lequel elle s'exerce, une certitude demeure : la surveillance de la matrice « sol » n'est pas chose aisée pour assurer un niveau de représentativité satisfaisant.

Elle peut mobiliser, bien entendu, des mesures de concentrations de polluants dans la matrice, mais aussi des mesures de gaz des sols dans des piézaires, comme par exemple des composés organiques volatils, voire directement des analyses d'air dans des bâtiments. D'autres techniques non invasives sont parfois mises à contribution pour localiser les pollutions sources, comme les techniques géophysiques, et celles encore au stade de développement, comme le phytoscreening.

Le corpus législatif et réglementaire de la réhabilitation des sites industriels : « accélération, sécurité, proportionnalité »

Le n°91 des *Annales des Mines - Responsabilité & Environnement* 2018/3² identifiait les anciens sites industriels comme une ressource foncière à venir, dans le cadre d'une politique visant au « zéro artificialisation nette ». Cela justifie l'attention portée aux réhabilitations d'anciens sites industriels et à leur célérité. Pour autant, les terrains ainsi libérés doivent être compatibles avec les usages pressentis.

La mise en place des outils nécessaires à une mobilisation sûre et efficace de ce foncier a été progressive : les premières dispositions ont été introduites dans l'article 34-1 du décret du 21 septembre 1977 pris en application de la loi de 1976 relative aux installations classées, qui ont détaillé les premières bases de la réhabilitation : le décret prévoyait que le site soit placé dans un « état tel qu'il ne s'y manifeste aucun des dangers ou inconvénients mentionnés à l'article 1^{er} de la loi du 19 juillet 1976 susvisée ». Dans les années 1980-2000, une première vague de jurisprudences a précisé l'étendue de cette obligation et le rôle des exploitants successifs.

Par la suite, la loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages a modifié les conditions de cessation d'activité des installations classées, en précisant notamment les modalités de détermination de l'usage futur du site lorsque ce dernier n'était pas fixé dans l'arrêté d'autorisation : la loi et ses textes d'application inscrivent le principe d'une concertation avec le maire et le propriétaire du terrain pour la définition de l'usage futur du site. Ils détaillent, pour la première fois, les mesures de mise en sécurité du site et les principes de la réhabilitation en cas de libération de terrain qui, pour les installations soumises à autorisation (et aujourd'hui pour l'enregistrement), s'appuie sur la base d'un projet de réhabilitation soumis à l'approbation préalable de l'administration. La cessation d'activité des installations classées relevant du régime déclaratif est plus sommaire, en ce sens que la transmission d'un mémoire de réhabilitation n'est pas rendue obligatoire. L'exploitant informe simplement le préfet lorsque ces travaux sont finalisés pour permettre un usage identique à celui de la période d'exploitation du site. Les outils de cessation d'activité d'une ICPE sont maintenant définis.

Plus tard, au-delà des secteurs d'information sur les sols, la loi Alur de 2004 a instauré le concept de « tiers demandeur ». Lors de la mise à l'arrêté définitif d'une installation classée, un tiers demandeur peut se substituer à l'exploitant. Il réalise les travaux de réhabilitation en fonction de l'usage qu'il souhaite pour le

² <https://www.cairn.info/revue-responsabilite-et-environnement.htm>

terrain d'assiette. Ce dispositif a été conçu pour réduire les délais de réhabilitation dans le cadre de projets d'aménagement, en évitant deux étapes successives de réhabilitation. La loi industrie verte du 24 octobre 2023 est venue corriger deux verrous principaux de ce système pour le rendre plus attractif : dorénavant, l'étape de mise en sécurité pourra être prise en compte par le tiers demandeur et pas seulement la réhabilitation. D'autre part, en transférant à un tiers demandeur ses obligations, l'ancien exploitant ne sera redevable que de la mise en sécurité du site, en cas de défaillance du tiers demandeur et de l'impossibilité de mobiliser les garanties financières adossées à ce dispositif. Les outils d'une réutilisation accélérée des sites que des ICPE libèrent sont maintenant en place.

Commencent ensuite les dispositifs d'optimisation des outils : afin d'élever la qualité des dossiers de cessation et en faciliter l'instruction par les direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement (DREAL), la loi de simplification de l'action publique du 7 décembre 2020, dite loi Asap, a prévu que l'exploitant doit faire attester par une entreprise certifiée, ou disposant de compétences équivalentes, que certaines des étapes de sa cessation ont été menées conformément au code de l'environnement. Les attestations sont transmises aux services de l'État avec une règle de silence vaut accord (SVA). Sur proposition de l'inspection des installations classées, le préfet peut rompre ce silence et conserve donc pleinement ses prérogatives et, en particulier, son pouvoir de police administrative, et ce à chaque étape de la cessation d'activité mais aussi en période de post-cessation au titre de la police résiduelle.

Ces obligations sont applicables pour les cessations notifiées à compter du 1^{er} juin 2022, pour les ICPE soumises à autorisation et à enregistrement ainsi que celles soumises à déclaration dont les rubriques sont mentionnées à l'article R. 512-66-3 du code de l'environnement. La certification des entreprises est attribuée par un organisme certificateur, lui-même accrédité par le Comité français d'accréditation (COFRAC).

Le décret du 19 août 2021, pris en application de la loi Asap du 7 décembre 2020, a également introduit le fait que, même en l'absence de libération de terrain, l'étape de réhabilitation doit être réalisée. Elle peut toutefois être reportée dans le temps sous réserve expresse que l'administration accède à la requête de l'exploitant. L'objectif de ce changement de paradigme est d'induire des réhabilitations plus précoces afin d'accélérer le recyclage du foncier industriel et de prévenir dans certains cas la création de friches industrielles.

Nous disposons aujourd'hui d'un cadre détaillé, fondé sur une méthodologie de gestion des sites et sols pollués régulièrement mise à jour et des outils législatifs et réglementaires permettant sa mise en œuvre. Les dernières modifications permettent d'optimiser, dans le temps ces démarches pour contribuer à une libération rapide du foncier industriel, afin de l'utiliser à d'autres fins. Les prochains sujets d'intérêt pourraient porter sur des mécanismes pérennes de soutien à la réhabilitation des sols.

Quels indicateurs pour surveiller la santé de la population générale autour des grands bassins industriels français ?

Par Candice ROUDIER et Cécile KAIRO

Santé publique France

Résider autour d'un bassin industriel est une préoccupation pour les riverains en termes d'impact potentiel sur leur santé. Il est proposé, ici, un focus sur les indicateurs sanitaires à étudier autour des grands bassins industriels français, en combinant deux approches : une revue de la littérature et une exploitation des données issues des études de zone.

Les pathologies respiratoires et les cancers (hémopathies malignes, tumeurs solides du poumon, du foie et des voies respiratoires) apparaissent ainsi comme les effets sanitaires les plus fréquemment étudiés, suivis par les pathologies cardiovasculaires, hépatiques et rénales, ainsi que des indicateurs de périnatalité et plus particulièrement les malformations congénitales.

Néanmoins, les bases de données sanitaires françaises présentent des limites pour disposer d'une estimation fiable et exhaustive de certains des indicateurs identifiés. Ces premiers éléments seront à considérer dans une perspective de mise en place d'une surveillance épidémiologique autour des grands bassins industriels français.

Les auteurs remercient l'unité gestion des connaissances et de l'information scientifique et plus particulièrement Edwige Bertrand de Santé publique France (dans le cadre la réalisation de la revue bibliographique).

La santé autour des bassins industriels, un enjeu fort de santé publique

La France connaît un phénomène de désindustrialisation depuis les années 1980 ; le secteur industriel reste toutefois le deuxième secteur d'activités économiques après le secteur tertiaire, employant 13 % de la population [1].

Au cours des 20 dernières années, la population vivant à proximité des zones industrielles s'est montrée préoccupée par leur impact sur la santé et les derniers accidents (incendie des sites Lubrizol et Normandie Logistique en 2019) n'ont fait que renforcer le besoin d'informations des populations.

Ces zones industrielles, plutôt assez peuplées, sont exposées à la fois à la pollution industrielle et aux activités connexes (routes, voies ferrées, électricité haute-tension, traitement des eaux, incinération des déchets industriels) s'y trouvant [2]. Les riverains sont exposés à plusieurs facteurs de stress environnementaux, les contaminants pouvant se trouver dans les différentes matrices environnementales (air, sol, eau et chaîne alimentaire).

Même si l'impact sur l'environnement ou la santé des éventuels rejets industriels apparaît comme une préoccupation croissante de la population riveraine, les bassins industriels restent néanmoins considérés comme le poumon économique d'une région et font partie de la culture locale. Les habitants y ont développé un sentiment de fierté et d'attachement à ces lieux. La crainte de la fermeture de ces industries et la perte de travail montrent aussi leur importance, d'autant plus qu'ils accueillent très souvent une population défavorisée [3].

En 2014, saisie sur cette question d'impact sanitaire de la pollution industrielle, l'Organisation Mondiale de la Santé, a élaboré des orientations sur l'évaluation et la gestion des risques autour des sites industriels contaminés *via* la mise en place d'un réseau de santé dédié [3]. Cette action a mis en évidence la nécessité d'améliorer les données, d'élaborer des lignes directrices pour l'évaluation de l'exposition, du danger et du risque, et de clarifier les connaissances actuelles. En France, des démarches existent et sont basées sur l'évaluation des risques sanitaires mais ne permettent pas d'estimer le fardeau attribuable (faute de connaissance fine des relations exposition-risque sous-jacentes). Elles permettent en revanche la mise en place de mesures de

gestion environnementale dans un objectif de diminution des expositions des populations.

Dans ce contexte et dans le cadre de ses missions de surveillance de l'état de santé de la population française en lien avec l'environnement, et plus précisément ici, avec la problématique des grands bassins industriels identifiés en France en 2020, Santé publique France propose un focus sur l'identification des indicateurs de santé qu'il serait nécessaire d'étudier en lien avec une exposition industrielle en France [4]. Il s'agit de dresser un état des lieux issu des études existantes concernant les effets sanitaires ou pathologies associés à une exposition industrielle de riverains, et la possibilité d'étudier ces indicateurs de santé à partir des bases de santé françaises, dans le cadre d'une étude épidémiologique qui viserait à étudier l'éventuelle association de ces indicateurs avec la proximité d'un grand bassin industrie et qui, répétée, permettrait d'en suivre l'évolution dans le temps.

Identification des effets sanitaires et pathologies à étudier en lien avec une exposition industrielle de la population générale

Deux approches combinées ont été utilisées dans un travail mené par Santé publique France en 2020 : la première, basée sur une revue de la littérature des études épidémiologiques qui visaient à identifier les effets sur la santé associés aux activités industrielles (en dehors des situations accidentelles) des grands bassins industriels identifiés ; la seconde, en utilisant les données disponibles des études de zone réalisées en France (notamment les données d'exposition et de toxicologie).

La revue de la littérature a été réalisée *via* la base de données Medline en incluant les articles publiés entre 1990 et avril 2019, selon des paramètres de recherche incluant les notions de proximité résidentielle, de type d'industries et de pathologies.

Les activités industrielles considérées sont celles présentes au sein des bassins identifiés par Santé publique France en 2020 [4].

Des critères d'exclusion des articles ont été appliqués ; ont notamment été exclues les études de biosurveillance et d'évaluation des risques, les études menées autour de mines ou de centrales nucléaires, ou après un accident industriel, les études en lien avec une exposition professionnelle, les études sur les animaux, ainsi qu'une publication dans une langue différente de l'anglais ou du français.

Enfin, d'autres travaux bibliographiques ont été ajoutés après discussion et échanges avec des experts internationaux (ATSDR et Santé Canada).

179 articles ont été retenus pour une analyse plus approfondie. La majorité provient d'Italie et des États-Unis (plus de 35 %) ; 7 études ont été menées en France.

En considérant uniquement les effets sanitaires pour lesquels au moins une association statistique avait été trouvée dans la littérature, les cancers sont les pathologies les plus étudiées, suivies par les maladies respiratoires et la morbidité périnatale.

En parallèle, les études de zone réalisées en France ont été recensées [5]. Elles visent à évaluer l'impact des bassins économiques industriels sur l'environnement et la santé de la population vivant à leur proximité, en tenant compte des autres sources de pollution environnementale (trafic routier, activités tertiaires...), en plus des industries présentes. Spécifiques à la France et mises en œuvre depuis 2010, une vingtaine d'études ont été réalisées. Elles nécessitent de collecter, pour chaque zone, des informations sur les substances présentes et leurs effets chroniques potentiels sur la santé. En utilisant les données des substances inventoriées, leur toxicité et les secteurs d'activités industrielles présents dans les zones, il est possible d'associer les effets sanitaires potentiels à une activité industrielle comme présenté sur la Figure 1.

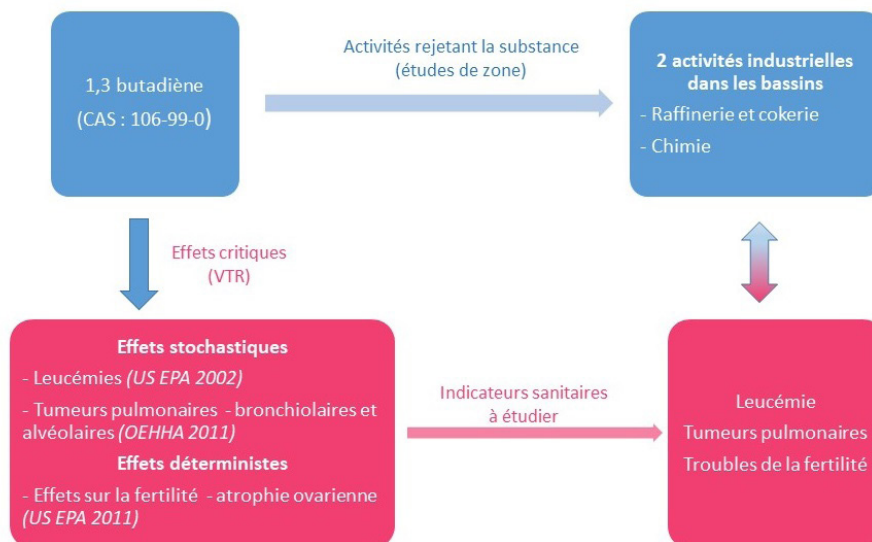


Figure 1 : Méthode d'identification des pathologies d'intérêt à partir des études de zone ; exemple du 1,3-butadiène.

Sur les 13 études de zone disponibles en France, 7 études de zone ont permis d'identifier des effets sanitaires potentiels liés à un secteur d'activité industrielle en utilisant les données toxicologiques d'intérêts (effet critique toxique).

Le Tableau 1 compile la liste des effets sur la santé recensés par les deux méthodes par type d'activité industrielle (cf. page suivante).

Ainsi, en combinant les résultats des deux approches, les pathologies respiratoires, suivies des localisations cancéreuses sont les plus fréquemment étudiées. Les cancers majoritairement étudiés sont les hémopathies malignes, les tumeurs solides du poumon, du foie et des voies respiratoires. *Via* les effets critiques des substances étudiées dans les études de zone, les tumeurs rénales apparaissent comme des effets qui pourraient aussi être étudiés car fréquemment relevés comme effets potentiels dans les études de zone.

En ce qui concerne les autres maladies chroniques : les pathologies cardiovasculaires, hépatiques et rénales sont également souvent étudiées ; de même que la périnatalité et plus particulièrement les malformations congénitales.

D'autres pathologies sont uniquement spécifiques à un secteur d'activité. C'est le cas de la maladie de Parkinson dont une association a pu être mise en évidence avec le secteur de la métallurgie.

Bases de données sanitaires disponibles pour étudier les effets sanitaires identifiés

Même si une liste des effets sanitaires qu'il serait pertinent d'étudier autour des bassins industriels, en lien avec leurs activités, est dressée, il n'est pas forcément possible de tous les étudier dans le cadre d'un *design* d'étude multicentrique de type écologique basée sur l'existence de données sanitaires déjà disponibles. En effet, lors d'exploitation de bases médico-administratives, telles que le système national des données de santé, il est nécessaire d'avoir des indicateurs d'incidence ou de prévalence ayant fait l'objet d'un développement d'algorithme standardisé et validé pour pouvoir analyser les données issues des bases sanitaires.

Plusieurs sources de données sanitaires, même si elles comportent des limites (présentées ci-après), sont mobilisables.

Les registres du cancer

En France, les registres du cancer sont, à l'heure actuelle, la seule source fiable pour surveiller l'incidence du cancer à l'échelle de la commune. Pour les adultes, les données sont disponibles de 1975 à 2022 mais seulement pour 23 à 29 départements selon le cancer étudié (dont 5 en Outre-mer : Guadeloupe, Martinique, Guyane, Réunion, et Nouvelle-Calédonie). Il existe, en effet, 20 registres généraux du cancer (dont celui de la Corse en cours de qualification et ceux des Outre-mer) et 13 registres spécialisés (c'est-à-dire se focalisant sur

une ou plusieurs localisations cancéreuses, telles que les tumeurs digestives dans le Calvados).

Pour les enfants (moins de 15 ans), deux sources de données sont disponibles et couvrent la France entière : le registre national des hémopathies malignes de l'enfant et le registre national des tumeurs solides de l'enfant.

S'il est possible d'étudier l'incidence des cancers pédiatriques dans toutes les régions françaises, ce n'est pas le cas pour les adultes, pour lesquels seule 20 % de la population est couverte.

Le Système national des données de santé (SNDS)

Le SNDS regroupe les bases suivantes : le système national d'information inter-régimes de l'Assurance maladie (SNIIRAM) constitué des remboursements de soins de santé ; le programme de médicalisation des systèmes d'information (PSMI) constitué de l'enregistrement des séjours hospitaliers ; et les données statistiques relatives aux causes de décès [6].

Le SNDS est ainsi une source de données intéressante et précise. L'un de ses avantages réside dans le fait qu'il permet une collecte passive de données qui sont actualisées annuellement.

Ces dernières années, de nombreux travaux ont contribué au développement d'algorithmes à partir des données du SNDS permettant d'estimer la prévalence ou l'incidence de nombreuses pathologies chroniques¹, mais, à l'heure actuelle, toutes n'en disposent pas. La création du Health Data Hub² par la loi du 24 juillet 2019 relative à l'organisation et la transformation du système de santé, facilitant l'accès aux données SNDS, va sans doute aussi permettre d'enrichir la liste de pathologies pouvant être étudiées.

Les registres de malformations congénitales

Au même titre que pour les cancers, ces registres permettent d'étudier l'incidence des malformations à une échelle géographique fine. Néanmoins, seuls 6 registres sont disponibles en France, couvrant 19 % des naissances.

Une première approche d'identification d'indicateurs de santé originale présentant néanmoins des limites et nécessitant des perspectives d'évolution

Cet article propose une liste d'indicateurs sanitaires pertinents à étudier autour des bassins industriels français en s'appuyant sur une revue bibliographique et les éléments disponibles en France. Il est basé sur une

¹ Santé publique France a construit de nombreux indicateurs de santé qui sont mis en ligne sur son observatoire des indicateurs épidémiologiques, Géodes (<https://geodes.santepubliquefrance.fr>).

² <https://www.health-data-hub.fr>

Tableau 1 : Pathologies ou effets sanitaires identifiés par la revue épidémiologique et les éléments disponibles dans les études de zone.

Secteur industriel d'activités	Résultats : revue bibliographique / étude de zone / identifiés par les 2
Raffineries de pétrole et cokéfaction 16 études 29 polluants 4 études de zone	<ul style="list-style-type: none"> cancers (hématologique, poumon, voies respiratoires supérieures, ovaires, peau, rein, sein, vessie, foie) pathologies respiratoires <ul style="list-style-type: none"> autre (sclérose multiple) pathologies respiratoires pathologies neurologiques fertilité irritations autres (pathologies rénales, hépatiques, hématologiques, métaboliques, de l'estomac) effet sur le développement
Industries chimiques 4 études 47 polluants 6 études de zone	<ul style="list-style-type: none"> cancers (hémopathie maligne, poumon, tête et cou, foie, estomac, peau, rein, sein) maladies respiratoires fertilité maladies neurologiques maladies endocriniennes morbidity périnatale irritation autres (maladies rénales, hépatiques, hématologiques et métaboliques)
Industries métallurgiques 15 études 17 polluants 2 études de zone	<ul style="list-style-type: none"> cancer (hémopathie maligne, poumon, tête et cou, sein, foie, os, peau, vessie) maladies respiratoires maladies cardiovasculaires maladies neurologiques autres (sclérose en plaques) morbidity périnatale irritation maladies endocriniennes autres (ototoxicité, fluorose squelettique, estomac, fonction rénale, foie, hématologie)
Production d'électricité 15 études 30 polluants 5 études de zone	<ul style="list-style-type: none"> cancer (hémopathie maligne, poumon, sein, angiosarcome, tête et cou, cerveau, moelle épinière, foie, rein, vessie, peau, thyroïde, os) maladies respiratoires irritation maladies neurologiques morbidity périnatale et fertilité autres (ototoxicité, fluorose squelettique, estomac, fonction rénale, foie, hématologie)
Industries des déchets (incinérateurs, traitement des eaux usées et des huiles) 26 études 22 polluants 4 études de zone	<ul style="list-style-type: none"> cancers (hémopathie maligne, pancréas, sein, poumon, tête et cou, os, rein, foie, intestin) maladies respiratoires morbidity périnatale autres (maux de tête, estomac...) maladies neurologiques autres (fonction rénale, foie, hématologie)
Décharge de déchets urbains, site de déchets dangereux 32 études 22 polluants 3 études de zone	<ul style="list-style-type: none"> cancer (hémopathie maligne, poumon, sein, tête et cou, cerveau, angiosarcome, rein, foie, peau, vessie, organes digestifs) maladies respiratoires maladies cardiovasculaires maladies neurologiques morbidity périnatale et fertilité irritation autres (fonction rénale, foie, estomac, maladies métaboliques et hématologiques)
Industrie du ciment, du plâtre et béton 4 études 32 polluants 4 études de zone	<ul style="list-style-type: none"> cancers (hématologique, poumon, voies respiratoires, peau, vessie, foie, intestin, rein) pathologies neurologiques pathologies respiratoires morbidity périnatale pathologies cardiovasculaires irritations autres (foie, rein)
Industrie du bois (fabrication de matériaux à base de bois) 3 études	<ul style="list-style-type: none"> cancers (hématologiques) pathologies respiratoires irritations pathologies neurologiques
Industrie du papier et du carton, et imprimeries 4 études	<ul style="list-style-type: none"> cancers (hématologiques, ovaires, sein) symptômes respiratoires
Secteur de la pétrochimie sans autre mention 31 études	<ul style="list-style-type: none"> cancers (hématologiques, poumon, voies respiratoires supérieures, prostate, foie, cerveau, sang, vessie, os) pathologies cardiovasculaires pathologies respiratoires pathologies endocriniennes morbidity périnatale autre (irritations)
Zones industrielles (sans spécification) 33 études	<ul style="list-style-type: none"> cancers (hématologiques, poumon, sein, système nerveux, rein) pathologies respiratoires pathologies endocriniennes morbidity périnatale autre (irritations)

approche originale qui combine une revue de la littérature et les données qu'il a été possible d'extraire des études de zone réalisées en France.

La revue de la littérature réalisée montre que finalement peu d'études épidémiologiques analysant l'impact des zones industrielles sur la santé des populations riveraines sont réalisées. Il s'agit plutôt de travaux ponctuels ciblant une activité industrielle particulière.

Seules les pathologies présentant une association statistique significative ont été sélectionnées. Or le biais de publication peut engendrer une sous-estimation des pathologies pour lesquelles les études menées n'ont pas pu mettre en évidence de lien significatif avec une exposition.

De même, seuls les effets toxicologiques critiques des substances issues des études de zone ont été retenus, à ce stade ; il s'agit des premiers effets survenant chez l'animal dans les études toxicologiques. Ils ne sont donc aucunement exhaustifs de l'ensemble des effets toxiques d'une substance. Il faut aussi signaler que certaines substances ne sont pas prises en compte par manque de connaissance toxicologique.

Ce travail vient alimenter les réflexions menées par Santé publique France sur la faisabilité de mettre en œuvre une surveillance nationale épidémiologique autour des grands bassins industriels en France, dont l'objectif est d'étudier et de suivre l'impact des activités industrielles sur la santé des populations riveraines [4].

Ces premiers éléments devront également être complétés en essayant de tenir compte des pollutions historiques des zones (notamment impact sur les sols) et des évolutions des activités, ainsi que de la multi-exposition liée aux sources connexes, dont le trafic routier.

En parallèle, outre le fait de savoir quelles sont les données de santé à étudier, il est aussi nécessaire de disposer d'éléments permettant de caractériser l'exposition. Il est d'ores et déjà à noter le manque de données environnementales disponibles à une échelle locale en France permettant d'estimer l'exposition de la population aux rejets industriels (si des registres d'émission existent en France, les données disponibles n'y sont pas suffisamment précises). Les études de zone présentent l'intérêt de recenser l'ensemble des sources d'émissions dans une zone précise, mais il n'en existe qu'une vingtaine et les données ne sont pas centralisées. Par ailleurs, l'inventaire des substances d'intérêt est basé sur de l'auto-déclaration dont la qualité et l'exhaustivité sont difficiles à évaluer.

Bibliographie

- [1] NESTA L. (2010), « Désindustrialisation ou mutation industrielle ? », *Économie et Statistique*, pp. 438-440.
- [2] XIONG K., KUKEC A., RUMRICH I.K., REJC T., PASETTO R., IAVARONE I. *et al.* (2018), "Methods of health risk and impact assessment at industrially contaminated sites: a systematic review", *Epidemiol Prev*, 42(5-6s1), 49-58.
- [3] IAVARONE I. & PASETTO R. (2018), "ICSHNet. Environmental health challenges from industrial contamination", *Epidemiol Prev*, 42(5-6 Suppl 1), 5-7.

[4] ROUDIER C., BIDONDO M.L., COQUET S., KAIRO C., LASALLE J.L., LE BARBIER M. *et al.* (2020), « Pertinence d'une surveillance épidémiologique autour des grands bassins industriels. Étape 1 : recensement des bassins industriels et bilan des études menées », Saint-Maurice, Santé publique France, juillet 2020.

[5] GILLETTE S., KAIRO C. & ROUDIER C. (2023), « Études de zone en France : bilan et perspectives pour la mise en place d'une surveillance épidémiologique autour des zones industrielles », *Environnement, Risques & Santé*, 22(1), 15-25.

[6] SCAILTEUX L.M., DROITCOURT C., BALUSSON F., NOWAK E., KERBRAT S., DUPUY A. *et al.* (2019), "French administrative health care database (SNDS): The value of its enrichment", *Thérapie*, 74(2), 215-23.

Révision de la directive IED

Par Jean-Luc PERRIN et Loïc MALGORN

Direction générale de la Prévention des risques

Depuis 1996, la réglementation européenne encadre la conception et le fonctionnement des installations industrielles les plus émettrices de polluants, dans le but de promouvoir la mise en œuvre des meilleures techniques disponibles afin de réduire, à la source et de façon intégrée par rapport à tous les milieux, les émissions.

L'application des meilleures techniques disponibles s'appuie sur le processus dit « de Séville » d'élaboration des documents « BREF ». Ce processus consiste à recueillir les données existantes d'émission des industries concernées et fonder les obligations techniques sur des données réelles quant à la disponibilité et l'efficacité des techniques.

La révision en cours de la directive renforce les obligations de rapportage des États membres, les informations à publier pour le public, permet des dérogations supplémentaires pour les technologies innovantes et durcit les conditions de délivrance des permis. Les possibilités d'indemnisations des particuliers sont étendues.

Qu'est-ce que la directive IED ?

La directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, appelée directive IED, a pour objectif de parvenir à un niveau élevé de protection de l'environnement grâce à une prévention et à une réduction intégrées de la pollution provenant d'un large éventail d'activités industrielles et agricoles.

Adoptée en 2010 et entrée en application en 2013, cette directive a réuni, en les faisant évoluer, sept directives relatives aux émissions industrielles : une directive transversale, la directive 2008/1/CE dite « IPPC » (sur le contrôle et la réduction intégrés de la pollution), et six directives sectorielles, comme celle sur la réduction des émissions de composés organiques volatils ou celle sur les émissions des grandes installations de combustion.

Ce texte a renforcé les principes de la directive IPPC, élargi légèrement son champ d'application et introduit de nouvelles dispositions en matière de remise en état des sols. Ses principes directeurs sont :

- l'obligation faite aux États membres de délivrer un permis intégré pour les différentes émissions (eau et air notamment) reprenant les exigences de la directive ;
- le recours aux meilleures techniques disponibles (MTD) définies dans des documents sectoriels européens, appelés « BREF » (Best References), dans l'exploitation des activités concernées, qui doit être le fondement de la définition des valeurs limites d'émission et des autres conditions de l'autorisation ;
- le réexamen périodique des conditions d'autorisation et la réalisation régulière d'inspections ;
- la remise en état du site dans un état au moins équivalent à celui décrit dans un « rapport de base », qui décrit l'état du sol et des eaux souterraines avant la mise en service.

L'intérêt de la directive est de mettre en œuvre une approche intégrée, dont les conditions de mise en œuvre sont prises à l'échelle européenne, ce qui permet notamment d'éviter les transferts de pollution d'un milieu à un autre.

Un processus technique au cœur de la fixation des valeurs limites d'émission

La révision de 2010 de la directive a officialisé les règles de procédures spécifiques pour l'établissement des documents de référence sur les meilleures techniques disponibles (MTD), appelés BREF par la suite. Ce sont dans ces documents que sont contenues les informations techniques sur lesquelles se fondera la décision sur les MTD, qui est une décision de la Commission après vote des États membres.

La décision précise notamment que le BREF est un document établi pour des activités correspondant à un secteur industriel précis et décrivant, notamment, les techniques mises en œuvre, les émissions de polluants et les niveaux de consommation du moment, les techniques envisagées pour la définition des MTD, ainsi que les conclusions sur les MTD et toute technique émergente, en accordant une attention particulière aux critères énumérés à l'annexe III de la directive qui permettent de déterminer ces MTD. Par définition, un BREF est un document descriptif, qui ne prescrit pas l'utilisation d'une technique ou d'une technologie spécifique, pas plus qu'il n'interprète la directive.

Les MTD, définies à l'article 3 de la directive, sont « le stade de développement le plus efficace et le plus avancé des activités et de leurs modes d'exploitation, démontrant l'aptitude pratique de techniques particulières à constituer la base des valeurs limites d'émission et d'autres conditions d'autorisation visant à éviter et, lorsque cela

se révèle impossible, à réduire les émissions et l'impact sur l'environnement dans son ensemble ».

Ces définitions étant posées, la décision décrit le processus à mettre en œuvre pour aboutir, avec l'ensemble des pays concernés, la Commission et les parties prenantes, à un tel document BREF. Ce processus est piloté par le bureau « IPPC » du Centre commun de recherche de la Commission européenne (JRC), localisé à Séville.

Les BREFs sectoriels sont au nombre de 29 et accompagnés de 4 BREFs transversaux. Il existe également un BREF, non rattaché à la directive IED, sur la gestion des résidus d'industries extractives. Ces documents sont très volumineux (plusieurs centaines de pages en anglais) et contiennent de nombreuses informations de contexte et d'analyse. En effet, le principe, réaffirmé dans la directive, de mise en œuvre effective des MTD nécessite un haut niveau de précision, de pertinence et de robustesse de l'analyse particulière pour asseoir ces conclusions.

La première étape de ce processus est l'activation du groupe de travail technique, « TWG », relatif au BREF concerné. Cela permet de lancer un appel à candidature, notamment auprès des industriels qui désirent participer. Ils doivent, pour pouvoir participer, appartenir à une association européenne. Ce point montre l'obligation, pour les industriels, de s'intégrer dans cette structuration européenne afin de faire valoir leur point de vue.

Les participants retenus sont ensuite invités à faire part de leurs positions initiales concernant la révision du BREF.

Une réunion de lancement est organisée par le bureau IPPC de Séville, associée à un document de contexte. Cette réunion permet de démarrer le long processus d'élaboration du BREF avec la phase de collecte des données sur laquelle se fondera le bureau de Séville pour rédiger une première version de BREF (le "draft 1"). Ce document est soumis à commentaires des différentes parties prenantes et peut donner lieu à une révision de la première version du BREF. Ce processus méticuleux prend plusieurs années. Le dernier document sert de support à la réunion finale du groupe de travail technique. À la suite de tous ces travaux et des concertations, un document BREF final est produit par le bureau de Séville. Ce document est soumis pour avis au forum IED, comme le précise l'article 13 de la directive, pour être voté par les États membres, dans une configuration « Comité IED » prévue par l'article 75 de la directive.

Évolutions attendues dans la directive IED

La directive IED de 2010 est à nouveau entrée dans un cycle de révision à partir de 2019, avec des travaux entre États membres depuis avril 2022, date de publication, par la Commission, d'une nouvelle proposition de texte.

La version initiale de la Commission était porteuse d'une ambition d'élargissement important des secteurs auxquels s'applique le texte, ainsi que d'une plus grande exigence en termes de réduction des émissions, de transparence et de rapportage. Les discussions entre

États membres et au Parlement européen, suivies par la phase de convergence dite « de trilogue » sont à peine achevées à la date de rédaction du présent article mais la présidence Belge a indiqué son intention de la faire voter sous sa présidence.

Elles ont globalement conduit à réduire l'ambition en termes d'extension du périmètre, à prévoir un cadre particulier et adapté pour les installations agricoles, à renforcer les garanties procédurales associées à la délivrance des permis, à la mise en ligne d'information et au rapportage. Trouver le bon équilibre, dans la mise en œuvre, entre amélioration concrète de la protection de l'environnement et renforcement de la charge administrative demeurera un défi.

Les paragraphes ci-dessous détaillent les nouveautés proposées.

Un durcissement des conditions de délivrance des permis

La directive prévoit un renforcement des exigences par rapport aux permis. Le contenu des arrêtés préfectoraux s'étoffera pour imposer des niveaux de performance environnementale associés (NPEA) aux MTD pour l'eau, une surveillance adaptée pour la consommation et la réutilisation des ressources comme l'eau, l'énergie, les matières premières, ainsi que des mesures qui permettent d'éviter ou de réduire les substances mentionnées à l'article 57 du Règlement REACH (substances cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction, persistantes, bioaccumulables et toxiques) ou qui sont listées à l'annexe XVII (substances dangereuses).

Les MTD sont associées à une fourchette de valeurs limite d'émission (VLE) des polluants correspondants. Précédemment, les États membres devaient, dans les autorisations qu'ils délivraient, ne pas dépasser les valeurs hautes de la fourchette. Désormais, les niveaux d'émission par polluant dans l'air et dans l'eau devront être fixés aux niveaux les plus stricts possibles. L'exploitant devra justifier, dans son dossier de réexamen, les motifs pour lesquels il ne pourrait être conforme à ces VLE. Une démarche similaire s'applique pour le NPEA relatif à l'eau. Le dossier de justification devra comprendre des éléments de coûts plus détaillés que les exigences actuelles. Une évaluation de l'impact de la dérogation sur les concentrations de polluants concernés dans le milieu récepteur devra être réalisée. Une surveillance environnementale dédiée sera alors mise en œuvre. De plus, les conditions des dérogations accordées, lorsque l'exploitant ne peut pas respecter la valeur haute fixée par l'Europe, seront également à réexaminer tous les 4 ans.

Enfin, les États membres devront mettre en place un permis d'exploitation numérique d'ici 2035.

Imposer un système de management de l'environnement (SME) et un plan de transformation

Au-delà des aspects liés aux émissions, des exigences s'ajoutent sur la façon d'exploiter l'installation :

ainsi, en vue d'améliorer continuellement les performances environnementales et la sécurité des installations, notamment en empêchant la production de déchets, en optimisant l'utilisation des ressources et la réutilisation de l'eau, et en prévenant ou en réduisant les risques associés à l'utilisation de substances dangereuses, l'exploitant devra préparer et mettre en œuvre un système de management de l'environnement (SME). Ce SME sera audité par un vérificateur externe mandaté par l'exploitant tous les 3 ans et devra être mis en ligne. Les industries les plus énergivores (activités énergétiques, production et transformation des métaux, industrie minérale, chimie et industrie papetière) devront également réaliser un plan de transformation. Ce plan de transformation contiendra des informations sur la manière dont les installations se transformeront au cours de la période 2030-2050 pour contribuer à l'émergence d'une économie durable, propre, circulaire, économe en ressources et climatiquement neutre.

Systématiser l'information et la participation du public

Afin d'améliorer encore l'information du public, des mises en ligne sur Internet sont prévues pour le SME, pour le permis consolidé quand c'est pertinent (c'est déjà prévu pour les arrêtés préfectoraux en France), pour le résultat de la surveillance des émissions et les éventuelles surveillances du milieu.

Ne pas soumettre immédiatement les techniques innovantes aux obligations d'IED

Plusieurs mesures destinées à promouvoir l'innovation sont également incluses dans le projet. Ainsi, la période d'expérimentation pour les techniques émergentes, pendant laquelle elle n'est pas soumise aux obligations de la directive est allongée de 9 à 30 mois. En outre, une installation innovante pourra bénéficier d'un délai de 6 ans après la publication des conclusions des MTD pour respecter les VLE des conclusions MTD associées à l'utilisation d'une technique émergente, là où un industriel utilisant un processus technique connu n'aura que 4 ans. Les NPEA seront également indicatifs pour les techniques émergentes. Enfin, en cas de transformation industrielle profonde (projet pour une nouvelle installation ou une modification de l'existante permettant une réduction extrêmement substantielle des émissions de gaz à effet de serre), l'application de l'ensemble des conclusions MTD pourra être reportée jusqu'à 8 ans. Les industriels mettant en œuvre des techniques émergentes disposeront donc d'une durée importante avant d'être soumis à toutes les obligations de la directive.

Des dérogations en cas de crise ou de rupture d'approvisionnement

Le contexte de crise énergétique en Europe a conduit à prévoir qu'en cas de crise énergétique ou de ruptures d'approvisionnement, des dérogations aux VLE et aux NPEA pourront être accordées, sous condition, pour 3 mois (renouvelables 3 mois).

Quelles normes pour demain ?

De nouvelles sanctions plus dissuasives et l'indemnisation des victimes de pollution

Les sanctions au titre de la directive devront tenir compte de la gravité et de la durée de l'infraction, de sa récurrence, ainsi que des personnes et de l'environnement qu'elle affecte. Elles devront comprendre des amendes administratives privant les personnes commettant l'infraction du bénéfice qu'elles en tirent et, pour les infractions les plus graves, des amendes d'un montant d'au moins 3 % du chiffre d'affaires annuel de l'exploitant dans l'Union européenne.

En cas de dommage à la santé humaine, les États membres s'assureront que les personnes concernées peuvent demander une indemnisation à l'exploitant.

L'ajout de nouvelles activités à l'annexe I

Enfin, de nouvelles activités sont incluses dans le champ de la directive :

- l'extraction des minéraux à une échelle industrielle pour la bauxite, le chrome, le cobalt, le cuivre, l'or, le fer, le plomb, le lithium, le manganèse, le nickel, le palladium, le platine, l'étain, le tungstène et le zinc ;
- la fabrication de batteries (avec une capacité de production de 15 000 tonnes d'éléments de batteries (cathode, anode, électrolyte, séparateur, capsule) ou plus par an ;
- les laminoirs à froid de capacité supérieure à 10 t d'acier brut par heure (en plus des laminoirs à chaud de plus de 50 t) ;
- la modification de l'activité de forgeage qui cumulait une énergie de frappe de 50 kJ par marteau et une puissance calorifique de 20 MW, maintenant répartie en deux activités distinctes ;
- la production d'hydrogène à partir de l'électrolyse de l'eau est exclue de l'activité « chimie » et sera redevable d'un secteur dédié mais ne sera soumise à la directive IED que lorsque la capacité de production dépasse 50 tonnes par jour, ce qui est assez élevé.

Quand s'imposent ces dispositions ?

Ces modifications introduites dans la directive IED devront être transposées 22 mois et 20 jours après leur publication au *Journal officiel de l'Union européenne*. Cette dernière devrait intervenir vers la fin du premier semestre 2024. Les États membre disposeront de presque deux ans pour transposer ces nouvelles mesures dans leur réglementation. Pour la France, cela nécessitera une modification du code de l'environnement et de certains arrêtés ministériels s'appliquant aux installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

Sur le fond, autant les obligations générales trouveront à s'appliquer tout de suite, autant un certain nombre d'autres, dépendant de la publication de conclusions MTD, ne s'appliqueront que progressivement, au rythme des révisions des BREFs.

La pleine application du texte nécessitera également l'élaboration, par la Commission, de décisions de mise en œuvre, qui pourraient décaler d'autant la mise en application de certaines actions de progrès.

Vision du Bureau européen de l'Environnement pour la révision de la directive IED

Par Christian SCHAIBLE

Bureau Européen de l'Environnement (EEB)

La directive sur les émissions industrielles – refonte de celle de 2008 relative à la prévention et réduction intégrées de la pollution – (ci-après « IED ») 2010/75/UE couvre environ 50 000 activités industrielles qui sont responsables d'environ 40 % des émissions de gaz à effet de serre de l'UE, 50 % des émissions de polluants de l'air, et 20 % en flux pour les émissions dans l'eau avec un coût externe évalué entre 277 et 433 milliards d'euros par an¹.

Les principales dispositions découlent des obligations fixées dans les prescriptions contenues dans les permis, déterminées par les autorités compétentes des États membres. Les conditions d'autorisation doivent respecter des principes et obligations généraux, notamment la cohérence des conditions d'autorisation avec les conclusions sur les Meilleures Techniques Disponibles (MTDs) des documents de référence de meilleures techniques disponibles (dits les « BREFs »), qui sont périodiquement révisés sur une base d'échange d'informations entre l'industrie concernée, les États membres, les ONG de protection de l'environnement (tels que le Bureau Européen de l'Environnement – EEB) et la Commission européenne. L'auteur aborde les points clefs et grands enjeux de la révision de l'IED (ci-après « IPPC 3.0 ») et du Règlement sur le Portail sur les Émissions Industrielles (ci-après « IEP-R »), de sa perspective (personnelle) et/ou pour le compte de son organisation (EEB), notamment en ce qui concerne la question sur la plus-value éventuelle de ce nouveau cadre pour définir ou promouvoir une « industrie propre », avec des points de frictions entre le positionnement des ONG, certaines industries (notamment de l'élevage intensif) et/ou certains gouvernements sur ces points.

Remarque : L'évaluation ci-dessous suppose que la version de l'accord commun (15 décembre 2023) constitue la version finale².

En résumé, le cadre révisé pourra apporter quelques avancées utiles sur la transition vers une industrie propre sur les aspects suivants :

Un recadrage de ce qui est une meilleure technique disponible (MTD), qui exclura toute option de l'âge fossile et qui se focalisera davantage sur la protection de la santé et la substitution de substances dangereuses. La plus-value concrète de la nouvelle définition de « transformation en profondeur » avec un triple objectif de protection à atteindre avant 2050 dépendra largement de l'honnêteté et de l'engagement réel des parties prenantes dans la détermination de ces nouvelles MTDs, y compris pendant la phase d'élaboration des plans de transitions par les opérateurs. Le devoir pour l'opérateur d'élaborer des « plans de transformations » par installation, même si on s'attend à du concret, risque de devenir un exercice de *greenwashing*. Le fait que ces plans doivent être faits au plus tard en 2030 est déjà trop tardif pour certains secteurs dont les investissements portent sur 15 à 20 ans.

Alors que l'aspect d'efficacité de l'utilisation des ressources est renforcé notamment en ce qui concerne l'eau, une incohérence juridique et sur le fond persiste quant à l'aspect de l'efficacité énergétique, qui reste au bon vouloir des opérateurs et des autorités compétentes. Les exigences concrètes de performances à atteindre restent encore à définir pour la majorité des secteurs.

L'approche d'alignement quasi systématique par les autorités des valeurs limites d'émissions vers la fourchette haute des niveaux d'émissions associés aux MTDs (NEA-MTD) a été inversée sur le principe, mais avec une naïveté des décideurs politique effrayante vu que ce seront : 1) les opérateurs concernés eux-mêmes qui devront élaborer une analyse de non-faisabilité de se conformer à la fourchette NEA-MTD

¹ Voir notamment études d'impacts de la part de la Commission européenne et ETC/ATNI rapport n°04/2020, "Costs of air pollution from European industrial facilities 2008-2017" (biblio Ref. #1 : <https://www.eea.europa.eu/publications/counting-the-costs-of-industrial-pollution/counting-the-costs-of-industrial-pollution>).

² Les accords communs sont disponibles sur ce site : IPPC 3.0 <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-16939-2023-INIT/en/> et IEP-R <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-16426-2023-INIT/en/pdf>

la plus stricte ; 2) qu'aucun délais précis n'a été fixé pour ces opérateurs de revoir leurs permis ; et 3) aucun devoir explicite de contradictoire avec le public concerné sur ce que l'opérateur compte faire en ce qui concerne ses installations. La révision des permis en question pourra être repoussée au plus tard de 12 ans par les autorités compétentes, ce qui permettra aux autorités compétentes proches de leur industrie de maintenir un *statu quo* pour la décennie à venir. *A contrario* une nouvelle dynamique est créée pour les États membres qui transposent les conclusions MTD par des prescriptions générales, tels que la France. Dorénavant ils devront fixer les règles en conformité de l'esprit IED, c'est-à-dire la prévention/réduction des émissions en s'orientant vers les fourchettes strictes.

À l'inverse on va faire une régression réglementaire généralisée sur les élevages intensifs par rapport à 1996/2010 concernant les porcs et volailles ainsi qu'une inaction sur l'élevage des bovins.

Les dispositions sur le renforcement du droit à indemnisation des victimes de pollution et des sanctions ont été affaiblies de telle manière qu'on constate une inversion du principe pollueur payeur.

L'extension du champ d'application (activité minière, Giga fabriques de batteries) est dérisoire, de mineures avancées ont été prévus pour la (co)-incinération des déchets.

Des avancées sur la transparence et mise en contexte utile des données de performances environnementales ont été apportées notamment par le règlement connexe établissant le Portail sur les émissions industrielles et l'obligation de système de e-permis / procédures par voie électronique.

Plus-value de l'IED 2.0 pour la transition vers « une industrie propre » ?

L'objectif principal de l'IED est d'atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble, ce qu'on appelle « l'approche intégrée ». La prévention de la pollution à la source étant la principale priorité des actions, qui reste une obligation de résultat et des moyens sous la responsabilité des exploitants et des autorités compétentes (notamment les gouvernements nationaux et leurs autorités compétentes – en France les DREALs).

La définition de ce qui pourrait être une « industrie propre » est bien complexe et subjective. Sur ce point la directive révisée reste malheureusement floue. En raison du *lobby* des opérateurs d'installations d'élevages intensifs la Directive sur les Émissions Industrielles (ci-après IED) sera renommée « Directive relative aux émissions industrielles et de l'élevage (IPPC) », ci-après « IPPC 3.0 ».

Un aspect positif de la dynamique de transition vers une industrie (plus) propre est expressément reflété dans son nouvel article 1, faisant référence à l'obligation de continuellement réduire les émissions dans tous les milieux, de renforcer l'efficacité énergétique, de promouvoir l'économie circulaire ainsi que la décarbonation, afin d'atteindre un niveau élevé de protection de la santé humaine et de l'environnement pris dans leur ensemble (art. 1). Alors que ces objectifs étaient implicites depuis IPPC (1996)/IED (2010), l'aspect décarbonation et de l'obligation de dynamique et amélioration continue est enfin rajouté de manière explicite. Le rappel à l'effort de prévention/réduction continu est également un utile rappel intellectuel (et juridique) que le droit d'antériorité protégeant souvent le *statu quo* d'une situation de pollution donnée – mis en œuvre tel quel dans certains États membres – n'a pas sa raison d'être ni dorénavant une validité quelconque en ce qui concerne les activités IPPC 3.0.

Même si la protection de la santé humaine était implicite, il n'y a pas de mal à réaffirmer ce point, surtout considérant que le *lobby* de l'industrie chimique (CEFIC) avait émis des réticences sur ce point, ce rajout est utile notamment afin de clarifier les nouvelles prescriptions renforcées concernant la substitution des substances dangereuses et le droit à compensation pour les citoyens victimes de pollution.

L'impact réel de progrès sur le terrain est limité par l'interprétation de son champ d'application (Annexe I) qui est historiquement construit en régulant surtout des installations spécifiques générant des pollutions au lieu des impacts du service/produit d'une activité industrielle (y compris l'élevage intensif). À titre d'exemple, l'IPPC régule des centrales de combustion au-delà de 50 MW thermiques au lieu de s'intéresser au service/produit utile, dans ce cas d'exemple, de comparer toutes les options (techniques) possibles de production d'énergie électrique (TWel), thermique (TW thermique) ou mécanique (Newton). Dans ce cas, définir des Meilleures Techniques Disponibles (MTDs) ne sera pas rendre « plus propre » des centrales de combustion (à charbon, autres combustibles fossiles, biomasse, etc.) qui font plus de 50 MWth mais comparer toutes les techniques disponibles selon les critères MTDs et trancher sur l'option qui remplit au mieux tous les critères de compatibilité MTDs par unité d'énergie utile produite à partir d'une certaine quantité (approche seuil).

Des avancées (insuffisantes) pour accélérer la décarbonation

Maintien de l'incohérence EU-ETS – IED (jusqu'en 2028)

Jusqu'à présent, l'IED n'est pas parvenue à la décarbonation des activités couvertes. La cause est purement politique : la foi quasi dogmatique de l'industrie et ses parties prenantes gouvernementales dans « le pouvoir de la main invisible du marché » du carbone établi par la Directive EU ETS ont empêché depuis 2003 les auto-

rités compétentes de fixer des limites d'émission de gaz à effet de serre (GES) pour les émissions directes de ce gaz provenant d'installations spécifiées dans le système ETS. Ce n'est ni le bien-fondé scientifique de l'urgence climatique, ni l'efficacité des mesures prises et leur faisabilité technique pour les pollueurs à agir qui dictent l'ambition mais le critère de « l'efficacité économique »³. Or le prix du carbone n'a pas dépassé 105 €/t CO_{2eq} depuis l'existence de ce système. Pour certains secteurs industriels intensifs en énergie soi-disant « difficilement » décarbonisables⁴ (par exemple conversion des hauts fourneaux vers la technique de réduction directe à l'hydrogène-EAF) il faudra un prix minimal de 100-160 €/t CO_{2eq} pour établir cette viabilité économique⁵.

Une demande clef des ONG est la suppression de cette limitation, absurde quant à l'urgence climatique, et en contradiction totale avec l'esprit IPPC, qui est basé sur des critères de faisabilité technique de prévention et, si pas faisable, de réduction à la source en plus de considérations de viabilité économique. Sur ce point, hélas, toute l'industrie, la Commission européenne et quasi tous les gouvernements n'ont pas saisi l'opportunité d'agir concrètement sur l'ambition climatique en rectifiant cette limitation politique. La considération d'une suppression éventuelle de cet article climaticide est repoussée pour mi-2028.

Considérant que, selon l'article 9(4), cette limitation ne s'applique pas aux installations qui sont « temporairement exclues » du système ETS (pour rappel son objectif principal est que les pollueurs paient un prix pour chaque tonne de GES émise) on pourrait affirmer que les opérateurs bénéficiant d'allocations gratuites sous le système ETS sont *de facto* exclus. Le mantra de la « double réglementation » de nombreux groupes industriels qui bénéficient jusque-là d'une gratuité des droits à polluer grâce au système EU ETS, reste sur le fond un mensonge ou une affirmation hypocrite effarante. D'autre part se pose la question de l'équité économique. Alors qu'il est vrai que le système du EU ETS est basé sur la mise en œuvre du principe pollueur-payeur, ce système recouvre qu'une partie infime des coûts réels externalisés quant à une tonne de GES émise⁶.

Renforcement du devoir de protection climatique mais *statu quo* pour l'efficacité énergétique

Les demandes clefs des ONG sur ce sujet -et non suivies- outre la suppression de l'article 9(1) ont été d'imposer des obligations de substitution de combustibles/intrants fossiles, l'électrification de process et de substitution de matières premières dans les sections IED pertinentes – notamment les chapitres sectoriels

³ En ce sens, l'article 1 de la directive ETS favorise la réduction des GES « dans des conditions économiquement efficaces et performantes », l'efficacité et la performance du système d'atteindre la protection du climat ne semble pas être son objectif propre...

⁴ En anglais "hard to abate sector".

⁵ Voir notamment page 103 : https://epub.wupperinst.org/frontdoor/deliver/index/docId/7990/file/7990_Transition_Toolbox.pdf

⁶ Sur ce point voir *infra*.

appelés « filet de sécurité UE » en particulier sur les grandes centrales de combustion et raffineries, avec objectif pour les opérateurs de ne pas dépasser les parangonnages EU ETS (correspondant aux niveaux d'émissions GES atteints par les 10 % des installations les plus efficaces) et *a minima* de rendre les normes d'efficacité énergétique contraignantes, ce qui implique la suppression de l'article 9(2). Ces changements clefs n'ont pas été faits, malgré les beaux discours des décideurs politiques et des grands groupes industriels sur le devoir de protection (urgente) du climat.

Certaines dispositions de l'IPPC 3.0 ont néanmoins clarifié que la protection du climat fait partie intégrante de cette directive qui auront des effets positifs notamment sur les points suivants :

- les critères MTDs de l'annexe III ont été modifiés pour faire explicitement référence à la décarbonation et aux (risques pour) la protection de la biodiversité avec un principe général visant à prévenir ou à réduire au minimum l'impact global des émissions sur l'environnement ;
- le terme « meilleur » dans la définition des MTDs est également modifié pour faire explicitement référence à un niveau élevé de protection de l'environnement dans son ensemble, y compris la santé humaine et la protection du climat (art. 3(10) points c) ;
- peu importe dorénavant si les techniques sont utilisées ou produites dans l'ensemble des États membres afin d'être qualifiées en tant que MTDs ;
- les prescriptions concernant les « principes généraux des obligations fondamentales de l'exploitant » (art. 11) ont été clarifiées, l'opérateur devra utiliser les ressources de manière efficace ainsi que sa réutilisation. L'utilisation et la production d'énergies renouvelables sont promues « si possible ».

Ces signaux sont très utiles pour exiger des mesures de décarbonation dans le cadre des futures révisions BREFs. Si pris au sérieux, une technique ne devrait donc plus être qualifiée de « MTD » si elle n'est pas compatible avec la protection du climat. Ainsi, l'utilisation de combustibles fossiles dans un processus de combustion ou l'utilisation d'autres intrants d'origine fossiles et produisant d'importantes émissions de GES ne peut donc plus être une MTD. L'impact réel dépendra beaucoup de l'intégrité intellectuelle et l'ambition des prises de positions émises par les parties prenantes lors du processus de Séville notamment en ce qui concerne la détermination des MTDs.

Afin de qualifier une technique de « disponible », l'EED estime que cette considération devra prendre en compte la totalité des coûts externalisés dans leur ensemble y compris en cas d'inaction de prévenir cette pollution à la source.

En ce qui concerne le coût réel d'une tonne de CO₂ émise, le scénario central définit (en 2019) par une étude de la Commission européenne, se situait déjà à 105 €/tCO_{2eq}, qui augmentera *a minima* à 283 €/tCO_{2eq}

dans un horizon temps 2040-2050⁷. Il est donc clair que le delta entre le prix fixé par les quotas d'émissions de GES définis par le système EU ETS (EUA) et réellement acquitté par l'opérateur en question – pour le moment laissé à charge des contribuables et ou aux finances publiques – devra être récupéré comme passif des opérateurs et *a minima* soustrait lors de la détermination de ce qui est considéré comme « économiquement viable » en ce qui concerne la définition des MTDs à venir. Sachant que les activités couvertes par l'IED mobiliseront des investissements lourds de transformation des installations, il faut envisager un retour sur investissement de 10 à 15 ans *a minima*.

Ce sera le rôle principal de la nouvelle structure "INCITE" de collecter et d'analyser des informations sur les techniques « innovantes », y compris les techniques « émergentes » et « transformatrices », qui contribuent entre autres à la minimisation de la pollution, à la décarbonation, à l'efficacité des ressources, à l'économie circulaire utilisant moins de produits chimiques ou plus sûrs (art. 27a). Alors que le travail en amont sur la révision de BREFs est pratique courante, le rôle d'INCITE, qui reste à définir, peut s'avérer utile en raison de deux points principaux : d'abord, favoriser une recherche proactive afin de trouver des « techniques transformatrices », c'est-à-dire celles qui satisferont des performances à la hauteur des enjeux sur la durée au lieu de se contenter d'établir un standard sur des pratiques existantes mises en œuvre par la « bonne moyenne ». Ensuite, cet échange d'informations inclura plus de parties prenantes qui n'auront pas d'intérêt à vouloir maintenir le *statu quo*, tels que des instituts de recherches ou du monde académique, des fournisseurs de MTDs potentiels, des ONG de protection de la santé humaine, ou autres institutions publiques.

Éléments de prospections vers l'avenir

Plans de Transformation

Qu'est-ce qu'une « industrie propre » – si cela existe ? Pour ma part il s'agit de faire en sorte qu'une activité industrielle, fournissant des services et biens considérés comme essentiels pour la société, se transforme de telle manière que les impacts (négatifs) qui sont générés par cette activité dans tout son cycle de vie soient nuls voire positifs par rapport aux objectifs de protection du climat (neutralité carbone), de la protection de l'air, de l'eau (qualité et quantité), des sols ou utilisation de ressources en compatibilité avec les limites planétaires, et en adéquation avec l'objectif d'environnement non-toxique et l'avènement d'une économie circulaire. Idéalement, cette transition préserve le bien-être des travailleurs et s'inscrit dans la démarche d'atteindre la résilience économique soutenable de l'outil d'infrastructure productif local et à défaut dans l'Europe. Pour ce faire, il faut donc définir un cap et des indicateurs de performances clefs, idéalement

⁷ Voir notamment European Commission, DG MOVE Handbook (2019), on the External Cost of Transport et revue scientifique par Schucht S. *et al* (2019), "Development of a refined methodology for the EEA externalities assessment", Eionet report ETC/ATNI 2019/18, ISBN-no. 978-82-93752-22-6, reprise par l'étude ECT/ICI précitée.

par secteur industriel, afin de pouvoir donner un sens (et objectif mesurable) de ce qui est assez « propre » et qui peut être considéré comme « transformatif ».

Or, là est le problème : l'IPPC 3.0 demande aux opérateurs de définir pour chaque installation un « plan de transformation » (PT) sur la manière dont les installations se transformeront au cours de la période 2030-2050 « pour contribuer à l'émergence » d'une économie durable, propre, circulaire, efficiente et neutre pour le climat d'ici 2050, y compris une « transformation industrielle en profondeur ». Le PT doit être fourni au plus tard le 30 juin 2030 et fera partie intégrante du Système de Management Environnemental (SME). Toutefois, il appartient aux vérificateurs environnementaux (audits) d'évaluer la conformité des plans aux exigences et au contenu minimal (d'ici le 30 juin 2031) seulement, dont le contenu et le format restera à définir dans un acte délégué, qui doit être établi par la Commission au plus tard le 20 juin 2026 (art. 27 quinquies).

Le principal inconvénient de cette disposition est donc l'absence d'indicateurs de performance environnementaux clés clairs et mesurables quant à la signification réelle de « propre », « circulaire », « efficiente », etc. pour le secteur concerné.

Le risque existe que cela se transforme en un exercice de cases à cocher sans aucun examen approfondi quant à l'ambition et au sérieux des « plans de bonnes intentions » exposés par lesdits opérateurs⁸. L'EEB avait sur ce point déjà suggéré des indicateurs de performances génériques (KPIs)⁹ – jalons et cibles y compris intermédiaires – qui doivent être satisfaits par chaque secteur mais qui méritent d'être clarifiés par secteur d'activités.

Il reste à craindre que le contenu des PT soit de type « greenwash », non précis, non ambitieux sur le fond voire hors sujet. Tel est déjà le constat préalable de l'analyse faite par le RAC¹⁰ concernant les « Plans de Transition » des 50 sites industriels les plus polluants en France. Sur 50 sites, 33 (66 %) ont fourni des informations « hors sujet » par entreprise et non déclinées par site. Avec une moyenne de 1,3 sur 3 points, l'industrie française se montre à la traîne sur la déclinaison d'engagements clairs et mesurables sur les leviers de décarbonation prévus par site.

⁸ Il y a une multitude de plans de transformations développés par des entreprises, secteurs et gouvernements, ces plans se focalisent uniquement sur le changement climatique. Voir base utile sur ce site : <https://www.industrytransition.org/industry-transition-tracker/>

⁹ Voir notamment dans les suggestions soumises par EEB (Schaible Christian, <https://docs.google.com/document/d/16TEJB8iwc7JvVJtFLy6kWNxIkISUaKS1AdLI7yZmnLY/edit>) et le cadre des feuilles de routes des industries intensives en énergie de DG GROW, Stakeholder consultation on the Staff, Working Document, ARES (2021), 7979109 final, "For a resilient, innovative, sustainable and digital energy-intensive industries ecosystem: scenarios for a transition pathway" et Briefing EEB (2022), https://eipie.eu/wp-content/uploads/2022/07/IED-briefing_innovation_v01_15_July2022.pdf

¹⁰ Voir <https://reseauactionclimat.org/pour-les-50-sites-industriels-les-plus-emetteurs-de-co2-le-contrat-nest-pas-rempli/>

L'EEB portera une attention particulière sur l'aspect de conditionnalité environnementale des contrats avec les pouvoirs publics conclus ou à conclure, notamment en ce qui concerne la conformité de ces plans avec les critères d'aides publiques de l'Union européenne applicables¹¹. Il est inacceptable de considérer le contenu de ces feuilles de route / plans de transition ou contrats couverts par un quelconque « secret des affaires » dès qu'il y a du soutien d'argent public en jeu. De plus, certains sites devront également fournir un plan de décarbonation en application de la directive ETS et en conformité avec les prescriptions fixées par le règlement d'exécution 2023/2441¹² au plus tard le 1^{er} mai 2024 (pour les 20 % les plus polluants par rapport au *benchmark*, afin de profiter encore des allocations à titre gratuit).

Les plans de transition / feuilles de routes portent actuellement dans la quasi-totalité uniquement sur l'aspect de décarbonation alors que les TP à développer sous l'IPPC 3.0 doivent également détailler les engagements concernant la transformation de l'outil de production (l'installation) afin de soutenir l'émergence d'une économie efficiente en utilisation des ressources, « propre » et en adéquation avec une approche de l'économie circulaire et de développement durable.

Plus-value pour l'accélération de la substitution de substances dangereuses ou préoccupantes via les SME

L'utilisation des informations générées par les systèmes de gestion environnementale (SME) sera renforcée (art. 14a). D'une part l'exigence d'amélioration en continu sur la performance environnementale de l'installation est renforcée et l'IPPC 3.0 fixe des critères *a minima* sur quels aspects cela devra porter, par exemple en renforçant l'utilisation efficiente des ressources, de l'eau et l'énergie. Il existe également une exigence d'évaluation de substitution de toutes les substances dangereuses utilisées et produites et une minimisation des émissions d'autres polluants préoccupants. Ce renforcement a été initié notamment grâce aux gouvernements Belge et des Pays-Bas, soutenus par le Danemark, la Finlande et la France. REACH se contente de substituer une classe de substances très préoccupantes uniquement. Les éléments du SME seront toutefois considérés comme des références et auront donc plutôt un caractère indicatif.

Les critères de référence ne sont pas définis plus en détail, sauf qu'ils font référence à des niveaux de performance « indicatifs » tels que les documents de référence EMAS. Il existe quelques documents de référence EMAS¹³ mais pas pour toutes les activités IED.

¹¹ Voir Communication de la Commission 2022/C 8001 « lignes directrices concernant les aides d'État au climat, à la protection de l'environnement et à l'énergie pour 2022 », [https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022XC0218\(03\)](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:52022XC0218(03))

¹² Voir Règlement d'exécution (UE) 2023/2441 de la Commission du 31 octobre 2023, publié au JOUE le 03/11/2023, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A32023R2441&qid=1707153922444>

¹³ Voir <https://susproc.jrc.ec.europa.eu/activities/emas/index.html>

La question de savoir si ces référentiels obligent de manière adéquate les opérateurs en amont et en aval à améliorer leur empreinte environnementale (y compris en matière de décarbonation) doit être évaluée plus en détail. Bien entendu chaque État membre, notamment les décideurs plus consciencieux, sont libres de rectifier le tir et peuvent transposer ces dispositions afin de les rendre juridiquement contraignantes, la directive fixe des objectifs à atteindre et laisse un certain choix sur les moyens.

Les dispositions concernant les conditions d'autorisation (art. 14) ont été renforcées en ce qui concerne les valeurs limites d'émission (VLE), pour prendre aussi en compte les dangers intrinsèques des substances ; elles devront couvrir toutes les substances mentionnées à l'annexe II du Règlement sur le Portail et les autorités devront notamment prévenir et réduire les substances visées par l'article 57 de REACH. Ceci implique également des mesures spécifiques de surveillance et de maintenance afin de s'assurer que ce devoir de prévention/réduction d'émissions est effectif.

Résultats concrets à la merci du bon vouloir de l'opérateur et des autorités compétentes (mise en œuvre des MTDs)

L'un des principaux changements apportés par la proposition de la Commission européenne a été le souhait d'inverser l'approche prise, quasi par défaut, des autorités compétentes pour fixer des VLE sur les niveaux laxistes (plage supérieure) des niveaux d'émission associés aux meilleures techniques disponibles MTD (ci-après « NEA-MTD ») lors de la mise en œuvre des conclusions sur les MTDs.

Pour les ONG tels que le EEB, qui sont parties prenantes au processus de Séville, il est évident que les fourchettes bases (plus strictes) des NEA-MTD correspondent à ce qui est réellement une MTD et ce sur la base de données vérifiées provenant d'installations en fonctionnement sous des conditions viables (y compris économiquement), et ce depuis des décennies déjà¹⁴, ce ne sont pas des « niveaux fictifs » ou représentant la « situation dans le cas idéal », comme certains industriels (surtout ceux à la traîne) peuvent laisser entendre.

À l'avenir, l'autorité compétente fixera les VLE « les plus strictes réalisables », celles-ci se rapportant à l'analyse de la faisabilité du respect de la plus stricte (fourchette basse) des NEA-MTD et démontrant la meilleure performance globale que l'installation peut atteindre. L'inconvénient est cependant que cette « évaluation de faisabilité technique » devra être réalisée par l'opérateur, qui affirmera évidemment qu'elle n'est pas « réalisable ». De plus, il n'y a pas de délai de soumission de cette analyse et d'indication où la consulter. L'EEB a suggéré comme délai le 1^{er} janvier 2026 et une mise en

¹⁴ Voir notamment sur ce point le calendrier des BREFs révisés du EEB, <https://eipie.eu/wp-content/uploads/2023/02/BREF-timeline-overview.xlsx> (dernière mise à jour février 2023). La moyenne du temps écoulé entre la date des données des émissions recueillies et la date de mise en œuvre de ces « NEA-MTDs » dépasse largement les 10 ans (voire 12,5 ans par rapport à 2024).

ligne ces analyses *via* le Portail EEA, ceci afin d'alléger la charge administrative pour les autorités compétentes et permettre une prise en compte d'autres intérêts que celles de l'opérateur en question¹⁵.

Toutefois, une certaine valeur ajoutée est attendue pour les pays qui fixent des normes MTD par le biais de prescriptions générales contraignantes (GBR), ce qui est le cas en France avec les arrêtés ministériels. Par analogie, les ministères en charge (la Direction générale de la prévention des risques – DGPR) doivent considérer les valeurs limites d'émission les plus strictes possibles et démontrer les meilleures performances pour des catégories d'installations présentant des caractéristiques similaires (généralement législation sectorielle). Il s'agit d'un changement important pour orienter l'ambition de ces arrêtés ministériels vers plus d'ambition (sur la prévention et réduction de la pollution).

Un des points négatifs sont les longues périodes de transition pour des mises à jour effectives des permis octroyés. Les exigences renforcées peuvent être retardées jusqu'à un maximum de 12 ans pour les installations existantes (dispositions transitoires de l'article 2a) dans le pire des cas, mais il est plausible que cela prenne moins de temps pour plusieurs raisons. Premièrement, un réexamen du permis a lieu en moyenne tous les 8 ans, en raison des conclusions révisées sur les MTD. Deuxièmement, l'article 21(5) énumère les autres cas déclencheurs de révision des permis :

- la pollution est d'une telle importance que les VLE doivent être révisées ou que de nouvelles valeurs doivent être incluses dans le permis (c'est au cas par cas hélas) ;
- la sécurité de fonctionnement nécessite le recours à d'autres techniques (peu susceptibles de se déclencher) ;
- il est nécessaire de se conformer à une norme de qualité environnementale nouvelle ou révisée (cela pourrait être notamment dû à la législation européenne relative à l'eau et à la qualité de l'air actuellement en cours de révision).

Bien que la possibilité de dérogation prévue à l'art. 15(4), soit restée largement inchangée, l'autorité compétente réexaminera la validité de cette dérogation tous les quatre ans et l'exploitant devra fournir une évaluation plus approfondie de la dérogation accordée sur la base de la concentration de l'activité dans l'environnement (analyse de l'immission des polluants concernés dans l'environnement récepteur). Cela signifie des exigences assez coûteuses en matière de surveillance des émissions de pollution des sols et de l'eau en contrepartie d'octroyer des dérogations.

Une exception concerne les rejets indirects de polluants dans l'eau où les prescriptions ont été renforcées, ce qui était un souhait du EEB et de la DGPR. Outre le devoir de protection généralisée des zones de captage d'eau pour la consommation humaine (art. 14(1) point b modifié) les prescriptions en rejets indirects (art. 15(1) ont été renforcées avec des conditionnalités par rapport

à la disposition technique de la station d'épuration en aval de pouvoir effectivement traiter les polluants. De plus, les niveaux de performances associés aux MTDs concernant l'utilisation de ressources (BAT-AEPL) sont juridiquement contraignantes en ce qui concerne l'eau (art. 15.3a) alors que cette disposition est contradictoire pour les autres aspects (déchets et ressources autres que l'eau), les valeurs de limites de performances seront indicatives mais ne devront pas dépasser les fourchettes BAT-AEPL juridiquement contraignantes (point b de l'art. 15.3a). Une dérogation aux niveaux de MTD basés sur les performances (BAT-AEPL) ne peut pas être accordée si elle entraîne un épuisement des ressources en eau (art. 15.4a).

En cas d'incidents pouvant avoir des conséquences également sur la santé humaine ou des impacts environnementaux, l'exploitant doit prendre des mesures immédiates pour limiter les conséquences (art. 7). Cette obligation est renforcée en cas d'événements affectant la pollution des ressources en eau potable, y compris les ressources transfrontalières ou affectant les infrastructures d'assainissement en cas de rejets indirects. La surveillance a été étendue pour couvrir explicitement les eaux souterraines et la fréquence a été réduite à tous les 4 ans (au lieu de 5 actuellement).

Une nouvelle option de dérogation en « situation de crise » sous effet de force majeure imprévisible pour l'opérateur et les autorités compétentes a été rajoutée, limitée à des cas d'intérêt général prioritaire pour des causes limitatives (génération d'énergie, matériaux ou matériels essentiels pour l'opérateur pour poursuivre son activité d'intérêt public dans le respect des prescriptions réglementaires ou les limites de performances environnementales ou produits pour d'autres raisons d'intérêt prioritaire public impératives), d'une durée maximale de 3 mois renouvelable une fois et avec une option d'objection de la part de la Commission européenne (art. 15.5).

Une définition de « transformation industrielle profonde » a également été rajoutée. On parle désormais de « mise en œuvre par des industriels de techniques émergentes ou des meilleures techniques disponibles impliquant un changement majeur dans la conception ou la technologie de tout ou partie d'une installation ou le remplacement d'une installation existante par une nouvelle installation permettant une réduction extrêmement importante des émissions de gaz à effet de serre en cohérence avec l'objectif de neutralité carbone et d'optimisation des co-bénéfices environnementaux, au moins jusqu'aux niveaux qui peuvent être atteints par les techniques identifiées dans les conclusions sur les MTD applicables, en tenant compte des effets croisés. L'avantage pour l'opérateur d'appliquer une « transformation industrielle profonde » signifie un délai de mise en conformité supplémentaire de 4 ans (le maximum actuel est de 4 ans à compter de la date de publication des conclusions MTD au Journal officiel) dans les permis (art. 27e).

Même si cela ressemble à un affaiblissement, il existe néanmoins des éléments positifs qui devraient être contrôlés par les États membres et les ONG : premièrement, la définition fait référence à « une réduction

¹⁵ <https://industry.eea.europa.eu/>

extrêmement substantielle des émissions de GES en cohérence avec l'objectif de neutralité carbone et d'optimisation » et de « co-bénéfices environnementaux », ce sont des conditions cumulatives. Deuxièmement, ce qui est considéré comme une « transformation profonde » doit être équivalent à ce qui est identifié dans les conclusions applicables sur les MTD (convenues avec la participation des États membres et des ONG). Troisièmement, l'opérateur doit rendre compte chaque année à l'autorité compétente des progrès accomplis dans la mise en œuvre d'une transformation industrielle profonde, des ressources, de l'efficacité et des niveaux d'émissions atteints ainsi que des étapes de mise en œuvre. Une dérogation similaire aux mises à jour des permis est prévue pour les installations qui ferment dans un délai de 8 ans dans le cadre de sites en « profonde transformation industrielle » (art. 27e(2)).

Ce changement est lié à la nouvelle définition de « technique émergente », qui est une technique nouvelle pour une activité industrielle qui, si elle était développée commercialement, pourrait fournir soit un niveau général plus élevé de protection de l'environnement et de la santé humaine. Dans ces cas, le délai de mise en conformité est prolongé de 2 ans (6 ans au total). Ce changement est similaire à ce qui existe déjà dans l'IED actuel mais était limité à 9 mois seulement.

Vers une régression réglementaire sur l'élevage intensif et une inaction sur les bovins au niveau de l'UE

Le pire résultat sur le fond et en ce qui concerne la régression du droit des ICPE dans son ensemble a été apporté sur les prescriptions relatives à l'élevage intensif (porcs et volailles) par rapport à la situation existante depuis 1996/2010.

Dans le projet initial de la révision, la Commission européenne proposait l'inclusion des bovins avec un seuil de 150 « unités gros bétail » (UGB), une unité UGB est calée sur une vache laitière. Depuis 1996, uniquement l'élevage des porcs (> 2 000), truies (> 750) et volailles avec plus de 40 000 places étaient couverts. Suite à une révision ratée en 2013 – quand il était question de faire rentrer les bovins dans le champ d'application – les prescriptions du BREF IRPP (2017) étaient revues et applicables au plus tard au 21 février 2021¹⁶. Or, il ressort de l'étude d'impact de la Commission que les élevages couverts par la proposition auraient pu représenter au plus 13 % de toutes les exploitations agricoles de l'UE, toutefois ces élevages de type industriel sont responsables de 60 % des émissions d'ammoniac et de 43 % des émissions de méthane. Les nouvelles règles auraient pu générer 5,5 milliards d'euros de bénéfices environnementaux et sanitaires pour l'UE chaque année.

Tout le « débat politique » (plutôt bilatéral entre représentants du *lobby* de l'élevage et les députés) s'est quasiment centré autour de la question des seuils et

l'inclusion des bovins, et donc le champ d'application de l'IPPC 3.0. COPA-COGECA a bien réussi sa stratégie de diversion en répétant le mantra que des fermes familiales ne doivent pas se retrouver dans le même cadre réglementaire que des cimenteries ou autre industrie lourde telles que le traitement des déchets et par conséquent doivent être exclues dans leur ensemble sur cette base¹⁷. Cependant, rien de concret n'aurait été applicable quant aux mesures de prévention des pollutions pour ces plus grands élevages – des règles qui restent à définir et qui ne seront pas applicables avant 2030 !

Plus grave est le silence hypocrite des parties prenantes sur le fond, pas un mot sur toutes les régressions réglementaires concédées, dont les industriels du secteur et la plupart des députés européens n'ont soit pas encore saisi la portée ou ont du mal à vouloir l'admettre.

Sur le fond, en résumé, la proposition de la Commission est un copier-coller du système dit de l'enregistrement, qui existe en France depuis 2010, en le généralisant au niveau de l'UE, ce qui constitue une régression réglementaire généralisée sur les aspects suivants :

- suppression du système de permis au cas par cas avec toutes les obligations de droit commun qui en découlent en vertu du Chapitre II de l'IED et des Conclusions MTDs sur l'élevage intensif des porcs et volailles. Le système de permis est dorénavant « optionnel » selon le régime IPPC 3.0 (art. 70c(1)) ;
- option de simple notification pour les activités IPPC 3.0 (art. 4) ;
- suppression des dispositions de visites d'inspections sur site obligatoires (qui était *a minima* une visite tous les 3 ans depuis l'IED art. 23) ;
- suppression de devoir fournir un rapport de base (IED, art. 12(1) point e) ;
- plus de mesures *a minima* sur la surveillance du sol (10 ans) et de l'eau (5 ans) (IED art. 16(2)) ;
- définition de prescriptions générales futures (art. 70i IPPC 3.0) qui devront couvrir les aspects déjà réglementés dans le BREF IRPP¹⁸, pas applicable avant des délais de transition allant de 4 à 6 ans après leur adoption (donc pas avant 2030).

Une approche d'exception quasi systématique pour l'élevage intensif en ce qui concerne les nouvelles prescriptions IPPC 3.0 telles que d'appliquer la fourchette stricte des NEA-MTDs ou de devoir développer des PT. Comme si l'élevage intensif était au-dessus des lois et principes de bon sens.

L'EEB est favorable à l'inclusion des bovins avec une clause de réciprocité de standards environnementaux

¹⁶ Voir décision d'exécution (UE) 2017/302 de la Commission du 15 février 2017, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/HTML/?uri=CELEX:32017D0302>

¹⁷ Voir notamment le manifeste de M. Decerle (lui-même fermier de bovins mais hors d'atteinte), M. Decastro et M. Lutgen, <https://www.euractiv.fr/section/agriculture-alimentation/opinion/traiter-lagriculture-comme-une-industrie-est-une-erreur-manifeste/>

¹⁸ Voir BREF (2017) en anglais, https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/JRC107189_IRPP_Bref_2017_published.pdf et conclusions MTD (en français), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32017D0302>

robuste¹⁹. L'exclusion sur la base de double critère cumulatif d'élevage biologique et pour l'élevage de type extensif était également soutenue, mais en ramenant ce seuil à 1 UGB/ha, une proposition qui correspond à un niveau plus acceptable selon les experts UNECE sur l'azote réactif – opinion ignorée par tous les décideurs politiques sans exception²⁰.

Dans le cadre des négociations au sein des institutions, le niveau d'ambition n'a fait que périlcliter, avec une situation d'inversion à la pratique habituelle quasi surréaliste : les gouvernements nationaux étaient plus ambitieux sur la protection de la santé humaine et l'environnement que le Parlement européen. L'orientation générale du Conseil du 16 mars 2023 a néanmoins :

- plus que doublé les seuils à 280 UGB pour les élevages de volailles et de 350 UGB pour les élevages porcins, bovins et les exploitations mixtes ;
- inclus une exclusion pour « élevages extensifs » pour les élevages porcins et bovins (dans lesquels la densité est inférieure à 2 UGB par hectare servant uniquement au pâturage ou à la culture de fourrage utilisé pour l'alimentation des animaux dans l'installation) ;
- ajouté une dérogation sur les exploitations mixtes, on pourra ignorer une espèce animale dont le nombre d'UGB est inférieur à 25 ;
- repoussé le calendrier de mise en œuvre des mesures d'application pour les élevages (sortes de prescriptions générales), qui resteront à définir avec toutes les parties prenantes, y compris les industriels/fermiers du secteur et échelonnées en fonction de la taille des exploitations concernées : pour la plupart des activités il ne faut pas s'attendre à des prescriptions concrètes avant 2030 !

Malgré toute cette liste de concessions et affaiblissements, la suppression des bovins a été actée en fin de trilogue, notamment dû au vote négatif de la part des députés des groupes européens des Républicains, Renaissance et de l'extrême droite en plénière le 10 juillet 2023 au Parlement européen. Une inclusion des bovins sera revisitée en 2027.

Pour les autres catégories d'espèces on constate une régression significative par rapport aux seuils du régime d'enregistrement français applicable depuis 2013. En ce qui concerne les porcs - 717, porcelets - 10 713, et - 550 pour les truies. Le facteur d'exclusion lié à la densité a été accepté pour les élevages porcins et mixtes qui permettraient une exclusion beaucoup plus large en fonction des pratiques des élevages, soit la densité 2 UGB/ha n'est pas dépassée ou soit l'activité

est en conformité avec le mode de production biologique en vertu du règlement 2018/848²¹.

De même, en ce qui concerne les volailles (avec deux exceptions mineures) : - 4 706 pour les coquelets, - 13 000 pour les canards, - 4 000 pour les oies et - 40 000 pour les cailles. On constate le *statu quo* pour les poulets légers mais une augmentation du champ d'application + 8 571 pour les poules pondeuses et de + 2 000 pour le canard Colvert.

Les ayatollahs de la dérèglementation, notamment les pourfendeurs du modèle de l'élevage intensif qui ont beaucoup de soutien dans la commission agricole du Parlement européen, soutenus par des groupes agro-industriels tels que la Fédération Nationale Porcine et la CFA (française) sont néanmoins vent debout contre tout changement par rapport au *statu quo* existant depuis 1996 au niveau européen alors qu'il y a une régression sur le fond sur quasi tous les aspects par rapport au système d'enregistrement français existant depuis 2013 ! Dans le « pseudo débat » certains industriels français (FNSEA, FNP/CEA) font état du manque à gagner des fermiers/industriels et vont même à clamer un risque de « disparition d'élevages de porcs et de volailles au profit de l'import, en totale contradiction avec l'ambition de garantir notre sécurité alimentaire ». Ces affirmations sont assez surréalistes quant au fait que : 1) les exportations (de la France vers la Chine) ne font que progresser depuis 2020 pour la filière porcine ; 2) la souffrance des éleveurs provient plutôt du prix de vente aux intermédiaires de la chaîne en aval, tellement bas qu'il devient absurde (entre 1,45 et 2,11 €/kg de carcasse de porc) ; 3) 50 à 83 % des coûts de production proviennent du coût des intrants liés à l'alimentation, pas aux coûts liés au droit de l'environnement²².

Ces porte-parole ne disent pas un mot sur la responsabilité environnementale de la filière notamment sur les algues vertes, les coûts pour les contribuables pour dépolluer l'eau potable des nitrates, ni des 72 500 décès prématurés annuels qu'une étude du CREA estime dus à la pollution de l'air par les activités agricoles (selon cette étude 27 000 décès prématurés et une dépense de 75 Mds€/an pourraient être évités à l'échelle européenne en cas de mesures fortes sur la pollution de l'air due également en majorité à l'élevage intensif au niveau UE²³). De plus, une façon simple d'échapper aux futures règles pour ces élevages seraient de réduire le cheptel (pour les volailles et les porcs) sous ces seuils ou pour les porcs de se convertir en élevage d'agriculture biologique *versus* appliquer un mode dit « extensif » (< 2 UGB/ha par an).

¹⁹ Pour plus de détails sur la position des ONG voir notamment *briefing* EEB dédié et résumé pour médias (en anglais).

²⁰ Voir position de "UNECE Task Force on Reactive Nitrogen", https://unece.org/sites/default/files/2023-06/TFRN%20Extensive%20livestock_definition%20for%20WGSR%20%282023-06-26%29.pdf

²¹ Sur le fond cela signifie des critères sur l'alimentation des animaux (notamment interdiction des OGM) et que l'apport en azote ne devra pas dépasser 170 kg d'azote par an/hectare de surface agricole utilisée. Voir <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=celex%3A32018R0848>

²² Sources de ces affirmations : https://www.porcimag.com/filiere/politique/culture-viande.-la-filiere-porcine-tient-bon-face-a-la-crise + IFIP, https://www.pig333.com/articles/interpig-pig-production-costs-increases-in-all-countries_18931/

²³ Voir notamment l'étude du CREA (Mars 2023), <https://eeb.org/wp-content/uploads/2023/04/Upgrading-Europes-air.pdf>

Des réponses au mal-être des fermiers devront être apportées qui ne sont pas du ressort de l'IPPC 3.0 telles que des contrats de libre-échange défaillants sur la conditionnalité environnementale et sociale, l'absence de réciprocité des normes et mesures miroirs (qui devront être tirées vers le haut et vers plus de soutenabilité), le contournement de la loi EGALIM et un système de la PAC défaillant dans son ensemble²⁴.

Négation du droit à indemnisation effective des victimes de pollutions, timides avancés sur les pénalités

Une grande déception pour les ONG concerne la négation par les gouvernements nationaux, de façon presque unanime, d'octroyer un usage plus effectif du droit d'indemnisation pour les victimes de pollutions industrielles. Le comble est que le projet de la Commission (notamment son art. 79bis) se limitait uniquement aux dommages liés à la santé humaine – pas les dommages environnementaux et uniquement causés en infraction aux dispositions IED²⁵. Les dommages causés par inaction ou en co-responsabilité des pouvoirs publics n'étaient pas couverts.

L'industrie chimique en Europe, craignant des actions collectives avec des indemnisations effectives du type Robert Bilot vs. DuPont²⁶ a fait plier ces gouvernements afin qu'ils torpillent ces dispositions. Même des représentants de la chambre de commerce des États-Unis étaient en tournée en Europe pour combattre ces dispositions. L'argument avancé en public par les gouvernements nationaux prétextait l'incompétence juridique²⁷, alors qu'il s'agit plutôt d'incompétence ou peur de devoir résoudre le fond du problème qui pourrait crispier des intérêts financiers de grands groupes ou des investissements futurs.

En cas d'incidents pouvant avoir des conséquences également sur la santé humaine, l'opérateur doit prendre des mesures immédiates pour limiter les conséquences mais les sanctions sont dérisoires. Sur ce point la proposition de la Commission européenne comportait des sanctions à 8 % du chiffre d'affaires. Du point de vue des ONG on s'était attendu à un alignement des sanctions aux niveaux tels que pratiqués en droit de la concurrence, qui correspond pour les cas

²⁴ Voir notamment position commune en soutien des fermiers d'un groupement des ONG y compris l'EEB (en anglais), <https://eeb.org/wp-content/uploads/2024/02/Joint-Statement-of-the-undersigned-organisations-in-solidarity-with-farmers-in-Europe-Building-momentum-for-agroecological-farming.pdf>

²⁵ Voir lettre commune des ONG (en français) sur le sujet, https://www.clientearth.org/media/kqnlmjdj/clientearth_appel-pour-un-droit-d-indemnisation-effectif-pour-la-santé-de-vos-citoyens.pdf

²⁶ Voir tous les sites et PFAS hotspots en France, https://www.lemonde.fr/en/les-decodeurs/article/2023/02/23/forever-pollution-explore-the-map-of-europe-s-pfas-contamination_6016905_8.html

²⁷ Voir notamment les prises de parole des ministres lors de l'échange de vues public du 24 octobre 2022, <https://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-13104-2022-INIT/fr/pdf> disponible en *streaming*, <https://video.consilium.europa.eu/event/en/26270>

d'abus de position dominante à un plafond de 10 % du chiffre d'affaires. Alors qu'il n'y pas « mort d'homme » en cas d'infraction au droit de la concurrence, les infractions aux prescriptions IED impliquent généralement des rejets de polluants dangereux des activités les plus polluantes en Europe (avec un coût externe annuel de 277 à 433 milliards d'euros, qui concerne uniquement les émissions atmosphériques²⁸). Malgré tout cela, les gouvernements nationaux ont rabaisé les sanctions minimales à seulement 3 % du chiffre d'affaires annuel de l'opérateur dans l'Union au cours de l'exercice précédant l'année d'infraction et ce uniquement pour les « infractions les plus graves » (art. 79).

Il est terrifiant de constater que les décideurs politiques des gouvernements nationaux défendent à ce point les opérateurs industriels délinquants au droit de l'environnement au lieu de la protection de la santé des citoyens et de l'environnement. D'une part, on connaît et on se plaint du manque de ressources de l'administration pour renforcer le travail d'inspection et d'accompagnement des entreprises et de l'autre on ne saisit pas les opportunités offertes pour transformer un problème (non-conformité des opérateurs au droit ICPE) en solution (sanctions plus dissuasives et outils renforçant la conformité au droit de l'environnement). Le résultat en ce qui concerne le droit à indemnisation et les sanctions ci-dessus évoqué est un triste exemple que le principe « pollueur payeur » est inversé ou n'est pas encore appliqué en UE.

Extension dérisoire du champ d'application (activités minières) et renforcement de la prescription sur la co-incinération

À cause de la pression de l'industrie minière allemande, uniquement l'extraction (et la transformation sur site) minière de minerais métallifères sera incluse.

Une exemption – et donc un affaiblissement – a été acté pour la production d'hydrogène par électrolyse (avec une capacité de production par jour inférieure à 50 tonnes), l'impact réel semble très restreint ainsi que pour la production de Giga-sites de production de batteries – hors assemblage – avec une capacité de production annuelle supérieure à 15 000 tonnes, ce qui devrait concerner de cinq à une vingtaine de sites en Europe à terme, en fonction du plus ou moins grand succès de la stratégie européenne sur les véhicules électriques et du déploiement de ce type de stockage d'énergies renouvelables.

Un éventuel durcissement concerne l'incinération et la co-incinération en matière de contrôles des PCDD/F et des PCB similaires lors des phases de démarrage et d'arrêt et des exigences de surveillance renforcées (art. 48). Les émissions atmosphériques des installations de co-incinération (par exemple les cimentiers) doivent également être surveillées dans des conditions de fonctionnement autres que normales, c'est-à-dire que les PCDD/F et les PCB de type dioxine doivent être estimés sur la base de campagnes de mesures,

²⁸ Voir Ref. #1.

effectuées à intervalles réguliers, telles que tous les trois ans, réalisés lors des opérations programmées de démarrage/arrêt. Les émissions de PCDD/F et de PCB de type dioxine doivent autant que possible être évitées ou minimisées. Ces ajouts ont été contestés par le *lobby* des cimentiers (CEMBUREAU). L'EEB a soutenu cette précision vu que des projets de permis pour des incinérateurs nouveaux en Allemagne ignorent simplement ces « MTD ».

Plus-value du règlement établissant le Portail sur les émissions industrielles pour tracer les progrès vers « une industrie propre » ?

En même temps que la révision de l'IED, la Commission a proposé une révision du règlement (CE) n°166/2006 établissant le registre européen des rejets et des transferts de polluants (E-PRTR)²⁹. Ce règlement – ci-après IEP-R – porte quelques avancées sur le suivi de progrès sur la performance de l'industrie vers une transition plus propre et une meilleure intégration des données de performance environnementale générées par l'application de l'IPPC 3.0. Ne sont abordés que quelques points ci-dessous.

L'IEP-R établit un portail sur les émissions industrielles, ce portail n'est en fait pas nouveau mais existe depuis 2004, c'est le portail de l'Agence européenne de l'environnement (EEA)³⁰.

Le règlement vise à améliorer l'accès du public aux informations relatives aux émissions industrielles et à faciliter la participation du public au processus décisionnel environnemental. Les activités couvrent les activités IED avec d'autres activités (par exemple les opérations minières, l'aquaculture, les décharges, etc.). L'EEB a critiqué le manque d'ambition de la proposition, en particulier l'absence de guichet unique efficace pour promouvoir l'analyse comparative des performances environnementales des installations et permettre l'évaluation des ambitions fixées dans les conditions de permis applicables dans toute l'UE³¹. La critique s'applique également à la majorité des systèmes nationaux en place (alors qu'on préfère un système européen intégré)³². L'évaluation ci-dessous suppose que la version de l'accord commun (15 décembre 2023) constitue la version finale.

²⁹ <https://eur-lex.europa.eu/search.html?scope=EURLEX&text=PRTR&lang=fr&type=quick&qid=1707257783898>

³⁰ <https://industry.eea.europa.eu>

³¹ Les demandes du EEB relatives au Portail sont évoquées dans le *briefing*, https://eipie.eu/wp-content/uploads/2022/07/20220712-EEB-briefing-on-IEP_FIN.pdf ainsi que la synthèse en 10 points, <https://eipie.eu/wp-content/uploads/2022/12/10-points-for-pollution-prevention-reporting-fit-for-the-digital-age.pdf>

³² Voir <https://eeb.org/library/industrial-plants-data-viewer-background-briefing/>

Un système de permis électronique sera mis en place d'ici 2035

Malgré l'opposition des États membres, et surtout de la part du gouvernement français, un système de permis et de procédures électroniques doit être mis en place au plus tard en 2035, qui permettra également un accès plus rapide et plus transparent aux données sur la pollution (art. 5(3) IPPC 3.0).

Les détails quant au contenu et les éléments qui devront être publics qui seront contenus dans le SME et le PT seront définis par un acte d'exécution de la Commission d'ici 2026 au plus tard, cela devrait également inclure les indicateurs et les objectifs de performance environnementale, ainsi que les indicateurs de progrès réalisés vers la réalisation desdits objectifs environnementaux.

Les conditions d'autorisations (contenues dans les permis) en vigueur, ni les informations permettant le contrôle de conformité avec les prescriptions applicables ne sont directement intégrées au portail, ce qui rend les données non comparables en quelques clics au niveau de l'Union pour des activités similaires. Or toutes ces informations devraient être disponibles car obligatoires (au moins annuellement) en vertu de l'art. 14(1) point f point i) de l'IED qui concerne les « informations fondées sur les résultats de la surveillance des émissions visée au point c) et d'autres données requises permettant à l'autorité compétente de contrôler le respect des conditions d'autorisation ». Il reste à vérifier si cette obligation est rigoureusement appliquée en France, ce qui pourrait expliquer cette opposition de la part de la DGPR.

Rapports obligatoires sur les volumes de production, les heures de fonctionnement et autres « informations contextuelles »

Malgré l'opposition de la plupart de l'industrie, la déclaration des volumes de production et des heures de fonctionnement sera obligatoire pour toutes les installations. Il existait jusqu'à présent une obligation « volontaire » sur les volumes de production et celle-ci entre déjà en vigueur pour 2023.

Des changements positifs passeront également par les améliorations apportées via l'IPPC 3.0 notamment son article 72 qui énumère les éléments que les États membres doivent communiquer à la Commission européenne et qui constituent donc des « informations contextuelles » et selon nous, doivent donc être intégrés dans le Portail. Pour les heures de fonctionnement, cela était « facultatif » dans le passé, même s'il s'agit d'une exigence standard en matière d'informations disponibles pour toute obligation de surveillance. Une avancée considérable concerne le rapport sur la consommation des ressources (eau, énergie, autres matières premières pertinentes).

Les éléments d'information répertoriés dans l'article 24 (IED) devraient également être disponibles sur une page Web « facile à trouver » (pour le EEB, tout devrait être mis à disposition via le guichet unique, c'est à dire le portail EEA). Quelle est la plus-value et le bon sens de faire 27 systèmes différents pour les mêmes activi-

tés, ne permettant pas la comparabilité des données collectées ? Un ajout de clarification utile est que toutes les informations doivent être mises à disposition de manière « conviviale », permettant « des moyens électroniques d'extraction de données, y compris des ensembles de données basés sur des requêtes » (il s'agissait d'une exigence importante du EEB). L'intégration dans le portail doit être effectuée par l'EEA dans un délai d'un mois après réception des données (art. 6, paragraphe 2, et art. 9).

Considérant que l'IED étend le champ d'application à d'autres activités, par exemple l'exploitation minière de minerais (voir Annexe I IPPC 3.0), cela signifie que la déclaration sur les aspects susvisés sera également étendue à ces activités.

Seuil zéro de déclaration pour des substances spécifiques / taux de capture de 90 %

Lors de la prochaine révision accélérée en 2026 relative à la liste des polluants et aux seuils de notification en vigueur, l'IEP-R prévoit que pour les substances présentant un danger particulièrement élevé pour l'environnement ou la santé humaine, il ne devrait y avoir aucun seuil de déclaration. En outre, l'objectif est de capturer au moins 90 % des rejets de chaque polluant dans l'air, l'eau et le sol, peu importe qu'ils proviennent de sources diffuses ou canalisées. Il existe une liste minimale de polluants à prendre en compte, qui devraient être « automatiquement » transférés à l'annexe I du IEP-R et qui font référence aux polluants identifiés dans d'autres acquis environnementaux de l'UE.

Dans l'ensemble, la proposition est assez faible par rapport aux substances extrêmement préoccupantes existantes, mais d'autres polluants pertinents pour la protection de l'eau, la protection de la qualité de l'air ou autrement restreints seront automatiquement répertoriés, ce qui en fera une liste d'entrées de substances supplémentaires. Aucun polluant n'a été ajouté à l'exception du PFOA et du PFOS, alors que le Parlement européen a proposé le rajout de tout le groupe des PFAS, soutenu par EEB et un groupe restreint de l'industrie. Mais la référence à la liste d'autorisation de l'annexe XIV de REACH ne compte que 59 entrées, tandis que la liste candidate de substances extrêmement préoccupantes (SVHC) mentionnée à l'article 59(1) de REACH compte plus que 492 SVHC³³. De même, les seuils de pertinence arbitraires pour la déclaration des polluants sur le portail, fixés il y a près de deux décennies, ont été conservés (mais seront revus en 2026).

Le reporting doit être effectué au niveau de l'installation et en utilisant les « meilleures informations disponibles » avec extension de la portée

Actuellement, les rapports sont regroupés au niveau des établissements, ce qui n'est d'aucune utilité. Avec

les futures règles, les données doivent être fournies sous des formes non agrégées et déclarées au niveau de l'installation (voir considérant 10). Certains États membres et leurs amis de l'industrie s'y sont opposés, la « charge administrative » étant le principal argument contre un rapportage au niveau des installations (alors qu'obligatoire selon l'art. 14(1) de l'IED).

Ceci est également lié à la déclaration de transfert de déchets, qui doit également indiquer les codes de valorisation ou d'élimination. Les seuils déclenchant la déclaration sont agrégés (2 tonnes/an de déchets dangereux, 2 000 tonnes/an de déchets non dangereux). L'EEB a demandé d'obliger également la déclaration par flux séparés et par code de déchets (selon la nomenclature UE) ce qui n'a malheureusement pas été obtenu.

Il existe également une obligation pour les opérateurs d'utiliser les « meilleures informations disponibles » lors de la déclaration (art. 5(3)). À notre avis, cela signifie les appareils de mesure les plus précis et les plus modernes (systèmes de surveillance continue des émissions) et pas par calcul ou estimation. Cependant, une dérogation est offerte si elle n'est pas « technologiquement et économiquement viable ».

Aucune obligation significative de déclaration sur l'empreinte environnementale de la phase des produits a été apportée, bien qu'elle soit couverte par l'obligation des « sources diffuses » en vertu du Protocole de Kiev depuis 2003. L'obligation de déclarer les accidents et le nombre d'employés a été supprimée. Tous les États membres ont également retardé de 2 ans le délai de mise en conformité/transposition.

Notre objectif est d'assurer enfin une intégration appropriée des informations sur les données de performance placées dans un contexte approprié afin de permettre une analyse comparative (des opérateurs et des ambitions des conditions de permis) ainsi que de soutenir l'échange d'informations sur les actions de prévention de la pollution.

Étant donné que le travail est principalement initié par la Commission et nécessite le soutien des États membres, nous sollicitons de soutenir nos idées notamment sur les points suivants :

- s'assurer que les informations générées *via* le système e-permis permettront la comparabilité des conditions d'obtention de permis en quelques clics ;
- veiller à ce que les informations générées *via* le système e-permis, notamment le rapport annuel de conformité (visé à l'art. 14 de l'IED) soient directement importées dans le Portail sous format électronique afin de permettre des contrôles de conformité aux conditions d'autorisation en quelques clics ;
- veiller à ce que les volumes de production et les données de consommation au niveau de l'installation soient rendus publics ou au moins accessibles aux groupes de parties prenantes des ONG ;
- clarifier la signification de « informations contextuelles », par exemple mis au même format que BAT-C ;

³³ En date du 21/02/2024, <https://echa.europa.eu/candidate-list-table>

- veiller à ce que la liste des matières premières « pertinentes » soit complète et exhaustive lors des règles d'application et *via* la révision des BREF sectoriels (d'ici 2026) ;
- garantir l'accès aux données de volume de production et de consommation nous permettra de comparer chaque installation (et donc les entreprises qui en sont propriétaires) sur des indicateurs de performance clés tels que l'intensité CO₂/tonne de produit (facteurs d'intensité de pollution). Cela devrait également porter sur la consommation des « matériaux clés », de l'eau et de l'énergie.

SCHUCHT S., REAL E., LÉTINOIS L., COLETTE A., HOLLAND M., SPADARO J. V., OPIE L., BROOK R., GARLAND L., GIBBS M., CALERO J., ZEIGER B., ROUÏL L., BRIGNON J.-M. & GERMAN R. (2021), "ETC/ATNI Report 04/2020: Costs of air pollution from European industrial facilities 2008-2018".

SCHUCHT S. *et al.* (2019), "Development of a refined methodology for the EEA externalities assessment", Eionet report ETC/ATNI 2019/18, ISBN-no. 978-82-93752-22-6.

Bibliographie

MYLLYVIRTA L., KELLY J. & UUSIVUORI E. (2023), "Upgrading Europe's air: How a strong Industrial Emissions Directive can save lives and money", Centre for Research on Energy and Clean Air.

Fondées sur la technologie ou sur le risque : deux approches complémentaires pour déterminer des limites de rejets

Par **Matthieu SCHULER**

Directeur général délégué de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES)

La révision de la directive IED compte parmi les actions déclinant la stratégie du Pacte vert européen. Largement fondée sur un mécanisme d'optimisation des rejets autorisés au regard des meilleures technologies disponibles, sa démarche est distincte d'une évaluation quantitative des risques associées à ces mêmes rejets. La comparaison de ces approches renseigne sur leurs différences, leurs limites, leurs complémentarités. Ces complémentarités peuvent d'ailleurs s'avérer tout à fait nécessaires lorsqu'il faut faire face à une situation d'alerte ou de vigilance appelant des changements des limites autorisées. Enfin, la notion d'enregistrement des données de rejets, appelée par la directive au titre d'une large information du public, gagne également à être intégrée dans un mécanisme de bancarisation organisé, à des fins ultérieures d'exploitation et de recoupement avec des données de santé.

Zéro pollution à l'horizon 2050, zéro perturbateurs endocriniens, zéro pesticides... en matière de polluants et contaminants dans l'environnement – au sens large du terme – le temps est à la promesse idyllique. Idyllique car le zéro satisfait l'esprit intransigeant ou berce d'un message rassurant, mais promesse car l'objectif « Zéro » est confronté à un effet de ciseau redoutable qui en rend l'atteinte pour le moins improbable : l'amélioration constante des performances des méthodes de mesure, la propension à surveiller toujours plus de substances, l'évolution des connaissances sur les substances chimiques qui conduisent à préciser – souvent à la baisse – les repères toxicologiques associés.

Dans ce contexte, comment se positionne la directive IED, à la fois celle en vigueur avec ses apports, ses limites et celle à venir, au vu des évolutions que l'Europe a prévu de lui apporter ? Prenant sous son aile un nombre impressionnant d'installations à travers le continent, plus de 50 000, son levier principal depuis 2010 est un mécanisme général de fixation et d'actualisation de valeurs limites de rejets, à la main des autorités compétentes nationales, pour encadrer à l'aune de l'amicale pression des meilleures technologies disponibles, les efforts demandés aux acteurs économiques en matière de protection de l'environnement.

Pour autant, rien ne permet de conclure de manière certaine, par rapport aux enjeux de sécurité sanitaire ou environnementale, que la technologie la plus opti-

misée du moment permet de satisfaire aux requis de la protection. Si on prend comme exemple les repères scientifiques en matière de qualité de l'air, après actualisation des connaissances sur les risques associés aux particules fines, l'illustration est patente : en effet les efforts actuels ne permettent pas d'atteindre les valeurs réglementaires européennes dont le décalage avec les valeurs sanitaires vient de s'accroître à l'occasion de la sortie des valeurs guides de l'OMS. *A contrario*, pour une substance rapidement dégradée dans le milieu récepteur et/ou présentant une toxicité faible, l'investissement dans la meilleure technologie mobilise des ressources financières – lesquelles sont par essence limitées – potentiellement au détriment de la prise en charge de sujets à plus fort enjeu.

Différents travaux préalables à la refonte de la directive IED – à commencer par l'analyse d'impact de la Commission – mettent en avant ses acquis, dont la contribution à une diminution globale des rejets d'un grand nombre de substances critiques ; ils pointent également des critiques et limitations, notamment quant à l'hétérogénéité des modalités de sa mise en œuvre d'un pays à l'autre, voire d'une zone géographique à l'autre.

S'agissant des normes de rejet, commençons par un premier angle d'analyse : y aurait-il une manière « idéale » de fixer des normes de rejets, dont la nouvelle directive pourrait s'inspirer ? Pour cela, faisons une excursion par la pensée dans un univers sans limites

en termes de capacités d'ingénierie et de disponibilité de données toxicologiques (aussi bien humaines qu'environnementales). Dans cet univers, comment seraient établis des limites de rejets ? En injectant les caractéristiques des rejets – débits et inventaires des substances à considérer – dans un logiciel de modélisation environnementale, la dispersion du terme source est calculée vers différentes cibles critiques : zone de captage d'eau, regroupement de population en aval, zone à forte densité de population sous le vent, terrain de loisir fréquenté par des enfants, etc. Combinant ces résultats à un ou plusieurs scénarios d'exposition, et disposant de valeurs toxicologiques de référence pour chaque voie d'exposition considérée, il devient dès lors possible de statuer sur une limite de rejet à ne pas dépasser afin de s'assurer qu'il n'y a pas de risques pour l'Homme et l'environnement. Cela peut nécessiter un arbitrage – qui relève du gestionnaire de risque – sur l'allocation de la part de « crédit toxicologique » à allouer à l'installation émettrice. En effet, à l'heure où l'exposome est à prendre en compte dans les politiques publiques (art. L.1411-1 du code de la santé publique), fixer une limite suppose de prendre en compte l'ensemble des sources d'exposition, ce qui devrait conduire à déterminer une fraction définie à l'émetteur considéré. Sous réserve de disponibilités des données nécessaires – et le lecteur remarquera qu'elles sont nombreuses – il est donc possible de déterminer, indépendamment de toute considération relative aux technologies disponibles, des limites de rejets.

Plusieurs situations peuvent se présenter lorsqu'on croise une telle approche avec celle analysant le niveau d'optimisation de l'installation au regard des MTD¹ : le résultat de l'évaluation des risques peut, même en présence de la meilleure technologie du moment, persister à conduire à conclure négativement sur la maîtrise des risques (c'est notamment le cas lorsque des substances présentent des seuils très bas, comme certaines dioxines) ; à l'autre extrémité du spectre, l'évaluation peut présenter des ratios de risques très faibles, car la substance est d'une toxicité faible ou se dégrade rapidement, ou qu'elle n'est pas susceptible de se concentrer dans un milieu accessible à l'Homme ou aux espèces de l'environnement. Dès lors, le fait d'employer ou de se rapprocher de l'optimum en matière de MTD peut être tout à fait dispensable, si les critères de risques sont clairement respectés.

Sans passer en revue de manière exhaustive l'ensemble des situations possibles, voici quelques réflexions d'ordre générique qui se dégagent de cette analyse, en cherchant tout particulièrement à identifier des situations où les deux familles d'approche (approche "risk based" vs. "technology based") divergent ou sont mises en difficulté.

Dans le cas des substances dont le profil toxicologique conduit à déterminer des valeurs toxicologiques (ou sanitaires) de référence dites « à seuil » (Anses, 2017), l'approche d'une baisse permanente des limites de rejets dès lors que la technologie correspondante serait disponible, constitue une approche qui va au-delà des

requis en matière de risque, dès que la maîtrise des risques est acquise avec des technologies courantes.

Dans le cas des substances sans seuil (ex. : substances cancérogènes de type génotoxiques par ex.), *a contrario*, et sans préjuger du fait que la technologie retenue permet d'atteindre un niveau d'excès de risque satisfaisant (Anses, 2017), la doctrine d'approche par les MTD permet – sous réserve qu'elle soit suffisamment actualisée et appliquée avec l'attention qui va bien – d'accompagner une approche de type « aussi bas que raisonnablement possible » (cf. article ALARA dans ce numéro).

Dans les deux approches, mais peut-être plus encore pour l'approche « technologique », le retour d'expérience de différentes situations complexes en matière de sites et sols pollués pousse à prêter une attention particulière aux substances fortement persistantes. En effet, un exemple historique comme celui du chlordécone aux Antilles montre clairement les retombées que génèrent – à travers tous les milieux où l'accumulation est favorisée (masses d'eau, sols) – l'émission de substances présentant des temps de dégradation très longs. Il en va de même si la dégradation est rapide mais que les métabolites présentent des caractéristiques de danger similaires ou plus préoccupantes que la molécule-mère. Il est intéressant de souligner, à cet égard, que le règlement CLP (classification, étiquetage, emballage) s'est récemment enrichi de nouvelles classes de danger pour mieux cerner différentes formes de persistances (la nouvelle classe de danger PMT : persistant, mobile, toxique en fournit un exemple) ; autre point en ligne de mire, la future directive « sols » en préparation.

Enfin, les deux approches présentent de la même manière des limites intrinsèques dès lors qu'il s'agit de combiner des rejets/émissions qui convergent vers un même milieu récepteur (proche ou lointain pour des substances persistantes) en provenance de plusieurs installations ou émetteurs – qu'ils relèvent ou non de la même réglementation. En effet, l'approche par l'évaluation de risque effectuée par un pétitionnaire ne va pas prendre en compte les rejets des installations hors de son périmètre, ce qui soulèvera la question de l'allocation de « crédit toxicologique » mentionnée plus haut. Plus vraisemblablement, ce seront des situations de dépassement de critères de qualité dans les milieux qui vont conduire à identifier des mesures de révision des rejets autorisés. Dans ces cas-là, il pourra être intéressant pour les gestionnaires de risques de comparer le niveau de maturité de chaque émetteur au regard des MTD, car cela constitue une information instructive pour définir une trajectoire équitable de retour vers une situation de conformité.

Deuxième angle d'analyse pour les normes de rejets et leur fixation : quels peuvent être les motifs de les faire évoluer à une échelle de temps plus rapide que la période de réexamen standard de la directive IED. Je n'évoquerai pas ici l'une des familles de motifs qui pourrait être l'émergence d'une situation accidentelle ou incidentelle, tout en notant que, dans le cadre de l'évolution de la directive, de nouvelles missions devraient

¹ Meilleures technologies disponibles.

être confiées à l'EEA² au sujet des telles situations lorsqu'elles sont transfrontalières. Plutôt qu'aux incidents, je fais référence à des incidences ou émergences d'éléments appelant à recalculer les autorisations de rejets : évolution des connaissances conduisant à déterminer une nouvelle caractéristique de danger pour une substance, ou entraînant une baisse significative des valeurs sanitaires de référence (exemple déjà cité plus haut de la baisse des valeurs guides de l'OMS sur les particules fines, classification cancérigène ou PE³ avéré d'une substance jusque-là non classée), inclusion d'une limite nouvelle de qualité pour un milieu (par exemple limite de qualité pour les PFAS dans la nouvelle directive « eau potable »), identification d'un rejet d'une substance qui n'était pas encadrée par l'autorisation (exemple de la situation de l'usine Sanofi de Mourenx pour différentes substances dont le valproate de sodium mesuré hors site). Dans de tels cas, et en dehors de celui – assez patent – dans lequel l'installation émettrice est éloignée des recommandations du BREF de son domaine, il sera probablement nécessaire de mener une part d'approche empruntant à l'évaluation des risques pour définir les nouvelles limites d'encadrement de l'exploitation. Une des questions potentiellement sensibles, lorsque les données toxicologiques sont rares ou parcellaires, est de savoir à qui devrait revenir l'initiative de leur production ? À titre personnel, et sans nier ou sous-estimer l'apport que peut avoir la recherche publique, si on revient à la définition fondamentale des responsabilités associés à la délivrance d'une autorisation d'exploiter une installation présentant des risques pour l'Homme et/ou l'environnement, j'estime que cette autorisation est associée à une démonstration de sécurité qui est due par le pétitionnaire, lequel doit avoir connaissance des risques associés à son installation et, à défaut de connaissance, doit mener les actions pour caractériser ces mêmes risques.

Avant de conclure, un troisième angle d'analyse mérite un petit détour complémentaire : il a trait à un autre volet sur lequel la Commission souhaite faire évoluer l'IED, à savoir l'enregistrement des données d'émissions. L'un des motifs affichés est de les rendre disponibles et accessibles, notamment au regard du droit à l'information en matière environnementale. En tant que dirigeant d'une agence de sécurité sanitaire, je ne peux qu'encourager la volonté de mise à disposition et, surtout, la bancarisation organisée de telles données. Bien sûr, je pense à l'intérêt qu'elles peuvent présenter en termes d'échange avec les parties prenantes autour des installations, mais en fait je pense surtout à l'importance stratégique que représente l'accumulation minutieuse de données environnementales validées, géolocalisées et renseignant sur le niveau de présence de facteurs de risques dans différents compartiments. En effet, notre pays est doté d'un dispositif national très structuré sur les données de santé (le SNDS) mais, *a contrario*, de dispositifs très diversifiés en matière de données environnementales, quand bien même différentes bases par milieu sont assez bien organisées. Progresser

à terme sur la compréhension des enjeux de santé publique ou de santé-environnement nécessite de pouvoir croiser ces données, et de les « faire parler », en particulier pour prioriser les leviers sur lesquels agir, indépendamment du processus, toujours relativement lent, de création des connaissances en toxicologie et épidémiologie. Sous cet angle, la question du périmètre des substances (au-delà des 91 de la directive actuelle) pour lesquelles la bancarisation sera demandée constitue à mon sens un enjeu de premier plan.

En synthèse et à la lumière de ces trois plans d'analyse relatifs aux deux familles de méthodes d'élaboration de repères et limites de rejets, mon premier point sera celui d'appeler collectivement l'attention sur ce que j'ai envie d'appeler les « boomerangs du One Health » : à trop se plonger dans les arcanes d'une seule approche (qu'elle soit d'ailleurs technologique ou d'évaluation des risques), il y a un risque de se faire surprendre par des effets à moyen ou long terme, qui peuvent se faire jour car ont été sous-estimés les caractéristiques de persistance, les réelles capacités des milieux à dégrader les substances, ou encore des retours inattendus d'exposition par un compartiment ou un autre (végétal, animal).

Mon second point de vigilance est celui de ne pas céder à la tentation de facilité d'exiger le « tout optimal » sans lien avec les risques réels : le retour d'expérience nous montre qu'il est tout à fait nécessaire de pouvoir dégager et allouer des ressources adéquates pour faire face à différentes situations incidentes qui appellent des besoins de révisions accélérées de situations ou de normes de rejets. De plus, l'optimisation homogène, sans considérations pour les enjeux, détourne de l'analyse sur des priorités et de la révision de ces dernières à l'épreuve des faits.

Enfin, je souligne les risques associés au mythe du « Zéro », potentiellement coûteux en ressources, voire dangereux car la réalité est celle d'un environnement que l'on connaît toujours mieux, car on le scrute toujours de plus près, avec des outils toujours plus précis : une raison supplémentaire pour bancariser ces mesures et préparer une exploitation massive et croisée entre données de santé et données environnementales pour, au-delà des analyses quantitatives des risques, discerner où sont les enjeux de fond dans une approche « Une seule santé ».

² Agence européenne de l'environnement.

³ Perturbateur endocrinien, classe de danger récemment ajoutée au règlement CLP.

Les vertus du principe ALARA en radioprotection – opportunités et limites d'une transposition au domaine des impacts industriels

Par Pierre BOIS

Directeur général adjoint de l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN)

Le principe ALARA (*as low as reasonably achievable*) en radioprotection prévoit que « toutes les expositions doivent être aussi basses qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux ». Cet énoncé simple a montré sa force par les résultats obtenus dans les domaines professionnels et médicaux, où les doses reçues par les travailleurs et par les patients ont été considérablement réduites au cours du temps, bien au-delà du respect des valeurs limites réglementaires. Donnant des clés pour agir dans l'incertitude, s'inscrivant dans le champ collectif de l'analyse multicritères, et mettant en responsabilité tous les acteurs, ce principe est en effet le germe d'une culture du risque opérante et efficace. Il pourrait utilement inspirer les futurs développements du système de contrôle des émissions industrielles, et contribuer ainsi à ouvrir une nouvelle séquence dans l'amélioration continue de la maîtrise des impacts environnementaux des activités humaines.

Dès leur découverte dans les dernières années du XIX^e siècle, les rayonnements ionisants ouvraient la porte à de vertigineux progrès scientifiques, à commencer par la radioscopie, et montraient leurs effets délétères par les étranges maladies qui affectaient ceux qui les fréquentaient de trop près. Si l'enthousiasme l'a d'abord emporté sur la prudence dans un contexte sociétal encore marqué par le positivisme, il n'a pas fallu longtemps pour que les nécessités de la précaution s'imposent durant l'entre-deux guerres, avec l'emblématique combat des "radium girls"¹, et deviennent un impératif dans les années 1950 quand les sociétés ont pris conscience des abominables effets de l'usage militaire de la radioactivité². À ce moment émerge le paradigme de la radioprotection, qui doit opposer des mesures pratiques de prévention et de protection à un

phénomène qui, au-delà des services rendus par les techniques qui y recourent, reste marqué par d'incompressibles incertitudes.

C'est ce qu'exprime la Commission internationale de protection radiologique (CIPR) en 1954, établissant les prémisses de ce qui allait devenir le principe ALARA : « Bien que les valeurs proposées pour les doses maximales permises sont telles qu'elles représentent un risque qui peut être faible comparé aux autres dangers de la vie, néanmoins, en vue des preuves incomplètes sur lesquelles ces valeurs sont basées, en accord avec la connaissance que certains effets des radiations peuvent être irréversibles et cumulatifs, il est fortement recommandé que chaque effort soit fait pour réduire l'exposition de tous les types de radiations ionisantes au niveau le plus bas possible ».

Après quelques reformulations intermédiaires, la CIPR aboutit à l'énoncé de 1977 encore utilisé aujourd'hui : « Que toutes les expositions doivent être aussi basses qu'il soit raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu des facteurs économiques et sociaux ». Le sujet des rayonnements ionisants continue de faire écho au contexte politique de son époque : l'idée qu'un déchet résiduel puisse être jugé acceptable au regard des dimensions économiques et sociales de l'activité

¹ Les salariées de la compagnie US Radium, fortement exposées au radium utilisé dans l'industrie horlogère pour le marquage luminescent des cadrans et aiguilles – risque pourtant connu par leur employeur – obtinrent de haute lutte devant les tribunaux, dans les années 1930, la reconnaissance et l'indemnisation des maladies professionnelles qui en résultaient (radionécroses, cancers).

² Une grande partie des données sur lesquelles s'appuie encore aujourd'hui la connaissance des effets biologiques des radiations provient de l'étude des populations touchées par les bombardements atomiques d'Hiroshima et Nagasaki.

qui en est à la source relève d'une vision de la société qui mérite débat³.

On retrouve ce principe en droit français à l'article L.1333-2 du code de la santé publique⁴. Avec le « principe de justification », qui prévoit qu'une activité nucléaire ne peut être entreprise ou exercée qu'en raison des avantages qu'elle procure, et le « principe de limitation » qui fixe des valeurs limites, le « principe d'optimisation » occupe ainsi une place fondamentale dans le dispositif réglementaire et pratique de la maîtrise de la radioprotection.

Si un tel principe d'optimisation se retrouve aujourd'hui dans de nombreux énoncés réglementaires visant à limiter les externalités négatives des activités économiques – le plus souvent les émissions polluantes ou les risques –, c'est probablement dans le domaine de la radioprotection qu'il a été ainsi consacré pour la première fois.

Le principe ALARA, un moyen opérant pour agir dans l'incertitude

Le principe ALARA repose sur le constat assumé que l'effet des faibles doses est mal connu, et que si l'on peut se convaincre que le respect de valeurs limites proches du bruit de fond naturel suffit à limiter les principaux risques à des niveaux proches de ceux de la vie courante⁵, on ne peut pas pour autant exclure les effets des faibles doses. C'est particulièrement vrai pour les effets stochastiques⁶, dont la manifestation à l'échelle individuelle est binaire (un cancer survient ou non, mais n'existe pas en faible quantité), et dont la manifestation à l'échelle collective, d'ordre statistique, conduit à estimer que sur une population nombreuse, une part des cancers résulte probablement de l'exposition générale de la population aux rayonnements ionisants, même en l'absence de causalité individuelle démontrable.

³ La régulation des risques et des nuisances a longtemps reposé sur la seule répression des dommages avérés. Le principe d'un équilibre social entre risques et bénéfices d'une activité apparaît avec la révolution industrielle et répond au besoin de sécurité juridique du capitalisme. Voir à ce sujet : Jean-Baptiste Fressoz, « L'apocalypse joyeuse, une histoire du risque technologique », Le Seuil, 2012.

⁴ « L'exposition des personnes aux rayonnements ionisants [...] doit être maintenue au niveau le plus faible qu'il est raisonnablement possible d'atteindre, compte tenu de l'état des techniques, des facteurs économiques et sociaux et, le cas échéant, de l'objectif médical recherché ».

⁵ La valeur limite fixée par le code de la santé publique pour l'exposition individuelle des personnes du public, hors actes médicaux, est de 1 mSv/an, ce qui est de l'ordre du tiers de l'exposition au rayonnement naturel. Elle est de 20 mSv/an pour les travailleurs, ce qui correspond au cinquième des valeurs pour lesquelles des effets cliniques mesurables sont scientifiquement attestés.

⁶ Les effets dits « stochastiques » sont ceux qui se manifestent par l'augmentation de la probabilité d'apparition d'un cancer. Ils se distinguent des effets « déterministes » qui se manifestent par des symptômes dont l'apparition est systématique pour les fortes doses.

Ce type de situation est un angle mort pour une régulation classique par valeurs limites (obligation de résultat) ou par prescriptions techniques (obligation de moyen) ; par ailleurs elle ne permet pas d'établir un lien de responsabilité opposable en droit entre une activité et ses conséquences négatives.

C'est ainsi que le besoin de guider en pratique l'action des responsables d'activités nucléaires, et de ceux qui les contrôlent, au-delà des règles techniques existantes, a mené au postulat de la relation dose-effet « linéaire et sans seuil » (énoncé dès 1965 par la CIPR), et à la mise en place du « principe d'optimisation » ou « ALARA ». Ce postulat énonce que les faibles doses ont des effets quantitativement proportionnels à ceux qui sont connus pour des doses plus importantes. Il n'est pas établi scientifiquement et continue à faire l'objet de recherches et d'abondantes discussions parmi les spécialistes en radiopathologie⁷. Jamais démenti non plus, et peu contesté en pratique, il offre l'avantage de permettre l'arbitrage, la décision et *in fine* l'action, sur la base de critères quantitatifs et surtout consensuels. Et à partir de ces critères, toute action concourant à une réduction de l'exposition, dès lors qu'elle est réalisable dans des conditions économiques et sociales acceptables, doit être entreprise en application du principe d'optimisation.

Le responsable d'activité dispose alors d'un cadre pour agir, et l'autorité d'un référentiel pour contrôler. Les résultats observés parlent en faveur de cette approche : la maîtrise de la radioprotection des travailleurs a considérablement progressé dans le temps et continue de le faire⁸, même si certains sujets nouveaux ou conjoncturels méritent vigilance, comme les interventions nécessaires pour traiter le phénomène de la corrosion sous contrainte dans les réacteurs d'EDF, qui sont des chantiers particulièrement « dosants », ou la rapide généralisation des actes de radiologie interventionnelle, moins invasifs que la chirurgie classique mais plus dosants pour les patients comme pour les professionnels médicaux.

Dans le domaine des pollutions chimiques, les données toxicologiques disponibles sont fréquemment confrontées à des incertitudes résiduelles, *a fortiori* lorsqu'entrent en considération des enjeux de cumul ou d'effet cocktail – et quand bien même chaque usine respecterait toutes les valeurs limites d'émission qui lui sont imposées réglementairement, on n'aura pas réglé l'enjeu du lien santé-environnement. Il est alors tentant d'imaginer que la poursuite des efforts de réduction des impacts industriels pourrait reposer sur la mise en place pratique d'un principe d'optimisation appliqué aux émissions polluantes.

⁷ La relation linéaire est considérée comme acquise scientifiquement pour des expositions à partir d'environ 100 mSv. Certaines études concluent à des corrélations statistiquement observables pour des doses plus faibles, compatibles avec l'hypothèse de la relation linéaire sans seuil, sans pour autant avoir force d'acquis scientifique à ce stade.

⁸ Voir à ce sujet les bilans annuels des expositions professionnelles aux rayonnements ionisants en France, publiés par l'IRSN.

Trois facteurs paraissent déterminants pour l'efficacité pratique du principe ALARA dans le domaine de la radioprotection : a) la forte homogénéité métrologique des effets des rayonnements ionisants⁹, b) l'existence d'une littérature médicale dédiée ayant force de science, et c) l'existence d'un consensus sur le fait de baser l'action sur le postulat de la relation linéaire sans seuil. Or aucun des trois ne sera aisé à obtenir en matière d'impacts industriels chimiques. En effet, il s'avérera probablement difficile d'établir un postulat quantitatif consensuel comparable à la relation linéaire sans seuil, il n'existe pas de métrologie homogène des impacts lorsqu'on considère l'extrême diversité des polluants chimiques¹⁰, et la littérature médicale est au mieux parcellaire. La construction d'indices agrégés d'impact, qui seraient à la pollution chimique ce qu'est la dosimétrie pour la radiopathologie, et qui à défaut de perfection scientifique répondraient au moins aux besoins des démarches de réduction des impacts et du contrôle associé, pourrait être une piste intéressante pour qu'émergent des approches s'inspirant du principe ALARA.

Raisonnement, tout est dans tout : le difficile chemin du spécifique au multicritère

Agir dans l'incertitude et près du bruit de fond ne va pas de soi, comme on vient de le voir. Agir avec raison n'est pas toujours plus simple. Or c'est une dimension importante du principe ALARA avec son grand R.

L'injonction d'être « raisonnable », et ce en tenant compte des facteurs économiques et sociaux, reflète le contexte d'une époque où l'économie et le social sont devenus des causes dont la préservation paraît aussi légitime que la « protection des intérêts » qui fonde la réglementation¹¹. Elle reflète aussi, et c'est heureux, le fait que la plupart des externalités négatives considérées sont arrivées à un niveau faible. Quand les radiologues ou les salariées de l'US Radium tombaient malades, la raison commandait de réduire les

⁹ Toute exposition se mesure en millisievert (mSv), unité de dosimétrie agrégée qui rend compte de la quantité des rayonnements absorbés, pondérée en fonction de leur nature et de la radiosensibilité des organes touchés.

¹⁰ Du côté des émissions polluantes, on peut mentionner des initiatives pour créer des indices agrégés tels que le paramètre « matières inhibitrices » utilisé pour mesurer les effets biologiques réels de la pollution de l'eau, utilisé pour le calcul des redevances mais pas encore pour la maîtrise des pollutions. Du côté des enjeux pour la santé et pour l'environnement, on peut saluer les travaux de l'Anses, en lien avec la stratégie nationale de bio-surveillance, qui permettent de développer, parfois à l'échelle d'une substance ou d'un groupe de substances, des politiques de gestion des risques, mais dont la déclinaison réglementaire individuelle n'est pas toujours aisée.

¹¹ En matière nucléaire, les « intérêts protégés » définis à l'article L.593-1 du code de l'environnement sont la sécurité, la santé et la salubrité publiques, ainsi que la protection de la nature et de l'environnement.

doses auxquelles ils étaient exposés et on n'avait pas besoin d'un principe ALARA pour le savoir. Mais quand les doses deviennent faibles, quand les risques qui en résultent deviennent relatifs, et que les réduire encore peut laisser penser qu'on gaspille des ressources qui seraient mieux employées à réduire d'autres risques, ou qu'on pénalise l'activité économique et l'emploi, voire l'offre de soins médicaux, que commande alors la raison ?

De fait, il n'est nulle part défini ce qu'on doit entendre par « raisonnablement », terme qui relève du droit mou, pas vraiment à son aise dans le champ régalien : « en ouvrant un espace dans lequel il devenait possible d'articuler prudence et organisation de la prise de risque, le principe ALARA a fait basculer la gestion du risque radiologique du champ sanitaire et technique dans le champ sociopolitique »¹².

C'est là, après celui de l'incertitude discuté plus haut, un second défi majeur pour le régulateur, *a fortiori* lorsque celui-ci, pour répondre à d'autres attentes tout aussi légitimes de la société, dispose de garanties d'indépendance devant assurer que ses décisions ne sont guidées que par des considérations relevant de son domaine de compétence. Le paradoxe est le suivant : une réglementation technique ciblée, ici celle relative à la radioprotection, lorsqu'elle atteint un niveau de performance élevé – en gros, celui d'une maîtrise des risques limitant ceux-ci à des niveaux proches de la vie courante – est alors condamnée à sortir de son périmètre pour se justifier au regard de critères qui lui sont extrinsèques et souvent incommensurables. On entre alors dans le monde compliqué de l'approche multicritère.

Le principe ALARA en radioprotection bénéficie ici du statut de cas d'école, car son application dans le domaine médical a très tôt soulevé ce débat, en le plaçant de surcroît entre les mains des médecins, qui sont les mieux à même de juger ce qui est bon pour la santé des personnes. Le recours aux rayonnements, avec les risques qu'ils comportent, au bénéfice d'un acte diagnostique ou thérapeutique, est un pur arbitrage bénéfice/risque. Les progrès considérables réalisés en matière de radioprotection médicale témoignent là encore de la force du principe ALARA : au-delà des attentes encore existantes sur l'application du principe de justification¹³, l'optimisation a bénéficié d'une poussée continue d'innovation technique, et surtout d'une mobilisation collective remarquable du corps médical. On pensera par exemple à la mise en place

¹² Olivier Godard, Jacques Lochard, « L'histoire de la radioprotection, un antécédent du principe de précaution », École polytechnique, 2005.

¹³ Malgré l'obligation que tout acte soit justifié par le bénéfice médical qui en est attendu, on estime que près d'un tiers des actes d'imagerie ne sont pas indispensables. Les biais de prescription (responsabilité des médecins, rentabilisation des machines...) dépassent le champ de l'arbitrage bénéfice/risque basé sur des critères de radioprotection et de santé.

des « niveaux de référence diagnostiques¹⁴ » pour les actes les plus fréquents ; on peut également mentionner les démarches innovantes de modélisation *a priori* des opérations les plus complexes en radiologie interventionnelle, qui permettent de réduire les doses grâce à une planification optimisée du déroulement des actes.

La transposition de l'exemple de la radioprotection médicale à d'autres contextes d'optimisation multicritères trouve toutefois rapidement ses limites dans le caractère très spécifique du cas d'école qu'elle constitue. En termes de pluralité des critères, il s'agit de comparer le bénéfice d'un acte justifié par la situation présente du patient à un surcroît de risque futur, les deux relevant d'un même domaine, la santé, avec un seul arbitre, le médecin. Par ailleurs les techniques engagées dans le milieu médical sont très génériques, ce qui facilite l'élaboration de standards, et le milieu médical lui-même est un petit monde de professionnels particulièrement qualifiés et disposant de réseaux actifs¹⁵, ce qui facilite l'échange, l'inter-comparaison, le retour d'expérience et, plus généralement, la mobilisation collective.

Dans le cas de la radioprotection des travailleurs, l'optimisation s'est poursuivie au-delà des limites fixées réglementairement, malgré la difficulté qu'il peut y avoir à évaluer le caractère raisonnable d'initiatives pour la radioprotection au regard de leur impact économique et social, qui peut recouvrir des dimensions aussi diverses que le coût, la productivité ou même la pénibilité – un surcroît de protections pouvant alourdir le travail. Les approches purement économiques de l'arbitrage coût/bénéfice, voulant quantifier financièrement le « détrimement évité », ont d'ailleurs vite montré leurs limites¹⁶ : non seulement elles nécessitent le parti pris forcément un peu dérangeant d'attribuer un prix à la vie humaine¹⁷, mais dans les faits elles ne témoignent pas de la réalité des décisions prises par les opérateurs pour améliorer

¹⁴ Les niveaux de référence diagnostiques (NRD) sont des valeurs d'exposition établies pour chaque type d'acte et correspondent au niveau optimal pour des examens standardisés et des patients types. Leur prise en compte permet d'évaluer la qualité des pratiques et d'identifier les examens sur lesquels doivent porter prioritairement les efforts d'optimisation. Voir à ce sujet : Les niveaux de référence diagnostiques (irsn.fr).

¹⁵ Il existe des sociétés savantes dans chaque spécialité médicale concernée par des enjeux de radioprotection : le Conseil national professionnel des manipulateurs d'électroradiologie médicale (CNPMM), la Société française de radiothérapie oncologique (SFRO), la Société française de physique médicale (SFPM), la Société française de médecine nucléaire (SFMN), le G4 Radiologie...

¹⁶ Il serait injuste de ne mentionner ici que les limites des approches socio-économiques, dont l'apport aux processus de décision collectives reste indéniable, notamment en ce que la méthodologie associée oblige à l'identification et l'objectivation des impacts visibles ou cachés des arbitrages à faire. Elles contribuent de ce fait à l'acceptabilité des processus décisionnels.

¹⁷ La détermination d'une valeur statistique de la vie humaine reste nécessaire pour certaines politiques publiques notamment dans le domaine des transports. Celle-ci serait d'environ 3 M€ d'après les « Éléments pour une révision de la valeur de la vie humaine » du Commissariat général à la stratégie et à la prospective, d'avril 2013 (les premiers rapports sur ce sujet étant ceux établis par Marcel Boiteux en 1994 puis 2001, ancien président d'EDF à l'époque de la construction du parc nucléaire !).

la radioprotection¹⁸ : la « raison » des décisions observées est dans les faits beaucoup plus favorable à la radioprotection que ne le serait la stricte « rationalité » financière – nous voilà rassurés !

On retiendra que le principe d'optimisation a contribué à susciter d'importants efforts de réduction de la dosimétrie dans l'industrie nucléaire, en passant notamment par un investissement considérable de mobilisation de l'ensemble des corps de métier, dont témoigne par exemple la « démarche ALARA » mise en place par EDF dans les années 1990. L'appropriation collective de l'enjeu apparaît ici déterminante pour qu'une « raison » opérante émerge et dépasse la portée, intrinsèquement bornée, des « rationalités » d'ordre technique ou financier.

L'extension à d'autres domaines, comme la réduction des émissions industrielles polluantes, se heurtera à l'incommensurabilité des intérêts au croisement desquels il faut trouver un optimum, et à la difficulté opérationnelle qu'il y aura à mobiliser suffisamment de corps de métiers et de parties prenantes pour nourrir des processus de décision fondamentalement transversaux. C'est tout l'enjeu méthodologique des approches multicritères, qui ne peuvent qu'accompagner le processus de prise de décision, sans jamais en préempter le résultat : « partant d'une vision monolithique de la rationalité économique, le milieu des experts et des gestionnaires de la radioprotection s'est en fait converti de façon pragmatique aux approches multicritères. Cela a tout de même pris une bonne quinzaine d'années pour comprendre qu'on n'intègre pas la société dans un modèle, mais qu'on utilise un modèle pour aider la société à prendre des décisions »¹⁹.

Il est intéressant d'observer à cet égard que, faute de dénominateur commun permettant de trouver simplement les décisions optimales ou « raisonnables » (qui le sont d'ailleurs rarement pour tout le monde), l'exigence publique de légitimité glisse souvent de la décision elle-même, dont il est difficile de savoir si elle est bonne, vers la manière dont elle est prise²⁰ – histoire d'être au moins sûr qu'elle est juste.

La mise en responsabilité, un levier puissant pour les assujettis comme pour le régulateur

Les consensus efficaces et les décisions multicritères pertinentes n'émergent qu'entre acteurs responsables. Or le principe ALARA, sans renoncer à un cadre prescriptif sous-jacent – car il continue d'exister une riche

¹⁸ Le montant des investissements pour la radioprotection réalisé par EDF depuis les années 1990 dans le cadre de sa politique ALARA, rapporté aux « mSv évités », dépasse nettement la valeur financière du détrimement évité pour ces mêmes mSv lorsqu'on calcule celui-ci à partir de la valeur statistique de la vie humaine.

¹⁹ Olivier Godard, Jacques Lochard, *ibid.*

²⁰ Voir à ce sujet : Céline Parotte, « L'art de gouverner les déchets hautement radioactifs, analyse comparée de la Belgique, la France et le Canada », Université de Liège, 2016.

réglementation technique relative à la radioprotection – parvient à placer en responsabilité aussi bien l'assujetti que son régulateur, en dépassant l'idée d'un système de contrôle dont l'équilibre serait basé sur le rapport de force entre le premier qui résisterait pendant que le second tenterait de durcir ses exigences ; il « fait en sorte que le système de protection génère de lui-même une limite »²¹.

Du côté de l'assujetti, il ferme la porte à une attitude qui se dédouanerait sur le simple respect de la réglementation technique et qui considérerait les valeurs limites comme un droit à polluer, ou un crédit à consommer²². Comme on l'a vu précédemment, il donne des éléments pour réaliser des arbitrages de priorité et allouer efficacement les ressources destinées à la sécurité et à la protection des personnes. Et il ne fonctionne pleinement que par une mobilisation de l'ensemble de la chaîne des acteurs, notamment ceux qui sont au plus près du terrain, et grâce à la mise en place de démarches de progrès continu, telles qu'on les trouve dans les systèmes de management de la qualité, qui assurent à l'organisation concernée une bonne maîtrise d'ensemble de ses opérations.

Du côté du régulateur, il éloigne le fantasme d'un niveau d'exigence qui réduirait les risques à zéro, il oblige à tenir compte de la réalité de la situation des assujettis (technique, opérationnelle, organisationnelle mais aussi financière ou stratégique), et il nourrit le principe de l'approche graduée, par lequel l'autorité module ses attentes et priorise ses demandes de manière proportionnée aux enjeux réels de l'activité contrôlée – là où des exigences poussées au maximum sur tous les sujets finiraient par disperser les actions importantes de l'exploitant. Enfin, il donne du sens au contrôle, en dépassant le simple « contrôle de conformité » pour aller vers l'examen de la manière dont l'exploitant s'approprie les enjeux – ici la radioprotection – et réalise ses arbitrages d'amélioration et d'optimisation²³. Il s'agit de vérifier que l'exploitant assume pleinement la « res-

ponsabilité première » qui est la sienne²⁴, et pas juste qu'il se conforme à ses obligations – même si cela reste un volet important du contrôle !

Enfin, en obligeant chacun à comprendre l'autre, le principe ALARA amène de l'intelligence et du respect dans la relation contrôleur-contrôlé, ce qui s'avère, dans l'immense majorité des cas, nettement plus productif que le rapport de force ou la coercition pour faire progresser la maîtrise de la radioprotection.

Si le domaine de la radioprotection reste spécifique, il enseigne ici que la mise en responsabilité des acteurs est un levier qui ne peut que concourir au progrès dans la maîtrise des risques et des pollutions dans tous les domaines, et qu'elle doit être considérée comme une finalité essentielle de tout édifice de régulation et de tout système de contrôle.

Conclusion : ALARA, une culture plutôt qu'un principe

Si l'on cherche à résumer ce qui précède, il apparaît en premier lieu que le principe ALARA a donné leur élan à d'indéniables progrès dans le champ de la radioprotection des travailleurs et des patients, au sein des activités nucléaires industrielles et médicales, souvent en avance ou au-delà des limites et prescriptions fixées par la réglementation.

Pour autant, il serait illusoire de penser que c'est ce principe à lui seul qui a permis d'obtenir les résultats constatés, et qu'il suffirait de l'instituer dans d'autres domaines pour obtenir des progrès comparables. Outre qu'il ne suffit pas à lui seul à expliquer les progrès de la radioprotection, qui doivent aussi beaucoup au progrès technique et aux principes de justification et de limitation, il existe de nombreuses spécificités au cas de la radioprotection qui font que la recette qui y a fonctionné n'est pas garantie ailleurs : une spécificité très forte de l'enjeu, assez disjointe des autres natures de risques et qui se prête bien à l'optimisation par les gestes et les pratiques des professionnels, une métrologie homogène, le postulat de la relation linéaire sans seuil et sur l'absence d'innocuité des faibles doses, des corps de métier réduits, compétents et structurés en réseaux nationaux et internationaux...

C'est plutôt par l'émergence d'une « culture ALARA » que le principe a trouvé sa force principale. Cette culture repose sur trois piliers discutés ci-dessus :

- un consensus pragmatique sur la manière d'agir dans l'incertitude ;

²¹ J. Lochard, G.A.M. Webb, « L'application du principe ALARA : un premier bilan », Radioprotection, GEDIM, 1984.

²² L'industrie nucléaire a souvent été critiquée pour sa gestion de certains personnels affectés à des postes dosants, où les rotations étaient décidées sur la base du taux de consommation de la valeur limite d'exposition. La réalité est aujourd'hui nettement plus nuancée, les exploitants appliquant généralement des contraintes de dose inférieures aux valeurs limites ; il arrive cependant que la vitesse et les conditions de réalisation de certains chantiers soit impactée au principal par la nécessité de limiter la dosimétrie des personnels concernés, comme cela a été le cas pour la réalisation des contrôles de la corrosion sous contrainte sur les réacteurs d'EDF en 2022.

²³ C'est dans cet esprit que l'Autorité de sûreté nucléaire examine par exemple, lors de ses inspections, la planification et la gestion de la dosimétrie des chantiers dans les installations nucléaires, ou encore le bon fonctionnement des organes collégiaux d'analyse des événements indésirables dans les centres de radiothérapie (CREX).

²⁴ Le principe de « responsabilité première de l'exploitant » existe dans toutes les activités régulées. Pour les installations nucléaires, on le trouve à l'article L.593-6 du code de l'environnement : « l'exploitant d'une installation nucléaire de base est responsable de la maîtrise des risques et des inconvénients que son installation peut présenter pour les intérêts mentionnés à l'article L.593-1 ».

- une appropriation collective et transversale de l'enjeu, associée à une mobilisation efficace des corps professionnels concernés ;
- une mise en responsabilité pertinente des acteurs aussi bien chez les opérateurs qu'au sein du système de contrôle.

Un quatrième pilier apparaît en filigrane des trois autres, qui ont tous mis plusieurs décennies à s'établir : la maturité du système et de ses acteurs... car tout cela prend du temps et ne marche pas à compter du jour où on le décide, mais après une longue période d'appropriation.

Un certain nombre d'initiatives réglementaires récentes dans d'autres domaines que la radioprotection semble se rapprocher de cette logique. On peut penser au principe de précaution, qui malgré les caricatures qui en ont été faites est destiné à guider l'action lorsque l'incertitude demeure, ou aux études technico-économiques associées à la comparaison au référentiel des « MTD » (meilleures techniques disponibles), qui doivent permettre de réinterroger les choix techniques mis en œuvre sur les sites industriels. Ou encore à l'approche « ERC » (éviter, réduire, compenser) qui oblige à prendre un pas de recul lorsqu'un arbitrage doit être fait sur l'impact d'activités en projet.

Bien que ces développements récents n'aient pas encore vraiment révolutionné la réglementation – ils s'y sont ajoutés – il n'en reste pas moins que les paradigmes régaliens qui la fondent sont arrivés à un tournant. La prochaine vague de réduction des impacts industriels devra peut-être moins à la poursuite du durcissement des prescriptions techniques qu'à l'émergence d'une « culture d'optimisation » reposant sur des piliers tels que ceux qui ont fait leurs preuves dans le champ de la radioprotection. Une telle perspective pourrait être une puissante motivation pour les acteurs de l'industrie ; elle serait aussi une belle opportunité, pour la puissance publique, de donner un nouveau souffle aux systèmes de contrôle qu'elle administre, et une nouvelle légitimité aux corps techniques qui les mettent en œuvre au nom de l'intérêt général.

Comment avoir une politique efficace de réduction des impacts de l'industrie ?

Par Sylvie SUTTER et Thomas LÉOPOLD

Fédération professionnelle France Chimie

La réduction des impacts de l'industrie est encadrée par des dispositions législatives et réglementaires, ainsi que des outils et bonnes pratiques existantes. La mise en œuvre de ces outils permet d'imposer des standards de haut niveau à l'industrie.

En particulier, les principes fondamentaux à mettre en œuvre sont :

- la démarche « Éviter, Réduire, Compenser » qui vise à prévenir autant que possible les risques d'incidences négatives d'un projet sur l'environnement ;
- la maîtrise des impacts, afin que les gains apportés par l'activité soient supérieurs aux éventuelles atteintes environnementales résultant de cette activité, tant en phase de projet qu'en phase d'opération des installations industrielles.

L'étude d'impact permet d'identifier les enjeux environnementaux et d'orienter les choix techniques et économiques vers un projet de « moindre impact », notamment au travers d'une évaluation quantitative des risques sanitaires.

Introduction

La stratégie de politique industrielle de l'Union européenne prévoit une industrie forte, en plein essor et à faibles émissions de carbone, qui s'appuie sur des flux de matières circulaires. L'objectif est de créer un secteur industriel en pleine croissance exerçant une pression de moins en moins lourde sur les ressources naturelles, qui réduise ses émissions polluantes dans l'air, l'eau et le sol et génère de moins en moins de déchets.

Néanmoins, toute activité génère des émissions qui peuvent avoir un impact sur les milieux environnementaux et la santé humaine.

L'empreinte de l'industrie sur l'environnement s'est améliorée, en raison notamment d'une réglementation plus stricte (par exemple la directive relative aux émissions industrielles et la directive sur les installations de combustion), des améliorations de l'efficacité énergétique, d'une évolution vers des types de procédés de fabrication moins polluants et des programmes volontaires visant à en réduire l'impact.

Cependant, l'objectif « zéro pollution » dans le secteur industriel relève d'un défi ambitieux. Les principes fondamentaux à respecter sont :

- la démarche ERC « Éviter, Réduire, Compenser » qui vise à prévenir autant que possible les risques d'incidences négatives d'un projet sur l'environnement ;
- la maîtrise des impacts, afin que les gains apportés par l'activité soient supérieurs aux éventuelles atteintes environnementales résultant de cette activité.

Démarche ERC : Éviter, Réduire, Compenser

La séquence « Éviter, Réduire, Compenser » est une démarche à la fois d'action préventive et de correction des risques d'atteintes à l'environnement. Elle se met en œuvre en priorité à la source, autrement dit : avant la réalisation du projet qui est la source de ces risques.

Pour ces projets, il s'agit ainsi :

- prioritairement, d'éviter les atteintes prévisibles à l'environnement (par exemple en modifiant la localisation des installations, ou le procédé de fabrication quand cela est possible) ;
- à défaut de pouvoir éviter certaines de ces atteintes, d'en réduire la portée (par exemple en installant des équipements spécifiques de réduction des émissions) ;

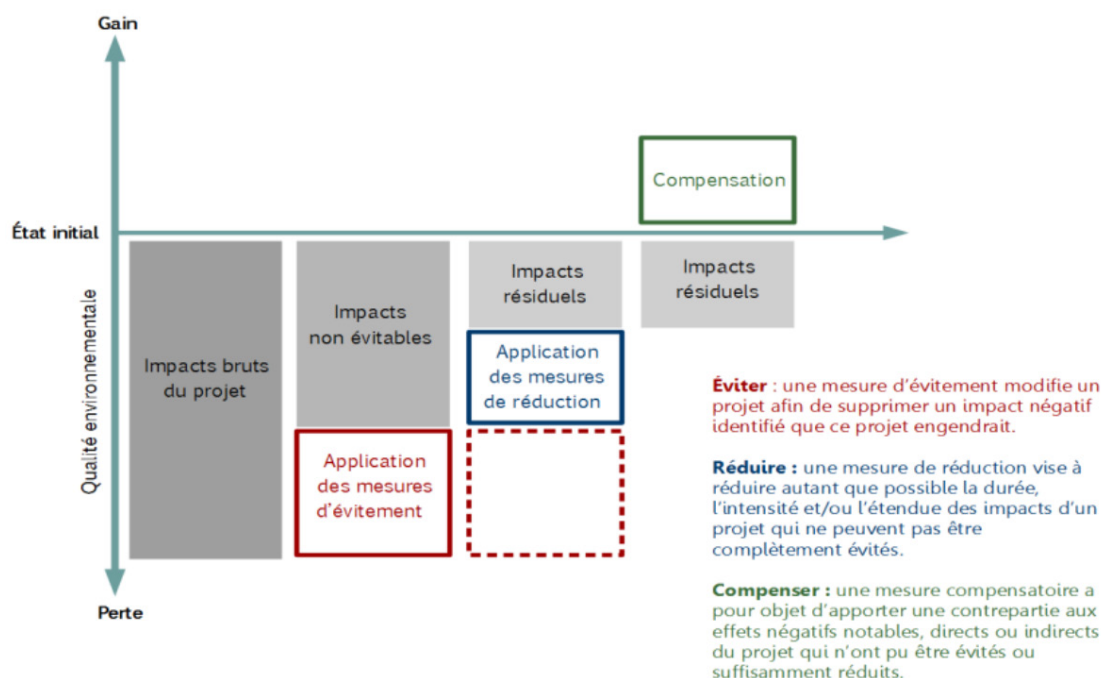


Figure 1 : Utilisation de la séquence ERC (Source : ERC Nouvelle-Aquitaine – <https://www.erc-nouvelle-aquitaine.fr/erc-quest-ce-que-cest/>).

- et, en dernier recours, de compenser les atteintes qui n'ont pu être ni évitées ni réduites, quand cela est possible.

Cette séquence ERC fait partie intégrante de très nombreux processus d'aide à la décision et de prise en compte de l'environnement. Elle est illustrée dans le schéma ci-dessus et on la retrouve notamment dans :

- la démarche d'autorisation environnementale (notamment les articles R.122-5, R.181-14 et D.181-15-2 du code de l'environnement) ;
- les grands objectifs du code de l'environnement en matière de préservation de la biodiversité (notamment les articles L.110-1, L.163-1 à L.163-5 et D.163-1 à D.163-9).

Maîtrise des impacts environnementaux

La maîtrise des impacts environnementaux requiert avant tout le recensement exhaustif des impacts, puis leur évaluation associée à la capacité de les mesurer, et enfin leur réduction.

Elle doit intervenir au cours de la phase de projet d'une installation, avant sa construction, mais aussi tout au long de l'exploitation d'un site industriel.

L'évaluation environnementale d'un projet : l'étude d'impact

L'étude d'impact est une étude préalable à la réalisation de projets qui, par leur nature et importance ou leurs incidences sur l'environnement, peuvent porter atteinte à ce dernier. Elle vise à :

- aider les maîtres d'ouvrages à concevoir un projet respectueux de l'environnement, en privilégiant la prévention des impacts à la source et l'utilisation des meilleures techniques disponibles à un coût économique acceptable ;
- permettre à l'administration compétente de décider en connaissance de cause ;
- informer le public lorsque les projets sont susceptibles d'affecter son environnement et faciliter sa participation à la prise de décision.

Elle résulte de la démarche continue et itérative de l'évaluation environnementale réalisée sous la responsabilité du maître d'ouvrage. Véritable outil d'aide à la décision, l'évaluation environnementale doit être amorcée le plus en amont possible, dès les phases de conception d'un projet, ceci afin :

- de bien identifier et hiérarchiser les enjeux environnementaux susceptibles d'être concernés par le projet ;
- d'orienter les choix techniques et économiques vers un projet de « moindre impact ».

Méthodologie d'évaluation des impacts

Les impacts d'un projet doivent être recensés de façon exhaustive, en considérant :

- l'ensemble des substances/mélanges, qu'ils soient mis en œuvre, fabriqués, créés de façon intermédiaire ou par décomposition, etc. ;
- toutes les activités liées au projet, notamment les stockages, les procédés mis en œuvre, la logistique, etc. ;
- tous les milieux (air, eau, sol et sous-sol) ainsi que la biodiversité, le climat et la santé humaine ;
- les phases de construction et d'opération.

Ensuite une estimation des types et des quantités d'émissions attendues est réalisée, tels que la pollution de l'eau, de l'air, du sol et du sous-sol, le bruit, la lumière, et des types et des quantités de déchets produits durant les phases de construction et de fonctionnement.

Les incidences notables du projet sur l'environnement et en particulier sur la santé humaine sont déterminées à partir de la quantification du risque dans une Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS), décrite ci-après. Notons que le cumul des incidences avec d'autres projets existants ou approuvés doit être analysé.

Une étude d'impact correctement menée et suffisamment complète pose les bases de la compréhension d'une installation et de ses interactions avec l'environnement, tout au long de la vie de l'installation. Elle permet ainsi à l'exploitant de l'installation de définir un plan de gestion de l'environnement, destiné à minimiser ou compenser les impacts résiduels. L'étude d'impact permet aussi à l'autorité compétente de prescrire, en plus des dispositions réglementaires¹ qui s'appliquent à l'installation, des obligations spécifiques associées aux enjeux environnementaux identifiés. Un exemple typique est l'obligation de surveillance voire la prescription d'une valeur limite d'émission portant sur une substance non réglementée.

Contenu de l'étude d'impact

Le contenu de l'étude d'impact (décrit dans l'article R.122-5 du code de l'environnement) est proportionné à la sensibilité environnementale de la zone affectée par le projet, à l'importance et à la nature des travaux et à ses incidences prévisibles sur l'environnement et la santé humaine.

Le contenu de l'étude d'impact comprend *a minima* :

- un résumé non technique ;
- une description du projet (localisation, conception, dimension, caractéristiques) ;
- une description des principales caractéristiques de la phase opérationnelle du projet, relatives au procédé de fabrication, à la demande et l'utilisation d'énergie, la nature et les quantités des matériaux et des ressources naturelles utilisés ;
- une description des aspects pertinents de l'état actuel de l'environnement et de leur évolution en cas de mise en œuvre du projet ainsi qu'un aperçu de l'évolution probable de l'environnement en l'absence de mise en œuvre du projet ;
- une description des incidences notables du projet sur l'environnement, ainsi que de celles résultant de la vulnérabilité du projet à des risques d'accidents ou de catastrophes majeurs ;
- les mesures envisagées pour éviter, réduire et lorsque c'est possible compenser les incidences

¹ En particulier, les BREF associés à la directive relative aux émissions industrielles, les arrêtés ministériels de prescription générale, l'arrêté ministériel du 2 février 1998 modifié.

négatives notables du projet sur l'environnement ou la santé humaine ;

- une présentation des modalités de suivi de ces mesures et de leurs effets ;
- une description des solutions de substitution examinées et les principales raisons de son choix au regard des incidences sur l'environnement.

Maîtrise des impacts en phase d'exploitation d'un site industriel

Le plan de gestion de l'environnement, défini dans la phase projet du site industriel, devra être revu périodiquement, en fonction notamment :

- du suivi des émissions de l'installation au travers des plans de surveillance ;
- de l'évolution de l'installation et de la sensibilité de l'environnement du site.

En outre, les prescriptions définies par l'autorité compétente en phase projet sous forme d'un arrêté préfectoral d'autorisation d'exploiter portent sur de très nombreux aspects : management de l'environnement, surveillance des émissions, réduction des rejets, économie circulaire, etc.

Les sites industriels sont soumis à une réglementation en constante évolution et doivent se conformer :

- aux dispositions législatives et réglementaires issues de l'Union européenne et de la France ;
- aux dispositions spécifiques au site, imposées par l'autorité locale sur la base de l'étude d'impacts et au regard de la sensibilité des milieux.

Les prescriptions applicables au site industriel sont donc mises à jour régulièrement, au fil des évolutions réglementaires, des modifications des sensibilités et pressions des milieux et surtout des modifications des installations sur le site.

L'ensemble de ses dispositions évolutives permettent d'assurer la maîtrise des impacts tout au long de la vie d'un site industriel.

EQRS : Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires

L'Évaluation Quantitative des Risques Sanitaires (EQRS) est un outil d'aide à la décision qui vise dans une situation d'incertitudes à organiser les connaissances disponibles afin de statuer sur le niveau de risque collectif pour la santé ou l'environnement qu'induit une exposition d'individus ou d'organismes à des substances ou à des situations dangereuses.

Une étape primordiale est la hiérarchisation et la sélection des substances à considérer. Les critères à prendre en compte sont :

- les flux émis de la substance vers les milieux environnementaux ;
- la dangerosité / toxicité potentielle de la substance ;

- le devenir dans l'environnement (mobilité, accumulation, dégradation) et le potentiel d'exposition ;
- la sensibilité des populations et des ressources à protéger.

Principes

L'évaluation des risques sanitaires implique une démarche en quatre étapes :

- l'identification des dangers ;
- la définition des relations dose-réponse ;
- l'évaluation de l'exposition ;
- la caractérisation des risques.

Les deux premières étapes qui visent à caractériser le danger ont pour objectif la proposition de Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR) lorsque les données disponibles sur les substances considérées le permettent. Les VTR pour l'exposition chronique sont par exemple utilisées pour réaliser les EQRS pour :

- les populations riveraines des ICPE (Installations Classées Pour l'Environnement) ;
- les utilisateurs industriels, professionnels ou grand public de produits chimiques ;
- les sous-populations d'organismes dans le milieu récepteur d'un effluent.

Valeurs Toxicologiques de Référence (VTR)

Les Valeurs toxicologiques de référence sont fixées par des organismes (agences, instituts, etc.), ou à défaut par les industriels eux-mêmes. Elles permettent d'établir une relation entre une dose et un effet (toxique à seuil d'effet) ou entre une dose et une probabilité d'effet (toxique sans seuil d'effet).

L'élaboration d'une VTR est le résultat d'un travail d'intégration des données disponibles pour une substance (profil (éco)toxicologique), considérant une durée (toxicité aiguë, subchronique ou chronique), une population exposée (travailleurs, populations, organismes), et une voie d'exposition sanitaire (voie cutanée, orale ou respiratoire) ou un compartiment environnemental (aquatique, terrestre, air, sédiments).

Ces données ont souvent été obtenues sur des espèces différentes, mais certaines peuvent aussi provenir d'études d'observation de populations humaines (épidémiologie et biosurveillance des travailleurs le plus souvent).

Les VTR sont établies de façon à protéger les populations les plus sensibles pour l'effet toxique indésirable le plus sensible. Elles sont le plus souvent dénommées :

- « Derived No Effect Level » (DNEL) en santé humaine ;
- « Predicted No Effect Concentration » (PNEC) en santé environnementale.

Elles s'appliquent donc à l'ensemble de la population, mais peuvent parfois être spécifiques d'un sous-groupe de la population (travailleurs, par exemple).

Pour ce faire, des facteurs d'allocation permettent de tenir compte des incertitudes dans la construction d'une VTR. Prenons l'exemple d'une VTR en santé humaine dérivée sur la base d'une étude expérimentale sur des rats. Un facteur 10 peut être alors alloué à la plus forte dose observée sans effet délétère pour prendre en compte la variabilité inter-espèce, et un autre facteur 10 peut être alloué pour prendre en compte la variabilité inter-individuelle qui existe entre un homme de forte corpulence, un enfant ou une femme enceinte. La VTR est dans ce cas 100 fois plus basse que la dose pour laquelle l'effet indésirable le plus sensible a été observé chez le rat.

Le mode de construction des VTR dépend du corpus des données disponibles ou générées *ad hoc*, des connaissances du ou des mécanismes d'action biologique des substances et d'hypothèses communément admises. On distingue ainsi :

- Les VTR « à seuil de dose » sont construites dans le cas de substances provoquant des effets néfastes au-delà d'une certaine dose, et dont la sévérité des dommages augmente généralement avec la dose absorbée. Une exposition de la population en dessous de la VTR doit garantir une maîtrise du risque.
- Les VTR « sans seuil de dose » sont construites dans le cas de substances pour lesquelles l'effet peut apparaître quelle que soit la dose reçue et où la probabilité de survenue augmente avec la dose. Il s'agit, pour l'essentiel, des effets cancérogènes génotoxiques directs. Ce type de VTR est déterminé par rapport à l'augmentation de la probabilité qu'un individu exposé lors de sa vie entière à une unité de dose de la substance développe une pathologie. Elle s'exprime sous la forme d'un excès de risque unitaire (ERU) : le niveau théorique de 1 pathologie pour 100 000 ou 1 000 000 de personnes exposées à cette substance est considéré « acceptable ». Il ne s'agit pas de sacrifier cette personne, mais de se placer à un niveau suffisamment bas pour qu'aucun effet néfaste ne soit détectable dans la population considérée, à défaut de pouvoir garantir totalement une absence de risque (théoriquement inatteignable pour ce type d'effet sans seuil).

Conclusion

La réduction des impacts de l'industrie est encadrée par des dispositions législatives et réglementaires, ainsi que des outils et bonnes pratiques existantes. La mise en œuvre de ces outils permet d'imposer des standards de haut niveau à l'industrie.

Les pollutions dues aux accidents : un angle mort ?

Par Jacky BONNEMAINS

Fondateur et directeur de l'association Robin des Bois

Les pollutions après les accidents sur les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement sont de mieux en mieux prises en compte. Mais après de nombreux accidents et notamment des incendies, la banalisation reste une priorité. Les clichés habituels, « plus de peur que de mal », « les déchets sont partis en fumées », « le vent les a dispersées », les propos rassurants des pompiers repris par les préfets poussent au plus vite au retour à la normale quand bien même s'est produit un évènement anormal et pénalisant l'environnement et la santé publique. Un angle mort majeur concerne les installations non classées. La cathédrale Notre-Dame de Paris en est l'exemple le plus frappant. Les catastrophes de demain avec les nouveaux modes de propulsion décarbonés ne sont pas anticipées. Les pollutions de l'extraction du lithium, du cobalt et des autres métaux rares à l'étranger et en France sont elles aussi masquées. Il est urgent que le public soit informé de ces risques nouveaux et que les moyens de lutte proportionnés soient appréciés, financés et mis en place.

Vocabulaire

J'ai été invité dans le cadre de cet ouvrage à produire un article dont le titre provisoire m'a servi de guide : « Les pollutions dues aux accidents : un angle mort ? ». Au début de cet exercice, je suis plongé dans un grand embarras sémantique et j'ai vu venir le spectre d'un accident du travail.

Pollutions

Les pollutions sont selon la neuvième édition du dictionnaire de l'Académie française « des états de dégradation et de perturbation de l'environnement souvent nocifs à l'homme et aux autres êtres vivants ». Le champ est infini et le mot pollution est emprunté du latin *pollutio* désignant un acte de profanation d'un lieu sacré. La Terre est un lieu sacré et la mort accidentelle des hommes et des autres êtres vivants ou leur infirmité peut être considérée comme la manifestation la plus radicale des pollutions.

Accidents

Les accidents de parcours sont dans le langage commun des faits transitoires qui perturbent sans les condamner des carrières politiques, des projets privés ou des aventures industrielles, et pourtant il y a des accidents de parcours qui dans l'histoire de l'humanité sont éternellement élevés au rang de catastrophe universelle. Le Titanic a été victime d'un accident de parcours, sans qu'en phase post-accidentelle les dommages de la marée noire sur les coraux froids et les baleines subarc-

tiques et les effets sur les sédiments du délitement sur le temps long des peintures au plomb aient fait l'objet de diagnostics et d'une Interprétation de l'État des Milieux (IME). Si le Titanic coulait au même endroit en 2024, la gestion des pollutions post-catastrophe ne serait pas très éloignée de celle de 1912 et pourtant, il y aurait beaucoup plus de Déchets d'Équipements Électriques et Électroniques (DEEE) à l'intérieur de l'épave.

En relisant les trois tomes de Robert Andurand † sur la « désastrologie » préfacés par Haroun Tazieff et édités en 1989 par le secrétariat d'État chargé de la prévention des risques technologiques et naturels majeurs, j'ai constaté qu'il n'hésitait pas à mettre au rang des désastres des accidents aussi disproportionnés et diversifiés que l'incendie d'un nuage de propane dans la raffinerie de Feyzin le 4 janvier 1966 (17 morts, 63 blessés) dû au grand froid (blocage d'une vanne d'échantillonnage par le givrage), l'explosion d'un pressing à Argenteuil le 11 juin 1985 (un passant blessé) et le 10 avril 1985 le camion-citerne fou, chargé de 33 000 litres d'essence et de gazole, dont les freins ont lâché dans la descente du col de Hantz et qui a percuté une ferme à l'entrée du village-rue de Belval déclenchant une apocalypse ainsi décrite : « Le camion explose et un torrent d'hydrocarbures en flammes dévale la rue, traverse le cœur du village, s'engouffre dans le tout-à-l'égout et ressort sous forme de lance-flammes ou de geyser de flammes. Le feu a 300 mètres de long et détruit entièrement 12 maisons sur les 25 du village. Le champignon de fumée noire était visible depuis Senones à quelques kilomètres et le ruisseau qui arrose le village était en feu jusqu'à un kilomètre en aval. Le chauffeur a été tué ».

À chacun sa catastrophe, et si le Titanic est connu jusqu'en Amazonie et en Papouasie-Nouvelle-Guinée, le camion-bombe de Belval n'est une catastrophe majeure que dans le canton de Senones et le département des Vosges.

Robert Andurand était un anticipateur. Dans le tome 1 de son encyclopédie, il soulignait parmi les facteurs humains des catastrophes industrielles l'usage des neuroleptiques qui peuvent déclencher chez ceux qui ont la responsabilité de la conduite d'une installation dangereuse ou d'un engin « des actes inadéquats ou des réflexes atténués ». Il souhaitait que ce domaine soit exploré dans les années à venir et ne soit pas oblitéré ou occulté par les tabous de « secret professionnel » (mis en avant par le patient et le médecin) et de « vie privée » (mis en avant par le patient). « Les problèmes posés par les résistances prévisibles ne seront pas faciles à résoudre » ajoute-t-il. Cette prédiction a été confirmée le 24 mars 2015, dans les Alpes françaises, par le crash volontaire de l'Airbus A320 de Germanwings dont le copilote était dépressif et sous traitement. Comme pour le Titanic en 1912, un siècle plus tôt, cette catastrophe aérienne marquée par le bilan humain et les circonstances tragiques n'a pas fait l'objet d'un suivi environnemental approfondi.

Angles morts

« L'angle mort » a pour la première fois été défini par Furetière dans son Dictionnaire universel en 1678 comme une zone dans une fortification qui ne peut pas être défendue, et par extension l'angle mort est devenu une zone inaccessible au champ de vision pour des raisons physiques, politiques, culturelles, religieuses ou psychologiques. Les angles morts sont maintenant connus de tous les usagers des routes, des villes et des carrefours quand ils suivent un camion de livraison, un camion-toupie ou un camion-poubelle mais les angles morts tuent encore.

Toute innovation et tout emballage technologique est porteur d'un angle mort. Robert Andurand dans les années soixante a participé à Pierrelatte à la maîtrise des agents perfluorés et a recommandé en milieu chimique et hydrocarbures l'usage des mousses d'extinction d'incendies à base de PFAS qui ont sauvé des milliers de vies, freiné la propagation des incendies industriels, mais qui sont aujourd'hui qualifiés de polluants « éternels » détrônant les PCB et les dioxines de leur suprématie ubiquitaire, maléfique et médiatique.

Dans le secteur industriel, les angles morts perdent chaque jour du terrain grâce aux travaux constants et mis à jour du BARPI (Bureau d'analyse des risques et pollutions industriels), du BEA-RI (Bureau d'enquêtes et d'analyses sur les risques industriels), du BEA (Bureau d'enquêtes et d'analyses pour la sécurité de l'aviation civile) et du BEA MER (Bureau d'enquêtes sur les événements de mer), à l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail), à l'IRSN (Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire) et aux autres agences de sécurité, aux sociétés et associations savantes, aux annales des assurances, aux recherches par mots-clés

dans la mémoire numérique de la presse nationale et locale, aux historiens de l'industrie et des guerres et aux inspections des DREAL (Directions régionales de l'environnement, de l'aménagement et du logement), de l'ASN (Autorité de Sécurité Nucléaire) et de l'inspection du travail. Si par un grand effort de mémorisation et d'organisation, toutes ces connaissances étaient rassemblées, la guerre aux angles morts dans les pratiques actuelles serait en passe d'être gagnée.

Angles masqués

Par contre, on peut assister à l'émergence d'angles masqués dus à des propagandes, à des effacements organisés de la mémoire et aux objectifs de décarbonation accélérée.

Hydrogène

La violence de l'hydrogène n'est plus à prouver (sans même se référer à la bombe H). L'Oise en a été la victime dans la nuit du 5 octobre 1930 quand le dirigeable R101 britannique reliant pour son vol inaugural Londres à Karachi a explosé en plein vol au-dessus d'Allonne. Jusqu'à Beauvais les vitres ont volé en éclats faisant croire aux habitants éberlués qu'une nouvelle guerre était déclarée. Le R101, 230 mètres de long, était issu de la première vague de gigantisme du transport aérien. C'était en quelque sorte un pionnier de l'Airbus 380. Le crash de celui qui a été désigné comme le « Titanic des airs » a signé la fin de la filière britannique des dirigeables. Déjà en 1921, l'usine de Hull qui produisait l'hydrogène pour gonfler les dirigeables avait sauté. Les fenêtres avaient été brisées dans un rayon de trois kilomètres. Le souffle avait été ressenti dans un rayon de sept kilomètres et des vibrations et tremblements jusqu'à 70 kilomètres. Grâce à la planification de la décarbonation, le lobby de l'hydrogène revient à la surface et tente de l'imposer dans une large gamme d'engins de transport depuis le chariot élévateur jusqu'au paquebot. L'Organisation Maritime Internationale est très loin de l'intégrer dans ses conventions sur la sécurité des équipages et sur la prévention des pollutions alors qu'une rupture ou une fissure des citernes de stockage sous sa forme gazeuse ou sous sa forme liquide libérerait des flammes invisibles et entraînerait dans une cinétique rapide et furtive la perte totale des navires et des cargaisons, et des pollutions.

Ammoniac liquide

Le lobby des producteurs de nitrate d'ammonium, Yara en tête, voit dans la conversion en carburant de l'ammoniac liquide une diversification de ses profits et un palliatif à la stagnation du marché des engrais du nitrate d'ammonium. Plus de 150 navires de charge sont déjà *ammonia-ready* et dans ces prochaines années de décarbonation le pétrolier grec Kriti Future lancé en 2022 pourrait être propulsé par des milliers de mètres cubes d'ammoniac liquide tout en transportant plus de 100 000 tonnes de pétrole. On ne compte plus à terre les ouvriers, les riverains ou les usagers du train et des routes qui sont morts ou ont été asphyxiés dans des brouillards toxiques après des lâchers accidentels

d'ammoniac et on décompte encore moins les arbres brûlés, les mammifères sauvages intoxiqués et les poissons et batraciens crevés après les déversements de résidus d'ammoniac ou d'eaux d'extinction ammoniacales dans les rivières.

Méthanol

Le lobby du méthanol est aussi à la manœuvre et à la barre du transport fluvial et maritime. Vingt-quatre porte-conteneurs de Maersk et de la compagnie chinoise Cosco vont être convertis du fioul au méthanol. Le méthanol est moins coûteux que le gaz naturel liquéfié mais selon les experts des Chantiers de l'Atlantique, il est plus inflammable et les vapeurs s'échappant lors des soutages sont toxiques et plus lourdes que l'air. Elles risquent dans les ports d'engendrer des explosions et des inflammations.

Au jour le jour et la nuit aussi

Les accidents de transport routier, les rejets toxiques dans les rivières et les incendies de surfaces commerciales et industrielles sont au quotidien les pollutions les plus fréquentes.

Accidents de camions

Les accidents de camions, les déversements d'hydrocarbures et d'acides dans les fossés et les ruisseaux, les incendies de cargaisons qui ne sont pas considérées comme des matières dangereuses mais qui dégagent des panaches toxiques, les carburants fuyards, les pertes massives de granulés plastiques restent en général dans la rubrique des faits divers et le suivi environnemental des pollutions est négligé. Pourtant, 54 ans après l'accident d'un camion-citerne dans un jardin peu avant minuit le 13 décembre 1970 à Benfeld, le tétrachlorure de carbone menace aujourd'hui l'approvisionnement en eau potable de la ville de Strasbourg. Contrairement aux ICPE, les sinistres provoqués par les accidents de camions échappent généralement aux radars de l'administration. Le principal souci du public, de la presse et des préfets concerne le rétablissement de la circulation. Les pollutions consécutives aux accidents de camions sont vraiment dans un angle mort.

Pollutions des eaux

Parmi les pollutions récentes de cours d'eau sont notables le déversement de boues de STEP (Station d'épuration des eaux usées) dans la Reyssouze (Ain), le déversement d'hydrocarbures dans la Garonne par la centrale nucléaire de Golfech, l'épandage de fioul dans un affluent du Doron par la station de ski de Méribel 1600 (Savoie), le rejet de gazole dans l'Yonne par une station essence Esso, la pollution du ruisseau de la Crouza après l'incendie de 14 voitures électriques d'une concession Tesla (Savoie). Les suivis des impacts et du préjudice écologique ont été inexistantes ou sommaires.

Incendies et explosions d'installations fixes

Dans le rapport de Robin des Bois publié le 21 octobre 2021 sur les incendies entre mai 2019 et décembre

2020 dans les établissements industriels et commerciaux, 253 sinistres sont recensés et seulement la moitié concerne des ICPE (Installations classées pour la protection de l'environnement). Les années suivantes jusqu'à aujourd'hui, le rythme ne s'est pas ralenti. Tous ces événements entraînent des émissions atmosphériques et des rejets liquides perturbateurs des milieux naturels et urbains souvent associés à des évacuations de populations ou des confinements, à des suspensions des activités de pêche, de distribution de l'eau potable et de consommation des productions agricoles locales.

Parmi les incendies récents sont notables et représentatifs de la diversité des origines et des conséquences l'incendie d'une usine de parfums Chanel à Compiègne (Oise), site classé Seveso seuil bas, l'explosion dans la sucrerie Tereos à Bucy-le-Long (Aisne) qui a soufflé une toiture en fibrociment et dispersé en milieu rural des fibres d'amiante, l'incendie de deux immeubles « verre et acier » de Rouen (Seine-Maritime) qui étaient en attente de démolition et qui a lui aussi dispersé des fragments et des fibres d'amiante en milieu urbain, l'explosion d'un pack de batteries au lithium au sein d'une installation de panneaux photovoltaïques dans un élevage avicole en Martinique, l'incendie d'un conteneur de batteries lithium à Aghione (Haute-Corse). Un incendie a entièrement détruit dans la nuit du 1^{er} janvier 2024 les bâtiments et les stocks de l'hypermarché Leclerc à Honfleur (Calvados). Si une cellule psychologique pour les employés a été mise en place, aucune cellule post-accidentelle n'a été déclenchée pour évaluer les retombées du panache de la combustion de milliers de tonnes de produits de consommation.

L'incendie de la cathédrale Notre-Dame de Paris et de ses centaines de tonnes de plomb dans la flèche et la toiture a inhibé tous les réflexes basiques de sécurité. Des nuages de plomb échappés d'une fonderie en feu imposent sans délai une évacuation ou un confinement des populations. Des nuages de plomb échappés d'un monument historique en feu deviennent un spectacle et une curiosité. Si Notre-Dame de Paris avait été une ICPE, l'inspection et les autorités préfectorales auraient déclenché une alerte immédiate.

Depuis 2012, la circulaire relative à la gestion des impacts environnementaux et sanitaires d'événements d'origine technologique en situation post-accidentelle et son guide associé incitent les services de l'État à la mise en place d'une cellule post-accident technologique, à la réalisation de prélèvements, d'analyses et d'expertises nécessaires à la détermination des impacts de l'accident sur l'environnement et sur la santé. Cette circulaire post-Lubrizol avant même Lubrizol est trop rarement activée.

Bibliographie

ANDURAND R. (1989), « Éléments de sûreté chimique et de désastrotologie », secrétariat d'État chargé de l'Environnement et de la Prévention des risques technologiques et naturels majeurs.

ROBIN DES BOIS (2021), « Les incendies à la loupe – 2021 », <https://robindesbois.org/les-incendies-a-la-loupe-dossier-national/>

La prévention des pollutions aux États-Unis

Par Alexandre DAMIENS

Conseiller énergie-climat-environnement
à l'Ambassade de France aux États-Unis

Aux États-Unis, existent des lois fédérales qui obligent les installations industrielles à prendre des mesures pour protéger l'air, l'eau, le sol... Le cadre législatif est complexe. Il est simplifié, en partie seulement, par les actions de l'Environmental Protection Agency (EPA), entité fédérale. En effet, les compétences en matière de politique environnementale entre l'État fédéral et les États fédérés sont à géométrie variable. La gestion de la délivrance des permis environnementaux prend la forme d'une mosaïque : il n'existe pas de permis unique, ni de permis uniformes. L'articulation foisonnante des textes normatifs rend ardue la navigation au sein des référentiels. Les exigences techniques ou technologiques, entre obligations de résultats ou de moyens, s'inscrivent dans une architecture peu lisible du grand public. Aujourd'hui, les réformes des permis environnementaux attendent une issue au Congrès.

Les États-Unis sont un État fédéral, constitué de 50 États fédérés. Ils sont la première économie du monde suivant le PIB. Selon les sources, l'industrie américaine représenterait jusqu'à 20 % du PIB national. Les États-Unis disposent d'un appareil industriel important, à la seconde place derrière la Chine. Le pays produit environ 17 % de la valeur ajoutée industrielle mondiale¹. L'industrie américaine se classe notamment première dans la chimie, le plastique et la pharmaceutique². Elle emploie 14,7 millions de personnes, soit environ 10 % des emplois américains. Il y aurait environ 600 000 sites industriels aux États-Unis, dont 36 000 en Californie et 20 000 au Texas.

Le fonctionnement institutionnel accorde la prépondérance au Congrès pour le niveau fédéral, la compétence aux États fédérés en matière d'environnement et une importance capitale aux tribunaux

L'un des objectifs premiers de la Constitution américaine est la séparation des pouvoirs. Le pouvoir de réglementer appartient au Congrès. Il peut être délégué, par la loi, à une agence fédérale.

Les États fédérés bénéficient d'une grande autonomie législative³. Ils jouent un rôle crucial dans les politiques publiques environnementales. Leurs actions respectives peuvent refléter les diversités géographique, économique et politique du pays.

Enfin, les tribunaux au sein des États fédérés sont établis en vertu de la constitution de chaque État. Les tribunaux fédéraux et les tribunaux d'État fonctionnent généralement séparément.

Ainsi, la protection de l'environnement est une compétence partagée entre le niveau fédéral et le niveau des États fédérés, où les décisions judiciaires jouent un rôle important sur les deux niveaux.

Le Congrès a adopté des lois obligeant les installations industrielles à prendre des mesures pour protéger l'environnement

Au fil du temps, le Congrès a promulgué un certain nombre de lois sur l'environnement. Les 11 lois énumérées dans le tableau situé page suivante constituent la base juridique de l'établissement des exigences fédérales en matière de contrôle des pollutions.

Le Clean Air Act (CAA) autorise l'Environmental Protection Agency (EPA), administration fédérale, à fixer des normes d'émission de polluants atmosphé-

¹ U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Annual Report on U.S. Manufacturing Industry Statistics 2022. 64 pages. nvlpubs.nist.gov/nistpubs/ams/NIST.AMS.100-49.pdf. Selon cette étude, la Chine produit 30 % de la valeur ajoutée industrielle mondiale, le Japon 7 %, l'Allemagne 5 %, la Corée du Sud et l'Inde 3 % chacune, la France et l'Italie 2 % environ chacune.

² *Ibid.*

³ La Constitution des États-Unis est une constitution à liste positive, autrement dit, seuls les pouvoirs mentionnés explicitement par la Constitution sont attribués au gouvernement fédéral. Il n'y a pas de mention explicite à la protection de l'environnement.

Tableau 1 : Principales lois fédérales pour la lutte contre la pollution et date de promulgation substantielle^a

Dénomination de la loi	Acronyme usuel	Année
Solid Waste Disposal Act	SWDA	1965
Clean Air Act	CAA	1970
Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act	FIFRA	1972
Clean Water Act	CWA	1972
Safe Drinking Water Act	SDWA	1974
Resource Conservation and Recovery Act	RCRA	1976
Toxic Substances Control Act	TSCA	1976
Comprehensive Environmental Response, Compensation, and Liability Act	CERCLA	1980
Environmental Planning and Community-Right-To-Know Act	EPCRA	1986
Oil Pollution Act	OPA	1990
Pollution Prevention Act	PPA	1990

^a Congressional Research Services (CRS), Federal Pollution Control Laws (RL 34384), 2014. 55 pages, crsreports.congress.gov/product/pdf/RL/RL34384

riques jugés dangereux⁴. Le Clean Water Act autorise la réglementation des rejets de substances dans les eaux. Le Solid Waste Disposal Act régit la réglementation des déchets solides et dangereux. Le Pollution Prevention Act autorise divers mécanismes pour prévenir la pollution à la source. L'Emergency Planning and Community Right-to-Know Act exige de l'industrie le signalement des rejets toxiques et encourage la planification des interventions d'urgence.

La répartition des compétences entre l'État fédéral et les États fédérés est à géométrie variable et la délivrance des permis prend la forme d'une mosaïque

Au début de l'année 1970, l'Environmental Protection Agency est créée par Le Congrès, sous l'impulsion du Président Nixon⁵. Depuis lors, l'autonomie des États fédérés est au centre des débats. La mise en

⁴ Pour ce paragraphe, voir Congressional Research Services (CRS), Environmental Laws: Summaries of Major Statutes, 2013, rapport RL30798, 128 pages. crsreports.congress.gov/product/pdf/RL/RL30798

⁵ Environmental Protection Agency, EPA, site internet, section "The Origins of EPA". <https://www.epa.gov/history/origins-epa>

œuvre conjointe des exigences en matière de contrôle de la pollution a été, et reste, souvent jugée moins qu'harmonieuse⁶.

Les États fédérés peuvent établir leurs propres lois sur la base des exigences nationales. La plupart des lois fédérales, mais pas toutes, autorisent l'EPA à déléguer aux États fédérés le pouvoir de mettre en œuvre les exigences nationales.

Pour qu'un État soit autorisé à mettre en œuvre un programme environnemental fédéral, il doit démontrer qu'il est capable d'administrer les exigences de ce programme, y compris sa capacité à faire respecter ces exigences. Les États doivent demander et recevoir l'approbation de l'EPA pour exercer la compétence visée.

Même si la délégation aux États fédérés est autorisée par une loi fédérale, les États peuvent choisir de ne pas la demander. De plus, selon les lois, les dispositions concernant les délégations peuvent aller d'un extrême à l'autre ; dans certains cas, la primauté de l'État fédéré est presque automatique quand dans d'autres la délégation peut ne pas être autorisée.

Ainsi, il existe une grande variabilité dans la situation administrative potentielle à laquelle une installation

⁶ Congressional Research Services (CRS), Federal Pollution Control Laws (RL 34384), 2014, p. 7.

industrielle doit répondre, suivant la loi, le sujet, le permis à obtenir, l'autorité et le territoire concerné.

En effet, plusieurs lois fédérales exigent des entités réglementées qu'elles obtiennent des permis. Ces permis peuvent établir des niveaux admissibles de rejets de polluants. Ces permis constituent souvent la base principale pour le contrôle et la vérification de la conformité aux exigences environnementales. Les États qui ont reçu la délégation d'autorité mettent en œuvre les lois et délivrent les permis. Ils doivent être au moins aussi stricts que les normes nationales établies par le cadre fédéral. En l'absence de délégation, l'EPA continue d'appliquer la loi fédérale dans l'État.

Enfin, même en cas de délégation, l'EPA conserve l'autorité, telles que déterminées par chaque loi, de prendre des mesures exécutoires, généralement lorsque le gouvernement fédéral estime qu'un État n'a pas réagi à une violation majeure d'une manière « opportune et appropriée ».

L'articulation foisonnante des textes normatifs rend ardue la navigation au sein des référentiels

L'application des mesures fédérales se complique par l'éventail des exigences qui diffèrent notamment en fonction des compartiments environnementaux impactés (air, eau ou sol). En prenant l'exemple de la qualité de l'air, il est possible de percevoir la complexité qui existe.

Le Clean Air Act (CAA) promulgué en 1970, consolidé en 1977 et en 1990, impose à l'EPA de fixer des normes pour la qualité de l'air ambiant (NAAQS⁷ - *national ambient air quality standards*).

Si la loi autorise l'EPA à fixer les NAAQS, les États fédérés sont chargés d'établir des procédures pour atteindre et maintenir ces normes⁸. Les États fédérés doivent adopter des plans connus sous le nom de State Implementation Plans (SIP)⁹. Ils doivent être soumis à l'EPA qui s'assure que ces plans sont adaptés aux exigences de la loi. En cas de dépassement potentiel, l'État fédéré doit imposer des contrôles supplémentaires aux sources existantes afin d'éviter le dépassement. Dans les zones non conformes au NAAQS, les émissions des sources nouvelles ou modifiées doivent être compensées par la réduction des émissions au sein des sources existantes.

Enfin, la législation fédérale impose aux États fédérés l'administration d'un programme complet de permis. Chaque permis délivré à une installation au titre du CAA est d'une durée maximale de cinq ans.

⁷ EPA, NAAQS : epa.gov/criteria-air-pollutants/naaqs-table

⁸ CRS, Clean Air Act: A Summary of the Act and Its Major Requirements, septembre 2022, Rapport RL30853, 27 pages. crsreports.congress.gov/product/pdf/RL/RL30853

⁹ EPA, SIP approuvés, voir epa.gov/air-quality-implementation-plans/approved-air-quality-implementation-plans

Les exigences techniques ou technologiques, entre obligations de résultats ou de moyens, s'inscrivent dans une architecture peu lisible du grand public

Entièrement réécrit en 1990, le programme contre l'exposition aux polluants atmosphériques toxiques contient quatre dispositions principales qui exigent : 1) des normes dites « MACT » pour *maximum achievable control technology*, basées sur les meilleures technologies disponibles par catégorie de sources d'émissions ; 2) des normes basées sur des évaluations sanitaires ; 3) des normes dites « GACT » pour *generally available control technology*, applicables aux sources diffuses et stationnaires (petites, mais nombreuses, telles que les stations-service ou les nettoyeurs à sec, qui émettent collectivement d'importantes quantités de polluants dangereux) ; et 4) la prévention des rejets catastrophiques.

L'EPA est tenue de fixer des MACT pour 187 polluants énumérés dans le CAA. L'EPA doit également réviser ces normes périodiquement, au moins tous les huit ans, afin de tenir compte de l'évolution des techniques et de l'environnement. L'EPA a fixé des MACT pour plus de 100 catégories de sources¹⁰. Les normes MACT s'appliquent généralement aux sources majeures : les installations produisant plus de 10 tonnes par an d'un seul polluant atmosphérique dangereux ou plus de 25 tonnes par an d'un ensemble de polluants atmosphériques dangereux.

Le CAA impose également à l'EPA d'établir des normes nationales appelées *new source performance standards* ou NSPS¹¹. Ces NSPS doivent s'appliquer aux nouvelles installations industrielles. Ces normes ont pour but d'éliminer toute incitation pour les États fédérés à affaiblir les normes afin d'attirer des industries. Les NSPS fixent des niveaux d'émission maximaux déterminés par les meilleures techniques disponibles, appelées *best system of emissions reduction* ou BSER. Pour déterminer les BSER, l'EPA prend en compte la faisabilité technique, le coût, les impacts sur la santé et l'environnement. Les BSER doivent être revues au moins tous les 8 ans¹².

Ce qui est décrit ici pour la qualité de l'air est similaire pour l'eau, le sol et la gestion des déchets dangereux.

Le cadre législatif et réglementaire environnemental américain est loin d'être intégré ou intégral, ce qui mobilise pour le voir évoluer

La taille et la diversité des assujettis aux lois qui visent à réduire les émissions ou les rejets de polluants sont

¹⁰ EPA, MACT, voir epa.gov/stationary-sources-air-pollution/national-emission-standards-hazardous-air-pollutants-neshap-8

¹¹ EPA, NSPS, voir epa.gov/stationary-sources-air-pollution/new-source-performance-standards

¹² EPA, NSR, voir www.epa.gov/nsr

considérables. Il n'existe pas de liste à jour de l'univers complet des assujettis aux principales lois fédérales sur le contrôle de la pollution. Il existe toutefois des bases de données qui offrent une vue d'ensemble. Par exemple, la base de données ECHO¹³ de l'EPA est accessible au public. Elle permet d'effectuer des recherches sur les données relatives à plus de 800 000 installations.

L'ère Trump (2017-2021) a été marquée par une volonté de déréglementation environnementale. L'administration Trump avait appelé les parties prenantes, principalement les industriels, à s'exprimer lors d'une consultation¹⁴. Leurs retours sont disponibles dans le rapport intitulé « Rationalisation de l'octroi des permis et réduction des charges réglementaires pour l'industrie manufacturière nationale¹⁵ ». La première préoccupation des industriels est liée à la délivrance des permis, jugés onéreux et longs à obtenir, causant l'augmentation des coûts des projets, ajoutant de l'incertitude et entravant l'investissement tant dans les installations nouvelles qu'existantes. Les répondants ont également indiqué que les normes étaient mal conçues, impraticables pour certaines. Enfin, les industriels indiquaient qu'ils étaient préoccupés par le chevauchement et le manque de coordination entre les autorités.

Ces critiques ne sont pas nouvelles. Dès 2014, le Centre de recherche du Congrès relevait de nombreuses critiques concernant la mise en œuvre des exigences fédérales en matière d'environnement¹⁶. En réponse, l'EPA a mis en place des programmes d'aide à la mise en conformité. Les centres nationaux d'aide à la conformité (National Compliance Assistance Centers) fournissent une assistance sectorielle. Il existe actuellement 16 centres sectoriels d'aide à la conformité qui disposent d'un portail internet unique¹⁷.

Les alternances politiques paraissent s'exprimer largement sur les programmes environnementaux, domaine où aucune loi significative n'a été votée depuis 1997

Les Démocrates et les Républicains expriment des approches ou priorités différentes en matière d'environnement. Lorsque les deux chambres du Congrès sont

¹³ EPA, ECHO : Enforcement and Compliance History Online, voir echo.epa.gov

¹⁴ Consultation 82 FR 12786 du 7 mars 2017, Department of Commerce, Impact of Federal Regulations on Domestic Manufacturing. [govinfo.gov/app/details/FR-2017-03-07/2017-04516](https://www.govinfo.gov/app/details/FR-2017-03-07/2017-04516)

¹⁵ Department of Commerce, Streamlining permitting and reducing regulatory burdens for domestic manufacturing, octobre 2017, 55 pages. [commerce.gov/sites/default/files/streamlining_permitting_and_reducing_regulatory_burdens_for_domestic_manufacturing.pdf](https://www.commerce.gov/sites/default/files/streamlining_permitting_and_reducing_regulatory_burdens_for_domestic_manufacturing.pdf)

¹⁶ Congressional Research Services (CRS), Federal Pollution Control Laws (RL 34384), 2014, p. 32.

¹⁷ EPA, Compliance assistance centers, voir epa.gov/compliance/compliance-assistance-centers

contrôlées par des partis différents, il est difficile de faire passer des projets de loi, tous domaines confondus. Depuis 1997 aucune loi environnementale significative n'a été votée.

Ainsi, au Congrès, des approches incitatives sont privilégiées, car les approches prescriptives semblent être vouées à l'échec. L'Inflation Reduction Act (IRA, 2022), qui distribue d'importantes incitations fiscales pour déployer des technologies bas-carbone, est le produit de telles constatations.

L'alternance politique de l'exécutif fédéral américain (Clinton-Bush, Bush-Obama, Obama-Trump, Trump-Biden) impacte les programmes environnementaux, sur lesquels on peut constater des « valse réglementaires » : adoption, abrogation, réintroduction, ré-abrogation.

Ainsi, les questions environnementales aux États-Unis sont soumises à des renversements fréquents. La Cour Suprême arbitre les conflits qui en résultent. De ce fait, la Cour Suprême, jugée très conservatrice au sens politique, prend une importance capitale quant à la doctrine du Droit de l'environnement.

Discussion

Aux États-Unis, il existe un consensus sur le fond : il est nécessaire de protéger l'environnement. Sur la forme, il existe des désaccords, notamment quant au renforcement ou à l'allègement de la réglementation fédérale, ou encore la distribution des pouvoirs entre les niveaux fédéral et subfédéral. Le consensus sur la liberté et la prospérité est plus fort ; et, il fait prévaloir la compétitivité du secteur industriel.

L'ère Biden est marquée par le renouveau d'une politique industrielle qui cherche à (re)localiser les industries des technologies bas-carbone aux États-Unis. Le Congrès est le premier décisionnaire en la matière ; il a agi pour faire face à des entités émergentes jugées rivales, en particulier la Chine. Cependant, les défis environnementaux à relever dépassent souvent les frontières, tout comme les enjeux industriels et économiques.

Si l'Union européenne et la France rencontrent les mêmes défis que les États-Unis, face à des enjeux environnementaux similaires, elles sont amenées à les résoudre avec des ressources naturelles et industrielles ainsi que des institutions et une gouvernance toutes assez différentes.

Aujourd'hui, la volonté est forte au sein des États aux économies développées de retrouver une souveraineté industrielle. C'est aussi dans ces pays que les standards environnementaux sont généralement les plus élevés. Cette situation met au jour l'équilibre qui doit être trouvé entre les politiques industrielle et environnementale.

Quel contrôle de la pollution industrielle en Chine ?

Par Julien BOUDET

Service économique régional de l'ambassade de France à Pékin

L'exceptionnel développement économique et industriel de la Chine s'est fait au détriment de son environnement. Néanmoins, une prise de conscience amorcée dans les années 2010 a mené à un renforcement rapide des politiques publiques environnementales. Au cœur de l'économie chinoise avec près de 28 % de son PIB, le secteur manufacturier est naturellement concerné au premier plan par ces nouvelles mesures. C'est particulièrement le cas pour le secteur des industries lourdes, source majeure de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre. En Chine, le contrôle de la pollution se fonde sur l'étude d'impact environnemental et le permis de rejets de polluants. Ce dernier est le principal outil de surveillance des pollutions industrielles. La réglementation met en place des mesures différenciées suivant les industries et les zones d'émissions. Le succès de cet outil encore en construction dépendra des moyens humains, techniques et politiques mis en place.

En 2013, les images de la pollution de l'air pékinoise ont fait le tour du monde, symbole des conséquences environnementales de l'exceptionnel développement économique et industriel du pays. Ces dernières ont suscité une prise de conscience massive au sein de la société civile chinoise entraînant, chose rare en Chine, des manifestations. La réaction du gouvernement ne s'est pas faite attendre avec l'annonce de « la guerre contre la pollution » lancée par le président XI Jinping en 2013. Depuis, les autorités chinoises ont renforcé leurs politiques environnementales avec, notamment, l'émergence du concept de « civilisation écologique » inscrit en 2018 dans la constitution chinoise. Au-delà de ce symbole, la Chine a également rehaussé ses engagements climatiques en septembre 2020 avec l'annonce du pic des émissions de CO₂ avant 2030 et de la neutralité carbone avant 2060. Enfin, plus récemment, elle a présidé avec succès la COP 15 sur la diversité biologique qui a débouché sur le cadre mondial pour la biodiversité de Kunming-Montréal. Alors que le pays a été souvent surnommé « l'usine du monde », quel est l'impact du secteur industriel dans les pollutions ? Comment la Chine concilie-t-elle ses politiques environnementales volontaristes et son important appareil industriel, moteur de sa croissance ?

L'important appareil industriel chinois source de nombreuses pollutions

La Chine championne industrielle

Entamée en 1978, la politique de réforme et d'ouverture menée par DENG Xiaoping a permis à la Chine de connaître un développement économique exception-

nel pendant près de quatre décennies. Ce « miracle » chinois s'est fondé sur une main-d'œuvre abondante et bon marché, des investissements étrangers et des exportations de biens manufacturiers. L'accession de la Chine à l'OMC en 2001 a accéléré son intégration dans les chaînes de valeurs mondiales. Le pays s'est doté d'un important appareil industriel lui valant le surnom « d'usine du monde ». L'industrie manufacturière chinoise demeure la plus importante du monde contribuant à 35 % de la production mondiale. Le secteur revêt une importance cruciale pour l'économie du pays, puisqu'il représentait 28 % du PIB en 2022.

Ce développement économique a profondément bouleversé le pays. Ainsi, en près de 40 ans, le taux d'urbanisation est passé de 18 % en 1978 à 65,2 % en 2022. À la fois pour répondre à cette nouvelle demande et en tant qu'outil de stimulation économique, le pays a fortement investi dans les infrastructures (routes, aéroport, bâtiments, chemins de fer). Une industrie lourde, particulièrement polluante, s'est fortement développée pour répondre à cette demande (ciment, acier et autres matériaux de constructions). Aujourd'hui, malgré une volonté des autorités d'effectuer une montée en gamme de l'appareil industriel, le pays concentre encore une part importante des capacités de production mondiale dans les industries lourdes. Ainsi, la Chine produit près de 60 % du ciment et de l'acier brut mondial, entre 55 % et 65 % de l'acier primaire et de l'aluminium, ainsi que 30 % des produits chimiques primaires utilisés pour fabriquer des plastiques et des engrais. Ces secteurs souffrent aujourd'hui de surcapacités, ayant fait l'objet de surinvestissements dans le cadre de la relance après la crise de 2008.

Des sources de pollutions différenciées

La pollution de l'air, largement due aux industries lourdes

Depuis le lancement de sa guerre contre la pollution de l'air, la Chine a enregistré d'important progrès dans la qualité de l'air avec près de 80 % des villes chinoises ayant connu une amélioration. C'est notamment le cas pour les PM2.5, particulièrement nocifs pour la santé. Ainsi, entre 2013 et 2020, la concentration moyenne nationale a chuté de moitié. Malgré cette amélioration, il est estimé que près de 99,9 % de la population est exposée à un air dépassant les recommandations de l'OMS pour les PM2.5.

Cette pollution provient en grande partie des industries. Selon une enquête statistique conduite par le ministère chinois de l'Écologie et de l'Environnement (MEE), les émissions industrielles sont à l'origine de 60,5 % des particules, 76,3 % des émissions de SO₂, 37,3 % des

NOx et 35,2 % pour les composés organiques volatiles émises dans le pays (cf. Tableau 1 ci-dessous). À l'exception des NOx, majoritairement émis par des sources mobiles (transport) avec près de 58 %, le secteur industriel est donc le principal émetteur. Les pollutions du secteur industriel sont concentrées sur quelques activités. Ainsi la métallurgie est responsable de 23,3 % des émissions de particules, 19,1 % des SO₂ et 27,3 % de NOx. La production d'électricité et de chaleur, encore largement dépendante du charbon en Chine, est responsable de 30,6 % des SO₂ et de 33,1 % des NOx. Enfin, la sidérurgie est responsable de 14,3 % des particules, 21,6 % des SO₂ et de 21,7 % de NOx.

Important émetteur de polluants atmosphériques, l'industrie lourde est également un des principaux émetteurs de dioxyde de carbone avec près de 77 % des émissions du pays (si on y inclut le secteur de la production d'électricité). C'est pourquoi les autorités envisagent de

Tableau 1 : Répartition des émissions des principaux polluants atmosphériques par secteur en 2021 (Source : ministère de l'Écologie et de l'Environnement, Enquête statistique sur les sources fixes de pollution 2021 (2022)).

	Particules	SO ₂	NOx	COV
Industries	60,50 %	76,30 %	37,30 %	35,20 %
Domestiques (sites de traitement des déchets)	38,20 %	23,60 %	3,60 %	30,80 %
Source mobile	1,30 %	-	58,90 %	33,90 %
Installations centralisées de contrôle de la pollution ^a	0,02 %	0,10 %	0,20 %	-
Émissions totales (milliers de tonnes)	5 374	2 748	9 884	5 902
^a Polluants émis par les sites de traitements de déchets domestiques et des déchets dangereux.				

Tableau 2 : Répartition des rejets des principaux polluants des eaux par secteur en 2021 (Source : ministère de l'Écologie et de l'Environnement, Enquête statistique sur les sources fixes de pollution 2021 (2022)).

	DCO	NH ₄	Azote	Phosphore
Industries	1,70 %	2,00 %	3,20 %	0,90 %
Domestique	32,10 %	66,90 %	43,60 %	20,60 %
Agriculture	66,20 %	31,00 %	53,20 %	78,50 %
Installations centralisées de contrôles de la pollution	0,04 %	0,10 %	0,10 %	0,02 %
Émissions totales (milliers de tonnes)	25 310	868	3 167	338

renforcer les synergies entre la réduction des émissions de gaz à effet de serre et les émissions de polluants.

L'agriculture, principale source de polluants des eaux chinoises

La qualité des eaux de surface chinoises est en nette augmentation au cours dernières années, la proportion des eaux de surfaces de qualité mauvaise et très mauvaise (catégories IV, V et inférieure) a en effet constamment diminué, passant de 39 % en 2005 à 12 % en 2022. En revanche, la qualité des eaux souterraines s'est significativement dégradée. En 2018, 86,2 % des eaux souterraines chinoises étaient de catégorie IV ou V, contre 55 % en 2011. L'agriculture a été identifiée comme l'une des principales responsables de cette pollution des eaux souterraines, du fait de la contamination des sols par l'usage intensif des engrais et des pesticides.

Une étude statistique du ministère de l'Écologie et de l'Environnement estime ainsi que 66 % des DCO, 31 % du NH₄, 53,2 % de l'azote et 78,5 % du phosphore présents dans les eaux viennent de l'agriculture. Le secteur industriel est donc peu représenté dans les principaux polluants des eaux.

Plusieurs réglementations pour réduire les pollutions industrielles

Une myriade de plans et réglementations pour réduire les pollutions

La Chine est une économie encore largement planifiée dont les lignes directrices sont tracées par les plans quinquennaux. Publié tous les 5 ans, le plan quinquennal fixe des objectifs économiques et sociaux, mais également de manière croissante des objectifs environnementaux. Le plan actuellement en vigueur est le 14^e plan, s'étalant de 2021 à 2025. Bien que n'ayant pas officiellement de valeur contraignante, il constitue pour les autorités chinoises un cap politique central. Ces grands objectifs sont à la fois déclinés sectoriellement et à tous les niveaux administratifs : provinces, villes et districts. Les ministères élaborent leurs réglementations avec comme priorité la réponse aux objectifs du plan quinquennal en vigueur.

Dans le secteur environnemental, le 14^e plan quinquennal prévoit i) la réduction de la consommation énergétique par unité de PIB de 13,5 %, ii) la réduction de l'intensité carbone par unité de PIB de 18 %, iii) l'augmentation de 87 à 87,5 % de la part des eaux de surface de catégorie III ou supérieure, et iv) l'augmentation de 83,4 à 85 % de la part des jours avec une bonne qualité de l'air dans les standards chinois (différents de ceux de l'OMS).

La poursuite de ces objectifs a mécaniquement un impact sur le secteur industriel. Le gouvernement cible plus particulièrement les activités dites « deux hauts », c'est-à-dire à la fois fortement énergivores et fortement émettrices. Cela concerne notamment la production d'électricité et de chaleur à base de charbon, la sidérurgie, la métallurgie et la chimie. Ces industries font l'objet

d'un traitement spécifique avec un renforcement des contrôles et la réduction des approbations de nouvelles unités de production. Les industries concernées sont soumises à des objectifs d'efficacité énergétique, sous peine de fermeture en cas de non atteinte des objectifs. Enfin, la plupart de ces secteurs industriels devraient être couverts par l'extension du marché carbone national. Lancé en juillet 2021, il ne couvre actuellement que le secteur de la production d'électricité mais devrait prochainement s'élargir à d'autres secteurs tels que la métallurgie et la sidérurgie.

Même si elles échappent à cette pression particulière de la part des autorités centrales, les autres industries restent contrôlées. Elles sont notamment assujetties à l'évaluation d'impact environnemental (EIE), principal levier de prévention des pollutions à la source, ainsi qu'au permis de rejets de polluants, principal outil de surveillance des sources fixes de pollution. Les deux systèmes forment la base du système de contrôle de la pollution industrielle chinoises. L'EIE, arrivant en amont de la construction, permet d'évaluer les pollutions induites par le futur site. L'obtention du permis de rejet requiert l'approbation de l'EIE avec lequel il doit s'inscrire en cohérence. Ce sont ainsi près de 2,36 millions d'entreprises qui rejetteraient des polluants en Chine.

Le permis de rejet de polluants : un outil en cours de construction

Les prémices d'un permis de rejet de polluants remontent aux années 1980. À l'instar de nombreuses réglementations en Chine, il a fait l'objet d'initiatives au niveau local, avant son extension au niveau national. Cependant, l'application nationale du permis de rejets est toujours en cours de déploiement. Le MEE a indiqué qu'une « couverture exhaustive pour l'inspection des permis de rejets » serait en place d'ici 2025.

Un cadre réglementaire à l'intersection de plusieurs lois de luttres contre les pollutions

L'obtention d'un permis de rejet de polluants est mentionnée dans plusieurs lois chinoises : la loi pour la protection de l'environnement, la loi sur la prévention et du contrôle de la pollution de l'eau et la loi sur la prévention et du contrôle de la pollution de l'air. Le décret publié en 2021 par le Conseil des Affaires de l'État en définit les modalités et en donne la supervision au MEE. Ce dernier est chargé de définir les industries concernées ainsi que les limites de rejets, d'approuver et d'assurer le contrôle à travers les bureaux municipaux de l'écologie et l'environnement. Ces derniers sont sous l'autorité directe des municipalités auxquelles ils appartiennent, cependant ils doivent également répondre aux demandes du ministère, avec parfois des objectifs divergeant et partiellement contradictoires.

Un champ d'application très large avec des prescriptions différenciées

La réglementation établit deux types de gestion : une gestion « clé » et une gestion « simplifiée ». Ces gestions sont complétées par un système de déclaration pour les unités peu polluantes :

- La gestion « clé » : cette catégorie s'applique aux unités rejetant une quantité importante de polluants avec des conséquences importantes pour l'environnement. Il fait l'objet d'un contrôle plus poussé, tel que l'obligation d'enregistrer en temps réel les données des rejets qui sont transmises au système de surveillance du bureau local du MEE.
- La gestion « simplifiée » : cette catégorie s'applique aux usines rejetant de faibles quantités de polluants et avec un impact faible sur l'environnement.
- Les usines rejetant très peu de polluants avec peu d'impact sur l'environnement sont soumises à un simple régime déclaratif.

En l'absence de définition des différentes catégories dans le décret publié en 2021, c'est l'arrêté du MEE de 2017 qui continue à faire foi. La réglementation s'applique ainsi à 50 secteurs, chaque secteur étant divisé en activités (111 au total). Pour une même activité, la catégorie de gestion peut être différente en fonction de l'échelle du site.

L'obtention d'un permis de rejet et son contrôle

Les unités doivent soumettre leur demande au bureau local du MEE. La demande comporte les informations relatives à l'entreprise, les polluants rejetés, les normes appliquées et les plans de l'unité. L'organisme effectuant la demande indique les mesures mises en place pour surveiller et contrôler les polluants. Les autorités locales peuvent appliquer des normes spécifiques dans des « zones clés » ou des bassins ne répondant pas aux standards nationaux sur l'environnement.

Les services compétents doivent fournir une réponse sous 30 jours dans le cas d'usines soumises à une « gestion clé » et 20 jours dans le cas d'une gestion simplifiée. Le permis obtenu est valable pour une durée de 5 ans.

La réglementation encourage l'utilisation de « technologies réalisables pour la prévention et le contrôle de la pollution ». Ces technologies sont définies par des lignes directrices pour chaque industrie, élaborées en concertation avec les ministères concernés, les associations industrielles, les entreprises, les institutions publiques et le public. Si l'unité n'adopte pas les « technologies réalisables », le département de l'écologie et de l'environnement est chargé de juger si l'option proposée par l'unité permet de répondre aux exigences du permis de rejet de polluants.

Une plateforme nationale intègre l'ensemble des demandes, recense l'ensemble des permis de polluants et permet à l'ensemble des usines de rapporter leurs émissions. Une telle transparence dans les données en Chine est assez rare pour être soulignée. Ces données peuvent servir pour le contrôle et, le cas échéant, pour imposer des pénalités.

La question du contrôle est cruciale en Chine, notamment dans le secteur environnemental. En effet, les bureaux locaux de l'écologie et de l'environnement souffrent parfois d'un portage insuffisant, avec des moyens humains et financiers limités. Ils sont directement sous le contrôle du maire (et non du ministère), ce

qui peut amener à prioriser les objectifs économiques à la protection de l'environnement. Le renforcement à venir de cette réglementation à travers des inspections renforcées et un champ d'application élargi devra donc s'accompagner de moyens pour son application.

Conclusion

La Chine a indéniablement pris la mesure de l'impact de son développement économique et industriel sur son environnement. Des progrès significatifs ont été enregistrés sur les pollutions de l'air ou de l'eau. Cependant, le ralentissement économique qu'elle connaît récemment pourrait amener à une baisse de l'ambition de protection environnementale, comme cela a pu être le cas avec les objectifs climatiques chinois, ralentis par l'approbation de nouvelles centrales à charbon.

La régulation du secteur industriel est au cœur de la protection de l'environnement en Chine. L'industrie lourde ou « deux hauts » fait l'objet d'une surveillance rapprochée. Au-delà du renforcement de la réglementation à son égard, l'amélioration devrait également venir d'une transformation de l'économie chinoise, moins centrée sur les industries lourdes.

Les autorités affichent leur volonté de renforcer le contrôle des émissions de polluants sur une large palette de secteurs à travers le permis de rejet de polluants, outil en cours de consolidation, mais pour lequel les moyens humains, techniques ou politiques ne sont pas encore assurés.

Bibliographie

- AMBASSADE DE FRANCE EN CHINE (2023), « L'eau en Chine : une ressource menacée » et « L'agriculture, à la fois responsable et victime de la crise de l'eau en Chine », Observatoire des nouvelles énergies en Chine n°19 (ONEC), pp. 2-12.
- LIU H., EVANS S., ZHANG Z., SONG W. & YOU X. (2023), "Industry", The carbon brief profile: China.
- MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DE L'ENVIRONNEMENT (2022), « Enquête statistique sur les sources fixes de pollution 2021 ».
- SANDALOW D., MEIDAN M., ANDREWS-SPEED P., HOVE A. & YUE S. DOWNIE E. (2022), "Urban air pollution and urbanization", Guide to chinese climate policy 2022, pp. 162-176.
- SER DE PEKIN (2023), « La décarbonation de l'industrie lourde, un chantier prioritaire », T2 2023, Bulletin d'analyse économique, pp. 9-12.

Polluer moins ici, polluer plus ailleurs ? La compétitivité de l'Europe

Par **Éric BOURDON**,

Directeur général adjoint du groupe Vicat

Emmanuel NORMANT

Directeur du Développement durable du groupe Saint-Gobain

Et **Philippe PRUDHON**

Ex-directeur des Affaires techniques de France Chimie

Polluer ici ou ailleurs, c'est d'abord apporter des solutions ici et ailleurs ! Les entreprises se développent en premier lieu là où les marchés sont vigoureux, et beaucoup des entreprises françaises sont au cœur de la transformation environnementale de leur chaîne de valeur par les solutions et les services qu'elles développent. Et elles agissent de même au quotidien pour diminuer leur empreinte environnementale. Mais elles font face à une concurrence forte, à la fois pour choisir où se développer, mais aussi face à des concurrents qui pourraient venir de zones avec des contraintes plus faibles. La décarbonation de notre économie, la souveraineté de notre pays sont autant d'opportunités pour investir sur notre territoire. Pour réussir et accélérer ces transitions, il est nécessaire d'intégrer un certain nombre de paramètres clés (coût de l'énergie, équité de la réglementation, équité technologique, délai d'instruction pour ouvrir une usine...) afin d'assurer la souveraineté de la France et de l'Europe et de minimiser les impacts environnementaux.

Introduction

Résumer le couple compétitivité de l'Europe et délocalisation des sites industriels serait simpliste alors que la question de l'empreinte sur l'environnement est au cœur de la politique des entreprises et plus largement la RSE. Pour autant, les entreprises doivent intégrer la compétitivité face aux acteurs de grandes régions du monde et s'organiser en conséquence. Des opportunités de marchés et le contexte géopolitique peuvent amener les entreprises à investir dans telle ou telle région et revoir leurs priorités.

Les entreprises ont besoin d'un cadre réglementaire en Europe et dans les autres parties du monde, elles demandent une équité dans le traitement afin d'éviter des distorsions de concurrence.

Il est nécessaire de distinguer la différence de compétitivité au sein même de l'Europe et celle avec les grandes régions asiatiques et américaines. Les facteurs qui président à cette différenciation ne sont pas de même nature.

Mots-clés du développement industriel en France

Un grand nombre de facteurs interviennent pour comprendre ce débat.

Croissance et opportunités locales

L'Asie du fait de sa population a d'énormes besoins et présente de nombreuses opportunités d'où la construction d'usines neuves avec les meilleurs standards environnementaux pour alimenter les marchés locaux et internationaux.

Coûts de production

Lorsque les prix de revient sont nettement inférieurs dans une zone du monde par rapport à d'autres, coûts de logistique inclus, les produits inondent les autres parties du monde avec des conséquences sur la vie des usines en Europe.

La recherche continue d'une plus grande valeur ajoutée des produits et des services permet de limiter l'impact prix mais cette question des prix reste majeure.

Approvisionnement en énergie compétitive : pour les activités très énérgo-intensives, l'approvisionnement en énergies et leur prix sont deux données cruciales pour le développement des activités. Ce point est d'autant plus critique qu'il touche des produits en début de la chaîne de valeur (acier, aluminium, ammoniac...) et en l'absence de solution, la délocalisation semble inéluctable pour les entreprises concernées avec un effet collatéral qui entraîne la délocalisation de tout ou partie des secteurs en aval pour optimiser les coûts de logistique.

Le plan France 2030 et les nombreux appels à projets sont une réelle opportunité pour les entreprises pour décarboner leurs activités, s'affranchir des énergies fossiles et communiquer auprès des clients.

Souveraineté

La pandémie du Covid a fait prendre conscience de la vulnérabilité de l'Europe et la France n'y échappe pas face aux productions asiatiques (masques, médicaments et bien d'autres produits). Ce sujet a été exacerbé avec des contraintes géopolitiques mondiales récentes avec des conséquences sur les approvisionnements et les coûts logistiques. La question de la relocalisation d'usines pour couvrir nos besoins essentiels et alimenter les secteurs industriels stratégiques est devenue un enjeu majeur pour notre pays et plus globalement pour l'Europe et présente des opportunités pour créer des usines en France.

Ce sujet de la souveraineté prend des formes différentes entre les grandes zones géographiques et sans rentrer dans les détails, le plan américain « IRA (Inflation Reduction Act) vient bouleverser les politiques européennes sur les investissements industriels à venir indépendamment des questions environnementales. La France et l'Europe tentent de proposer des plans en Europe pour favoriser le développement de notre industrie.

Réglementation

Les entreprises ont besoin d'un cadre réglementaire mais si les contraintes en Europe sont disproportionnées par rapport à d'autres zones du monde, cela entraîne des pertes de compétitivité non compensables en termes d'image.

Différence de compétitivité au sein de l'Europe

Il existe au sein même de l'Europe des différences de compétitivité liées aux coûts du travail, à l'énergie, à l'application de la réglementation européenne voire des spécificités nationales. Nous traiterons seulement le cas de la réglementation. Il est à noter que le développement des règlements européens (Reach, biocides, étiquetage...), qui sont applicables en l'état dans tous les pays d'Europe, favorise l'uniformité de traitement, limitant ainsi l'écart de compétitivité au sein de l'Europe.

Toutefois, bon nombre de réglementations européennes prennent la forme de directives et laissent une initiative aux États dans la mise en œuvre. Le gouvernement français a pris pour principe d'éviter toute surréglementation.

Pour reprendre les propos d'un ministre « la compétitivité hors coûts doit être prise en compte ». Aussi l'impact des délais d'instruction d'un dossier de l'implantation d'un nouvel atelier ou d'une usine est très important. Une enquête a montré que le délai théorique de 9 mois est très similaire entre l'Allemagne, la France et la Pologne en revanche les délais réels restent identiques en Allemagne alors qu'ils sont de 18 mois en

moyenne en France. Les industriels ont soutenu la loi « Industrie verte » pour mettre en parallèle les différentes procédures et ramener les délais d'autorisation d'exploiter en France à des termes comparables à ceux de nos voisins limitrophes.

Deux exemples ci-dessous de sociétés sont donnés pour illustrer concrètement les différentes facettes du sujet.

Illustrations concrètes

Exemple du groupe Vicat

Présentation du groupe Vicat

Le groupe Vicat est une entreprise française, sous contrôle familial, créée il y a 170 ans dans la lignée de Louis Vicat, inventeur du ciment artificiel en 1817. Le chiffre d'affaires au niveau du groupe en 2023 est estimé à environ 4 Mds€ avec un Ebitda de plus de 700 M€. Le groupe emploie environ 10 000 collaboratrices et collaborateurs répartis dans 12 pays.

Le groupe développe une offre performante de matériaux de construction minéraux et biosourcés, et de services répondant aux besoins des métiers de la construction. Partout où ses cimenteries, carrières de granulats, centrales à béton, usines de produits de second œuvre sont implantées, Vicat s'attache à produire localement, en développant les territoires et l'emploi.



Les produits

Pour mémoire, le ciment, mélangé à l'eau est la colle du béton. Avec plus de 4 milliards de tonnes, le ciment est le deuxième produit consommé dans le monde en volume après l'eau. Le béton est un produit de construction irremplaçable et reste le seul en quantité et en qualité à pouvoir répondre durablement aux besoins en infrastructures et en logements d'une population mondiale qui passera selon les estimations de 8 milliards d'habitants actuellement, à plus de 10 milliards en 2050.

Dans ce contexte, le groupe Vicat développe et met sur le marché des produits et solutions répondant au besoin d'adaptation des territoires au changement climatique tout en adaptant ses propres installations de production.

Stratégie de Vicat pour minimiser l'empreinte environnementale

Le ciment est un produit pondéral qui voyage relativement peu. L'approche du groupe est donc une approche multi-locale. Faire voyager le ciment par-delà les continents n'a pas de sens, les matières premières étant disponibles quasiment partout dans chaque partie du monde.

Le groupe Vicat a fait le choix de s'adapter à la disparité des niveaux de réglementation dans le monde en lien

avec les enjeux climatiques. Le groupe dispose d'un portefeuille pays comportant des pays réglementés tels que la France, la Suisse, l'Italie et la Californie et les autres pays avec une réglementation en devenir. Les pays réglementés mettent en place des conditions de marché propices au déploiement d'une offre décarbonée même si celle-ci est plus chère. Les règles du jeu s'appliquant à tous, sur un marché donné, il appartient à chaque acteur d'être le plus agile et le plus rapide pour proposer cette offre. Les nouvelles technologies de production ainsi que les nouveaux produits (à performances équivalentes aux produits existants) développés dans les pays à forte réglementation peuvent ensuite être déployés dans les autres pays dans une démarche vertueuse de décarbonation de notre chaîne de valeur partout dans le monde.

La réduction de l'empreinte carbone des produits et solutions du groupe Vicat est réalisée en mettant en œuvre les actions technologiquement et financièrement accessibles selon les pays, telles que l'optimisation énergétique, la substitution des combustibles fossiles primaires par des combustibles alternatifs (déchets des collectivités) et la réduction de la part de clinker (principe actif du ciment concentrant le poids CO₂ dans le ciment). Ces solutions de décarbonation permettent souvent d'allier rentabilité économique et décarbonation partout dans le monde.

Deux tiers du CO₂ émis lors de la production du clinker, le principe actif du ciment, sont issus de la décarbonation du calcaire, CO₂ appelé CO₂ process ou "hard-to-abate CO₂". Seul le recours à la capture de CO₂ permet de tendre vers la neutralité de la construction. La capture du CO₂ requiert des ressources financières importantes en CAPEX et OPEX et, comporte des risques dans la mise à l'échelle des solutions technologiques. La capture de CO₂ ne peut donc être réalisée que dans les pays à forte réglementation et sur un marché adapté, ce qui est le cas notamment de la France. Le CO₂ n'est pas un polluant mais un gaz à effet de serre quand il est relargué dans l'atmosphère sous sa forme gazeuse. La molécule de CO₂ présente un intérêt potentiel combiné à de l'hydrogène bas carbone pour produire des molécules de synthèse telles que plastiques ou carburants (e-methanol, e-kerosene...) et donc pour son usage (CCU). Le CO₂ peut aussi être stocké de manière pérenne en sous couche géologique (CCS).

Chaque groupe international se doit de réaliser un arbitrage entre les gros projets d'investissements de capture de CO₂ en Europe ou aux États-Unis et les projets de croissance dans le reste du monde.

Investir pour de la croissance dans le reste du monde ne veut pas dire émettre du CO₂ ailleurs pour deux raisons. Tout d'abord comme expliqué plus haut le ciment n'a pas vocation à voyager entre les continents. Ensuite les investissements dans les nouvelles unités de production pour un groupe comme Vicat sont une occasion d'installer une unité moins énergivore et utilisant les meilleures technologies disponibles pour se décarboner (en dehors de la capture du CO₂). À titre d'exemple, la Société financière internationale (SFI), filiale de la Banque mondiale, a accordé en 2022 un prêt vert (*green loan*) de 242 M€ (environ 256,6 M\$)

à Sococim Industries, la filiale au Sénégal du groupe Vicat. Cette ressource sert à financer la construction d'un nouveau four pour une mise en route en 2024 pour la production de ciment bas carbone. C'est le premier prêt de la SFI pour des investissements dans la fabrication durable des matériaux de construction en Afrique.

Afin de permettre un arbitrage en faveur d'une installation de capture de CO₂, sur le marché français, en évitant donc une délocalisation, certaines conditions doivent être garanties et pérennes telles que l'accès à l'énergie électrique bas carbone, l'incitation réglementaire sur les usages des produits bas carbone, une neutralité technologique du législateur, l'acculturation du grand public aux enjeux des transitions : l'industrie est une solution pas un ennemi, la formation, les aides financières d'État, la solidité du contrôle des importations *via* le mécanisme d'Ajustement Carbone aux Frontières.

Il est donc possible de décarboner la production de ciment partout dans le monde sans avoir à délocaliser et en avançant par étapes au gré de l'évolution de la volonté politique dans chaque région et des moyens réglementaires et financiers publics mis en œuvre localement.

Le projet VAIA visant à décarboner 90 % de la production de l'usine de Montalieu-Vercieu en Isère (38) marque la volonté du groupe Vicat de s'inscrire dans la politique de décarbonation de l'État français.

Exemple du groupe Saint-Gobain

Présentation du groupe Saint-Gobain

Saint-Gobain, créé en 1665, est un groupe de 166 000 collaborateurs, 50 Mds d'€ de chiffre d'affaires et présent industriellement dans 75 pays. Il a comme ambition d'être le *leader* de la construction durable et comme raison d'être "making the world a better home". Les activités de Saint-Gobain s'inscrivent principalement dans une chaîne de valeur qui est celle du bâtiment et de la construction.



Stratégie du groupe Saint-Gobain pour minimiser l'empreinte environnementale

L'objectif est d'amener le monde du bâtiment dans son ensemble dans une trajectoire de décarbonation, de réduction de la consommation en ressources tout en améliorant le confort et le bien être des habitants. C'est une approche qui tient compte de l'ensemble du cycle de vie du bâtiment, la production des matériaux et des solutions n'étant qu'une des étapes de l'ensemble.

Pour rappel, dans le monde, près de 40 % des émissions de gaz à effet de serre sont liées au bâtiment, près de 40 % des consommations de ressources également. Les solutions développées par Saint-Gobain couvrent l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments, le remplacement des matériaux « lourds » par des solutions de construction plus légère partout où c'est possible et le

développement d'additifs pour accélérer la décarbonation des matériaux lourds (béton, ciment, briques...).

Le bénéfice des solutions de Saint-Gobain lors de leur utilisation dépasse très largement l'impact qu'elles peuvent avoir lors de leur production. Par exemple, l'énergie économisée par l'installation de solutions d'isolation dans un bâtiment compense en juste 3 mois l'énergie nécessaire à leur production. Et, bien évidemment, ces solutions d'isolation ne sont pas installées que pour 3 mois.

Les solutions de Saint-Gobain sont principalement produites localement – la plupart des matériaux vendus dans un pays sont produits dans ce pays ou à proximité, ce sont des matériaux qui ne voyagent en général pas sur de longues distances. L'enjeu n'est donc pas de produire ici ou ailleurs pour servir le marché français ou européen, l'enjeu est plutôt d'accroître le plus rapidement possible la production de ces solutions dans chacune des zones géographiques où nous opérons pour accélérer la transition du secteur du bâtiment, car les besoins sont immenses – par exemple, la plupart des bâtiments européens sont mal isolés et seront encore là en 2050. Même si la production est génératrice d'externalités négatives, le bénéfice en analyse de cycle de vie du bâtiment justifie une telle accélération. C'est « produire beaucoup plus aujourd'hui et ici pour accélérer la transformation d'un secteur ».

Bien évidemment, une telle production doit être la plus vertueuse possible. Et, nous faisons la démonstration chez Saint-Gobain, qu'il est désormais possible pour la plupart de ses procédés de produire très bas carbone et à très faible intensité en ressources, en améliorant l'efficacité énergétique des procédés, grâce à une électrification poussée des procédés, en substituant les combustibles fossiles résiduels par des combustibles biosourcés ou par de l'hydrogène, en augmentant significativement le contenu recyclé, notamment pour les produits verriers

Trois illustrations :

- 6 avril 2023 : le groupe Saint-Gobain annonce le démarrage d'une production 100 % décarbonée de plaques de plâtre dans son usine de Frederkstad en Norvège. La décarbonation du processus de fabrication a été rendue possible grâce au passage du gaz naturel à l'électricité d'origine hydraulique, évitant ainsi 23 000 t d'émissions de CO₂ par an. Grâce à la modernisation de l'usine, à l'amélioration de la récupération de chaleur et de l'efficacité du processus, la consommation énergétique du site a par ailleurs été réduite de 30 %. Avec cette première mondiale, Saint-Gobain va être en mesure de lancer en 2023 une gamme complète de plaques de plâtre à l'empreinte carbone la plus faible du marché. Cet investissement de 25 M€ a été subventionné à hauteur de 7 M€ par l'agence gouvernementale norvégienne Enova.
- 16 mai 2022 : le groupe Saint-Gobain devient le premier acteur au monde à réaliser une production zéro carbone de verre plat. Cette prouesse technologique a pu être réalisée grâce à l'utilisation de 100 % de verre recyclé (calcin) et 100 % d'énergie verte, produite à partir de biogaz et d'électricité décarbo-

née. Elle a été mise en œuvre pendant une semaine dans l'usine de fabrication de verre plat de Saint-Gobain à Aniche, dans le Nord de la France.

- À la suite de cette première mondiale, le groupe Saint-Gobain a lancé en France en septembre 2022 ORAE®, le tout premier verre bas carbone sur le marché, conçu en réalisant des campagnes de production spécifiques associant l'utilisation d'électricité renouvelable et un contenu élevé en verre recyclé. ORAE® dispose des déclarations environnementales (FDES) prouvant une réduction de l'empreinte carbone de 42 % par rapport à la moyenne européenne du substrat clair de Saint-Gobain Glass, et ce, sans aucun compromis sur les performances techniques, l'esthétique ou la qualité des produits.



Les enjeux pour encore accélérer :

- un accès à l'échelle des besoins à une énergie décarbonée et compétitive – électricité, gaz –, tant en production qu'en distribution ;
- le développement rapide de la demande, notamment via l'élargissement des obligations de rénovation, la mise en place de réglementations ambitieuses, les accompagnements financiers adéquats des ménages ;
- un "level playing field" notamment avec les concurrents extra-européens. Car, même si les produits ne voyagent pas beaucoup, il peut y avoir des effets de « frontière ». Ce sont les dispositifs type MACF (Mécanisme d'Ajustement Carbone aux Frontières), mais aussi les obligations de publication des ACV (Analyse Cycle de Vie) des produits fabriqués.

Conclusion

Ainsi, l'implantation des usines sur un territoire répond à de nombreux critères intégrant la compétitivité, les opportunités, les contraintes géopolitiques, les écarts de réglementation réducteurs... en cohérence avec la politique sociétale de l'entreprise.

Les entreprises sont engagées à participer à la résolution des grands défis de notre planète et par leurs actions à minimiser leur empreinte environnementale.

Green mining and refining: yes this is possible

By Victoire de MARGERIE

Founder & Co Chair World Materials Forum

While the global production of minerals has doubled over the last 40 years pushed by the energy transition, the share of Europe has steadily declined during the same period from 25.1 to 6.8%. To maintain sufficient strategic autonomy, Europe must develop green mining and refining operations, green thanks to low CO₂ emissions, low energy consumption, low water usage and low production of solid waste. Ten technologies already tested would allow to produce minerals in Europe. If we do not loose it all with multiple standards and slow permitting processes.

Key is first to realize, as the CEO of Boliden, Mikael Staffas reminded us at World Materials Forum (WMF) 2023, that while the global production of minerals has doubled over the last 40 years, the share of Europe has steadily declined during the same period from 25.1 to 6.8% – see below slide (Figure 1).

And this happened exactly in parallel to the growing consciousness that we needed to go for more renewable energies with these renewable energies requiring huge quantities of minerals to be extracted, refined and be used to “make” them.

So how can we Europeans come back into the race? By developing new mining and refining capacities that are truly green... and this is clearly possible.

First at WMF we think that “green” does not only mean “zero CO₂” but also low energy consumption, low water consumption and low production of solid wastes.

We track these 4 KPIs for scoring the “Ultra Low Mining Footprint” that we want to reach. And we track them both on a regional basis – for example the nickel mining project of Terrafame in Finland has a very low footprint on CO₂, energy and solid wastes... and uses lots of water... but water is extremely abundant in Finland so no problem – and on the whole supply chain – for example importing nickel extracted in Indonesia while using a coal power plant is not a great idea.

Also we think that we need not only to think but to act... and to act quickly. And to be quick we need to act not

Declining minerals production in Europe

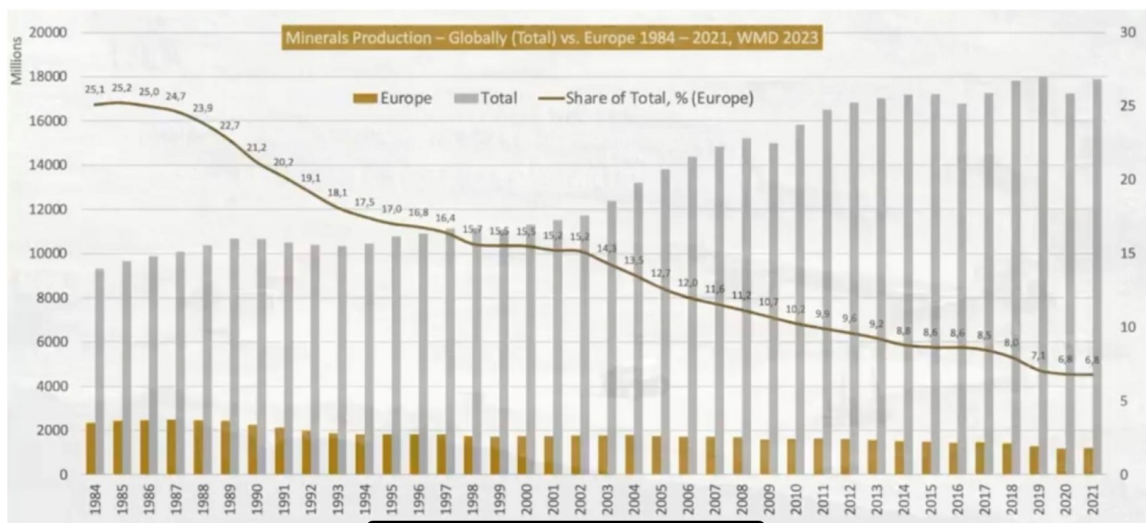


Figure 1: Declining minerals production in Europe (WMF).

on thousand of projects to try and make everybody happy... but to focus on a short number of projects: these that can have the highest impact if we get the best possible people to work efficiently together.

So we selected the Top 10 Technologies we are convinced will help us to reach the Ultra Low Mining Footprint we are aiming for and we show how using them on existing processes can have huge impact except maybe for rare earth – see below 2 slides (Figure 2) that WMF has put together with Arthur D Little for WMF 2023.

I have already mentioned a Finnish project and a Swedish group so I shall now extract the example of a French technology – this of I-Pulse started in Toulouse by an ex CEA Scientist, initially funded by a Canadian entrepreneur, further developed with Private Equity funds from France and the UK and now experimented in the USA and in Saudi Arabia.

I-Pulse has mastered the art of compressing very small increments of electrical energy into very brief but gigantic bursts of power. With applications for example in disaggregating rock and rapidly penetrating extremely hard rocks for deep drilling or tunneling. And a result of using 5 times less energy for the same result.

So today the picture is clear: these Top 10 technologies can have a huge positive impact and the WMF team will be happy to connect any interested reader with the companies operating them.

Let's just hope that heavy taxes, multiplication of standards and slow permitting processes will not jeopardize the immense benefit that these technologies can offer to us European citizens.



We selected 10 technologies for Ultra Low Mining Footprint



Technology	Environmental impact (Relative to incumbent process)				TRL	CAPEX* (\$/tpa)	OPEX** (\$/t)	Major Players
	Energy	Emission	Water	Waste				
1 Resource imaging	-15%	-15%	0%	-50%	8	Marginal	Savings on a case-by-case basis	GOLDSPOT, SENSORE, Computational GEO SCIENCES
3 Dry stack tailings	+10%	0%	-75%	-10%	9	Comparable to incumbent	200-600	Metso, TAKRAP, DELKOR
4 Efficient rock crushing	-50%	-50%	0%	0%	4	Comparable to incumbent	-25% of incumbent	pulse, VALLE
5 Nickel sulfide pressure oxidation	-10%	-50%	+100%	-15%	8	60k	11k	Taseko, EXCELATION, COPPER
7 Nickel rock bioleaching	-50%	-65%	+350%	-15%	8	21k	10k	JETTI, nuton
8 Copper in-situ leaching	-50%	-50%	-70%	-95%	8	4k	4k	REEtEC, UCORE
8 Copper tailing bioleaching	-50%	-50%	-50%	-95%	8	40	3k	Standard, CLIMAT NANOTECH
9 REE Efficient Separation (Pr, Nd)	-15%	-10%	-5%	0%	8	5k	8-16k	LIAC, CYCLADEN, Lithium Australia
10 Direct Lithium extraction	-25%	-10%	+200%	-90%	8	32k†	3k†	Strong positive impact
Lithium un-calcinated rock leaching	-60%	-60%	-85%	-85%	6	21k†	2-4k†	Strong negative impact



High impact expected on existing processes - except for rare earth



Current Production Process	Environmental impact			
	Energy consumption	CO2 Emissions	Freshwater consumption**	Waste
	GJ/t metal	1CO2/t metal	m3/t metal	t/t metal
Ni (Class 1)				
Pyrometallurgy from Sulfide	114	9	68	65
Cu				
Pyrometallurgy from Sulfide	65	5.1	91	96
Hydrometallurgy from Oxide (Sx-Ew)	35	2	70	125
Pr				
Hydrometallurgy from mixed Oxide (Sx-Ew)	510	19†	114	10,870
Nd				
Hydrometallurgy from mixed Oxide (Sx-Ew)	419	20†	89	2,440
Li				
Brine Process	62*	3*	23*	24*
Hard Rock Process	203*	21*	76*	34*

New Production Process	Environmental impact			
	Energy consumption	CO2 Emissions	Freshwater consumption**	Waste
	GJ/t metal	1CO2/t metal	m3/t metal	t/t metal
Sulfide pressure oxidation	86	4	22	35
Nickel Ore bioleaching	46	2	77	32
Copper Tailing bioleaching	22	2	11	3
In-situ leaching	13	1	5	3
Hydrometallurgy (Sx-Ew) with efficient separation	346	16	28	6,850
	285	15	21	1,540
DLE	39	2	18	1
Uncalcinated rock leaching	77	7	3	3

(†) High level estimation
Sources: IEA, CSIRO, Eurometalex, Journal of Cleaner Production (Norgate, 2007), CDA (Dresher, 2001), Hindawi(Koltun, 2014), Argonne, Arthur D. Little Analysis

Freshwater consumption does not take into account recycled water.

High 201-
Medium 101-200
Low 1-100

Figure 2: Top 10 Technologies (Arthur D Little for WMF 2023).

Les défis des technologies quantiques

Par Ilarion PAVEL

Conseil général de l'économie

Le développement des technologies quantiques est aujourd'hui l'objet d'importants efforts de recherche, mais les résultats seront-ils à la hauteur des attentes ? L'ordinateur quantique peut résoudre certains problèmes difficiles, qui demandent à l'ordinateur classique un temps de calcul trop important, et peut également attaquer les schémas actuels de cryptage. Cependant, la réalisation d'un ordinateur quantique suffisamment puissant pour résoudre des problèmes pratiques demeure un véritable défi technologique. Il existe plusieurs technologies d'implémentation *hardware*, chacune avec ses avantages et ses inconvénients. Comme ils sont plus faciles à réaliser, la recherche se dirige également vers la mise au point d'ordinateurs quantiques analogiques et de simulateurs quantiques. Parallèlement, ces travaux ont pour conséquence la conception de capteurs extrêmement sensibles, qui ont de nombreuses applications dans l'industrie de la prospection géologique, dans l'imagerie médicale, dans les technologies militaires et la mise au point de nouvelles méthodes de cryptage immunes contre l'attaque par un algorithme quantique.

Introduction

Les programmes de R&D dans le domaine des technologies quantiques sont actuellement en plein essor.

En effet, l'investissement mondial de R&D dans le domaine du calcul quantique depuis 2001 est estimé à 30 milliards d'euros, il est de 2,5 milliards d'euros en 2022. Parmi les acteurs on compte quelque 350 *start-up*.

L'Union européenne a alloué 1 milliard d'euros de financement sur 10 ans pour lancer le projet European Quantum Flagship¹ en 2018, qui implique plus de 3 500 académiques et industriels, dont le but est de consolider et étendre le *leadership* et l'excellence scientifiques européens dans ce domaine de recherche afin de relancer une industrie européenne de la technologie quantique.

En 2018, l'Allemagne a alloué 650 millions d'euros à son programme de technologies quantiques et à un programme-cadre visant à commercialiser les technologies quantiques². En 2020, le gouvernement fédéral allemand a annoncé un effort quantique supplémentaire de 2 milliards d'euros sur 5 ans s'ajoutant au milliard d'euros investis par l'Union européenne.

La France investissait chaque année 60 millions d'euros dans les technologies quantiques avant 2021, date à laquelle le gouvernement a annoncé un plan d'investissement sur cinq ans de 1,8 milliard d'euros dans les technologies quantiques, financé par l'État en

partenariat avec des industriels, dont une part publique annuelle d'environ 200 millions d'euros³.

Le Royaume-Uni a investi 385 millions de livres entre 2015 et 2019 dans une première phase de développement des technologies quantiques (capteurs gravitationnels ultra-sensibles, simulateurs quantiques et ordinateurs quantiques, horloges atomiques miniatures), qui a connu un grand succès. En conséquence, on a annoncé une deuxième phase de cinq ans, avec un investissement de 153 millions de livres de la part de l'État britannique et de 205 millions de livres de la part des industriels. En 2018 a été créé au Royaume-Uni un centre national d'informatique quantique pour développer un ordinateur quantique⁴.

Depuis 25 ans, les États-Unis financent des programmes de recherche quantique liés à la défense. En 2018, ils ont lancé le programme NQI (National Quantum Initiative⁵) avec un budget de plus de 1,2 milliard de dollars pendant 5 ans, destiné principalement au NIST, NSF, DoE mais aussi à divers partenaires industriels et académiques.

On estime que la Chine aurait investi environ 10 milliards de dollars dans les technologies quantiques. D'ici 2030, le pays vise à étendre son infrastructure nationale de communications quantiques, à développer un prototype d'ordinateur quantique et à construire un simulateur quantique.

¹ <https://qt.eu>

² www.science-allemande.fr/wp-content/uploads/2021/02/Dossier_Quantique_Communication.pdf

³ www.futura-sciences.com/tech/actualites/ordinateur-quantique-france-investit-18-milliard-euros-technologies-quantiques-85283/

⁴ <https://uknqt.ukri.org/>

⁵ www.quantum.gov

Encadré 1 : Le chat de Schrödinger

Un exemple bien connu de système quantique est le chat de Schrödinger : imaginons un chat enfermé dans une boîte opaque, qui contient un atome dont la probabilité de se désintégrer dans l'heure qui suit est de 50 %. Si la désintégration a lieu, elle déclenche un mécanisme qui brise une fiole de cyanure et tue le chat. Quel est l'état du chat après une heure ? Réponse : moitié vivant et moitié mort divisé par $\sqrt{2}$! Conformément aux lois quantiques, le système est décrit comme une superposition de deux états : vivant et mort. Initialement, le chat se trouve à l'état vivant, puis il évolue dans le temps, suivant l'équation de Schrödinger, pour se trouver une heure plus tard dans une superposition moitié vivant et moitié mort. Il n'est donc ni vivant ni mort, mais dans un état superposé.

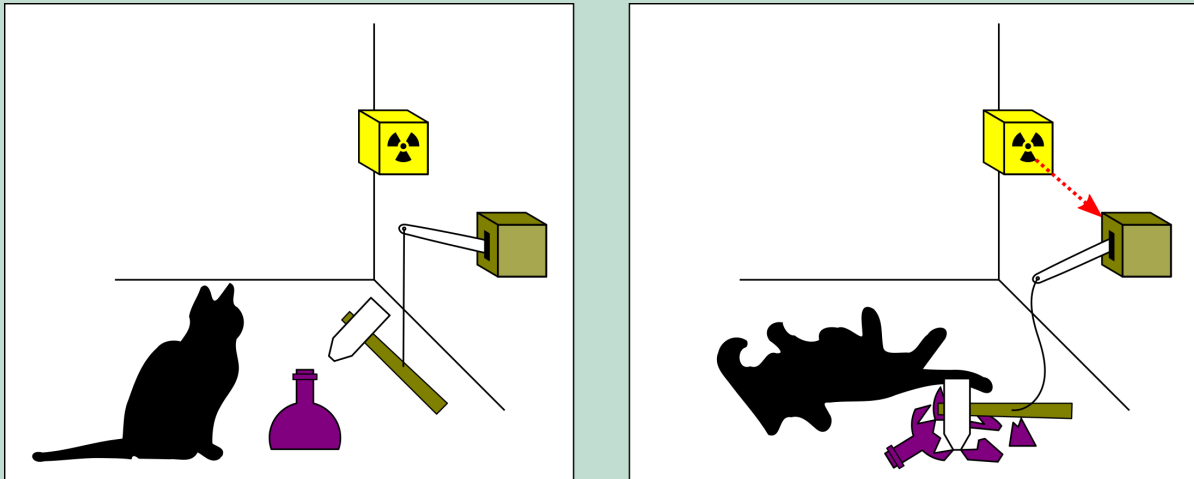


Figure a : Le chat est enfermé dans une boîte, munie d'un dispositif qui casse une fiole de cyanure. Ce dispositif est activé par la désintégration d'un atome, dont la probabilité de désintégration dans l'heure suivante est de 50 %.

Et si on ouvre la boîte ? Cela équivaut à effectuer une mesure, on projette alors l'état du chat sur un des états propres (vivant ou mort), avec les probabilités, dans notre cas, de 50 % et 50 %. En d'autres termes, si on effectue un grand nombre d'expériences identiques avec un grand nombre de chats, statistiquement, lorsqu'on ouvre les boîtes, la moitié des chats sont vivants, l'autre moitié sont morts.

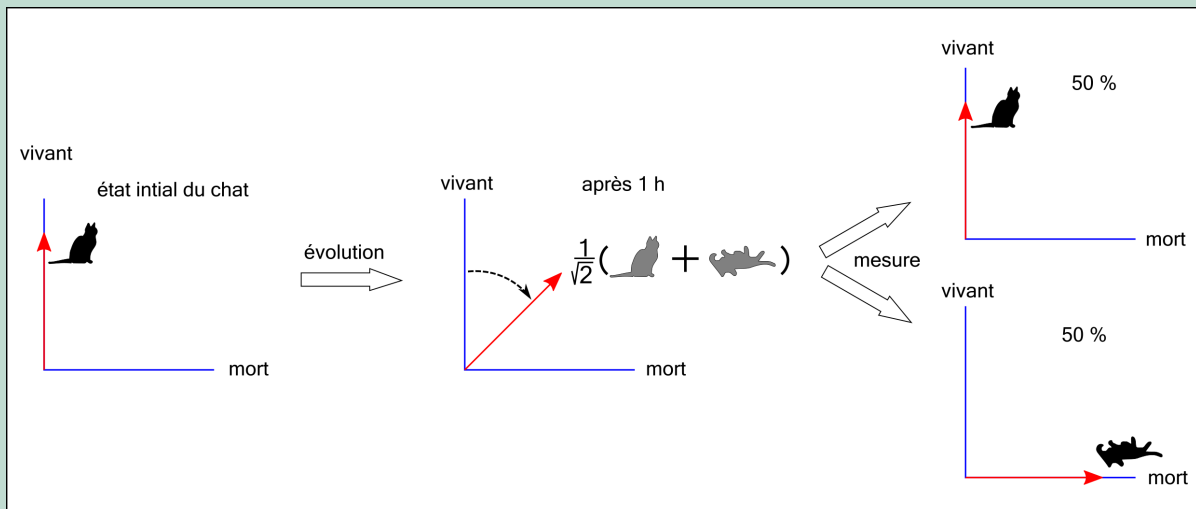


Figure b : Initialement le chat se trouve dans l'état vivant, mais après une heure, suivant l'équation d'évolution de Schrödinger, il se trouve dans un état superposé vivant + mort.

En ouvrant la boîte, on effectue le processus de mesure : dans 50 % des cas le chat est vivant, dans 50 % il est mort.

Au Japon, l'investissement dans les technologies quantiques s'élève à 700 millions de dollars depuis 2001. En 2018, le gouvernement japonais a lancé l'initiative Quantum Leap dans diverses technologies quantiques (simulation et calcul quantique, détection quantique, laser à impulsions ultracourtes). Un des projets du programme Moonshot investira 150 millions de dollars pour créer un ordinateur quantique universel tolérant aux pannes en 2050.

Les résultats seront-ils à la hauteur des énormes moyens investis ?

Principes généraux

Les concepts quantiques ont été développés au début du XX^e siècle pour permettre la compréhension des phénomènes que la physique classique ne pouvait pas expliquer : le rayonnement du corps noir, l'effet photoélectrique, le spectre atomique discret, la stabilité de l'atome. Les formalismes mathématiques furent développés : la mécanique matricielle en 1925 par Heisenberg, et la mécanique ondulatoire en 1926 par Schrödinger, qui sont de fait des formulations équivalentes. La mécanique quantique reste un des plus grands succès de la physique et n'a jusqu'à présent jamais été prise en défaut.

Alors qu'en mécanique classique, l'état d'un système est donné par la position et la vitesse de ses composants, en mécanique quantique, il est décrit par un vecteur d'état dans un espace de Hilbert. En mécanique quantique une observable physique est représentée par un opérateur hermitien (valeurs propres réelles et vecteurs propres orthogonaux), l'état de tout système peut être écrit comme une superposition d'états propres de l'opérateur et son évolution dans le temps est décrite par l'équation de Schrödinger. Lorsqu'on effectue une opération de mesure, on projette l'état du système sur un des vecteurs propres de l'observable mesurée, avec une probabilité proportionnelle avec le module carré de la projection du vecteur d'état sur le vecteur propre.

Ce formalisme reste abstrait et en quelque sorte contre-intuitif mais il est absolument nécessaire pour décrire les comportements des objets de taille atomique. Cependant, plus la taille des objets augmente, plus les effets quantiques s'estompent, on retrouve alors le formalisme de la physique classique : c'est le principe de correspondance de Bohr.

En ce qui nous concerne, nous sommes des êtres macroscopiques, munis d'organes sensoriels qui, ne nous permettent pas de mesurer directement les atomes et les photons individuels, mais plutôt la moyenne de leur effets collectifs. Nous n'avons donc pas un accès direct au monde quantique, c'est pourquoi la mécanique quantique nous paraît contre-intuitive.

Ordinateur quantique

L'ordinateur quantique fonctionne suivant le formalisme mathématique de la mécanique quantique et fait intervenir les concepts de superposition, intrication et interférence. La force du calcul quantique réside dans une parallélisation⁶ massive, qui résulte de la superposition et de l'intrication des états. Dans un ordinateur classique, un bit peut prendre deux valeurs, 0 et 1, alors que dans un ordinateur quantique, le bit quantique (qubit) peut prendre toute superposition des deux états, notés $|0\rangle$ et $|1\rangle$. Dans un ordinateur classique, N bits peuvent décrire 2^N états, dans un ordinateur quantique, les N qubits peuvent être intriqués, ce qui permet alors de décrire 2^N états. Ainsi, 300 qubits forment environ 10^{90} états, nombre énorme, qui dépasse largement le nombre des particules de l'Univers.

Les capacités de calcul d'un ordinateur quantique semblent pratiquement illimitées, cependant, lorsqu'on effectue le processus de mesure, on ne peut mesurer qu'un seul des 2^N états (ou une seule combinaison de ces états), ce qui détruit tout l'avantage de la parallélisation. La situation est partiellement sauvée par la possibilité de faire interagir les qubits entre eux en utilisant le phénomène quantique d'interférence. Cela conduit à construire des portes logiques et à les combiner astucieusement pour réaliser des circuits quantiques

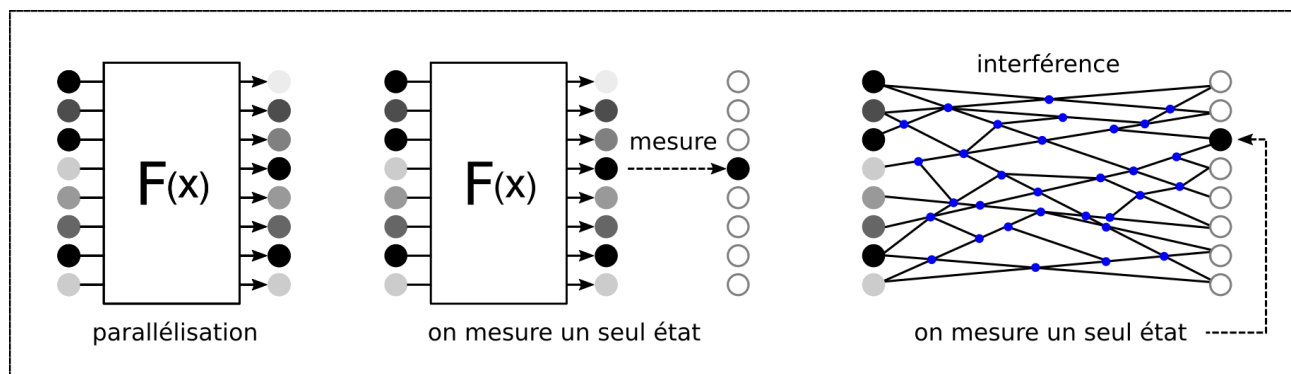


Figure 1 : Le quantique permet une parallélisation massive.

Malheureusement, lors du processus de mesure, on ne peut mesurer qu'un seul état. Cependant, en tirant partie du phénomène d'interférence, on peut faire interagir les qubits via des portes logiques qu'on assemble pour former des circuits quantiques, capables d'exécuter des algorithmes.

⁶ Il s'agit d'effectuer un grand nombre de calculs simultanément, ce qui permet de diviser un problème donné en problèmes plus petits, qui peuvent ensuite être traités en même temps, ce qui permet un gain de temps substantiel.

capables d'effectuer des algorithmes quantiques. Un tel algorithme doit produire un état final dont la probabilité de mesure est égale soit à 1, soit à 0. C'est en mesurant cet état qu'on peut alors caractériser les 2^N états initiaux, ce qui équivaut, dans quelques cas, à la résolution d'un problème précis, comme on le verra par la suite.

Par rapport à l'ordinateur classique, l'ordinateur quantique peut résoudre très rapidement certains problèmes, mais il ne dispose pas d'une grande flexibilité : il reste relativement difficile de mettre au point des algorithmes quantiques utiles dans la résolution de problèmes pratiques importants, leur nombre est malheureusement bien plus faible que celui des algorithmes classiques. D'ailleurs, l'ordinateur quantique ne remplacera pas son homologue classique, mais il sera plutôt utilisé pour accélérer l'exécution de certains sous-programmes dont le temps d'exécution par l'ordinateur classique est trop long.

On peut alors construire une large gamme de portes quantiques, dont les plus importantes sont la rotation de phase, le control NOT (CNOT) et la porte Hadamard.

Combinées de façon appropriée, ces portes quantiques permettent de réaliser des circuits quantiques implémentant des algorithmes quantiques. Par exemple, en associant une porte Hadamard avec une porte CNOT, on obtient un circuit qui crée des états intriqués, c'est-à-dire qui ne peuvent pas s'écrire comme produit de deux états indépendants. On ne peut pas mesurer les qubits

de manière indépendante : la mesure de l'un détermine automatiquement l'autre. Les états intriqués trouvent des applications importantes dans la cryptographie quantique, comme le protocole BB84 de distribution des clés cryptographiques (voir l'encadré 3).

Parmi les algorithmes quantiques les plus connus figurent l'algorithme de Grover et l'algorithme de Shor⁷.

L'algorithme de Grover accélère la recherche dans les listes non structurées, par exemple pour chercher le nom d'une personne dans une liste de noms présentés dans un ordre aléatoire. Avec l'algorithme classique, le nombre d'opérations effectuées pour trouver le nom recherché augmente de manière proportionnelle au nombre N d'éléments de la liste, alors que dans l'algorithme de Grover, il n'augmente qu'avec \sqrt{N} . Cependant, l'algorithme de Grover ne sera pas utilisé pour effectuer des recherches dans les bases de données. En général, celles-ci sont structurées, et dans une liste structurée, pour un algorithme classique, le nombre d'opérations n'augmente qu'avec $\log(N)$, donc l'algorithme de recherche classique appliqué à une liste structurée est plus efficace que l'algorithme quantique de Grover dans une liste non structurée. Ensuite, dans l'algorithme quantique, le nombre de portes quantiques nécessaires pour implémenter cet algorithme est environ $\log(N)$, ce nombre est du même ordre de grandeur que le nombre de cellules mémoire nécessaires pour implémenter l'algorithme classique. L'algorithme de Grover sera plutôt utilisé pour chercher des solutions à des problèmes difficiles, comme par

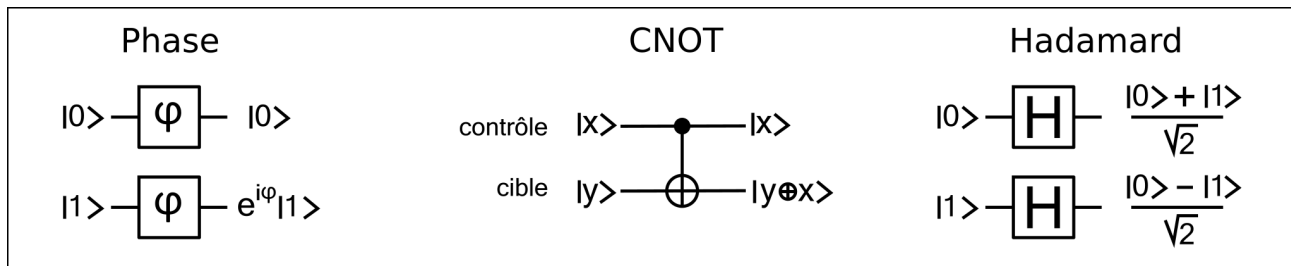


Figure 2 : La porte de phase rajoute une phase à l'état $|1\rangle$, elle laisse l'état $|0\rangle$ inchangé. Dans la porte CNOT, si le qubit de contrôle est 1, la porte CNOT change le qubit cible de $|0\rangle$ en $|1\rangle$, ou de $|1\rangle$ en $|0\rangle$. Si le qubit de contrôle est 0, le qubit cible reste inchangé. La porte Hadamard transforme les états $|0\rangle$ ou $|1\rangle$ en superposition d'états orthogonaux.

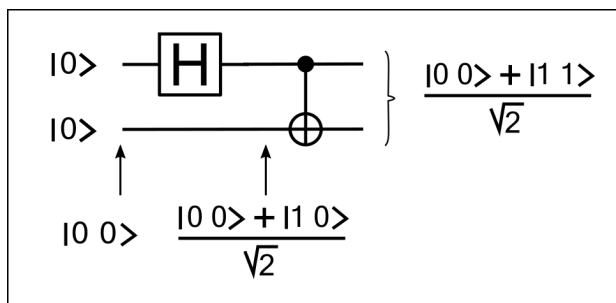


Figure 3 : Un simple circuit quantique qui permet de réaliser des états intriqués. Si on mesure un qubit, l'autre est alors automatiquement déterminé. Par exemple, si la mesure rend la valeur 0 pour le premier qubit, le deuxième qubit aura la valeur 0, si la mesure rend la valeur 1 pour le premier qubit, le deuxième aura la valeur 1.

exemple trouver un cycle Hamiltonien dans un graphe⁸ ou résoudre le problème du voyageur de commerce⁹.

L'algorithme de Shor permet de factoriser un nombre entier en facteurs premiers beaucoup plus vite que tout autre algorithme classique, ce qui permettrait à un ordinateur quantique d'attaquer les protocoles actuels de cryptage comme le protocole RSA ou ceux fondées sur les courbes elliptiques.

⁷ Voir par exemple N. David Mermin - *Quantum computer science: an introduction* (Cambridge University Press, 2007).

⁸ Cycle qui passe par tous les sommets d'un graphe forcément une fois et pas plus d'une fois.

⁹ Étant donné un ensemble de villes à visiter, il faut établir le circuit le plus court qui passe par chaque ville une seule fois.

Encadré 2 : Complexité des algorithmes

La complexité d'un algorithme nécessaire pour résoudre un problème énoncé nous montre comment le nombre de pas, et en conséquence le temps de calcul, augmente avec le nombre de données à l'entrée.

Ainsi, la classe de problème P (deterministic Polynomial) est formée par les problèmes qui peuvent être résolus par un ordinateur classique dans un nombre de pas qui augmente de manière polynomiale avec les nombres de données à l'entrée. Ce sont des algorithmes faciles, par exemple rechercher un nom dans une liste non ordonnée de N noms, ce qui demande au plus N pas, ou résoudre un système de N équations avec N inconnues par la méthode du pivot de Gauss, ce qui nécessite au plus de l'ordre de N^3 pas.

La classe NP (Non deterministic Polynomial) représente des problèmes dont la solution peut être vérifiée dans un nombre de pas qui augmente de manière polynomiale avec le nombre de données à l'entrée. Ce sont donc des problèmes faciles à vérifier, en revanche trouver la solution n'est pas nécessairement facile. Bien entendu $P \subset NP$, en revanche on pense que $P \neq NP$ bien que cela ne soit pas toujours pas démontré (c'est un des sept problèmes du millénaire proposé par l'Institut Clay de mathématiques, dont la résolution sera récompensée par un million de dollars).

Les problèmes NP les plus difficiles forment la classe NP – *complet* par exemple le problème du voyageur de commerce, trouver les cliques (sous-graphe dont les sommets deux-à-deux adjacents) dans un graphe, le problème de coloration du graphe¹, trouver un cycle hamiltonien, le problème du sac à dos², trouver l'ensemble dominant maximal³.

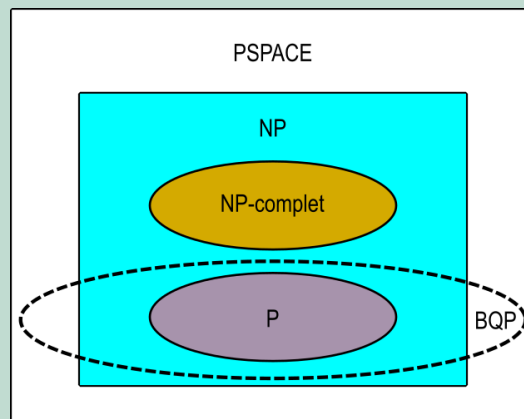


Figure a : Diagramme simplifié des classes de complexité d'un problème algorithmique tel qu'on le pense aujourd'hui, il n'y a pas encore de preuve mathématique.

La classe de problèmes BQP (Bounded Error Quantum Polynomial) consiste en problèmes qui peuvent être résolus par un ordinateur quantique dans un nombre de pas qui augmente de manière polynomiale avec le nombre de données à l'entrée. On pense aujourd'hui que l'ordinateur quantique est en mesure de résoudre des problèmes plus difficiles que la classe P en revanche il ne pourrait pas résoudre les problèmes NP – *complet* mais nous n'avons pas la preuve mathématique de cette affirmation. Parmi les algorithmes en mesure de résoudre des problèmes BQP figurent l'algorithme de Shor, le calcul du logarithme discret (analogue de l'algorithme de Shor pour les courbes elliptiques), l'algorithme Harrow Hassidim Lloyd (résolution de systèmes d'équations linéaires), approximation de polynômes de Jones.

La classe $PSPACE$ est constituée par les problèmes qui nécessitent une quantité polynomiale de mémoire, elle inclut les classes NP et BQP .

¹ Consiste à colorer chaque sommet du graphe de sorte que deux sommets reliés par une arête aient des couleurs différentes. On cherche alors à déterminer le nombre minimal de couleurs.

² On dispose de plusieurs objets ayant divers poids, qu'on veut mettre dans un sac, sans dépasser une valeur maximale fixée préalablement. Lesquels d'entre eux faut-il choisir afin de maximiser le poids du sac ?

³ L'ensemble dominant est un sous-ensemble des sommets d'un graphe, tel que tout sommet du graphe qui n'appartient pas à cet ensemble possède au moins une arête liée à un des sommets de l'ensemble dominant. Le problème de l'ensemble dominant est de déterminer, étant donné le graphe et un nombre entier n , si le graphe admet un ensemble dominant d'au plus n sommets.

Encadré 3 : Protocole BB84 de distribution de clés cryptographiques.

Proposé par Charles Bennett et Gilles Brassard en 1984, c'est le premier protocole de ce type. Deux personnes, Alice et Bob, veulent établir une clé cryptographique commune. Alice utilise des paires de photons dont les polarisations sont intriquées. On ne connaît pas *a priori* la direction précise de l'orientation de ces polarisations, mais juste le fait qu'ils sont orientés dans la même direction. Les paires étant intriquées, si en mesurant la polarisation d'un photon on obtient une orientation donnée, la polarisation de l'autre photon aura la même orientation. Alice effectuera alors des mesures sur un des photons de la paire, en plaçant les polariseurs de manière aléatoire suivant deux classes de directions : horizontal/vertical et 45/- 45 degrés. Elle décide qu'un photon polarisé horizontalement représente un bit 0, polarisé verticalement un bit 1, polarisé à - 45 un bit 0, polarisé à 45 un bit 1.

L'autre photon de la paire intriquée est envoyé à Bob, qui effectuera les mêmes types des mesures qu'Alice, en utilisant également de manière aléatoire les deux classes de polariseurs, horizontal/vertical et 45/- 45 degrés. Pour chaque mesure, il notera la classe utilisée, ainsi que le résultat de sa mesure, un 0 ou un 1. Ensuite, Alice et Bob vont établir une communication classique, par exemple par téléphone, pour vérifier *a posteriori* les deux classes de polariseurs utilisées. Lorsque les deux ont utilisé la même classe de polariseurs, le résultat de la mesure est validé : les photons étant intriqués, les résultats d'Alice et de Bob sont identiques. Lorsqu'ils ont utilisé des classes différentes, le résultat de la mesure n'est pas pris en considération. Ainsi, Alice et Bob arrivent finalement à obtenir une suite identique de 0 et 1, qu'ils peuvent utiliser comme clé cryptographique.

Une personne malintentionnée, Eve, qui voudrait intercepter la clé ne connaîtra pas à l'avance la classe de polariseurs utilisée par Alice. De plus, si Eve mesure le photon envoyé par Alice (avant sa réception par Bob) en utilisant la mauvaise classe de polariseur, elle peut changer l'état du photon, qui à son arrivée chez Bob, peut donner un résultat de mesure différent de celui mesuré par Alice : la clé sera alors erronée et Alice et Bob vont alors se rendre compte que leur communication a été interceptée. Une question naturelle se pose alors : pourquoi Eve ne fait pas purement et simplement une copie du photon envoyé par Alice ? Elle ne le peut pas : il est impossible de copier à l'identique un état quantique inconnu (théorème du non-clonage quantique), résultat qui se démontre facilement à partir des principes de base de la mécanique quantique.

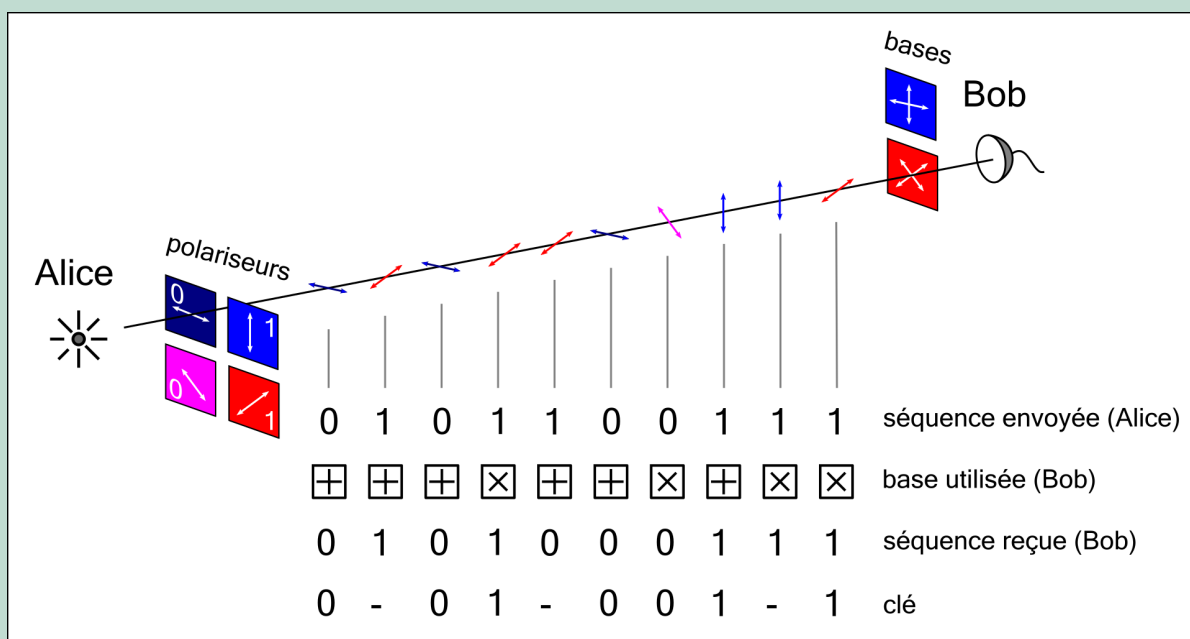


Figure a : Illustration de l'implémentation du protocole BB84 entre Alice et Bob.

En pratique, l'implémentation du protocole BB84 soulève plusieurs défis. D'abord, il nécessite l'utilisation de sources à un seul photon et de détecteurs très sensibles. Malheureusement, ces dispositifs ne sont pas parfaits, ce qui peut créer des failles de sécurité. Par exemple, Alice est contrainte d'utiliser

des sources à plusieurs photons, ce qui peut permettre à Eve de mesurer quelques photons et de laisser passer le reste à Bob. Une solution consiste à améliorer les protocoles afin qu'ils soient sécurisés malgré les imperfections des dispositifs.

Un autre défi important est la perte éventuelle de photons dans le canal de transmission (habituellement la fibre optique) par des phénomènes de diffraction, absorption ou perte de cohérence, ce qui limite la distance à laquelle la clé cryptographique peut être envoyée. De nouveau, on pourrait améliorer les protocoles, mais au prix d'une diminution importante du débit de transmission. Une autre solution consiste à mettre au point des répéteurs quantiques capables de téléporter l'état quantique¹, leur développement est en cours. Enfin, puisque dans l'espace les pertes sont beaucoup moins importantes et la décohérence négligeable, la communication quantique par satellite est considérée comme une solution plus prometteuse et a récemment réalisé d'importants progrès.

Plusieurs expériences ont déjà été réalisées. Ainsi, en 1995, Nicolas Gisin a transmis des clés cryptographiques à une distance de 23 km sur des fibres optiques commerciales passant au-dessous du lac Léman. En 2007, Anton Zeilinger l'a fait sur une distance de 144 km, par propagation atmosphérique, entre La Palma et Tenerife, deux des îles Canaries. Plus récemment, en 2016, une équipe chinoise l'a réalisé sur une distance de 1 120 km, dans l'espace, *via* le satellite Micius.

Plusieurs entreprises sont en train de développer des solutions de distribution de clé cryptographique : des PME comme ID Quantique (Suisse), QuintessenceLabs (Australie), Qubitekk (US), MagiQ Technologies (US), QuantumCTek (Chine), Quantum Xchange (US), Post-Quantum (US), Qasky (Chine), Quantinuum (US), Aurea Technologies (France), et des grands groupes comme Toshiba, NEC, NTT, Mitsubishi, Huawei, Fujitsu et ATT.

Notons qu'il existe de nombreux autres protocoles de distribution de clé cryptographique, par exemple E91, KMB09, Decoy state, qui sont des améliorations du BB84. Ainsi, E91, mis au point par Artur Ekert en 1991, peut détecter plus facilement les éventuelles interceptions effectuées par une personne malintentionnée. Le protocole KMB09 (Khan, Murphy et Beige) est plus robuste par rapport au bruit présent dans les canaux de communication, ce qui permet d'augmenter la distance de distribution des clés. Decoy state permet d'utiliser des sources à plusieurs photons et de détecter une éventuelle interception.

¹ Il est impossible de copier à l'identique un état quantique quelconque tout en gardant l'original (théorème du non-clonage quantique). La seule possibilité est de créer à distance un nouvel état quantique identique, mais en détruisant l'original, opération appelée téléportation quantique.

Même si la construction d'un ordinateur quantique capable de casser ces protocoles n'est pas envisagée à court et moyen terme, en 2016, la NIST a lancé un appel à projet pour mettre au point de nouvelles méthodes de cryptage (cryptographie *post* quantique) aussi bien pour l'échange de clé cryptographique que pour la signature électronique, qui ne pourront pas être attaquées par les algorithmes quantiques. Plusieurs technologies sont possibles : cryptographie sur réseau, polynômes multivariés, isogénie de courbes elliptiques, code correcteur d'erreurs, fonctions de hachage. Après quatre étapes de sélection, sur 69 candidats, la NIST a retenu en 2023 trois technologies pour la signature électronique et une technologie pour l'échange de clé cryptographique¹⁰. Quatre candidats supplémentaires ont été proposés pour l'échange de clé cryptographique. Le standard final est attendu vers 2024 et on estime qu'il faudra 10 ans pour remplacer les protocoles actuels.

¹⁰ <https://csrc.nist.gov/news/2022/pqc-candidates-to-be-standardized-and-round-4>

Implémentation *hardware*

Un ordinateur quantique doit satisfaire aux critères de DiVincenzo : initialiser, faire évoluer, puis mesurer des qubits, disposer d'un temps de décohérence suffisamment long pour lui permettre de faire les calculs, être composé de portes quantiques universelles permettant un passage à l'échelle. La difficulté de le construire tient au fait qu'il faut à la fois isoler les qubits de l'environnement pour garder la cohérence quantique et les coupler avec l'extérieur pour les mesurer et réaliser la correction d'erreurs. Ces corrections d'erreurs impliquent qu'un qubit logique (qui est pris en compte dans les algorithmes quantiques) ne puisse être réalisé que par un nombre important de qubits physiques, entre 5 et 10 000, en fonction de l'implémentation *hardware* choisie.

Pour construire des ordinateurs quantiques, il existe alors plusieurs technologies : ions piégés, qubits supraconducteurs, spin quantum dots, centres lacune azote, atomes froids, photonique, qubits topologiques. Chaque technologie présente des avantages et des inconvénients.

Ions piégés

Ils peuvent être piégés et confinés dans l'espace à l'aide de champs électromagnétiques variables (pièges de Paul¹¹). Les qubits sont alors représentés par les états électroniques de chaque ion, les informations quantiques sont transférées *via* leur mouvement quantifié collectif dans ce piège partagé, où les ions interagissent également entre eux *via* la force électromagnétique. Pour réaliser ces transferts, on utilise des lasers.

L'avantage des ions piégés est leur grande stabilité, leur long temps de cohérence et la fiabilité des portes logiques. En revanche, il est difficile d'avoir un grand nombre de qubits dans un piège partagé, il faudrait donc réaliser plusieurs pièges et les coupler par d'autres moyens, par exemple *via* des réseaux photoniques connectés, ce qui complique l'architecture du système. Un autre inconvénient est la lenteur des opérations et la nécessité d'utiliser un grand nombre de lasers.

Plusieurs *start-up* utilisant cette technologie ont été récemment créées : Alpine Quantum Technologies (Autriche), EleQtron (Allemagne), IonQ (USA), Quantinuum (USA, UK), Quantum Factory (Allemagne), Oxford Ionics (UK).

Qubits supraconducteurs

Ils sont réalisés par des états quantiques de charge, phase ou flux magnétique de certains circuits formés à l'aide des jonctions Josephson, qui consistent en deux conducteurs séparés par une très fine couche isolatrice. Refroidis à basse température, les électrons se regroupent deux par deux pour former des paires de Cooper et collapent sur l'état de plus basse énergie pour former des condensats de Bose-Einstein. Ces paires de Cooper se trouvent sur les deux conducteurs mais peuvent également passer d'un conducteur à l'autre, à travers l'isolant, par effet tunnel. L'effet tunnel induit un comportement non-linéaire qui implique des espacements non uniformes entre les niveaux d'énergie quantifiés du circuit, ce qui permet d'implémenter les qubits. Les couplages entre qubits sont effectués par des guides micro-ondes en fonction de la géométrie du circuit.

La fabrication de qubits supraconducteurs suit les techniques de fabrication bien maîtrisées de la microélectronique : photolithographie, gravure, oxydation contrôlée, dépôt métallique. La manipulation et le contrôle de qubits sont réalisés par des impulsions micro-ondes, produites et mesurées par des appareils conventionnels (générateur de fréquence, analyseur de spectre), ce qui constitue un bon atout. En revanche, les circuits doivent être refroidis dans des cryostats en cascade pour atteindre des températures inférieures à 15 mK, ce qui implique une connectique complexe. Les qubits supraconducteurs sont également très sensibles au bruit de l'environnement et leur temps de décohérence

est faible, ce qui peut limiter le nombre des pas des algorithmes qui peuvent être implémentés.

Cette technologie est utilisée par plusieurs grands groupes comme Google, IBM, Microsoft, mais aussi par des PMI et *start-up* comme Anyon Systems (Canada), Atlantic Quantum (US), Bleximo (US), IQM (Finlande), Oxford Quantum Circuits (UK) et Rigetti Computing (US).

Spin quantum dots

Ce sont des îlots semi-conducteurs de taille nanométrique, capable de piéger des électrons. Des tensions électriques bien choisies sont utilisées pour peupler ou dépeupler ces îlots avec des électrons. En présence d'un champ magnétique, selon l'orientation du spin de l'électron, haut ou bas, il se forme deux niveaux d'énergie, ce qui permet l'implémentation des qubits. Les opérations sont induites par des champs magnétiques de radiofréquence oscillants, véhiculés par des lignes de transmission microruban.

De même que pour les qubits supraconducteurs, la technologie spin quantum dots tire avantage de techniques de fabrication de la microélectronique. La taille de ses composants est bien inférieure à celle de la technologie de qubits supraconducteurs, ce qui lui confère un excellent potentiel pour la miniaturisation. Pour leur fonctionnement, les composants spin quantum dots ne nécessitent que des températures de l'ordre d'un kelvin, plus facile à réaliser et maintenir. Les qubits sont également plus stables. En revanche, intriquer plusieurs qubits reste une tâche extrêmement difficile, ce qui limite les progrès de cette technologie. Récemment, Intel a annoncé la fabrication d'une puce avec 12 qubits. Il faudra probablement se contenter de fabriques de modules avec un faible nombre de qubits et de les interconnecter par d'autres moyens, notamment photoniques.

L'acteur principal de cette technologie est Intel, mais il existe aussi quelques *start-up* : Equal1 Laboratories (Irlande), Photonic Inc (Canada), Quantum Motion (UK), Silicon Quantum Computing (Australie).

Centres lacune azote (centre NV)

C'est un cristal de diamant qui présente un défaut ponctuel : une paire d'atomes de carbone voisins sont remplacés par un atome d'azote et une lacune du réseau, c'est-à-dire l'absence d'atome. En appliquant un champ magnétique, certains niveaux d'énergie des électrons localisés au voisinage du centre NV, peuvent être utilisés comme qubit. Le spin de ces électrons peut être contrôlé avec des champs électriques et magnétiques statiques ou avec du rayonnement électromagnétique. Ces qubits peuvent fonctionner à température ambiante et présentent un temps de cohérence long et une très bonne stabilité, en revanche ils sont très difficiles à intriquer. C'est pourquoi cette technologie semble difficilement applicable dans la construction d'un ordinateur quantique, la sensibilité des centres NV par rapport au champ magnétique peut cependant conduire à des applications importantes en métrologie et dans le domaine des capteurs ultrasensibles.

¹¹ Une particule chargée ne peut pas être piégée dans les trois directions de l'espace par un champ électrique ou magnétique statiques. En revanche, en ajoutant des champs électriques qui oscillent rapidement dans le temps, on peut créer une force de confinement moyenne, capable de piéger la particule : c'est le piège de Paul.

Plusieurs *start-up* travaillent sur cette technologie, certaines visant plutôt les applications dans le domaine des capteurs : Diatope (Allemagne), Quantum Brilliance (Autriche), Quantum Diamond Tech (US), NVision (Allemagne).

Atomes froids

Il s'agit d'atomes de césium ou de rubidium, piégés dans le vide par des champs magnétiques et des faisceaux lasers qui confinent leur mouvement, ce qui revient à les refroidir à des températures extrêmes. Ces pièges ont une bonne versatilité, ce qui permet de configurer les atomes dans des réseaux géométriques spécifiques. D'autres lasers peuvent mettre ces atomes dans des états hautement excités, appelés états de Rydberg (l'électron de la dernière couche se trouvant loin du noyau), qui sont utilisés pour implémenter les qubits. Les portes quantiques sont réalisées par couplage entre les qubits *via* des sources micro-ondes ou laser.

Cette technologie permet d'obtenir des qubits avec des temps de cohérence assez longs, une connectivité robuste et des configurations flexibles, la réalisation de portes logiques plus complexes, un passage à l'échelle aisée en 2D, voire des géométries 3D. En revanche, elle nécessite de nombreux lasers et la vitesse des portes logiques reste à améliorer.

Plusieurs *start-up* utilisent la technologie d'atomes froids : Atom Computing (US), ColdQuanta (US), QuEra Computing (US), et Pasqal (France).

Photonique

Pour implémenter les qubits, on utilise soit les états de polarisation du photon, soit certains états dits « comprimés ». Les photons sont envoyés par des guides optiques à travers divers circuits optiques (lames séparatrices, déphaseurs optiques) qui constituent les portes logiques. Ils sont ensuite détectés par des photodétecteurs qui effectuent l'opération de mesure.

Cette technologie implique des composants optiques intégrés, dont la fabrication est bien maîtrisée et qui fonctionnent à température ambiante. En revanche, construire un nombre important de portes quantiques qu'il faut interconnecter reste un grand défi, ce qui rend assez délicat le passage à l'échelle.

Plusieurs *start-up* ont été créées : ORCA Computing (UK), PsiQuantum (US), Quandela (France), QuiX Quantum (Pays-Bas), TundraSystems (UK), Xanadu Quantum Technologies (Canada).

Qubits topologiques

Utilise des quasi-particules spécifiques aux systèmes bidimensionnels, appelées anyons, dont les lignes d'évolution s'entourent et forment des chemins dans un espace-temps tridimensionnel (deux dimensions spatiales et une dimension temporelle). Ces chemins constituent les portes logiques.

Dans les autres technologies énumérées auparavant, de petites perturbations se cumulent et peuvent conduire à une décohérence des états quantiques et,

en conséquence, introduire des erreurs dans le calcul. Cependant, les qubits topologiques sont robustes par rapport à ces perturbations. L'implémentation des qubits topologiques a d'abord été proposée sur des bases purement théoriques, puis réalisée pratiquement sur des systèmes bidimensionnels à base de semi-conducteurs en arséniure de gallium, à très basse température, soumis à de forts champs magnétiques. C'est la technologie la plus futuriste, des travaux de recherche sont encore nécessaires pour décider de la validité d'une telle approche. Microsoft, Google et certains laboratoires académiques sont les principaux acteurs de cette technologie.

Chaque technologie présente donc ses avantages et ses inconvénients. Des travaux sont en cours pour les développer davantage et pour savoir laquelle semble plus adaptée à l'algorithme spécifique qu'on souhaite réaliser. Actuellement, les technologies les plus avancées sont les boucles supraconductrices et les ions piégés, mais d'importants progrès ont récemment été obtenus dans la technologie des atomes froids.

Ordinateur quantique analogique

Aujourd'hui, les ordinateurs quantiques à portes logiques ont un taux important d'erreurs, des temps de cohérence faible et ils nécessitent des codes correcteurs d'erreurs. C'est pourquoi certains acteurs du domaine, comme la société D-Wave, se sont orientés vers la mise au point d'ordinateurs quantiques analogiques (recuit quantique), dont les qubits sont plus résistants au bruit, permettent un passage à l'échelle plus facile, mais sont moins flexibles et ne permettent l'implémentation que d'une catégorie restreinte d'algorithmes. D'autres acteurs construisent des simulateurs quantiques, systèmes analogiques qui permettent de simuler des systèmes physiques (transition de phase, magnétisme, phénomènes de transport, modélisation des molécules) dont la simulation dépasse largement les capacités des ordinateurs classiques. Il existe également des travaux de *machine learning* quantique, promus particulièrement par des entreprises comme Athos.

Même si la réalisation d'un ordinateur quantique semble un objectif à long terme, ces travaux vont conduire à des améliorations substantielles de la technologie de capteurs de champ magnétiques avec des applications dans la microscopie et l'imagerie médicale, dans la mise au point de gravimètres capables de mesurer de faibles variations du champ gravitationnel, avec des applications dans la prospection géologique ou dans la prédiction d'éruptions volcaniques. Ces capteurs pourront avoir également des applications militaires, notamment la mise au point de centrales inertielles extrêmement précises qui permettront une navigation sans GPS (dont le signal reste très vulnérable aux brouillages), et peut-être la construction de systèmes de radar quantique (plus résistants aux brouillages).

Le calcul quantique pourrait avoir une large palette d'applications dans la prospection géologique, la mise au point de nouveaux matériaux, molécules, l'optimisation des processus de production ou dans la logistique et la finance.

Encadré 4 : Quelques projets faisant intervenir des algorithmes quantiques

Dans le domaine de l'automobile, Volkswagen et Google Automobile ont travaillé sur l'optimisation des grandes flottes de véhicules autonomes. Dans le domaine de l'énergie, Dubai Electricity a mis au point des algorithmes capables de prédire la consommation d'énergie électrique et le département de l'énergie américain a développé des algorithmes pour l'optimisation du réseau électrique.

Pour des clients comme Apple, Amazon, Google and Facebook, IBM a réalisé des algorithmes en mesure de faire des prédictions météorologiques.

En finance, Caixa Bank a travaillé sur le trading automatisé, la prévision des marchés financiers et l'analyse de risque, KPMG sur l'optimisation du portefeuille à court terme, PayPal et IBM sur la détection des fraudes, Anthem et IBM sur les primes d'assurance santé.

Dans le domaine de la logistique, D-Wave a réalisé des algorithmes pour l'optimisation des itinéraires et du trafic, Coca-Cola pour l'optimisation de la chaîne d'approvisionnement et des stocks.

En fabrication, Daimler et IBM ont travaillé dans l'optimisation de la conception des batteries et des puces pour les véhicules.

En matière de santé, la société 1QBit a réalisé des algorithmes afin de prédire les interactions médicamenteuses (1QBit), Roche, Crownbio et Cambridge Quantum ont travaillé sur des sujets de médecine personnalisée et génomique.

En technologie logiciel, IBM travaille sur l'accélération de l'apprentissage automatique *via* le calcul quantique.

Plateformes de calcul quantique

Comme on vient de le voir, le domaine quantique attire un nombre important d'acteurs industriels, aussi bien de grandes entreprises que des *start-up*. Il existe également des plateformes qui permettent la réalisation d'algorithmes quantiques comme Microsoft Azure, IBM Q Experience, Amazon Braket et Google Quantum Playground.

Toute personne peut y avoir accès et développer ses propres algorithmes quantiques qui peuvent être implémentés sur diverses plateformes *hardware*.

Conclusion

Le montant de l'investissement mondial de R&D dans les technologies quantiques montre l'intérêt pour ce domaine dont le potentiel est considérable. Il est très médiatisé alors que le passage à l'échelle de ces technologies est loin d'être facile. Les aspects *software* sont bien plus avancés que l'implémentation *hardware*. L'ordinateur quantique analogique se trouve plus avancé que l'ordinateur à portes quantiques. Les simulateurs quantiques restent très utiles pour simuler des systèmes physiques complexes qui sont pratiquement impossibles à simuler avec des supercalculateurs classiques.

Enfin, on attend des retombées importantes dans le domaine des capteurs magnétiques et gravitationnels, avec de multiples applications scientifiques, industrielles et militaires. Il est très probable que les protocoles de cryptographie *post* quantique seront mis en

place bien avant la réalisation d'un ordinateur quantique en mesure d'attaquer les protocoles actuels.

Cependant, il n'y a pas encore de preuve mathématique qu'un algorithme *post* quantique ne peut pas être attaqué par un ordinateur quantique.

Industrial pollution: what is clean industry?

Preface

Jacques Vernier, Chairman of the French High Council for Technological Risk Prevention

Introduction

Philippe Merle, General Mining Engineer, permanent member of the General Economic Council

Environments and impacts

Trends in emissions of certain atmospheric pollutants in mainland France

Nadine Allemand and **Jean-Pierre Chang**, Deputy Directors, Citepa

This article looks at trends in emissions of certain atmospheric pollutants between 1990 and 2022 and the contribution of the major emitting sectors, with a specific focus on the industrial sector and energy production. The pollutants considered are SO₂, NO_x, NMVOCs and PM_{2.5}. These four pollutants are subject to emission reduction commitments, established by the amended 2012 Gothenburg Protocol of the United Nations Commission for Europe (UNECE) and by European Directive 2284/2016 on the Reduction of Emissions of Certain Atmospheric Pollutants, which are set out in the National Plan for the Reduction of Emissions of Atmospheric Pollutants or PREPA. France has succeeded in meeting its commitments to reduce total emissions of SO₂, NO_x, NMVOCs and PM_{2.5} by 2020. Emissions of these four pollutants have fallen significantly in all sectors. While emissions from the energy production and manufacturing sectors were very high in the 1990s, their contribution to total emissions today is much lower than that of road transport and agriculture for NO_x, domestic wood heating for PM_{2.5} and for this same sector, but also agriculture, for NMVOCs. Emissions from the energy industry fell by 80% for NO_x and 96% for PM_{2.5} between 1990 and 2021. For the manufacturing industry, reductions of 58% in NO_x and 61% in PM_{2.5} have been achieved over the same period. These reductions can be explained in part by lower levels of fuel consumption in electricity generation or lower levels of activity in certain industrial sectors, but in relation to the unit of fuel consumption or unit of production, emissions have fallen under the impetus of the regulations implemented and in particular the Industrial Emissions Directive, which requires the use of best available techniques or equivalent. For 2030, reduction measures will have to be continued to ensure compliance with future commitments, particularly for NO_x and PM_{2.5}.

Water and industry: what can be done to improve water management by industry in France?

Domitille Legrand, Head of the Bourgogne Franche-Comté Regional Economic Service and Economic and Innovation Advisor to the Regional Prefect

How can the gap between preserving the quality and availability of water resources and (re)industrialization be bridged? Paths can be considered at the level of an industrial territory. By building close public-private collaboration on this scale, economic development stakeholders can build an ecosystem vision of industrial water management and strengthen their solidarity in the management of this essential resource for industrial activities.

Fundamental principles and strategic guidelines for soil and subsoil protection policy in France

Guillaume Bailly, Head of the Soil and Subsoil Office at the Directorate-General for Risk Prevention (DGPR)

State action to protect soil and subsoil is based on three inseparable general principles: pollution prevention and remediation, a case-by-case study of the situation at each site, taking into account the vectors and targets of exposure, and risk assessment based on the uses to which the site is put.

The recent Climate and Resilience Act enshrined these principles by introducing a single new chapter in the Environment Code dedicated to the "General principles of soil and subsoil protection".

What indicators should be used to monitor the health of the general population around France's major industrial areas?

Candice Roudier and **Cécile Kairo**, Santé publique France

Living around an industrial area is a concern for local residents considering the potential impact on their health. We propose to present here the health indicators that could be studied around the major French industrial areas. Two approaches have been considered: a review of the literature and data from certain environmental studies (around industrial area).

Respiratory pathologies and cancers (hematological malignancies, solid tumors of the lung, liver and respiratory tract) appear to be the most frequently studied health effects, followed by cardiovascular, hepatic and renal pathologies, as well as perinatal indicators and more particularly congenital malformations.

Nevertheless, French health databases are limited in their ability to provide reliable, exhaustive estimates of some of the indicators identified. These initial elements should be taken into consideration when setting up epidemiological surveillance systems around France's major industrial areas.

What standards for the future?

Revision of the IED directive

Jean-Luc Perrin and **Loïc Malgorn**, Directorate-General for Risk Prevention (DGPR)

Since 1996, European regulations have governed the design and operation of the industrial facilities that emit the most pollutants, with the aim of promoting the implementation of the best available techniques in order to reduce emissions at source and in an integrated manner with respect to all environments.

The application of best available techniques is based on the so-called "Seville process" for drawing up "BREF" documents. This process involves collecting existing emissions data from the industries concerned and basing the technical obligations on real data on the availability and effectiveness of the techniques.

The current revision of the directive strengthens the reporting obligations of Member States, the information to be published for the public, allows additional derogations for innovative technologies and tightens the conditions for issuing permits. The possibility of compensation for individuals has been extended.

Vision of the European Environmental Bureau for the revision of the IED Directive

Christian Schaible, European Environmental Bureau (EEB)

The Industrial Emissions Directive 2010/75/EU – integrated pollution prevention and reduction recast - (hereafter "IED") covers around 50,000 industrial activities which are responsible for the emissions of around 40% of greenhouse gases, 50% of other air pollutants, and 20% in load for emissions into water with an external cost estimated between 277-433 billion euros per year.

The main provisions arise from the obligations set out in the requirements contained in the permits (permit conditions), determined by the competent authorities of the Member States. The permit conditions must respect general principles and obligations, in particular consistency with the conclusions on the Best Available Techniques (BATs) of the best available techniques reference documents (known as the "BREFs"), which are periodically revised on the basis of an information exchange between the industry concerned, Member States, environmental NGOs (such as the European Environmental Bureau – EEB) and the European Commission.

The author addresses only the key points and major issues of the revision of the IED (hereinafter "IPPC 3.0")

and the Regulation on the Industrial Emissions Portal (hereinafter "IEP-R") from his (personal) perspective and/or on behalf of his organization (EEB), particularly with focus on the question on the possible added value of this new framework to define or promote a "clean industry". Diverging views between the positioning of NGOs, certain industries (notably intensive livestock farming) and/or certain national governments on these points are highlighted.

Note: The assessment below assumes that the Joint Agreement version (December 15, 2023) will be the final version of both legal frameworks.

In summary, the revised framework(s) could provide some useful progress on the transition to a "clean" industry on the following aspects/issues:

A re-framing of what is a best available technique (BAT), which will exclude any fossil age option and which will focus more on the protection of health and the substitution of dangerous substances with a duty of continuous progress. The concrete added value of the new definition of "in-depth transformation" with a triple protection objective to be achieved before 2050 will largely depend on the honesty and real commitment of the stakeholders involved in the determination of these new BATs and the concrete meaning to be given to what can be considered as "deep transformation", including during the elaboration phase of the Transformation Plans by operators. The duty for the operator to develop "Transformation Plans" at installation level means that concrete and measurable commitments are expected, however this risks becoming a greenwashing exercise. The fact that these Transformation Plans will have to be provided only by 2030 at earliest is already too late for certain sectors which have investment projections of at least 15-20 years.

While the aspect of resource efficiency is reinforced, particularly with regard to water, a legal inconsistency and contradiction on substance persists regarding the aspect of energy efficiency, which remains optional for both operators and competent authorities. The concrete performance requirements to be achieved remain to be defined in future BREFs for the majority of sectors.

The biased approach of almost systematic alignment by the authorities of emission limit values towards the upper range of emission levels associated with BATs (BAT-AELs) is reversed in principle, but with a (frightening) naivety of the decision-makers given that it will be 1) the operators concerned themselves who will have to develop an analysis of the non-feasibility of complying with the stricter BAT-AELs 2) no precise deadline has been set for these operators to do that job in self-assessing their permit conditions and 3) no explicit quality control by third parties (i.e. the public concerned) is explicitly foreseen. The review of the permits in question may be postponed for up to 12 years by the competent authorities, which will allow the competent authorities close to their industry to maintain a status of regulatory standstill for a decade to come.

On the other hand, a new dynamic is created for Member States which transpose the BAT conclusions through the general binding rules, such as France.

From now on public authorities must align the rules in accordance with the IED spirit, i.e. ensure the strictest achievable emissions limit values so to achieve prevention/reduction of emissions and therefore move towards the strict ranges of BAT.

There is a livestock rearing exception to all above principles however: the revised framework will lead to a generalized regulatory backtracking on intensive rearing activities compared to the 1996/2010 situation concerning pigs and poultry. There is a further inaction on large scale cattle rearing.

The provisions aimed on strengthening the right to compensation for victims of illegal pollution and sanctions have been weakened in such a way that we see an inversion of the polluter pays principle.

A minor scope extension has been made that is however close to meaningless as to real impacts (metals mining, Giga battery factories), some minor improvements have been brought to requirements on the (co)-incineration of waste.

Progress on the transparency and more useful contextualization of environmental performance data has been made in particular through the linked Regulation establishing the Industrial Emissions Portal and the obligation of an e-permit system/electronic procedures.

Technology-based and risk-based: two complementary approaches to determining discharges

Matthieu Schuler, Deputy Director General of the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health and Safety (ANSES)

The upgrading process of the IED directive is one of the actions taken following the European "Green Deal". Mainly based on a mechanism of optimization, with respect to the best available technologies, the IED way of setting limits for releases to the environment is a clearly different mechanism compared to the one that would be based on a quantitative risk assessment of the corresponding releases. A qualitative comparison of the two approaches is interesting in order to identify their respective limits, differences and complementarities. The latter might be useful, when facing an alert or vigilance situation, that could request changes of the existing limits. Lastly, the registration requirement of the releases for a certain number of substances, in order to contribute to a large public information, shall also be taken into account in an organised data banking mechanism, keeping in mind potential uses and opportunities for a cross analysis of environmental data and health data.

The virtues of the ALARA principle in radiation protection - opportunities and limits of a transposition to the field of industrial impacts

Pierre Bois, Deputy Director General of the French Nuclear Safety Authority (ASN)

The ALARA (as low as reasonably achievable) principle aims "to keep radiation exposure as low as rea-

sonably achievable, taking into account economic and social factors". This simple statement has shown an impressive effectiveness through the results obtained in the professional and medical fields, where the doses received by workers and patients have been considerably reduced over time, well beyond compliance with regulatory limit values. Providing keys to acting in uncertainty, opening decision-making processes to multi-criteria analysis, and placing all actors in responsibility, the ALARA principle gives in fact birth to a functioning and effective risk culture. It could usefully inspire future developments in the field of industrial emissions control, and thus contribute to opening a new sequence in the continuous improvement of the management of the environmental impacts of human activities.

How can we have an efficient policy for reducing the impact of industry?

Sylvie Sutter and **Thomas Léopold**, Fédération professionnelle France Chimie

Reducing the impact of industry is governed by legislative and regulatory provisions, as well as existing tools and best practices. The implementation of these tools makes it possible to impose high standards on industry.

In particular, the fundamental principles to be implemented are :

- the "Avoid, Reduce, Compensate" approach, which aims to prevent as far as possible the risks of a project having a negative impact on the environment;
- controlling impacts, so that the benefits of the activity outweigh any environmental damage resulting from it, both during the project phase and when the industrial facilities are in operation.

The impact study identifies the environmental issues and guides the technical and economic choices made towards a project with the "least impact", in particular through a quantitative assessment of the health risks.

Other views

Pollution caused by accidents: a blind spot?

Jacky Bonnemains, Founder and Director of the Robin des Bois association

Pollution caused by accidents at classified facilities for environmental protection is increasingly being taken into account. But after numerous accidents, particularly fires, trivialisation remains a priority. The usual clichés - "more fear than harm", "the waste has gone up in smoke", "the wind has scattered it" - and the reassuring words of the fire brigade, echoed by the prefects, urge a return to normality as quickly as possible, even though an abnormal event has occurred that is damaging to the environment and public health. A major blind spot concerns non-classified facilities. Notre-Dame Cathedral in Paris is the most striking example. Tomorrow's disasters, with the new low-carbon modes

of propulsion, have not been anticipated. The pollution caused by the extraction of lithium, cobalt and other rare metals, both in France and abroad, is also being concealed. There is an urgent need for the public to be informed of these new risks, and for proportionate means of combating them to be assessed, financed and put in place.

Pollution prevention in the United States

Alexandre Damiens, Energy-Climate-Environment Counsellor at the French Embassy in the United States

In the United States, federal laws require industrial facilities to take measures in order to protect air, water and soil... The U.S. legislative framework is complex. It began to take shape in the 1970s and then evolved until the mid-1990s. This framework is partly simplified by the actions of the Environmental Protection Agency (EPA), a federal entity of the executive branch.

The institutional organization gives Congress primacy at federal level, jurisdiction over environmental matters to the States, and critical importance to the courts. The U.S. environmental legislative and regulatory framework is far from integrated. Political alternation seems to have a strong influence on environmental programs, an area in which no significant legislation has been passed since 1997.

Jurisdiction over environmental policy between the federal government and the States varies according a great number of parameters and circumstances. The management of environmental permitting is a mosaic: there is no single permit neither uniform permit throughout the entire country.

The plethora of normative texts makes it difficult to navigate within the laws, rules and standards. Technical and technological requirements, ranging from obligation of means to performance obligation, are part of an architecture that is difficult for the general public to understand.

Moreover, the alternation in the political leadership of the U.S. federal executive (Clinton-Bush, Bush-Obama, Obama-Trump, Trump-Biden) has an impact on environmental programs. Thus, environmental issues in the United States are subject to frequent reversals. The Supreme Court arbitrates the resulting conflicts. In Congress, incentive-based approaches are favored, as prescriptive approaches seem doomed to failure. The Inflation Reduction Act (IRA, 2022), which distributes substantial tax incentives to deploy low-carbon technologies, is the product of such findings.

Today, there is a strong desire in the U.S. to regain industrial leadership and sovereignty. Current debates highlight the balance that needs to be reached between industrial and environmental policies. And today, environmental permit reforms are awaiting the outcome of the federal Congress.

How can industrial pollution be controlled in China?

Julien Boudet, Regional Economic Department of the French Embassy in Beijing

China's exceptional economic and industrial development has been at the expense of its environment. Nonetheless, a growing awareness of environmental issues that began in the 2010s has led to a rapid strengthening of public environmental policies. At the heart of the Chinese economy, accounting for almost 28% of its GDP, the manufacturing sector is naturally one of the first to be affected by these new measures. This is particularly true of the heavy industry sector, which is a major source of atmospheric pollutants and greenhouse gases. In China, pollution control is based on environmental impact assessments and pollutant discharge permits. The latter is the main tool for monitoring industrial pollution. The regulations introduce differentiated measures for different industries and emission zones. The success of this tool, still under construction, will depend on the human, technical and political resources put in place.

Pollute less here, pollute more elsewhere? Europe's competitiveness

Éric Bourdon, Deputy Managing Director of the Vicat Group, **Emmanuel Normant**, Director of Sustainable Development, Saint-Gobain Group and **Philippe Prudhon**, Former Director of Technical Affairs at France Chimie

Polluting here or elsewhere means first of all providing solutions here and elsewhere! Companies develop first where markets are strong, and many of French companies are at the heart of the environmental transformation of their value chain through the solutions and services they develop. And they act in the same way on a daily basis to reduce their environmental footprint.

But they are faced with strong competition, both in choosing where to develop, but also with competitors who could come from areas with weaker constraints.

The decarbonization of our economy, the sovereignty of our country, all are opportunities to invest in our territory. To succeed and accelerate these transitions, it is necessary to integrate a number of key parameters (energy cost, regulatory fairness, technological fairness, instruction time to open a factory, etc.) in order to ensure the sovereignty of France and Europe and to minimize environmental impacts.

Green mining and refining: yes this is possible

Victoire de Margerie, Founder & Co Chair World Materials Forum

While the global production of minerals has doubled over the last 40 years pushed by the energy transition, the share of Europe has steadily declined during the same period from 25.1 to 6.8%. To maintain sufficient strategic autonomy, Europe must develop green mining and refining operations, green thanks to low CO₂ emis-

sions, low energy consumption, low water usage and low production of solid waste. Ten technologies already tested would allow to produce minerals in Europe. If we do not loose it all with multiple standards and slow permitting processes.

Miscellany

The challenges of quantum technologies

Ilarion Pavel, General Economic Council

Significant efforts are being made today to develop quantum technologies, but will the results meet expectations? The quantum computer is able to solve some

difficult problems that would take too much computing time for the classical computer; it can also attack current encryption schemes. However, building a quantum computer powerful enough to solve practical problems remains a real technological challenge. There are several hardware implementation technologies, each with its advantages and disadvantages. Research is also moving towards the development of analog quantum computers and quantum simulators, which are easier to build. At the same time, a consequence of these developments is the design of extremely sensitive sensors with many applications in the geological prospecting industry, medical imaging and military technologies as well as the development of new encryption methods immune to attack by quantum algorithms.

Issue editor:
Philippe Merle

Ont contribué à ce numéro



D.R.

Nadine ALLEMAND est directrice adjointe de Citepa depuis 2011. Après un parcours universitaire en sciences de l'eau et de l'atmosphère et un doctorat en chimie analytique, elle l'a rejoint en 1986. Elle partage son temps entre activités techniques et plus administratives ainsi que le développement des coopérations à l'étranger. Elle a une vaste expérience des problématiques de pollution et des politiques et mesures visant à réduire les émissions pour notamment améliorer la qualité de l'air et atténuer le changement climatique. Entre autres tâches, elle dirige le secrétariat technico-scientifique de la "Task Force on Techno-Economic Issues" (TFTEI) de la Convention Air (CLRTAP) de la Commission économique de l'Europe des Nations unies (CEE-NU) et participe à de nombreux travaux dans le cadre de cette Convention Air. Elle a été, par exemple, responsable d'une assistance technique pour le MTECT relative à une aide à la décision pour l'élaboration de la stratégie nationale de réduction des émissions de polluants atmosphériques (PREPA) en France. Elle a été chef de projet d'un jumelage entre la France et la Serbie pour la mise en œuvre du règlement européen relatif à un mécanisme pour la surveillance et la déclaration des émissions de gaz à effet de serre (MMR) et impliquée dans des projets relatifs à la lutte contre la pollution atmosphérique en Serbie, en Turquie, en Tunisie et en Afrique francophone.

Sur proposition du ministre chargé de l'Aviation civile, Nadine Allemand a été désignée membre du collège de l'Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires (ACNUSA) en 2018 en tant que personnalité compétente en matière d'émissions atmosphériques de l'aviation. Elle est membre du Conseil National de l'Air.



D.R.

Guillaume BAILLY est chef du bureau du sol et du sous-sol à la direction générale de la Prévention des risques du ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. Il a intégré le Corps des mines en 2021. Il était auparavant chef de l'unité départementale de Seine-et-Marne de la direction régionale et interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie (DRIEE). Il est diplômé de l'École des mines d'Alès.

Pierre BOIS, ingénieur général des mines (X99, IM 2004), est directeur général adjoint de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN), en charge des domaines de la radioprotection des personnes et de la sûreté des



D.R.

installations du cycle du combustible, de recherche, de gestion des déchets, ou en démantèlement, et des transports. Il a occupé précédemment les postes de chef du service régional de l'environnement industriel à la direction régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement (DRIRE) d'Alsace, directeur adjoint de l'École des mines d'Alès, et chef de la division de Strasbourg de l'ASN.

Il a par ailleurs suivi un parcours entrepreneurial dans le secteur de la chimie, durant une période de disponibilité, où il a participé à la reprise et à la relance de plusieurs sites industriels en difficulté.



D.R.

Jacky BONNEMAINS est co-fondateur de l'association de protection de l'Homme et de l'environnement Robin des Bois dont il a été le président de 1985 à 2017 et dont il est actuellement le directeur. Dès les années 1990, il s'est impliqué régulièrement et de manière constructive dans des groupes de travail et instances de concertation des ministères en charge de

l'Écologie sur les enjeux déchets, sites pollués, risques et biodiversité.

Depuis 2007, il est membre du Conseil supérieur de la prévention des risques technologiques. Il est également membre du Haut comité pour la transparence et l'information sur la sécurité nucléaire, administrateur au conseil d'administration de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) et du conseil d'administration du Comité français d'accréditation (COFRAC).

En plus des rapports et publications de Robin des Bois et d'articles dans des revues spécialisées, il a écrit et co-écrit « L'empereur de l'Antarctique » publié aux éditions Berger-Levrault en 1985, « Le cargo de la honte, l'effroyable odysée du Probo Koala » paru aux éditions Stock en 2010, « L'Atlas de la France toxique » paru aux éditions Arthaud en 2016 et « L'Atlas du business des espèces menacées » paru en 2019 aux éditions Arthaud.

Jacky Bonnemains a été promu Chevalier de l'Ordre national du Mérite en 2005, Chevalier de l'Ordre du Mérite maritime en 2011 et Chevalier de la Légion d'Honneur en 2014.

Julien BOUDET est ingénieur de l'industrie et des mines, diplômé de l'École nationale supérieure des mines de Douai en 2018. Il a débuté sa carrière au



D.R.

ministère de la Transition écologique et solidaire à la direction de l'Énergie et du Climat où il a contribué à la création du service de surveillance du marché des véhicules et des moteurs (SSMVM).

En 2021, il rejoint le service économique régional de l'ambassade de France à Pékin où il occupe le poste de conseiller adjoint au développement durable, énergie et transport.



D.R.

Éric BOURDON est diplômé en 1991 de l'École nationale supérieure des Arts et Métiers.

Il a débuté sa carrière professionnelle en 1992 au sein d'une société d'ingénierie cimentière allemande où il a occupé différentes fonctions, notamment au sein de la direction Technique & Gestion de projets internationaux.

Il rejoint ensuite le groupe Vicat à la direction Technique en septembre 2002. En 2005, il est nommé directeur des Performances et Investissements. Jusqu'en 2011, il a géré le doublement de capacité de production de ciment du groupe Vicat. En 2011, il prend en charge la direction Industrielle Ciment France et en 2014 il se voit confier en plus la responsabilité de la direction Scientifique du groupe en charge de la Recherche & Développement ainsi que la direction de la direction Qualité.

En mars 2015, Éric Bourdon est nommé directeur général en charge des activités ciment en France, Italie et Espagne. Il conserve la direction Scientifique ainsi que la direction des Performances et des Investissements.

Depuis juin 2018, il est nommé directeur général adjoint du groupe en charge de la direction Industrielle et de l'Innovation du groupe. Lui sont rattachés les Achats, l'Énergie, la direction Scientifique et la direction de la Performance et des Investissements.

Depuis janvier 2020, il crée et a la charge de la direction Stratégie Climat.



D.R.

Jean-Pierre CHANG est directeur adjoint de Citepa. Il assure notamment la coordination technique des inventaires d'émissions nationaux français, gaz à effet de serre (pour la convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques – CCNUCC) et les polluants atmosphériques (pour la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière

à longue distance – CPATLD et directives de l'Union européenne). Cela concerne les différents aspects suivants : développements méthodologiques : suivi et maintenance du système d'inventaire ; collecte

des données et leurs traitements ; établissement des rapports et formats de restitution des données pour les obligations internationales ; contrôle de la qualité et assurance de la qualité ; revues d'inventaire des émissions...

Jean-Pierre Chang possède une longue expérience des inventaires des émissions atmosphériques, ayant été l'un des architectes du projet européen Corinair (dans les années 1990) qui avait établi les bases des systèmes nationaux d'inventaire des émissions atmosphériques en Europe. Ce projet Corinair était le volet air du projet Corine (Coordination de l'information sur l'environnement) qui avait d'autres volets comme Corine Land Cover, Corine Biotope, etc.

Il est par ailleurs membre du réseau EIONET de l'Agence Européenne de l'Environnement ; il est le point de contact technique des inventaires d'émissions français pour les deux Conventions des Nations unies, CCNUCC et CPATLD ; il a contribué au guide de bonnes pratiques sur les inventaires du GIEC 2000 ; il a contribué à des audits internationaux d'inventaires, en particulier les revues de la CPATLD ; il est membre de l'Implementation Committee de la CPATLD pour le suivi des non-conformités des Parties au regard de leurs obligations et engagements.



D.R.

Alexandre DAMIENS est le conseiller énergie-climat-environnement de l'Ambassade de France aux États-Unis. Il exerce cette fonction depuis octobre 2020 au sein du pôle du ministère de la Transition écologique de l'Ambassade.

Avant cette position, il était inspecteur des installations industrielles à la direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) des Hauts-de-France, exerçant des activités de spécialiste des appareils à pression au sein du pôle de compétence interrégional pour les Hauts-de-France, l'Île-de-France et les départements d'Outre-mer. Auparavant, il était inspecteur à l'Autorité de Sûreté Nucléaire à la direction du Transport et des Sources.

Avant d'intégrer les services de l'État, il a occupé les fonctions d'ingénieur études et procédés chez Veolia et Suez, ainsi que celles d'ingénieur efficacité énergétique pour la société Dalkia. Pendant ses années dans le secteur privé, il a participé, depuis Abou Dhabi, au suivi de l'ingénierie sur site du plus gros chantier de traitement d'eau municipale au Moyen-Orient des années 2000.

Par ailleurs, Alexandre Damiens intervient à l'Institut Mines-Télécom Nord Europe afin de dispenser des cours introductifs à l'ingénierie et sur les appareils à risques dans l'industrie.

Son cours d'introduction à l'ingénierie est publié chez Eyrolles, aux Éditions Ellipses.

Il est ingénieur généraliste, diplômé de l'École des Mines de Douai (2008) et ingénieur divisionnaire de l'Industrie et des Mines.

Cécile KAIRO, Docteur en Pharmacie spécialisée en évaluation des risques sanitaires, actuellement en charge d'un projet sur l'impact des sols pollués sur la santé des populations au sein de la direction Santé Environnement Travail de Santé publique France.

Après quelques années en bureau d'études dans le domaine des sites et sols pollués, elle a rejoint en 2004 l'InVS – Institut de Veille Sanitaire puis Santé publique France en 2016 (lors de la fusion de l'InVS avec l'INPES – Institut nationale de prévention et éducation pour la santé et de l'EPRUS - Établissement de Préparation et de Réponse à l'Urgence).



D.R.

Domitille LEGRAND est responsable du service économique régional de Bourgogne Franche-Comté, et conseillère économie et innovation auprès du préfet de région. Elle est ingénieure du corps des mines, et a travaillé dans diverses organisations, entreprises et *think tank* en Europe (Allemagne, Angleterre), en Asie du Sud-Est (Singapour) et

en Nouvelle-Calédonie, sur des thématiques énergétiques, numériques, industrielles, de ressources. Dans le cadre de ses études, elle a coécrit avec Jacques Bourgeaux un rapport à destination du ministère chargé de l'Économie en 2023 intitulé « Industries et territoires : comment réindustrialiser les territoires ? ».

Thomas LEOPOLD, Pharmacien spécialisé en Santé publique et risques environnementaux, est toxicologue et intervient en tant que consultant et formateur sur différentes réglementations des produits chimiques (REACH, cosmétiques et biocides notamment). En charge des thématiques scientifiques de santé-environnementale pour la fédération professionnelle France Chimie, il prend part à divers plans et stratégies nationales, assure l'interface avec les autorités compétentes. Il travaille également à l'implémentation des nouvelles dispositions réglementaires ou liées au progrès technique sur des sujets d'actualité tels que les perturbateurs endocriniens ou nanomatériaux.



D.R.

Loïc MALGORN est ingénieur hors classe de l'industrie et des mines. Il a d'abord exercé en temps qu'inspecteur des installations classées au service technique interdépartemental de l'inspection des installations classées de la préfecture de police de Paris. Il a ensuite rejoint la direction de la Prévention des pollutions et des

Risques au bureau des Risques technologiques des industries chimiques et pétrolières.

Il s'est ensuite occupé de sujets miniers à la direction générale de l'Aménagement du logement et de la nature avant de prendre le poste adjoint au chef de bureau des biotechnologies et de l'agriculture à la direction générale de la Prévention des risques. Il est depuis 2018 chef du bureau de la nomenclature des émissions industrielles et des pollutions des eaux à la DGPR. Il a activement participé à la révision de la directive IED.

Victoire de MARGERIE is Executive Chairman and Majority Shareholder of Rondol Industrie, a DeepTech Start Up that develops extrusion machinery for drug formulation and other high tech applications.

She is also a Board Director at Eurazeo (France, Private Equity), Ivanhoe Electric (USA, Mining) and Verkor (France, EV Batteries).

On a Non for Profit Basis, she is Founder & Co Chair of World Materials Forum, Board Director at Mines Paris Tech and Université de Lorraine and a member of the National Academy of Technologies of France.

Victoire de Margerie has spent 35 years in the Materials Industry in Canada, France, Germany, the United Kingdom and the United States, first as an Executive and since 2003 also as a Board Director. She was also a Professor in Strategy and Technology Management at Grenoble School of Management between 2003 and 2011.

She graduated from HEC Paris and Sciences Po Paris and holds a PhD from Université de Paris 2.

Philippe MERLE a intégré le corps des Mines à sa sortie de l'École Polytechnique en 1989.

Après un début de carrière dans l'administration, qui l'a conduit en région à contrôler des mines, le secteur de l'énergie et la sûreté nucléaire, il a passé quelques années à Paris à contribuer à la gestion du réseau des DRIRE, puis est parti dans le secteur privé.

Dans la sidérurgie, il s'est d'abord exercé à la gestion de production, avant de prendre la direction d'une petite usine de revêtement de tôles.

Revenu dans l'administration à la suite de restructurations, il a eu l'opportunité de prendre la direction de la DRIRE de Franche-Comté puis de mener la fusion conduisant à créer la DREAL. Il a ensuite dirigé la direction régionale des Entreprises, de la Concurrence, de la Consommation, du Travail et de l'Emploi (DIRECCTE) de Montpellier où une nouvelle fusion l'attendait, celle avec la région Midi-Pyrénées.

Après cette riche expérience de terrain, il a pris en 2016 la tête, en administration centrale, du service des risques technologiques à la direction générale de la Prévention des risques.

Le thème de ce numéro, à savoir les pollutions industrielles et la mise en œuvre en France de la directive IED, faisait donc partie de ses attributions, jusqu'à ce

qu'il rejoigne début 2022 le Conseil général de l'Économie dont il est membre permanent et où il est notamment chargé de coordonner les activités d'inspection.



D.R.

Emmanuel NORMANT est diplômé de l'École Polytechnique et de l'École nationale supérieure des Mines de Paris (Corps des Mines). Il a démarré sa carrière au sein du ministère en charge de l'Environnement, en exerçant diverses responsabilités en région, en administration centrale et au cabinet du ministre.

Il travaille depuis 2002 pour le groupe Saint-Gobain, principalement pour le secteur des Produits pour la Construction, d'abord au Brésil, puis en Chine entre 2005 et 2012, en France ces dernières années. Durant ses années en Asie, après avoir eu la charge du développement de l'activité canalisation en Chine, il a été nommé en 2009 délégué général de Saint-Gobain pour l'Asie-Pacifique et directeur général de région du pôle Produits pour la Construction sur le même périmètre. Entre 2012 et 2016, Emmanuel Normant a eu la charge de l'activité isolation sur son périmètre mondial. Il a été nommé en mai 2016 directeur du Développement durable du groupe Saint-Gobain.



D.R.

Ilarion PAVEL est ingénieur en chef des Mines et Docteur en physique. Il travaille au Conseil général de l'Économie et au laboratoire de physique de l'École normale supérieure, dans le domaine de la physique des particules élémentaires et des interactions fondamentales.

Il a été ingénieur de recherche chez Thomson-CSF et a effectué un séjour post-doctoral à Caltech.

Il a travaillé pendant 3 ans à la délégation régionale de la Recherche et de l'Innovation d'Île-de-France, dans le domaine de l'innovation et du transfert de technologies. Puis, il a été durant 5 ans en charge du Réseau national de recherche en télécommunications, au ministère chargé de la Recherche. Par la suite, au sein de ce même ministère, il a été conseiller scientifique en nanotechnologies.

Jean-Luc PERRIN est ingénieur en chef des ponts, des eaux et forêts. Il a commencé sa carrière à la délégation générale pour l'Armement travaillant sur des sujets d'optique aéronautique. Il a ensuite exercé des fonctions relatives à la synthèse des comptes des administrations de sécurité sociale à la direction de la Prévision à Bercy.

Il a poursuivi sa carrière à la direction générale de l'Énergie et des Matières premières, où il a suivi le débat public EPR, la programmation pluriannuelle des investissements de production électrique et le sujet

des électro-intensifs. Depuis 2008, il est chargé de la sous-direction des Risques chroniques et du pilotage de l'Inspection à la direction générale de la Prévention des risques



© Géraldine Aresteanu

Philippe PRUDHON est docteur en Chimie Physique (soutenance janvier 1986). Il a démarré sa carrière chez Rhône Poulenc en septembre 1985 au Centre de Recherche de Saint Fons sur l'analyse des polymères puis a rejoint le site de Salindres en 1988 pour développer les procédés de fabrication de catalyseurs pour le raffinage. Muté à PROLABO en

1991 à Briare le Canal, il optimise le centre de distribution et lors de la cession de l'activité à Merck, il occupe différentes fonctions dont la direction usine et la direction des opérations.

Il rejoint Isochem (chimie fine pharmaceutique) en 2001 comme directeur usine à Vert-le-Petit puis prend la direction industrielle des 8 sites. Il rejoint la fédération France Chimie en mai 2006 comme directeur des Affaires techniques qui couvre les sujets liés à la réglementation des sites industriels, la réglementation Produit et Énergie – Changement climatique.

Il assure plusieurs mandats dans les conseils d'administration de l'INRS, l'INERIS, l'ANSES, participe au CSPRT et au CNTE. Il est président du Comité environnement du Medef pendant plusieurs années. Il est retraité depuis le 1^{er} janvier 2024.

Candice ROUDIER est titulaire d'un Master de Santé publique. Après avoir travaillé plusieurs années sur des études nationales relatives à la surveillance du diabète ou la nutrition, elle rejoint, en 2010, la direction Santé Environnement de l'Institut de Veille Sanitaire (devenue direction Santé Environnement Travail de Santé publique France), pour travailler sur la mise en œuvre d'une surveillance sanitaire autour des installations nucléaires de base.

Elle co-pilote actuellement les réflexions menées par Santé publique France sur la faisabilité de réaliser une étude épidémiologique nationale autour des grands bassins industriels français.

Christian SCHAIBLE est en charge des activités industrielles au sein du Bureau Européen de l'Environnement (EEB), dans l'équipe « Zero pollution industrie ». Il est notamment impliqué dans la révision des Documents de Référence MTDs depuis environ 2010 et a été impliqué dans la codécision sur l'IED (entre 2008-2010). Un focus de l'équipe en 2024-2025 porte sur l'accélération de la décarbonisation de l'industrie intensive en énergie, notamment la production du ciment et de l'acier.

Il est né et a grandi dans le sud-ouest de l'Allemagne avant de suivre un parcours français d'études en



D.R.

droit des affaires internationales au Caire en Égypte (Université Paris Sorbonne I), avec spécialisation en droit de l'environnement (Université d'Oslo, Master 2 Université de Montpellier I et Master 2 Université de Limoges / CRIDEAU).

Il a été stagiaire dans l'Agence de protection de l'environnement allemand (UBA) et dans la Commission européenne pour promouvoir les énergies renouvelables avant de travailler pour 1 an pour le *lobby* de l'agro-diesel européen avant de rejoindre le EEB à Bruxelles, où il était également en charge de la politique chimique, notamment REACH. Il a également été coordinateur du Réseau risques et impact industriels au siège de France Nature Environnement (FNE) entre juillet 2012 et septembre 2013, notamment sur la transposition et l'application de la directive Seveso III en France.



D.R.

Matthieu SCHULER a rejoint l'Agence française de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses) en 2018, en tant que directeur de l'Évaluation des risques (DER), couvrant tous les types d'expertise en sécurité sanitaire du champ de l'agence (à l'exception des produits pour lesquels l'Anses a une mission de décision administrative : biocides, produits phytopharmaceutiques, médicaments vétérinaires). Ces évaluations de risques sont menées par un processus d'expertise collective confiés à des groupes d'experts externes à l'agence.

Depuis février 2021, il occupe le poste de directeur général délégué du pôle sciences pour l'expertise, incluant la DER, la direction des Alertes et Vigilances sanitaires, la direction du Financement de la recherche et de la veille, et la direction Sciences sociales, Expertise et Société.

Avant de rejoindre l'Anses, il a travaillé dans le domaine de l'action publique sur les risques nucléaires et radiologiques, aussi bien au sein de l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN, 1996-2002) qu'au sein de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN, 2009-2018) et dans le domaine de l'enseignement supérieur et de la recherche en tant que directeur adjoint de l'École des Mines de Nantes (2002-2009), période pendant laquelle il était également directeur adjoint de la DRIRE des Pays de la Loire.

Son expérience professionnelle est articulée autour des deux majeures que sont la gouvernance – évaluation et gestion – des risques, ainsi que les politiques scientifiques en appui à différentes missions de service public.

Diplômé de l'École des Mines de Paris (1993), puis du Corps des Mines.

Diplômé de l'École des Mines de Paris (1993), puis du Corps des Mines.

Sylvie SUTTER, diplômée de l'École et Observatoire de Physique du Globe de Strasbourg, a débuté sa carrière en tant que géophysicienne dans l'exploration pétrolière, avant de réaliser un mastère en management de l'environnement à l'INSA de Lyon. Elle occupe ensuite différents postes de chargée de l'environnement sur des sites de raffinage et de chimie chez TotalEnergies, et ses missions s'étendent aux relations avec les autorités et les riverains.

Elle supervise aujourd'hui une équipe d'assistance opérationnelle qui réalise les études environnementales et sociétales pour les projets, qui couvre l'ensemble des activités de la compagnie, incluant les projets de développement d'énergies renouvelables et de captage de carbone.

Elle est présidente du comité Environnement de France Chimie depuis 2018.



D.R.

Jacques VERNIER est ingénieur général des mines. Il a été directeur de l'agence de l'eau Artois-Picardie, président de l'ADEME et de l'INERIS, et député (rapporteur de la loi Barnier et de la loi sur l'air). Il est actuellement président du conseil supérieur de la prévention des risques technologiques et président de la commission inter-filières de responsabilité

élargie des producteurs en matière de déchets (REP). Il est l'auteur de deux ouvrages dans la collection « Que sais-je ? », l'un sur « L'environnement », l'autre sur « Les énergies renouvelables ».