

# RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

*« Se défier du ton d'assurance qu'il est si facile de prendre et si dangereux d'écouter »  
Charles Coquebert, Journal des mines n°1, Vendémiaire An III (septembre 1794)*



## L'adaptation de l'industrie au changement climatique



N°118  
AVRIL 2025

Publiées avec le soutien  
de l'Institut Mines Télécom



## RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

ISSN 2271-8052 (en ligne)

ISSN 1268-4783 (imprimé)

Série trimestrielle - N°118 - Avril 2025

### 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-des-mines.org>

**Grégoire Postel-Vinay**  
Directeur de la publication  
et Rédacteur en chef

**Alexia Kappelmann**  
Secrétaire générale

**Daniel Boula**  
Secrétaire général adjoint

**Magali Gimon**  
Assistante de rédaction et Maquettiste

**Nuria Gorris**  
Webmestre et Maquettiste

### Publication

**Photo de couverture**  
Dans le Gard, le lit du Gardon asséché  
©Gilles Paire - stock.adobe.com  
Sapeur-pompier luttant contre un feu  
de broussaille ©Ted Erski - Pixabay  
Place Saint-Marc inondée ©Hans - Pixabay

**Iconographie**  
Daniel Boula

**Mise en page**  
Magali Gimon

**Impression**  
Dupliprint Mayenne

### Membres du Comité de rédaction

**Pierre Couveinhes**  
Président du Comité de rédaction

**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.

# L'adaptation de l'industrie au changement climatique

04

## Préface

Grégoire POSTEL-VINAY

05

## Introduction

Claire TUTENUIT et Michel PASCAL

## L'état des lieux

07

### À quel climat futur adapter les activités économiques en France ?

Jean-Michel SOUBEYROUX

11

### Adapter la France à un réchauffement de 4°C d'ici 2100 : un projet collectif pour une société plus résiliente

Marie CARREGA et Sophie MOURLON

15

### Pour une démarche globale de sobriété hydrique des entreprises industrielles

Michel PASCAL et Philippe KAHN

## Les conséquences pour l'économie et l'industrie

19

### Adaptation et innovation, les deux jambes de la résilience industrielle

Christian de PERTHUIS

23

### L'adaptation au changement climatique du point de vue de la santé

Yves LÉVI

Sommaire

26

### Les enjeux technologiques de l'adaptation de l'industrie au changement climatique

Antoine BELLEGUIE, Olivier APPERT, Denis RANDET et Richard LAVERGNE

31

### Des enjeux sociaux de l'adaptation

Jean-François NATON

34

### Défis de l'industrie automobile face au changement climatique

Marc MORTUREUX

## Les démarches industrielles

40

### L'adaptation aux aléas climatiques : un enjeu majeur pour l'industrie

Emmanuelle BROMET

44

### L'approche de Saint-Gobain pour l'adaptation au changement climatique

Emmanuel NORMANT

47

### L'adaptation de l'industrie au changement climatique, l'exemple de Michelin

Antoine SAUTENET et Francis RENAULT

51

### Accompagner les collaborateurs exposés aux fortes chaleurs : un enjeu clé

Laure GIRODET

57

Adaptation des aéroports  
au changement climatique

François-Xavier CHOPIN

86

Les entreprises, l'eau  
et le changement climatique

Christian LECUSSAN et Albin PINAUDEAU

## Les autres secteurs de l'économie

60

Agriculture

Thierry CAQUET

64

La qualité des constructions  
face au changement climatique

Philippe ESTINGOY

67

La stratégie opérationnelle de RTE  
pour transformer le réseau de transport  
d'électricité à l'horizon 2040

Xavier PIECHACZYK

72

SNCF Réseau mobilisée  
pour l'adaptation au changement  
climatique – une profession de foi

Matthieu CHABANEL, Benoit CHEVALIER  
et Mathilde KOSCIELNY

77

Les sites de production d'électricité  
nucléaire, le changement climatique  
et l'habitabilité des territoires

Catherine HALBWACHS et Edouard DEQUEKER

82

Changement climatique : comprendre  
les impacts sur le système énergétique

Julia MARIS

## Les démarches territoriales

90

Le difficile financement de l'efficacité  
énergétique dans l'industrie

Alain ROUSSET

93

Caen la mer en transition :  
T-Time en sachant renoncer et rediriger

Nicolas JOYAU et Emmanuel RENARD

99

Adaptation ou transition écologique ?

Claire TUTENUIT et Ken GUILTAUX

## Fiche de lecture

102

Renforcer les politiques d'adaptation  
À propos de l'ouvrage  
de Matthieu Glachant et François Lévêque,  
« Survivre à la chaleur – Adaptons-nous »,  
Éditions Odile Jacob, 2025

Claire TUTENUIT

104

Traductions des résumés

109

Biographies des auteurs

Ce numéro a été coordonné  
par Michel PASCAL et Claire TUTENUIT

# Préface

Par Grégoire POSTEL-VINAY

Ingénieur général des Mines, Rédacteur en chef des *Annales des Mines*

Le changement climatique : l'atténuer et s'y adapter sont les deux grandes réponses. La seconde avait déjà fait l'objet d'un numéro des *Annales des Mines – Responsabilités & Environnement* en avril 2022 intitulé « Adaptation au changement climatique »<sup>1</sup>. Au moins cinq évolutions majeures amènent à ce nouveau numéro, centré plus spécialement sur les stratégies d'adaptation des industries : l'évolution de la production académique et des réalisations d'entreprises, les réactions publiques face aux transitions requises, les tensions géopolitiques, la remontée dans les agendas d'impératifs industriels, la création en France d'un plan d'adaptation au changement climatique fondé sur une hypothèse chiffrée de l'accroissement de température en 2100.

Longtemps, la production académique s'est focalisée sur l'atténuation au changement climatique, et de fait, s'attaquer à la cause est logique. Il en ressortait l'idée que parler d'adaptation pouvait dissuader de prendre des mesures d'atténuation difficiles, coûteuses et dont les résultats n'étaient que marginaux pour ceux qui les prenaient, que ce soit à titre individuel, à celui d'un secteur d'activité ou d'un pays (aux exceptions principalement vu leur taille de la Chine, des États-Unis et de l'Union européenne). De fait la production de travaux sur l'adaptation restait marginale par rapport à celle sur l'atténuation. La situation évolue depuis environ quatre ans, alors que les dommages créés s'amplifient et suscitent une demande accrue de réponses rapides et plus locales, face aux incendies, tempêtes, sécheresses et inondations, et aux effets sur la santé et sur la biodiversité, outre des impacts plus indirects mais massifs sur l'économie dans son ensemble. En outre, des synergies apparaissent entre certaines mesures d'adaptation et d'atténuation, rendant dans ces cas obsolètes les oppositions théoriques entre les deux objectifs. Et les entreprises fournissent de plus nombreux exemples concrets d'une prise en compte économiquement rationnelle des risques liés au changement climatique : ce numéro en donne des exemples significatifs, qui peuvent en inspirer d'autres.

En second lieu, le coût des mesures prises pour répondre à l'enjeu climatique croît, et dans les pays les plus développés et intensifs en énergies, le réflexe local des populations d'un juste retour de l'effort consenti fait évoluer les équilibres politiques, ce qui amplifie parfois le nombre des tenants d'un simple déni, mais surtout ceux qui estiment que, par rapport à des chiffres d'investissements où 95 % des efforts consentis nationalement seraient à effets planétaires (l'atténuation) et 5 % à effet national ou local (l'adaptation), il faut renforcer les seconds, et mieux les évaluer. À des degrés divers cela s'est traduit en 2024 et février 2025 dans les élections américaines, européennes, nationales en Europe.

En troisième lieu, l'intensification des tensions géopolitiques amène à se poser les questions de résilience en des termes renouvelés. Le 20 janvier 2025, Donald Trump a signé un décret pour retirer à nouveau les États-Unis de l'Accord de Paris, à effet au 27 janvier 2026, et insiste en février sur le contrôle par les États-Unis de matières premières qui servent à la transition climatique (à échelle mondiale, on passe d'une dépendance aux hydrocarbures à une dépendance accrue à un vaste panel de matières premières). La Chine mène depuis longtemps une stratégie de contrôle en l'espèce, l'Europe (avec le règlement du 11 avril 2024 visant à garantir un approvisionnement sûr et durable en matières premières critiques et le « pacte pour une industrie propre » de février 2025) et ses États membres s'en préoccupent.

En quatrième lieu, une double préoccupation industrielle s'intensifie : l'adaptation crée de nouvelles activités industrielles, avec des enjeux de long terme, qui supposent une programmation, et très souvent des coordinations privé-public, notamment pour les grandes infrastructures. Et l'hétérogénéité des réponses de grands pays face au changement climatique comme l'instabilité géopolitique font grandir les préoccupations de souveraineté et de réindustrialisation, si l'on souhaite éviter des délocalisations d'activités dont le bilan tant écologique qu'économique et social serait désastreux.

En cinquième lieu l'État en France s'est doté récemment d'une analyse à horizon 2100 du changement climatique aux fins d'une société plus résiliente. Cela conduit à prendre en compte le très long terme et faire évoluer des schémas de pensée antérieurs, tant au niveau national que régional ou local : cet ouvrage en montre des exemples à ces trois échelles.

Pour ces raisons, nous espérons que les nombreuses visions présentées dans ce numéro, dont je remercie la coordinatrice et le coordinateur ainsi que les autrices et auteurs, contribueront à une meilleure prise en compte des adaptations nécessaires, et à les rendre possibles.

<sup>1</sup> [https://annales.org/re/2022/re\\_106\\_avril\\_2022.html](https://annales.org/re/2022/re_106_avril_2022.html)

# Introduction

Par Claire TUTENUIT

Déléguée générale d'Entreprises pour l'Environnement (EpE)

Et Michel PASCAL

Membre permanent du Conseil général de l'Économie  
et de l'Inspection générale de l'Environnement et du Développement durable

Ce numéro a pour ambition de montrer comment le secteur industriel s'adapte aux effets présents et futurs du réchauffement climatique.

En effet, les effets du réchauffement climatique, ce n'est pas demain, mais dès aujourd'hui que nous les vivons. Nous sommes tous ensemble entrés dans une expérience unique et irréversible à échelle humaine : nous avons détraqué le climat, et nous allons devoir expérimenter comment gérer cela.

Les scientifiques nous le disent depuis longtemps, et Jean-Michel Soubeyrou le précise en introduction de ce numéro : le changement climatique, c'est, au-delà de la montée de la température moyenne, plus d'énergie dans l'atmosphère. C'est normal, plus d'énergie est retenue dans la « serre » que forme l'atmosphère. Plus d'énergie, et tout est plus violent : les sécheresses et canicules, les épisodes pluvieux et les inondations, les cyclones et orages.

Nous, citoyens et acteurs économiques, comptons donc sur les pouvoirs publics pour nous aider face à ces risques, et ces derniers ont ainsi préparé un plan d'adaptation plutôt prudent, réaliste, puisqu'il se fonde sur l'hypothèse d'un réchauffement de la température en France de + 4°C en 2100, qui résulterait des politiques d'atténuation mondiales actuelles. La première partie précise ce plan et ces risques, y compris celui de manquer d'eau pour faire fonctionner une entreprise industrielle.

La première partie de ce numéro est consacrée à cet environnement de la vie économique. En effet plusieurs questions se posent à la société dans son ensemble, avant même de descendre au niveau des entreprises, et des experts apportent leurs réponses. Y a-t-il des effets macro-économiques du changement climatique, quel est l'effet sur la croissance de ces changements physiques ? Des effets sanitaires ? Des effets sociaux à travers les conditions de travail sont déjà constatés. La première partie décrit ces enjeux et réponses collectifs avec Christian de Perthuis, Yves Lévi, Olivier Appert, Jean-François Naton et Marc Mortureux.

Les entreprises industrielles aussi se sont saisies du sujet, nous avons choisi des entreprises qui travaillent à l'échelle mondiale et à des échelles de temps longues compte tenu de la durée de leurs investissements industriels et de la dynamique de leurs stratégies mondiales. Les exemples d'Arkema, Saint-Gobain, Michelin, Veolia et des aéroports montrent que l'eau est un sujet commun à tous, que la géographie industrielle mondiale pourrait donc changer significativement puisque les risques accrus d'événements climatiques dans le monde conduisent par exemple les industriels à diversifier leurs approvisionnements. Ils donnent des exemples de démarches souvent récentes, diverses, qui montrent qu'il n'y a pas une solution unique.

L'agriculture est bien sûr un des secteurs les plus vulnérables et Thierry Caquet nous montre comment elle aborde le problème, partagée entre des investissements pour préserver les systèmes de culture actuels et les changements de culture – avec quelles conséquences sur l'alimentation ?

Les secteurs de la construction, de l'eau, les réseaux et le secteur énergétique ont commencé il y a déjà plus longtemps, depuis plus de 10 ans<sup>1</sup> à adapter le dimensionnement de leurs infrastructures aux nouveaux climats. La vitesse du changement, plus rapide que prévu, confirme-t-elle la pertinence de ces premiers efforts ? Faut-il aller plus vite ? Les représentants d'EDF, Engie et RTE apportent leur expérience.

Enfin, les entreprises vivent dans des territoires, et il a paru utile de présenter deux exemples de démarches territoriales : celle de la région Aquitaine, pionnière du sujet depuis plus de 10 ans, et celle de l'agglomération de Caen, qui montre un exemple tout à fait parlant de changement de stratégie volontaire sur le long terme face aux conséquences prévisibles du changement climatique.

Nous espérons que ce numéro montrera à la fois que ce sujet a commencé à être pris en charge par toutes les entreprises de tous les secteurs, et est incontournable pour l'ensemble des secteurs. La dynamique économique, le business case est simple : il s'agit de réduire les risques, et le retour sur investissement des actions à mener peut être évalué par cette approche des risques. De plus, chacun travaille pour soi, la logique économique individuelle

<sup>1</sup> EpE (2014), « Les entreprises et l'adaptation au changement climatique », <https://www.epe-asso.org/les-entreprises-et-ladaptation-au-changement-climatique-avril-2014/>

est solide. Le coût peut être élevé, mais le coût des catastrophes, des arrêts d'usine est sans doute plus élevé, c'est ce qu'on appelle le coût de l'inaction.

Si l'entreprise investit dans cette adaptation, réduisant ainsi le coût des dommages futurs, ces investissements peuvent être importants. Ne peuvent-ils pas alors créer un risque réel de sacrifier les mesures d'atténuation à des dépenses d'adaptation perçues comme plus urgentes, et aussi plus spontanées puisqu'elles limitent des risques mesurables et rassurent ainsi les investisseurs et partenaires ? Les mesures d'atténuation ont des effets plus indirects, plus collectifs (on n'atténue pas pour soi-même mais pour le monde entier) et il est plus difficile de les financer spontanément, sauf exception. Les experts du changement climatique partagent cette interrogation et apportent une réponse, une analogie parlante : quand on voit sa maison inondée, le premier geste est d'aller fermer le robinet ou la fuite, et de l'arrêter – et ensuite on peut s'occuper d'écoper et sécher les lieux. Dans le cas du réchauffement climatique, nous savons quel robinet il faut fermer avant de s'occuper d'adaptation : c'est l'atténuation, la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Or un grand nombre d'acteurs considèrent encore que les catastrophes climatiques sont des fatalités auxquelles ils ne peuvent rien – et sont tentés de se concentrer sur l'adaptation, voire sur des appels à la solidarité nationale, dernier recours après les catastrophes faute d'actions de prévention.

Les acteurs économiques les plus avancés ont compris l'intérêt d'anticiper et réduire les risques et conjuguent adaptation et atténuation. La conclusion de Claire Tutenuit est ainsi que l'adaptation est aussi une opportunité de repenser plus profondément le modèle d'affaires de chaque entreprise de façon à exploiter les synergies entre les deux démarches, qui sont en fait fréquentes. C'est aussi un moyen de repenser notre relation avec une nature que nous ne pouvons plus simplement dominer et exploiter : il faut composer avec elle, respecter les limites de la planète – et pas seulement celle des gaz à effet de serre – pour trouver un nouveau modèle de prospérité collective plus résilient. À ce prix la nature pourra continuer à nous apporter son bien le plus précieux : la vie.

# À quel climat futur adapter les activités économiques en France ?

Par Jean-Michel SOUBEYROUX

Directeur adjoint scientifique de la Climatologie et des Services climatiques de Météo-France

La France s'est dotée en 2023 d'une Trajectoire de Réchauffement de référence pour l'Adaptation au Changement Climatique (la TRACC), fixant une cible commune d'adaptation pour tous les acteurs et tous les territoires. La vocation de la TRACC est de préciser à quoi s'adapter en termes de climat selon différents horizons au cours du XXI<sup>e</sup> siècle.

Pour la France hexagonale, la TRACC envisage en fin de siècle un réchauffement de + 4°C par rapport à l'ère préindustrielle, se traduisant par une évolution profonde du climat actuel à la fois en termes de valeur moyenne et de valeurs extrêmes, comme les vagues de chaleur ou les pluies extrêmes. Dans ce climat réchauffé, la ressource en eau sera également fortement impactée avec une diminution de l'eau utile, un plus grand nombre de sécheresses du sol et un risque accentué de feux de forêt. Ces éléments sont aujourd'hui mis à disposition à travers différents services climatiques, intégrant aussi d'autres informations utiles pour la prise en compte globale des enjeux d'adaptation comme l'élévation des niveaux marins.

## Introduction

Le changement climatique impacte aujourd'hui toutes les régions du monde et tous les secteurs d'activité. À l'échelle planétaire, l'année 2024 est l'année la plus chaude jamais enregistrée devant 2023, et dépasse pour la première fois le seuil des + 1,5°C par rapport à la période préindustrielle. En France, l'année 2024 s'est classée au quatrième rang *ex aequo* des années les plus chaudes observées, qui se sont toutes produites au cours des 5 dernières années (2022, 2023 et 2020). Il a également été montré que de nombreux événements extrêmes qui se sont produits au cours de ces dernières années, ont été rendus plus probables et plus intenses du fait du changement climatique (source WWA<sup>1</sup>).

Pour faire face aux impacts toujours plus forts du changement climatique, les politiques climatiques doivent s'appuyer sur deux volets indissociables : l'atténuation et l'adaptation. L'atténuation vise à agir sur les causes du réchauffement climatique en réduisant nos émissions de Gaz à effet de serre (GES). L'adaptation a pour objectif d'anticiper les conséquences du changement climatique sur nos activités, en réduisant notre vulnérabilité à ces évolutions.

Malgré l'Accord de Paris, les engagements pris par les États dans le cadre des COP<sup>2</sup> ne permettent pas, à ce stade, de garantir l'atteinte des objectifs visés de maintenir le changement climatique sous le seuil des + 2°C de réchauffement mondial et si possible + 1,5°C. Ainsi, tout en continuant à agir pour réduire les émissions, il est nécessaire de se préparer au risque d'un réchauffement climatique mondial au-delà des + 2°C prévus par l'accord.

Mais à quelles évolutions supplémentaires du climat faut-il s'adapter et à quel horizon temporel ? Au niveau planétaire, si les politiques existantes se poursuivent sans mesures additionnelles, le GIEC (rapport de synthèse 2023) estime que le réchauffement atteindrait autour de + 3°C en 2100 par rapport à 1900. Les continents, et en particulier l'Europe et la France hexagonale et la Corse, se réchauffent plus vite que la moyenne planétaire. Ces niveaux de réchauffement se traduiraient en France hexagonale et en Corse par une hausse des températures moyennes de + 4°C en 2100.

Ce sont ces hypothèses prudentes que la Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique (TRACC) considère pour définir un cadre commun aux actions d'adaptation à mener en France par les acteurs publics et privés dans tous les secteurs d'activité et tous les territoires. Elle sert de socle à la définition des actions du 3<sup>e</sup> Plan natio-

<sup>1</sup> World Weather Attribution : <https://www.worldweatherattribution.org/>

<sup>2</sup> Conférence des Parties : <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop>



nal d'adaptation au changement climatique (PNACC-3<sup>3</sup>) qui vise à protéger les citoyens et adapter les territoires, l'économie et l'environnement aux conséquences du changement climatique.

Météo-France a participé à l'élaboration de la TRACC en apportant son expertise scientifique pour établir notamment les correspondances entre le réchauffement mondial et national et mettre à disposition les données issues des simulations climatiques et indicateurs décrivant le climat de la France aux horizons de la TRACC. Cet article vise à expliciter les évolutions climatiques en termes de moyennes et d'extrêmes dans une France à + 4°C, à anticiper *via* les actions d'adaptation. Il s'appuie notamment sur un rapport TRACC<sup>4</sup> préparé par Météo-France en fin d'année 2024.

## Les données climatiques en appui à la TRACC

Pour définir ce à quoi il faut s'adapter, l'approche retenue par la TRACC repose sur la notion de niveau de réchauffement, assez largement utilisée dans les derniers rapports du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du Climat), plutôt que sur le choix d'un scénario d'émission de gaz à effet de serre et d'un horizon futur.

L'idée, développée dans les derniers rapports du GIEC (2018, 2021), est que les impacts du changement climatique dans une zone donnée du globe sont pilotés par le niveau de réchauffement moyen de la planète et ne dépendent ni de la façon dont ce niveau de réchauffement planétaire a été atteint (vite/tôt avec un rythme d'émissions fort ou lentement/tard avec un rythme d'émissions réduit), ni de la date à laquelle il est atteint. On peut alors parler par exemple du « climat de la France dans un monde à + 2°C ».

La TRACC considère trois niveaux de réchauffement planétaires, toujours exprimés par rapport à la période préindustrielle, traduits aussi en niveaux de réchauffement sur la France hexagonale (voir la Figure 1). Si le niveau de réchauffement à l'horizon 2100 relève de la traduction climatique des engagements actuels des états en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre, les niveaux de réchauffement aux horizons 2030 et 2050 s'appuient sur les données moyennes des différentes projections climatiques évalués par le GIEC dans son 6<sup>e</sup> rapport.

En appui à la TRACC, Météo-France a préparé et mis à disposition un ensemble de données et indicateurs climatiques, nommé « TRACC 2023 » permettant de décrire les futurs climatiques aux différents niveaux de réchauffement visés. Ce jeu qui s'appuie sur un ensemble de 17 projections climatiques régionales

<sup>3</sup> <https://www.ecologie.gouv.fr/rendez-vous/plan-national-dadaptation-changement-climatique-ouverture-consultation-publique>

<sup>4</sup> <https://meteofrance.com/sites/meteofrance.com/files/files/editorial/rapport-trajectoire-rechauffement-adaptation-changement-climatique-partie-1.pdf>

produites dans le cadre du projet national Explore2<sup>5</sup>, permet notamment de répondre aux trois objectifs suivants :

- être à haute résolution spatiale (8 km) et comprendre de nombreuses variables, permettant de construire une large gamme d'indicateurs pouvant répondre aux enjeux territorialisés et sectoriels de l'adaptation ;
- être à l'état de l'art et notamment cohérent avec les changements attendus sur la France, décrits par des ensembles plus larges et plus récents tels que ceux utilisés pour le 6<sup>e</sup> rapport du GIEC ;
- permettre de couvrir au mieux les incertitudes inhérentes à toute projection et nécessaires à l'évaluation de la robustesse de toute stratégie d'adaptation.

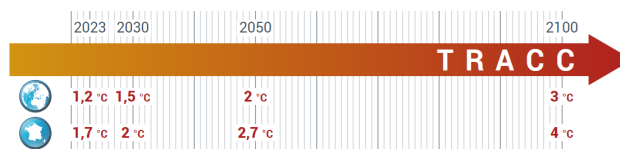


Figure 1 : Présentation de la TRACC en termes d'échéance et de niveau de réchauffement planétaire et France hexagonale (Source : Rapport TRACC 2024 de Météo-France).

## Évolution des températures moyennes et cumuls de précipitation

Dans une France à + 4°C, l'évolution des températures annuelles (voir la Figure 2) présente de faibles incertitudes mais il apparaît une variabilité spatiale d'environ 1°C en fin de siècle entre le Sud-Est du pays et les Alpes qui se réchauffent plus et le Nord-Ouest du pays un peu moins. On note également que le réchauffement est plus marqué en été qu'en hiver, de l'ordre de 1°C.

Contrairement aux températures, l'évolution des précipitations (voir la Figure 3) présente d'importantes incertitudes. À l'échelle annuelle, les simulations projettent une légère augmentation sur le quart Nord-Est du pays. Sur le reste de l'Hexagone il est difficile de conclure sur le signe de l'évolution, sauf une légère baisse sur le Sud-Ouest au niveau de réchauffement le plus élevé. Les évolutions présentent des contrastes saisonniers avec une dominante de hausse en hiver et de baisse en été.

En hiver, la hausse domine quasiment sur l'ensemble du pays (hors Alpes et Pyrénées) avec une bonne confiance sur le signe du changement à l'exception des régions les plus méridionales mais aussi une partie de la Bretagne au niveau de réchauffement le plus élevé.

La valeur moyenne du changement en hiver est de l'ordre de + 15 % en agrégation France.

En été, la baisse domine sur tout le pays mais la confiance sur le signe du changement reste limitée pour les niveaux de réchauffement + 2°C et + 2,7°C. La valeur moyenne du changement en été est de l'ordre de - 20 % en agrégation France.

<sup>5</sup> Projet Explore2 : <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

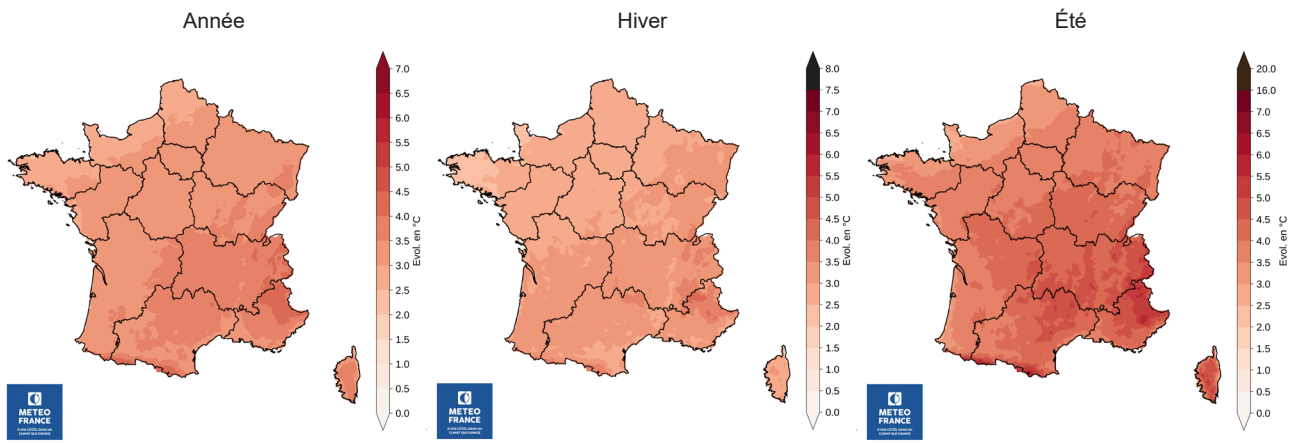


Figure 2 : Écart de la température moyenne annuelle (à gauche), hivernale (au centre) et estivale (à droite) par rapport à la référence 1976-2005 dans une France à + 4°C, horizon 2100 de la TRACC (médiane de l'ensemble TRACC-2023) (Source : Rapport TRACC 2024 de Météo-France).

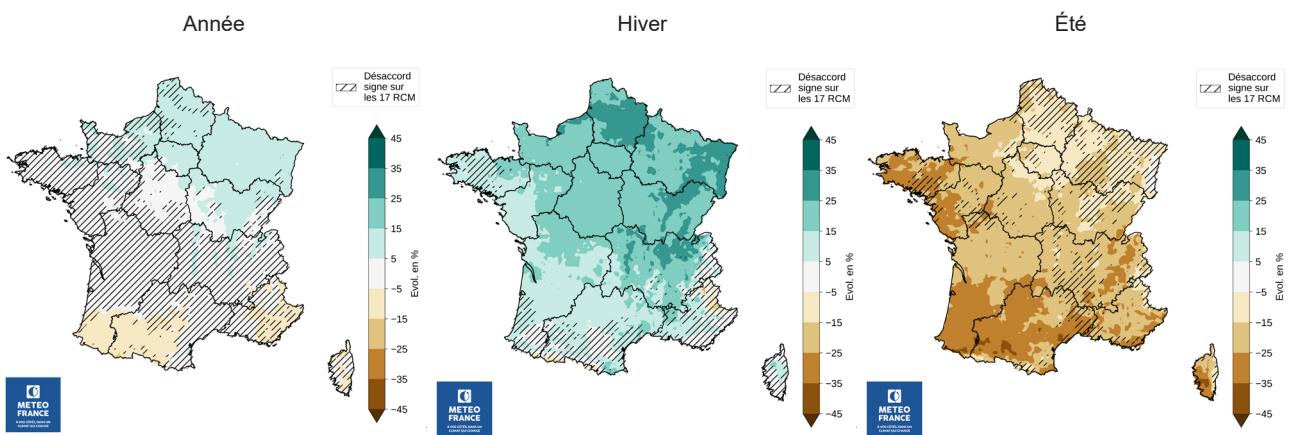


Figure 3 : Écart relatif du cumul de précipitation annuel (à gauche), hivernal (au centre) et estival (à droite) par rapport à la référence 1976-2005 dans une France à + 4°C, horizon 2100 de la TRACC (médiane de l'ensemble TRACC-2023). Des hachures signalent une absence d'accord de signe sur l'évolution de l'indicateur pour au moins 80 % des simulations (Source : Rapport TRACC 2024 de Météo-France).

## Évolution des extrêmes climatiques et des impacts associés

Dans une France à + 4°C, le changement climatique se traduit aussi par une forte augmentation des extrêmes (voir la Figure 4) à commencer par le nombre de jours de forte chaleur (température maximale au-dessus de 30°C) qui passe de 8 jours en moyenne sur la période de référence 1976-2005 à près de 34 jours.

À l'inverse, les jours de gel qui étaient très fréquents dans le climat récent de la période 1976-2005 (50 jours en moyenne) diminuent de moitié dans une France à + 4°C et deviennent des événements rares (moins de 10 jours par an) dans les zones littorales et les régions les plus méridionales. Pour autant, les risques d'impacts sur l'agriculture restent importants car ces gelées pourront se produire à des stades végétatifs plus avancés. L'évolution à la hausse des pluies quotidiennes maximales annuelles de l'ordre de 20 % dans une France à + 4°C est aussi un élément majeur des impacts liés aux inondations par ruissellement.

La diminution de la ressource en eau disponible (voir la Figure 5) constitue aussi un élément principal de l'évolution attendue du climat. Dans une France à + 4°C, le bilan hydrique (différence entre les pluies et l'évapotranspiration potentielle) est en forte diminution sur la majeure partie du pays à l'exception du Nord-Est tandis que le nombre de jours de sol sec augmente de 1 à 2 mois selon les régions. Cette accentuation de la sécheresse de la végétation conduit à une extension du risque de feux à l'ensemble du pays et une forte aggravation sur les régions méditerranéennes.

## Conclusion

La description détaillée de l'évolution du climat en France aux horizons de la TRACC permet de concevoir et évaluer des mesures d'adaptation ciblées pour les différentes activités économiques et les territoires. Ces données sont déjà mises à disposition à travers plusieurs services climatiques tels que le portail DRIAS<sup>6</sup> à destination des bureaux d'étude, les applications climadiag

<sup>6</sup> DRIAS : <https://www.drias-climat.fr/>

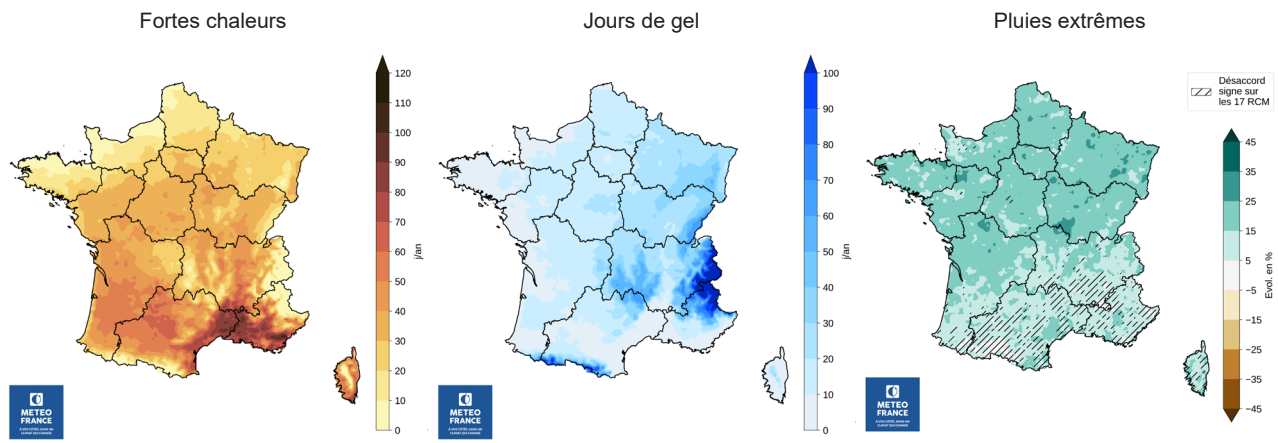


Figure 4 : Nombre de jours de fortes chaleurs (à gauche), de jours de gel (au centre) et écart relatif de la pluie quotidienne maximale annuelle par rapport à la référence 1976-2005 dans une France à + 4°C, horizon 2100 de la TRACC (médiane de l'ensemble TRACC-2023). Des hachures signalent une absence d'accord de signe sur l'évolution de l'indicateur pour au moins 80 % des simulations (Source : Rapport TRACC 2024 de Météo-France).

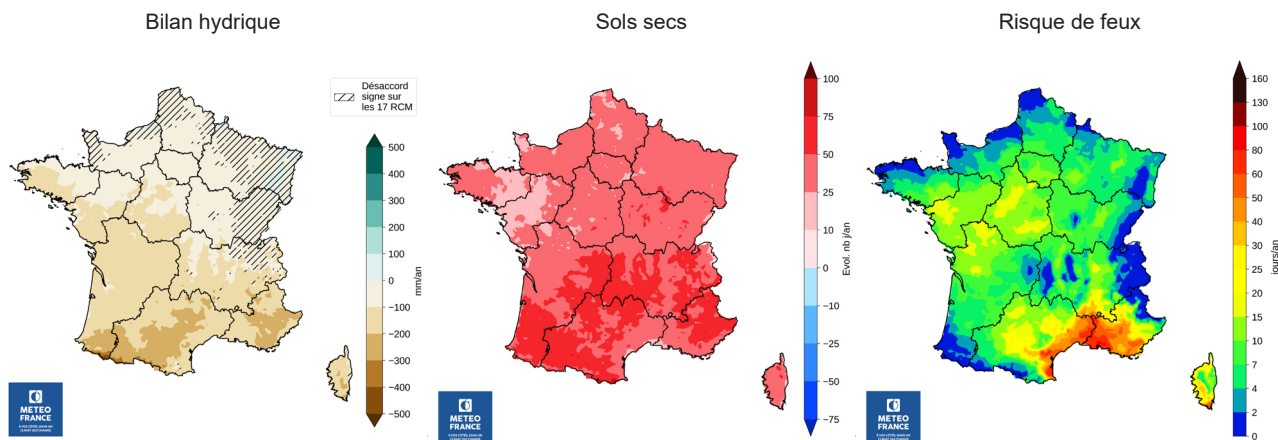


Figure 5 : Écart de bilan hydrique (différence pluie/ évapotranspiration potentielle) à gauche, de nombre de jours secs par rapport à la référence 1976-2005 au centre et nombre de jours avec risque marqué de feux de forêt dans une France à + 4°C, horizon 2100 de la TRACC (médiane de l'ensemble TRACC-2023) à droite. Des hachures signalent une absence d'accord de signe sur l'évolution de l'indicateur pour au moins 80 % des simulations (Source : Rapport TRACC 2024 de Météo-France).

commune<sup>7</sup> pour le grand public et les décideurs locaux ou climadiag agriculture<sup>8</sup> pour la profession agricole. À l'horizon 2100 de la TRACC, il est important de considérer également l'élévation des niveaux marins calculés par le BRGM qui pourraient atteindre + 60 à + 80 cm sur nos littoraux. Ainsi, les services climatiques mettant à disposition les données sur les risques climatiques intègrent déjà différentes sources de données pour une prise en compte globale des enjeux d'adaptation dans la prise de décision. C'est aussi la finalité du futur portail DRIAS-Impact prévu dans le cadre du futur PNACC-3 dont les premiers développements débiteront en 2025.

## Bibliographie

EYRING V., BONY S., MEEHL G. A., SENIOR C. A., STEVENS B., STOUFFER R. J. & TAYLOR K. E. (2016), "Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization", *Geosci. Model Dev.*, 9, 1937-1958, doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016

<sup>7</sup> <https://meteofrance.com/climadiag-commune>

<sup>8</sup> <https://climadiag-agriculture.fr/>

IPCC, 2013: Climate Change (2013) Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.), "The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change", Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pages.

IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 616 pages, doi:10.1017/9781009157940

IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)], IPCC, Geneva, Switzerland, 184 pages, doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

# Adapter la France à un réchauffement de 4°C d'ici 2100 : un projet collectif pour une société plus résiliente

Par Marie CARREGA

Cheffe du bureau de l'Adaptation au changement climatique  
de la direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC)

Et Sophie MOURLON

Directrice générale de la DGEC

La tendance actuelle des émissions de gaz à effet de serre mondiales et les engagements des États pour les réduire nous mèneraient, selon les scientifiques du GIEC, à un réchauffement mondial de 3°C par rapport à l'ère préindustrielle d'ici la fin du siècle, soit 4°C en France hexagonale. Pour anticiper les conséquences d'un tel réchauffement, le Gouvernement finalise le troisième plan national d'adaptation au changement climatique dont l'objectif est de planifier les actions à mener d'ici 2030 pour s'adapter progressivement au réchauffement climatique attendu d'ici 2100. Pour répondre à ces enjeux, le projet de PNACC comporte 51 mesures, déclinées en plus de 200 actions, réparties en 5 axes qui visent à protéger la population face aux effets du changement climatique : adapter nos territoires ; assurer la résilience des services et infrastructures essentiels ; adapter notre économie ; protéger notre patrimoine naturel et culturel ; et mobiliser l'ensemble des parties prenantes.

**H**ausse des températures moyennes, vagues de chaleur plus fréquentes et intenses, précipitations et sécheresses extrêmes, hausse du niveau moyen de la mer, intensification des cyclones en Outre-mer, modification de la biodiversité : les impacts du changement climatique ont déjà des conséquences visibles sur le quotidien des Français et notre économie.

L'Accord de Paris fixe l'objectif de rester bien en-dessous de 2°C de réchauffement mondial par rapport à l'ère préindustrielle et de poursuivre les efforts pour ne pas dépasser 1,5°C. La France prend et continuera de prendre toute sa part dans la nécessaire limitation du réchauffement climatique. Nos émissions de gaz à effet de serre nationales baissent globalement depuis 2005 avec une accélération au cours des dernières années : - 3,8 % en 2022 et - 5,8 % en 2023, nous plaçant sur une trajectoire cohérente, bien qu'insuffisante, avec la baisse annuelle de 4,5 % attendue sur la période 2024-2028 pour mettre la France en accord avec l'objectif de rehaussement de l'ambition climatique européenne à l'horizon 2030. La 3<sup>e</sup> stratégie nationale bas carbone (SNBC-3) est en cours de concertation pour intégrer ce nouvel objectif de - 50 % de réduction des émissions en 2030 par rapport à 1990, en visant toujours un objectif

de neutralité climatique en 2050 ; la SNBC devrait être publiée d'ici la fin de l'année 2025.

Bien que la France progresse, nous ne sommes collectivement pas sur la bonne trajectoire : les émissions mondiales de gaz à effet de serre continuent d'augmenter, certes moins vite que dans le passé alors qu'il faudrait qu'elles baissent rapidement et fortement pour freiner le changement climatique. 2024 a ainsi été la première année où le seuil de 1,5°C de réchauffement global a été franchi.

Si l'atteinte des objectifs de l'Accord de Paris reste la priorité du Gouvernement, nous ne pouvons pas, dans un objectif de protection de la population et de résilience de l'économie française, ignorer la tendance actuelle des émissions de gaz à effet de serre mondiales et l'aggravation des effets du changement climatique, déjà à l'œuvre avec le réchauffement actuel. Les engagements pris par les États lors des COP climat et les politiques en place nous conduisant, selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, vers un réchauffement mondial de l'ordre de 3°C, la France a fait le choix de fonder sa politique d'adaptation au changement climatique sur ce scénario tendanciel. C'est la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique

(TRACC). Concrètement, cette trajectoire mondiale correspond pour la France à se préparer progressivement à un réchauffement qui atteindrait, en moyenne, 2°C en 2030 en France hexagonale, 2,7°C en 2050 et 4°C en 2100 (plus élevé que la moyenne terrestre, notamment car le réchauffement des zones émergées est plus rapide que celui des océans).

Ces chiffres peuvent paraître abstraits : au cours d'une journée, l'écart entre la température minimale et la température maximale mesurées est souvent bien plus important. Mais ces valeurs de réchauffement moyen impliquent des modifications majeures qu'il va falloir apporter dans nos façons de vivre, d'aménager nos territoires, de produire et de consommer. Il suffit pour s'en convaincre d'imaginer que d'ici 2100, dans la situation de réchauffement de la TRACC, Lille aurait un climat analogue au climat actuel de Bilbao.



Figure 1 : Carte de la France à +4°C avec les villes analogues climatiques prenant en compte plusieurs paramètres : température moyenne, température minimale de janvier, température maximale de juillet, précipitations annuelles (Source : ministère de la Transition écologique, d'après des données de Météo-France).

Ces chiffres cachent aussi des disparités régionales et saisonnières : la variabilité spatiale serait de l'ordre de 1°C en fin de siècle entre le Sud-Est du pays et les Alpes qui se réchauffent plus et le Nord-Ouest du pays qui se réchauffe un peu moins, tandis que le réchauffement serait également plus marqué en été qu'en hiver de 1°C environ.

D'ici la fin du siècle, le nombre de journées très chaudes, où la température dépasse 30°C, passerait à 34 par an en moyenne (contre 8 dans les années 1990) et le nombre de nuits dites tropicales, où la température ne descend pas sous les 20°C, passerait à 28 par an en moyenne (contre 4 seulement dans les années 1990). Des pics supérieurs à 50°C sont probables d'ici la fin du siècle tandis que les vagues de chaleur pourraient s'étaler sur des périodes supérieures à deux mois

en été, avec des sévérités bien supérieures à celles connues aujourd'hui et une intensité en hausse de 6°C.

Cette hausse des températures s'accompagnera également de modifications majeures d'autres composantes climatiques. À l'échelle de la France, le cumul annuel de précipitations serait a priori stable. Les évolutions présenteraient toutefois des contrastes saisonniers avec une dominante de hausse en hiver (+ 15 %) et de baisse en été (- 20 %). Les précipitations maximales quotidiennes pourraient augmenter de 15 % en moyenne sur la France tandis que l'aléa centennal de pluie quotidienne pourrait augmenter de 20 à 30 %, voire 40 % dans certaines zones.

En matière de ressource en eau, malgré la relative stabilité des précipitations annuelles attendues, la hausse de l'évapotranspiration due à l'augmentation de la température contribuera à une baisse générale de l'eau disponible (baisse équivalente à 1 à 2 mois de pluie). Les périodes de sécheresse se multiplieront (+ 40 jours de sécheresse modérée d'ici la fin du siècle et 3 fois plus de sécheresses intenses), contribuant à une augmentation du risque de feu de forêt et de végétation (risque multiplié par deux dans le Sud, soit jusqu'à 30 jours à risque élevé par an).

Les effets du changement climatique auront des répercussions fortes sur la sécurité et la santé des personnes, dans tous les secteurs d'activités (bâtiment, agriculture, production d'énergie, tourisme, industrie...) ainsi que sur les milieux naturels et la biodiversité.

## Les mesures du troisième plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC)

Le troisième plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC) a donc pour objectif de planifier les actions à mener d'ici 2030 pour s'adapter progressivement au réchauffement climatique attendu d'ici 2100, tout en :

- ciblant les populations et les territoires les plus à risque, sans accroître ou créer d'inégalités ;
- privilégiant les actions contribuant à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à protéger la biodiversité (co-bénéfiques) ;
- adoptant différents horizons temporels pour traiter les urgences et anticiper les actions nécessaires sur le long terme ;
- systématisant la prise en compte du climat futur dans tous les secteurs pour faire de l'adaptation au changement climatique un réflexe.

Pour répondre à ces enjeux, le projet de PNACC comporte 51 mesures, déclinées en plus de 200 actions, réparties en 5 axes.

### **Protéger la population face aux effets déjà perceptibles du changement climatique**

Le premier axe vise à protéger la population face aux effets déjà perceptibles du changement climatique et qui vont s'aggraver au fur et à mesure du réchauffement. Ainsi, des actions sont prévues pour cartographier les risques du changement climatique sur la santé, maintenir un système assurantiel abordable et disponible sur tout le territoire, limiter les risques liés à l'évolution du cycle de l'eau, à l'accroissement progressif de l'exposition aux risques naturels et, à très court terme, des effets des fortes chaleurs, que ce soit dans les logements, au travail ou en environnement urbain. Le déploiement de solutions fondées sur la nature doit permettre de réduire la vulnérabilité des territoires aux impacts du changement climatique. Des mesures spécifiques sont prévues pour les populations les plus vulnérables, en particulier les personnes précaires et les personnes détenues.

### **Accompagner les collectivités dans l'adaptation de leur territoire**

Le deuxième axe vise à accompagner les collectivités dans l'adaptation de leur territoire. Il s'appuie sur la construction de stratégies d'adaptation propres à chaque collectivité territoriale et prévoit des mesures visant à intégrer les enjeux de l'adaptation dans toute l'action publique locale, tant en matière de financement de projets et d'ingénierie territoriale (avec notamment le lancement d'une « mission adaptation », guichet unique des opérateurs de l'État en matière d'adaptation) que de stratégie de planification publique. Cet axe affiche également plusieurs mesures d'adaptation des services publics et des grands réseaux d'infrastructure à l'évolution du climat, pour assurer la continuité de l'enseignement, de l'accueil des jeunes enfants, et de l'offre de soin, la résilience des transports ou encore des infrastructures critiques d'énergie et de télécommunications.

### **Assurer la résilience de l'économie française**

Le troisième axe vise à assurer la résilience de l'économie française, avec des actions touchant l'ensemble des secteurs économiques et d'autres actions ciblant plus particulièrement les secteurs d'ores et déjà identifiés comme les plus vulnérables aux effets du changement climatique : l'agriculture et l'industrie agroalimentaire, la pêche, le tourisme et l'industrie du bois. Les filières économiques seront plus ou moins impactées selon la localisation de leurs infrastructures, leurs procédés de fabrication, leurs chaînes d'approvisionnement et leurs débouchés, y compris à l'étranger. Les filières économiques jouent également un rôle essentiel pour déployer des solutions d'adaptation et innover pour répondre à ce nouveau défi. Un ensemble de mesures est prévu pour leur fournir les outils pour intégrer la question du climat futur dans leurs décisions structurantes (services climatiques, guides, formations...). La réalisation d'études de vulnérabilité et de plans d'adaptation sera progressivement rendue obligatoire pour

les grandes entreprises et les entreprises stratégiques, à commencer, dès 2025, par les grandes entreprises gérant des infrastructures de transport et d'énergie et, dès 2026, par les Opérateurs d'Importance Vitale (dans le cadre de la Directive sur la résilience des entités critiques). Les entreprises non soumises à la CSRD<sup>1</sup> pourront également être accompagnées pour réaliser des diagnostics simplifiés. Enfin, les enjeux d'adaptation au changement climatique seront progressivement intégrés dans les dispositifs d'aide aux entreprises. Il s'agit à la fois de ne plus financer des investissements non ou mal adaptés et de proposer des facilités de financement pour les acteurs économiques.

### **Renforcer les actions en faveur de l'adaptation pour nos milieux naturels et notre patrimoine culturel**

Le quatrième axe vient renforcer les actions en faveur de l'adaptation pour nos milieux naturels et notre patrimoine culturel. Pour les milieux naturels, en complémentarité avec la Stratégie Nationale Biodiversité (SNB) et le Plan d'action pour une gestion résiliente et concertée de l'eau (« Plan Eau »), il s'agit de maintenir les services écosystémiques qu'ils rendent, notamment en développant des actions de connaissances et d'évolution progressive des actions de conservation. Pour ce qui est du patrimoine culturel, des plans d'adaptation dédiés aux sites classés et sites patrimoniaux les plus vulnérables seront par exemple mis en place.

### **Mobiliser les parties prenantes, institutionnelles et citoyennes**

Le cinquième axe vise à mobiliser les parties prenantes, institutionnelles et citoyennes, ce qui est central pour réussir le pari de s'adapter à un réchauffement de 4°C. Le développement et la mise en œuvre de solutions pour l'adaptation et la lutte contre la mal-adaptation doivent reposer sur des études scientifiques solides qui nécessitent une mobilisation forte des acteurs de la recherche notamment autour de grands programmes. Il s'agit aussi de construire les conditions pour cette mobilisation de long terme par des dispositifs de gouvernance représentatifs et adaptés, par une expertise interdisciplinaire de la part de la communauté scientifique, par de la formation et de la sensibilisation, notamment des élus et agents publics, et par la mise à disposition de données permettant de sensibiliser les acteurs et d'éclairer leurs décisions. La mobilisation de la jeunesse est également cruciale dans le défi de l'adaptation, avec une mobilisation du service civique écologique. Derrière cette liste de mesures, l'objectif de ce cinquième axe est que chaque acteur, chaque corps de métier prenne dans son travail et son quotidien le réflexe de l'adaptation.

Le projet de troisième plan national d'adaptation au changement climatique a fait l'objet d'une consultation publique du 27 octobre au 27 décembre 2024 à laquelle plus de 6 000 personnes ont participé. L'ampleur et la

<sup>1</sup> Directive (UE) 2022/2464 relative à la publication d'informations en matière de durabilité par les entreprises.

qualité des contributions reçues montrent l'importance qu'a pris le sujet de l'adaptation au changement climatique dans le débat public, importance malheureusement probablement renforcée par la multiplication des catastrophes naturelles amplifiées par le changement climatique.

## Conclusion

Cette mobilisation du public nous oblige et la direction générale de l'Énergie et du Climat (DGEC), pilote du PNACC, veillera à la mise en œuvre effective de ce plan ambitieux et nécessaire.

La réussite du PNACC nécessitera de mobiliser l'ensemble des politiques publiques aux différentes échelles. En tant qu'administration centrale, la DGEC coordonnera la mise en œuvre et le suivi du PNACC dans une logique interministérielle mobilisant une grande partie des administrations centrales. Mais adapter nos politiques publiques et nos investissements nécessite avant tout d'embarquer les territoires, notamment le bloc communal qui est au plus près des populations et qui devra anticiper les besoins par rapport à un climat futur. La mise en œuvre du PNACC emporte donc une étape importante d'appropriation par les territoires et d'échanges avec les élus, avec notamment la mobilisation en 2025 des COP régionales sur la thématique de l'adaptation au changement climatique.

Enfin, dans un contexte budgétaire contraint, nous devons mobiliser au mieux les moyens budgétaires et financiers existants. Il s'agit d'inscrire un réflexe d'adaptation dans les politiques publiques, mais aussi dans les décisions des entreprises, des collectivités et des citoyens. C'est cette approche à tous les niveaux qui se reflète dans les différents axes du PNACC. L'adaptation au changement climatique est un chemin qui nécessitera des investissements importants, notamment à l'horizon 2050, qui sont à mettre en regard du coût de l'inaction. L'ambition du PNACC est de pouvoir préparer au mieux ces décisions en améliorant la connaissance et en fondant celles-ci sur une trajectoire de référence (TRACC) commune.

# Pour une démarche globale de sobriété hydrique des entreprises industrielles

Par Michel PASCAL

Membre permanent du conseil général de l'économie et de l'inspection générale de l'environnement et du développement durable

Et Philippe KAHN

Président de la section « régulation et ressources » du Conseil général de l'Économie

Cet article est rédigé sur la base du rapport de 2024 d'une mission sur la sobriété hydrique de l'industrie\*, commandée par le ministre en charge de l'Environnement à l'Inspection générale de l'environnement et du développement durable et au Conseil général de l'Économie. Il s'agissait de faire des propositions pour tirer les conséquences de la sécheresse exceptionnelle de 2022 qui a causé l'arrêt du fonctionnement de plusieurs entreprises. Le champ portait sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), à l'exclusion des installations de production d'énergie.

Comment faire pour éviter cela à l'avenir ? Par l'anticipation, la connaissance, l'accompagnement des entreprises, réunis par une seule démarche : la sobriété.

Tout à bord, la mission a rédigé un guide des bonnes pratiques de la sobriété hydrique : chaque industriel peut s'en inspirer pour élaborer sa propre stratégie.

Ensuite, elle a proposé de mettre en place des outils visant à faire prioritairement des efforts de sobriété non pas de façon indifférenciée sur tout le territoire, mais dans les zones en tension, c'est-à-dire les zones en déséquilibre, où la consommation d'eau est supérieure aux ressources disponibles.

Pour aller plus loin, elle a proposé que la réindustrialisation de la France tienne compte des ressources en eau, c'est-à-dire que les nouvelles usines s'installent dans des zones où l'eau nécessaire est disponible.

Enfin, elle a proposé que les aides publiques (agences de l'eau) soient ciblées sur les territoires en tension et encouragent les technologies les moins consommatrices d'eau.

\* [https://www.economie.gouv.fr/files/directions\\_services/cge/Sobriete\\_Hydrique\\_IGEDD\\_CGE.pdf](https://www.economie.gouv.fr/files/directions_services/cge/Sobriete_Hydrique_IGEDD_CGE.pdf)

Les sécheresses estivales de 2022 puis de 2023 ont représenté un choc important pour les entreprises du secteur industriel qui ont réalisé pour beaucoup pour la première fois qu'elles pouvaient être soumises à des restrictions fortes, susceptibles d'impacter voire d'interrompre leur activité. Or, ces sécheresses auront lieu de plus en plus souvent et seront de plus en plus longues et sévères, à cause du changement climatique, dont la France subit des effets majeurs. Les zones en tension sont nombreuses en France : le déséquilibre hydrique touche déjà plus du quart du territoire, et l'étude « explore 2 » pilotée par l'INRAE<sup>1</sup> nous apprend que la disponibilité en eau va diminuer, au moins dans la partie sud de la France.

## La France est plus touchée par les sécheresses que d'autres parties du monde

La mission a examiné la situation actuelle de la France. Elle se situe dans une des régions du monde fortement concernées par les tensions hydriques, comme le montre la Figure 1.

## L'industrie a fait beaucoup d'économies d'eau depuis 1990

Les prélèvements de l'industrie ont beaucoup baissé depuis 1990 : - 42 %, et cette baisse n'est pas due à la désindustrialisation, puisque la production de l'industrie en volume a été globalement presque maintenue depuis cette date. Cette baisse est en bonne partie due à la mise en circuit fermé de circuits de refroidissement.

<sup>1</sup> Institut national de l'Agriculture et de l'Environnement.



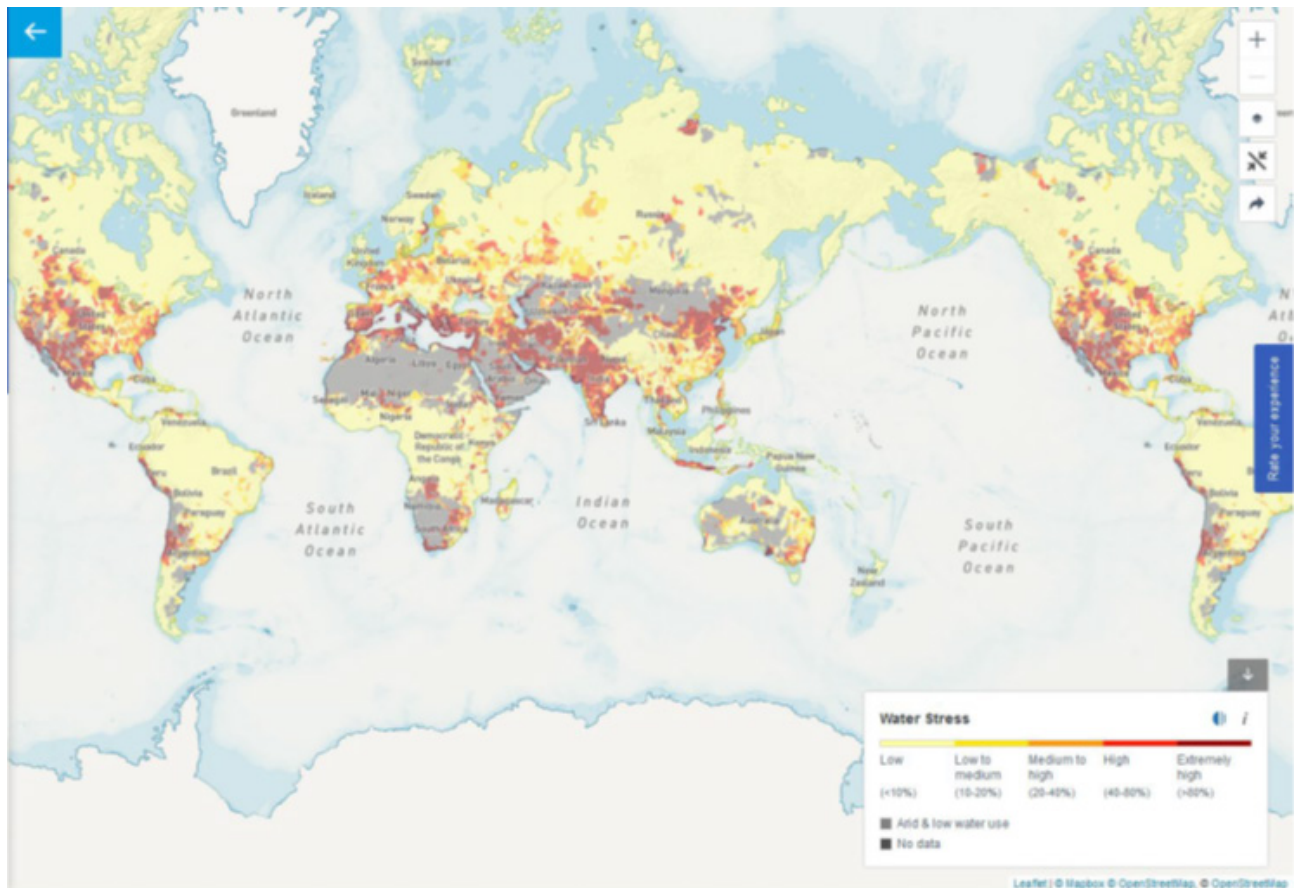


Figure 1 : Carte des tensions hydriques (Source : Aqeduct).

## Le retour d'expérience de la sécheresse de 2022 : le plan de sobriété

Suite à la sécheresse de 2022, un plan a été établi et présenté par le président de la République en mars 2023 dans l'objectif de réduire les prélèvements en eau de la France de 10 % d'ici 2030<sup>2</sup>. Ce plan se décline en plusieurs mesures pour l'industrie.

La mission a noté la forte mobilisation des directions de l'État dans le cadre de ce plan eau. Ses recommandations s'adressent de façon générale à l'ensemble de ces directions. Elles portent à la fois sur les leviers réglementaires et sur le volet incitatif.

## Simplifier le recueil des données

Deux systèmes coexistent actuellement et « ne se parlent pas » :

- la base de données issue du contrôle des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), gérée par la DGPR, qui s'appelle GEREP ;

- la base de données utilisée par les agences de l'eau, gérée par la direction de l'eau, pour établir le montant des redevances : BNPE.

Les mêmes données sont demandées aux industriels. La mission a proposé de faire se parler les deux bases de données (sur la base du principe « dites-le nous une fois »), et d'utiliser massivement la télérelève permettant des saisies automatisées.

Les données des prélèvements seraient croisées avec celles des ressources en eau. Ceci permettra de visualiser la tension sur les ressources de manière cartographique à différents échelons géographiques, y compris en termes prévisionnels, et de définir au niveau territorial les priorités d'action. Il s'agit là de donner aux inspecteurs des installations classées qui n'ont pas jusqu'alors ni l'habitude ni les outils, la capacité de prioriser leur action.

## Prioriser les réductions de consommation dans les zones en tension

Deux réglementations principales encadrent les prélèvements en eau de l'industrie : celle relative aux installations classées pour la protection de l'environnement, et celle relative à la gestion de l'eau et des milieux aquatiques. Elles sont aujourd'hui insuffisamment articulées. La première a pour objectif de gérer les émis-

<sup>2</sup> Voir aussi le numéro sur « L'eau et le changement climatique » dans les *Annales des mines – Responsabilité & Environnement*, octobre 2023, [https://annales.org/re/2023/re\\_112\\_octobre\\_2023.html](https://annales.org/re/2023/re_112_octobre_2023.html)

sions individuelles (et éventuellement de les réduire), et la deuxième de protéger la ressource et gérer les milieux récepteurs des pollutions. Ainsi, il peut arriver que même une petite pollution (ou un petit prélèvement), soit insupportable dans certains milieux (une petite rivière par exemple). Plusieurs recommandations de la mission visent à mieux les coordonner de façon à ce que les autorisations de prélèvement soient le plus possible calées sur la situation locale des masses d'eau. Et par conséquent de travailler en priorité dans les zones en tension.

Les autorisations dont bénéficient les entreprises sont souvent anciennes, sans plafond de prélèvement. Dans les zones en tension, la mission propose que des plafonds de prélèvement soient appliqués, au moins pour les plus gros préleveurs, et ce dans un délai de 2 à 5 ans.

Pour intégrer les effets anticipés du changement climatique, et donner davantage de lisibilité aux industriels, la mission a préconisé que des plafonds évolutifs de prélèvements autorisés (trajectoires de prélèvements) soient fixés pour chaque installation, dans l'esprit du projet de plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC).

La mission recommande également dans l'objectif d'une meilleure anticipation, que les arrêtés individuels relatifs aux ICPE intègrent les mesures à prendre en cas de sécheresse. Ceci pour éviter le risque que les industriels se voient obligés, avec un préavis potentiellement très court, d'arrêter toute ou partie de leur activité.

Pour que ces recommandations soient rapidement opérationnelles, il est nécessaire de disposer d'une vision précise des volumes prélevables et de leur répartition dans les zones en tension et les zones de répartition des eaux (ZRE).

Plus généralement, à l'instar de ce qui existe déjà pour les installations, ouvrages, travaux et activités (IOTA), la mission préconise que les commissions locales de l'eau (CLE) des schémas d'aménagement et de gestion de l'eau (SAGE) donnent systématiquement un avis sur les prélèvements lorsqu'ils sont envisagés dans les demandes d'autorisation des ICPE. C'est certes une étape de plus dans le processus, mais il paraît important de donner aux instances de gouvernance des SAGE tous les moyens de mieux maîtriser leurs ressources en eau.

La plus grande transparence est nécessaire en matière de gestion de la sécheresse, pour que l'ensemble des usagers soient convaincus de l'équité des mesures prises. Des contrôles doivent être réalisés et leurs résultats publiés. Les contrôles sur le respect des arrêtés sécheresse doivent donner lieu à des objectifs quantifiés et être coordonnés entre l'inspection des Installations classées et la police de l'eau.

La mission a établi de nombreuses cartes comme celle ci-dessous (Figure 2), croisant pour la première fois les données des prélèvements de l'industrie avec celle relatives à la situation hydrique locale, pour orienter l'action.

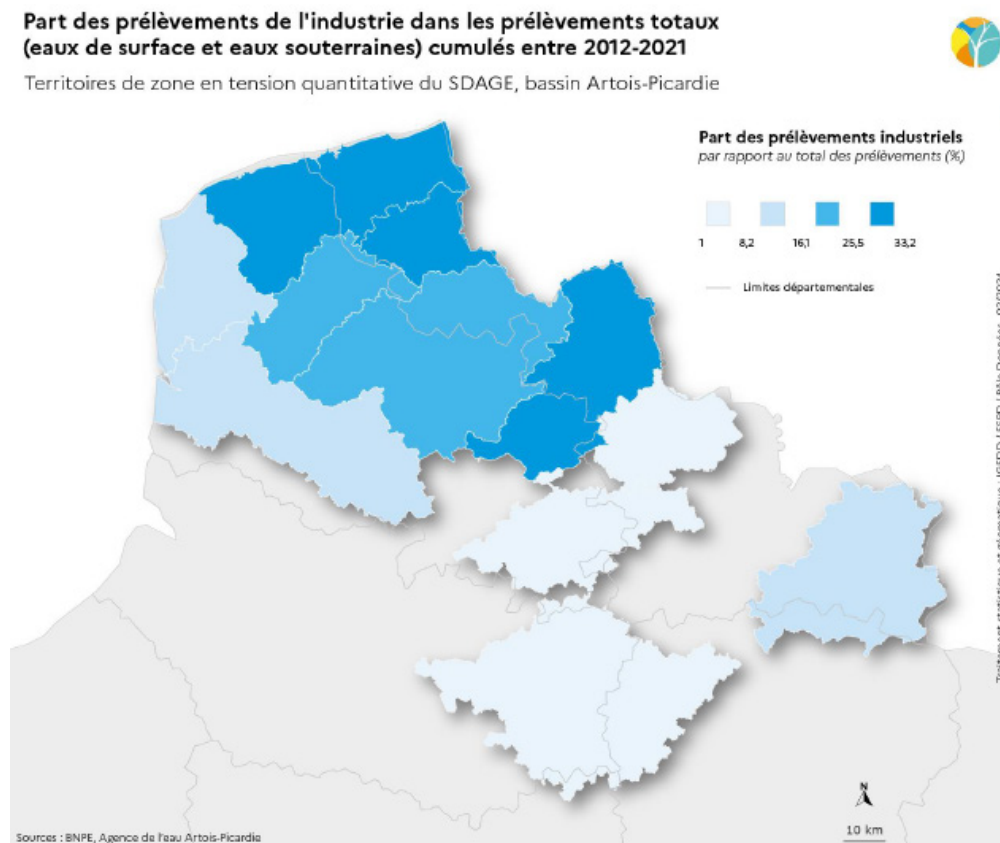


Figure 2 : Exemple de carte croisant l'état de la masse d'eau et l'importance relative des prélèvements des industries dans la BNPE (Source : mission sur la sobriété hydrique de l'industrie).

## Anticiper et planifier

Il importe de bien orienter les nouveaux projets industriels qui ont besoin d'eau vers des zones qui ne sont pas en tension. Il convient ainsi d'établir sur le long terme les ressources et besoins d'eau par secteur et par territoire dans une trajectoire de sobriété des usages et dans un contexte de changement climatique (« bouclage eau » de la planification écologique) et d'en tirer les conséquences, y compris si nécessaire en développant l'offre en eau. Cette anticipation devra tenir compte des secteurs qui devraient connaître un développement important les prochaines années et qui nécessiteront une importante consommation d'eau : *data centers*, hydrogène, ou encore la filière du véhicule électrique même si son impact en termes de consommation d'eau n'est pas encore bien connu.

Ceci suppose que les zones en tension, qui sont actuellement définies au niveau des SDAGE, le soient sur la base d'une méthode nationale : aujourd'hui il n'y a pas forcément de cohérence d'un bassin à l'autre, et la mission a constaté des écarts peu compréhensibles, comme par exemple davantage de zones en tension dans le Nord de la France que dans le Sud-Ouest.

## Un guide des bonnes pratiques

La mission a élaboré un guide des bonnes pratiques. Ce guide est structuré autour de 6 catégories : connaître et mesurer les flux ; optimiser les *process* ; réduire, réutiliser, recycler ; bien évaluer le vrai coût de l'eau ; mettre en place un système de management de l'eau ; généraliser l'usage de l'empreinte eau. Il recense d'autres bonnes pratiques à développer comme préparer la crise ou baisser le rythme de production estival, voire stocker l'eau. Il convient d'en généraliser la diffusion comme la mise en œuvre. À cette fin, des lieux de partage de bonnes pratiques et d'émulation entre les entreprises, dans un cadre inter-filières, seraient utiles. Le cadre inter-filières paraît le plus fécond pour faciliter l'échange d'expérience, ce qui est moins facile avec des concurrents.

### Simplifier encore : la réutilisation des eaux usées

Concernant les eaux réutilisées dans l'industrie, de nombreuses évolutions de la réglementation ont été apportées et elles constituent une avancée majeure. La mission estime qu'il faut poursuivre dans cette logique et lever les freins administratifs restants comme celui d'exiger systématiquement une autorisation individuelle locale. Par ailleurs, les communautés d'usagers espagnoles peuvent être un modèle pour mutualiser et organiser plus largement le traitement et le recyclage des eaux usées traitées.

### Développer des technologies moins gourmandes en eau

La grande majorité des bonnes pratiques ne mentionnent pas d'évolutions technologiques. La mission recommande de développer la recherche et l'innovation

sur les procédés moins consommateurs d'eau<sup>3</sup>. Outre l'appel à projet Innov'Eau, les projets de sobriété hydrique font l'objet d'aides importantes des agences de l'eau. La mission estime que ces aides devraient être concentrées en priorité sur les études visant à mettre en place des plans de sobriété ou favorisant l'innovation, ou des projets permettant aux entreprises de mieux estimer leur coût total de l'eau, avec une priorisation géographique et des critères d'efficacité en €/m<sup>3</sup> économisés.

### Le vrai prix de l'eau, c'est celui de l'eau qui manque : il est bien plus élevé qu'on ne le pense

Enfin, la mission rappelle que l'eau est actuellement considérée comme un bien commun, et en tant que telle, elle est gratuite. L'utilisateur paye un service d'accès à l'eau et des redevances. Toutes les personnes rencontrées s'accordent à dire que les montants restent très faibles, et qu'il n'y a pas de signal-prix y compris en prenant en compte les redevances au prélèvement des agences. Il est important que les industriels, prennent en compte les vrais coûts de l'eau, comprenant aussi bien les dépenses directes qu'indirectes et induites, y compris le coût de l'eau qui manque.

### Mettre en place un dialogue permanent entre services de l'État et entre services de l'État et les entreprises

De manière générale la mission a constaté une insuffisante coordination entre les trois directions les plus en charge du sujet : la direction générale de la Prévention des risques (DGPR), la direction de l'Eau et de la Biodiversité (DEB), et la direction générale des Entreprises (DGE).

Pour mettre en œuvre l'ensemble des dispositions relatives à la sobriété hydrique, la mission propose l'installation d'un pôle de coordination et d'appui national commun DEB, DGPR et DGE.

### L'anticipation des ressources et des besoins : le maître mot

La sécheresse de 2022 a mis en évidence que l'eau n'est pas infinie. Et les conséquences de ne plus en avoir peuvent être importantes pour l'économie. L'étude de la disponibilité locale, présente et future, en eau doit devenir, à l'instar de celle d'autres ressources comme l'énergie, un facteur majeur des décisions d'investissement, et les pouvoirs publics ont une responsabilité particulière pour accompagner les entreprises dans ce sens.

<sup>3</sup> Par exemple technologies de comptage, amélioration des canalisations, maintenance prédictive, transfert et gestion des données, exploitation automatisée des flux de données (utilisation de l'intelligence artificielle), technologies d'assainissement et d'épuration (mécanique, biologique, chimique...), amélioration de l'efficacité de échangeurs et tours aéroréfrigérantes, technologies de rupture dans les procédés de fabrication.

# Adaptation et innovation, les deux jambes de la résilience industrielle

Par Christian de PERTHUIS

Économiste, fondateur de la Chaire économie  
du climat de l'université Paris Dauphine-PSL

L'ère où adaptation et atténuation du changement climatique étaient considérées comme concurrentes est révolue. Dans un monde où le thermomètre est en passe de régulièrement dépasser le + 1,5°C observé en 2024, la résilience des économies exige de combiner adaptation et atténuation. L'industrie est concernée au premier chef. Pour renforcer sa résilience, elle doit coupler ses efforts de décarbonation à des stratégies d'adaptation pour protéger le fonctionnement des réseaux, assurer la résilience des chaînes d'approvisionnement et faire face aux perturbations du cycle de l'eau. Durant les prochaines décennies, l'adaptation sera une exigence forte, mais aussi un nouveau gisement pour l'innovation.

Traditionnellement, l'action climatique distingue l'atténuation du changement climatique « visant à réduire les émissions ou à renforcer les puits de gaz à effet de serre » de l'adaptation comprise comme une « démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu ainsi qu'à ses conséquences, visant à en atténuer les effets préjudiciables et à en exploiter les effets bénéfiques », nous rappelle le 6e rapport d'évaluation du GIEC<sup>1</sup>. Cette typologie se retrouve dans la structuration du GIEC en trois groupes de travail, le second étant consacré aux stratégies d'adaptation et le troisième à celles d'atténuation.

Les économistes du climat ont repris cette dichotomie, en focalisant au démarrage leurs travaux sur l'atténuation du changement climatique. Avec le durcissement des conditions climatiques, il est apparu que l'adaptation ne pouvait être laissée au bord du chemin. La résilience des économies face au réchauffement planétaire repose sur la complémentarité entre adaptation et atténuation. Cela s'applique à l'économie dans son ensemble comme à sa composante industrielle.

## De la concurrence à la complémentarité

Pendant longtemps, l'adaptation au changement climatique a été considérée avec une certaine suspicion par les économistes du climat. La crainte était que les moyens mobilisés pour l'adaptation ne soient plus disponibles pour l'atténuation. Un peu comme

dans un choix d'investissement entre deux projets en compétition.

Dans sa *Review* publiée en 2006<sup>2</sup>, l'économiste Nicolas Stern s'éloigne quelque peu de cette vision d'une stricte concurrence entre adaptation et atténuation. Stern consacre un chapitre entier à l'adaptation pour montrer qu'une stratégie bien conduite en la matière serait susceptible de réduire le coût global de l'atténuation à l'horizon 2050. Dans cette vision, adaptation et atténuation ne sont plus strictement concurrentes, mais la première reste subordonnée à la seconde. Sa mise en œuvre ne se justifie sous l'angle économique que si elle permet de réduire le coût de l'atténuation.

Cette vision réductrice ne pouvait résister au durcissement des impacts du réchauffement climatique, par ailleurs de mieux en mieux documentés dans les rapports d'évaluation du GIEC.

En décembre 2015, Mark Carney, alors gouverneur de la Banque centrale d'Angleterre, lance un pavé dans la mare en s'adressant à la communauté financière britannique<sup>3</sup>. La valeur des actifs économiques ne tient pas suffisamment compte du réchauffement planétaire. Les marchés financiers n'intègrent pas ces risques ce qui menace à terme la résilience de l'ensemble du système économique : sans correction, une grande partie de ces actifs seront relégués au rang « d'actifs échoués ».

Carney distingue deux catégories de risques : les risques de « transition » auxquels sont exposés les actifs économiques liés à la production et à la consommation

<sup>1</sup> GIEC (2021), Glossaire du sixième rapport d'évaluation du GIEC - Groupe de travail I, [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_Glossary\\_French.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Glossary_French.pdf)

<sup>2</sup> Stern N. (2006), *The Economics of Climate Change: The Stern Review*, Cambridge University Press.

<sup>3</sup> Carney M. (2015), "Breaking the Tragedy of the Horizon – Climate Change and Financial Stability", site de la Banque d'Angleterre.

d'énergie fossile qui devront être retirés du circuit économique pour faire baisser les émissions ; les risques « physiques » résultant des impacts du réchauffement sur le fonctionnement du capital installé. Entre ces deux risques apparaît ce que Carney nomme la « tragédie des horizons ». La perte des actifs physiques reste une perspective lointaine, trop lointaine pour engager des stratégies d'adaptation au nom de la résilience.

À peu près simultanément, une équipe de l'Université libre de Bruxelles (ULB) publie un ouvrage<sup>4</sup> de synthèse sur l'adaptation. L'économie de l'adaptation se distingue de celle de l'atténuation par sa dépendance aux conditions locales qui déterminent la vulnérabilité de chaque territoire en fonction de ses caractéristiques géo-climatiques et dont la prise en compte permet de calibrer les moyens d'action. Les instruments d'évaluation économique sont dès lors bien différents de ceux de l'atténuation basés sur la valeur carbone qui permet de mesurer les coûts et les bénéfices des projets d'atténuation. Le volet spatial de l'adaptation a une autre implication : les acteurs qui investissent pour limiter les impacts du réchauffement global vont en tirer directement les bénéfices, ce qui n'est pas le cas pour l'atténuation. L'économie de l'adaptation échappe ainsi au problème du « passager clandestin » qui rend si compliqué l'engagement des stratégies coopératives en matière d'atténuation.

En mettant en relief ces différences entre atténuation et adaptation, on s'éloigne de la vision initiale des économistes suspectant une concurrence entre les deux facettes de l'action climatique. La résilience des systèmes économiques face au changement climatique ne peut dès lors être visée que grâce à la complémentarité des deux approches. Comme l'expriment joliment les auteurs de l'ouvrage : « entre adaptation et atténuation, il ne faut pas choisir<sup>5</sup> ».

Cette vision de la complémentarité entre atténuation et adaptation est désormais majoritairement acceptée par les économistes du climat. Dans un ouvrage récent<sup>6</sup>, l'auteur de ces lignes souligne même qu'au plan global on n'a plus guère de chance d'atteindre la neutralité carbone sans des actions d'adaptation de grande ampleur pour protéger les puits de carbone naturels, en particulier les forêts et les sols agricoles. Cela résulte du fait que le réchauffement global engendre des rétroactions climatiques qui ajoutent des rejets de CO<sub>2</sub> ou de méthane aux émissions anthropiques. Ainsi, certains massifs forestiers de l'Est de la France, mal préparés au réchauffement, sont devenus des sources nettes d'émission<sup>7</sup>. C'est bien par des méthodes d'adapta-

tion, par exemple en adaptant la gestion des forêts aux climats de demain, qu'on parviendra à limiter l'impact délétère de ces rétroactions climatiques.

Mais qu'en est-il de l'industrie ? Comment se traduit dans ce secteur la complémentarité entre adaptation et atténuation ?

## L'exposition des différents secteurs industriels

Les premiers travaux sectoriels sur l'adaptation, conduits aux États-Unis dans les années 2000, ont porté sur l'agriculture<sup>8</sup>. Dans les années 2010, la problématique de l'adaptation s'enrichit d'études portant sur les stratégies d'adaptation à l'échelle territoriale, à l'image de celle conduite pour la région Nouvelle-Aquitaine<sup>9</sup>. Les impacts du réchauffement se durcissant, la problématique de l'adaptation englobe désormais un nombre croissant de secteurs, à commencer par l'industrie.

L'évaluation des coûts des dommages imputables au réchauffement climatique est le point de départ de toute démarche d'adaptation. Un rapport récent<sup>10</sup> du World Economic Forum (WEF) estime ces coûts à un peu moins de 5 % de la marge brute des grandes entreprises cotées dans le monde, et anticipe une croissance forte : 7 % en 2035 et 13 % en 2055 en l'absence de stratégies d'adaptation susceptibles de ramener ce coût à 10 %.

Les secteurs les plus vulnérables sont ceux des télécommunications, des *utilities*, des transports et de l'agrobusiness. Les industries intermédiaires comme la chimie ont une exposition proche de la moyenne. Celle des industries automobiles et de biens d'équipement sont légèrement en dessous<sup>11</sup>. Globalement, aucun grand secteur industriel ne semble donc à l'abri des impacts du réchauffement global. De plus, l'étude ne portant que sur les seules entreprises cotées, il y a tout lieu de penser qu'elle sous-estime les dommages du fait de la non-représentation des entreprises non cotées, qui regroupent le bataillon des petites et moyennes entreprises moins armées face aux risques climatiques.

Pour renforcer la résilience face au changement climatique, les industries peuvent agir sur différents leviers.

<sup>4</sup> Van Gameren V., Weikmans R. & Zaccai E. (2014), *L'adaptation au changement climatique*, Paris, La Découverte, Collection Repères.

<sup>5</sup> <https://theconversation.com/changement-climatique-entre-adaptation-et-attenuation-il-ne-faut-pas-choisir-102285>

<sup>6</sup> De Perthuis C. (2023), *Carbone fossile, carbone vivant*, Gallimard.

<sup>7</sup> Voir à ce sujet le numéro des *Annales des mines – Responsabilité & Environnement* consacré aux forêts, juillet 2024, [https://annales.org/re/2024/re\\_115\\_juillet\\_2024.html](https://annales.org/re/2024/re_115_juillet_2024.html) et, notamment, <https://annales.org/re/2024/re115/2024-07-05.pdf>, <https://annales.org/re/2024/re115/2024-07-06.pdf> et <https://annales.org/re/2024/re115/2024-07-07.pdf>

<sup>8</sup> Reilly J., Tubiello F., McCarl B., Melillo, J. *et al.* (2003), "US Agriculture and Climate Change: New Results", *Climatic Change*, 57(1), pp. 43-69.

<sup>9</sup> AcclimaTerra, Le Treut H. (dir) (2018), « Anticiper les changements climatiques en Nouvelle-Aquitaine. Pour agir dans les territoires », Éditions Région Nouvelle-Aquitaine.

<sup>10</sup> World Economic Forum (2024), "Building Industry Resilience to Climate Hazards", Insight report, 77 pages.

<sup>11</sup> Il s'agit des coûts des dommages climatiques évalués comme les pertes en capital et les pertes de production opérationnelles. La maille d'analyse qui agrège automobile et biens d'équipement est en l'espèce un peu large : pour l'automobile, adaptation et atténuation sont difficilement dissociables : il ne s'agit plus seulement d'adapter des usines existantes, mais d'en construire de nouvelles (batteries, recyclage).

## La protection des infrastructures de réseau

Les industries de réseau figurent parmi les activités les plus impactées par le changement climatique car leur fonctionnement repose sur l'utilisation d'infrastructures réparties sur des espaces étendus pour assurer la fourniture de biens ou services essentiels comme l'eau, l'énergie ou la gestion des déchets. Leur vulnérabilité réside dans le fait qu'une rupture dans l'une des mailles élémentaires du réseau peut se répercuter sur l'ensemble du réseau. Les pertes pour les opérateurs sont alors considérables. D'après le rapport précité, elles pourraient rogner plus de 20 % de leur marge brute d'ici une dizaine d'années.

Concernant les investissements d'extension des réseaux, intégrer les impacts futurs du réchauffement climatique engendre des surcoûts estimés dans des fourchettes allant de 3 à 10 %, susceptibles d'atteindre 20 % dans les cas extrêmes. Ces surcoûts varient bien sûr suivant la configuration géographique des territoires traversés et le niveau de protection visé. Même s'ils représentent des masses financières considérables, l'économiste Patrice Geoffron nous rappelle que ces coûts sont bien inférieurs aux dégâts qui risquent d'être engendrés par la non-adaptation<sup>12</sup>.

L'évaluation du coût de l'adaptation des réseaux existants est plus complexe. Comme l'indique le représentant de Siemens à *The Economist*, « les infrastructures de réseau ont été conçues pour la transmission, pas pour la résilience »<sup>13</sup>. Leur déploiement spatial reflète plus les contraintes climatiques d'hier que celles de demain. Dans le secteur électrique, la mise à niveau des réseaux répond à la fois aux objectifs d'adaptation et d'atténuation. Cela implique des investissements massifs, estimés par la Commission européenne à près de 600 Mds d'euros d'ici 2030 pour l'Union européenne. Pour la France, un rapport de l'I4Ce en 2022 mentionnait un besoin d'effort d'investissement de 2,3 G€/an<sup>14</sup>. S'agissant des réseaux électriques, l'article de Michel Derdevet dans son article pour la *Revue d'économie financière* d'octobre 2024 : « Financer les réseaux électriques : une condition essentielle de la réussite de la transition énergétique »<sup>15</sup> suggère pour le réseau de distribution 5 Mds€/an d'ici 2032 contre 3,9 sur la période 2021-2024 et pour RTE 100 Mds€ au total d'ici 2040.

<sup>12</sup> Geoffron P. (2024), « Les investissements d'adaptation aux dérèglements climatiques : le cas des infrastructures critiques », *Revue d'économie financière*, 155(3), pp. 37-46.

<sup>13</sup> <https://www.economist.com/business/2025/01/05/a-new-electricity-supercycle-is-under-way>

<sup>14</sup> <https://www.i4ce.org/publication/moyens-adaptation-consequences-changement-climatique-france/>

<sup>15</sup> <https://www.aefr.eu/fr/article/4146-financer-les-reseaux-electriques-une-condition-essentielle-a-la-reussite-de-la-transition-energetique>

## La résilience des chaînes d'approvisionnement

Le coût des dommages climatiques sur les réseaux ne se limite pas aux opérateurs. Il se répercute sur l'ensemble des utilisateurs à l'aval, et particulièrement sur les industriels qui peuvent être confrontés à des ruptures d'approvisionnement. Une grande partie des actions d'adaptation de l'industrie consiste donc à renforcer la résilience des chaînes d'approvisionnement et de distribution de ses produits jusqu'à l'utilisateur.

Cela doit conduire à réexaminer les coûts et les bénéfices des chaînes logistiques qui ont été optimisées suivant les règles du « juste à temps » avec une limitation des stocks tampons et l'allongement des aires d'approvisionnement vers les pays à bas coûts. Le choc du Covid-19 a montré combien la désorganisation de ces chaînes logistiques impactait le fonctionnement de certaines industries, comme celles du médicament ou de l'automobile. Face aux chocs futurs du réchauffement planétaire, la recherche de la résilience conduit à remettre en cause ces modes d'optimisation des chaînes d'approvisionnement, ce qui implique un arbitrage entre le retour financier immédiat et celui espéré à moyen et long terme.

Les industries transformant les matières agricoles sont particulièrement exposées en raison de leur dépendance à l'égard de l'agriculture et de la vulnérabilité des chaînes du froid. La résilience conduit à réévaluer les coûts et les risques de l'allongement des chaînes d'approvisionnement. Simultanément, une valeur nouvelle est donnée à la proximité dans des démarches multi-acteurs renforçant la sécurité alimentaire des territoires. Ces démarches couplent généralement l'impératif de résilience à l'objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Un enjeu majeur puisque le système alimentaire est à l'origine d'un tiers des émissions mondiales.

Parmi les paramètres climatiques à prendre en compte, les variations des régimes de la pluviométrie et plus généralement les perturbations du cycle de l'eau engendrées par les changements du climat occupent une place importante. Les industries transformant la matière première agricole doivent anticiper les multiples déplacements des aires de production agricoles qu'elles provoqueront. Cette variable compte également pour les autres secteurs industriels.

## Anticiper les perturbations du cycle de l'eau

D'après l'étude du WEF, les stress hydriques et les submersions fluviales sont, après les épisodes caniculaires, les principales causes des dommages climatiques pesant sur l'industrie<sup>16</sup>. C'est pourquoi les stra-

<sup>16</sup> Il faudrait en outre distinguer entre les investissements requis pour répondre aux aléas climatiques aigus et aux aléas chroniques. Voir l'article d'Emmanuelle Bromet dans ce même numéro.

tégies d'adaptation industrielles doivent porter grande attention à ces variables particulièrement difficiles à anticiper à l'échelle locale.

En France, l'impact de la canicule de l'été 2003 sur le fonctionnement des centrales nucléaires a été un signe avant-coureur de l'enjeu des perturbations du cycle de l'eau. Pour s'adapter à la canicule et à la baisse des débits des rivières, la décision a été prise de déroger à la réglementation protégeant la biodiversité des milieux aquatiques pour éviter l'arrêt de certaines centrales difficiles à refroidir. Malgré ce type d'assouplissement, le refroidissement des centrales nucléaires reste une question épineuse comme le rappelle un avis<sup>17</sup> de l'Autorité de Sûreté nucléaire rendu en 2020<sup>18</sup>.

Mais le cas du nucléaire est loin d'être un cas isolé<sup>19</sup>. Toutes les industries de base faisant appel à de grandes quantités de chaleur exigent des systèmes de refroidissement qui nécessitent de grandes quantités d'eau. Cela conduit à des implantations majoritairement situées à proximité des rivières ou des côtes, directement exposées aux perturbations du cycle de l'eau et à la remontée du niveau de la mer.

Le déploiement de nouvelles filières industrielles pour atténuer le changement climatique doit également accorder une grande attention à ce paramètre. C'est en particulier le cas de l'électrolyse de l'hydrogène promise à un bel avenir. Dans les pays richement dotés en ressources solaires, mais en situation de stress hydrique, le facteur limitant l'expansion de cette nouvelle industrie sera bien plus la disponibilité en eau que celle en énergie.

## Conclusion : innover pour mieux s'adapter

Si les enjeux de l'adaptation pour l'industrie semblent désormais mieux compris, la mise en œuvre de stratégies effectives reste extrêmement lacunaire. Dans un monde où le thermomètre continuera d'augmenter pendant plusieurs décennies, la nécessité de construire de telles stratégies s'imposera, et requerra des études détaillées sur les investissements matériels, humains, organisationnels, nécessaires pour les mettre en place. Indubitablement, ce sera une contrainte forte s'ajoutant à celles de la décarbonation.

Mais l'adaptation fait également apparaître de nouveaux gisements d'innovation pour tous ceux qui refusent d'entrer dans le futur les yeux rivés sur le rétroviseur. Certaines portent sur la conception et la production à grande échelle de matériaux et d'équipements adaptés au durcissement des conditions climatiques. D'autres concernent plus les logiques organisationnelles : au sein des entreprises, les stratégies gagnantes d'adaptation impliquent la formation et la mobilisation de la main-d'œuvre. La résilience exige également des changements organisationnels dépassant les frontières de l'entreprise, avec la constitution d'écosystèmes où les logiques coopératives permettent de lutter plus efficacement face à un réchauffement planétaire qui nous menace tous.

<sup>17</sup> Autorité de Sûreté nucléaire (2020), « Le fonctionnement des réacteurs nucléaires en période de canicule ».

<sup>18</sup> En 2023, la production électrique a été affectée à hauteur de 2 % durant la canicule.

<sup>19</sup> Voir l'article de Philippe Kahn et Michel Pascal sur la sobriété hydrique dans ce même numéro des *Annales des Mines – Responsabilité & Environnement*.

# L'adaptation au changement climatique du point de vue de la santé

Par Yves LÉVI

Académie nationale de médecine, Académie nationale de pharmacie, Académie des technologies, Professeur honoraire de santé publique-santé environnementale, Université Paris Saclay

Le changement climatique impacte de très nombreux domaines en interactions ayant tous des influences sur la santé humaine, la santé animale et celle de l'environnement dans le concept « Une seule santé – One Health ». La santé n'est pas négociable. Il est urgent d'anticiper l'aggravation des risques par des décisions collectives, concertées et éclairées, surtout préventives mais aussi curatives. Les domaines concernés sont notamment l'architecture et l'urbanisme, l'agriculture et l'alimentation, les usages des eaux, les conséquences des évolutions démographiques, le système de soins... Le bien-être mental et les inégalités sociales doivent être pris en compte. Le paramètre « Une seule santé » doit être intégré à un niveau décisionnel élevé dans toutes les actions de gestion face à cette crise majeure et avec une vision globale évitant les cloisonnements par secteurs.

Il est indispensable de rappeler que la santé humaine est structurellement dépendante de la santé de l'environnement et de la santé animale. Ce concept fondamental « Une seule santé – One Health » s'est développé au niveau international [1]. En complément, il importe de rappeler que la santé humaine est définie par les trois composantes du bien-être total : physique, mental et social.

Le changement climatique influence tous ces éléments. C'est donc un ensemble complexe qu'il convient d'examiner systématiquement et de prendre en compte, en considérant que la santé des populations est une priorité absolue, qu'elle n'est pas négociable, et qu'elle ne doit pas être protégée au détriment de celle de l'environnement.

Le développement historique de « l'animal humain » sur la planète s'est accompagné de très nombreux progrès scientifiques, technologiques et politiques ayant permis, de protéger et d'améliorer sa santé et son espérance de vie. Toutefois, ce même développement a généré de nombreuses sources de dangers responsables des effets de santé indésirables qu'il faut impérativement prévenir et corriger.

Le changement climatique provoque déjà, et va encore amplifier, des modifications générales des paramètres de l'environnement, des comportements humains et des contraintes et besoins de développements technologiques. Au cours de toutes ces évolutions, et des situations de crises existantes ou à venir, le critère d'innocuité envers la santé et toutes ses composantes doit être considéré (ou re-considéré) par tous les déci-

deurs comme un critère d'importance fondamentale, comme le souhaitent et l'attendent les populations [2].

Les risques associés étant plus élevés pour certaines catégories de la population, les mesures de prévention mises en œuvre doivent être hiérarchisées et doivent protéger au mieux les plus fragiles. Ce sont notamment des personnes âgées et des nourrissons très sensibles aux effets des fortes chaleurs, de la déshydratation et dont l'immunisation est plus faible. Il s'agit aussi des travailleurs exposés à des risques supérieurs (rayonnements solaires, chaleur, manipulation de produits chimiques volatils...). Les paramètres de premier niveau d'influence sont l'augmentation de la température, les changements de pluviométrie et les événements climatiques extrêmes. Les conséquences associées sont des changements d'expositions à des polluants et des microorganismes pathogènes, des stress et traumatismes, des perturbations de l'offre alimentaire, des conflits... L'adaptation doit donc être examinée selon les grands domaines en évolution qui influencent la santé et la description suivante n'est forcément pas exhaustive.

## L'architecture et l'urbanisme

Vivre dans un espace à température contrôlée en période chaude est déjà une contrainte dans de nombreuses zones géographiques et s'étend vers des zones qui étaient plus tempérées. Cet enjeu de consommation énergétique considérable a des conséquences associées. La conception du développement urbain doit partout innover pour que les transports, l'habitat, les lieux de travail et de loisir limitent les élévations de température et la pollution de l'air [3]. Les



matériaux employés doivent garantir leur absence de relargage de composants à risques sanitaires dans le temps, d'autant qu'un confinement est généralement associé, ce qui augmente l'exposition à l'air contaminé. La gestion des déchets gazeux, liquides et solides, aux risques sanitaires élevés, doit prévoir d'éviter toute stagnation, car la température élevée accentue les diffusions chimiques et les proliférations bactériennes. Les usages de l'eau douce sont déjà en crise et la gestion urbaine doit intégrer une consommation économe pour les zones et les périodes critiques. Les utilisations d'eaux dites « non conventionnelles » (eaux usées plus ou moins traitées, eaux « grises », eaux de pluie récoltées...) sont à risques évidents et doivent être accompagnées d'une garantie d'innocuité en toute situation, ce qui en fait un défi technique et financier.

Des évolutions urbaines auront un impact sur la santé mentale en raison des changements de périodes de présence intérieur/extérieur, et ceci d'autant plus pour des habitats collectifs non adaptés créant des agressivités de contact. L'injustice perçue sera amplifiée entre les populations disposant d'un logement à température contrôlée et les autres, mais également en raison d'une accentuation des risques pour les habitats déjà insalubres.

Les déplacements en périodes de vacances seront guidés par le besoin de températures plus faibles. Il faut anticiper les besoins de développements pour les zones littorales et d'altitude en infrastructures d'alimentation en eau potable, d'hygiène publique et de services de santé, au moins pour les périodes concernées.

## Les effets liés à l'agriculture

Les conflits pour les usages de l'eau douce ont déjà débuté, en particulier pour l'irrigation. L'exposition aux pesticides a induit des risques sanitaires par expositions *via* les aliments, l'eau de boisson et les transferts aériens, et les impacts sont majeurs sur la faune animale. Les évolutions des maladies végétales, associées aux chocs de stress hydriques, vont conduire à des changements de stratégies de cultures et de pesticides. Les milieux aquatiques et les sols sont déjà largement contaminés par des métabolites de pesticides, même pour certains pesticides interdits d'usage depuis longtemps. L'alimentation diversifiée, en quantité suffisante et saine pour la population implique une stratégie globale, élaborée par les professionnels de tous les secteurs de l'agriculture et de l'élevage en concertation avec les autres grands usagers de l'eau. Elle doit intégrer le critère de la protection sanitaire et la santé de la biosphère. Il convient de limiter le développement de plantes induisant des allergies polliniques.

La chaîne du froid sera fragilisée, ce qui implique d'anticiper les besoins et les garanties d'alimentation en énergie.

L'augmentation de la température de l'eau influencera les produits de la mer et de l'aquaculture. Elle favorisera aussi la diffusion de contaminants depuis, ou à travers, les matériaux d'emballage, de manutention et de stockage des aliments. Il faut identifier et supprimer les matériaux ne garantissant pas l'inertie indispensable [4] [5].

Les transferts de vecteurs et d'agents pathogènes nécessiteront une surveillance évoluée pour ne pas induire d'impact sur la qualité des aliments.

## Les usages des eaux

L'eau douce, dépourvue de toxiques et de microorganismes pathogènes ou opportunistes, est fondamentalement constitutive de la vie. Les besoins pour l'industrie, l'énergie, les transports, la construction, l'agriculture sont fondamentaux. Elle est indispensable pour l'assainissement, l'hygiène, la propreté (urbains, hospitaliers, industriels, domestiques...), donc pour la santé publique. Le changement climatique modifie, et va modifier, les éléments qualitatifs et quantitatifs des masses d'eaux [6] [7]. La France doit agir vite pour se prémunir des conséquences des manques d'eau douce au regard des besoins selon les zones et les périodes, et pouvoir se protéger des conséquences des excès (inondations, érosions, affaissements...). Le partage équitable en période de manque d'eau doit être prévu et organisé « à froid », faute de quoi des conflits « pour la survie » ne manqueront pas de s'amplifier, le phénomène étant déjà visible actuellement autour des réserves artificielles.

La nature et les concentrations en polluants chimiques vont évoluer sous l'effet des mutations industrielles et agricoles et des périodes de basses eaux plus significatives qui vont logiquement augmenter les concentrations. L'impact écotoxique est le premier concerné, avec ses conséquences sur une partie de l'alimentation. La production d'eau potable est aussi concernée, les autres boissons à base d'eaux et une partie de la transformation alimentaire. La mise en activité de filières de traitement de l'eau adaptées constitue un enjeu majeur, surtout pour les petites communes, déjà fortement touchées par les pollutions aux pesticides et leurs métabolites. Compte tenu de leurs faibles budgets, il faut amplifier un fonds de péréquation nationale. Le principe pollueur-payeur doit être pleinement appliqué et, dans ces contextes de crise, la valeur de l'eau devient différente de la notion de prix de l'eau.

Les températures élevées sont favorables à la prolifération bactérienne dans certaines eaux, y compris dans les réseaux de distribution, et défavorables à la stabilité du résiduel de désinfectant.

## L'augmentation de température augmente la mortalité

Les épisodes de chaleur élevée en climat tempéré, et surtout en milieu urbain, ont induit en France de 1970 à 2015, environ 33 000 décès attribuables à la chaleur entre le 1<sup>er</sup> juin et le 15 septembre de chaque année, dont 23 000 décès de personnes âgées de 75 ans et plus. 28 % ont été observés pendant les canicules [8]. S'ajoutent les augmentations de morbidité et de souffrance (notamment aux postes de travail) avec toutes les conséquences importantes mais non évaluées (malaises, accidents, médicaments...).

Ces données ne font pas la part entre l'effet strict de la chaleur et celui associé à la pollution de l'air pouvant

intervenir pendant ces périodes. Cette pollution de l'air est due à des molécules volatiles et des nano et microparticules. L'augmentation des feux de forêts diffuse des particules. L'air extérieur et l'air intérieur sont concernés, ce qui implique une meilleure conception des systèmes de protection et le développement de mobiliers et la vente d'équipements mobiliers qui diffusent moins de polluants volatils.

Les comportements sont aussi sources de risques et notamment les baignades, recherchées en périodes chaudes, avec des noyades, des infections ou contaminations.

## Démographie et migrations (humaines et animales)

Les évolutions de territoires conditionnent les notions de survie des espèces végétales et animales et donc inévitablement, les déplacements des zones les plus défavorables vers les plus acceptables. Ces déplacements qui existent déjà, vont s'amplifier avec leurs conséquences sur la santé. Il s'agit de vecteurs de maladies (insectes, parasites...) contre lesquels la lutte par usage de pesticides entraîne des conséquences de risques déjà évoquées sur la qualité des eaux, de l'air et des aliments.

Il s'agit aussi des migrations climatiques avec leurs conséquences en termes de stress personnel et familial pour les populations les moins aisées, d'impact sur l'urbanisation et la densité de population avec les conséquences sur la gestion urbaine en lien avec la santé (assainissement, prévention sanitaire, accès aux soins, alimentation...) et les comportements de rejet ou de solidarité sources de conflits inter-humains.

Ces mouvements de population ont débuté entre pays, mais aussi au sein de la Nation, qu'ils soient périodiques (résidences secondaires en zone côtière ou en montagne) ou permanents notamment en raison de l'augmentation du niveau de la mer et du recul du trait de côte. La situation est critique pour certains territoires d'Outre-mer qui seront submergés. La construction d'habitats pour ces nouveaux habitants doit être anticipée et prendre en compte les risques sanitaires [9].

Il en va de même pour la structure de soins qui doit anticiper les besoins selon les sites et les saisons alors que ce secteur est déjà en crise.

## Autres domaines

L'absolue nécessité de réduire les émissions de gaz à effet de serre exige, en particulier, de réduire celles liées aux transports. Il s'agit notamment de favoriser les circuits courts commerciaux et la ré-industrialisation européenne. Sont notamment concernées la production et la distribution des produits de santé (médicaments, dispositifs médicaux...). Le domaine de l'habillement y compris professionnel est concerné avec des évolutions liées au meilleur confort et protection pendant les périodes chaudes. Les pratiques sportives et d'activité physique, indispensables pour une bonne prévention en santé, seront rendues plus difficiles pendant les

périodes les plus chaudes, ce qui implique la mise à disposition de structures adaptées.

De très nombreuses relations existent entre la santé et les évolutions physiques et sociales liées au changement climatique dans les nombreux domaines en interdépendance. C'est pourquoi, au-delà d'un examen au cas par cas, il est impératif de faire entrer, dans toutes les structures et schémas décisionnels, la prise en compte des impacts sur la santé, entendus dans la vision globale « une seule santé ». Pour l'entreprise, il s'agit d'anticiper et de prévenir les effets indésirables pour la santé au travail et d'agir, dès la R&D et pour toute la chaîne de vie des produits, pour l'exigence de prévention des risques sanitaires, dans un contexte de climat aggravé. Ces enjeux, doivent également être portés sur les importations.

Ces ambitions exigent des décideurs éclairés sur les relations entre santé et environnement et des concertations préventives intégrant les recommandations issues des expertises collectives sanitaires. Ainsi, les grandes règles de prévention sanitaires doivent être enseignées dès l'école [10] et pour toutes les formations supérieures et professionnelles.

## Références

- [1] OMS (2021), "COP26 special report on climate change and health: the health argument for climate action", ISBN 978-92-4-003672-7.
- [2] ROCQUE R.J., BEAUDOIN C., NDJABOUE R. *et al.* (2021), "Health effects of climate change: an overview of systematic reviews", *BMJ Open*, 11:e046333, doi: 10.1136.
- [3] RYDIN Y. *et al.* (2012), "Shaping cities for health: complexity and the planning of urban environments in the 21<sup>st</sup> century", *The Lancet*, 379, 9831, pp. 2079-2108.
- [4] EUROPEAN FOOD SAFETY AUTHORITY. MAGGIOREA. *et al.* (2020), "Climate change as a driver of emerging risks for food and feed safety, plant, animal health and nutritional quality", *EFSA Supporting Publications*, 17, 6, 146 pages, doi:10.2903/sp.efsa.2020.EN-1881, <https://doi.org/10.2903/sp.efsa.2020.EN-1881>
- [5] *Les Annales des Mines – Responsabilité & Environnement*, « La fin des plastiques ? », octobre 2024, N°116, <https://annales-des-mines.org/wp-content/uploads/2024/10/re-2024-10-numero-pour-internet.pdf>
- [6] ACADÉMIE DES TECHNOLOGIES (2023), « Apports des technologies en réponse aux besoins en eau douce en France dans le contexte du changement climatique », ISBN : 979-10-97579-47-0, 97 pages.
- [7] *Les Annales des Mines – Responsabilité & Environnement*, « L'eau et le changement climatique », octobre 2023, N°112, [https://annales.org/re/2023/re\\_112\\_octobre\\_2023.pdf](https://annales.org/re/2023/re_112_octobre_2023.pdf)
- [8] SANTÉ PUBLIQUE FRANCE. PASCAL M., WAGNER V. & CORSO M. (2022), « Évolution de la relation température-mortalité en France depuis 1970 », ISBN-NET 979-10-289-0763-1, 57 pages.
- [9] HEDOU F., HERMAN A., DE LUCA H. - CEREMA (2024), « Projection du trait de côte et analyse des enjeux au niveau national: Horizons2050et2100 », n°NOVA:23-RE-0225, <https://doc.cerema.fr/Default/doc/SYRACUSE/597431/projection-du-trait-de-cote-et-analyse-des-enjeux-au-niveau-national-horizons-2050-et-2100>
- [10] ACADÉMIE NATIONALE DE MÉDECINE. BONNIN A. *et al.* (2024), « Pour une éducation des jeunes citoyens à la prévention en santé », *Bull Acad Natl Med*, 208, pp. 708-719.

# Les enjeux technologiques de l'adaptation de l'industrie au changement climatique

Par Antoine BELLEGUIE, Olivier APPERT,  
Denis RANDET et Richard LAVERGNE  
Groupe de travail Transition énergétique de l'ANRT

Confrontée à l'accélération du changement climatique, la France doit adapter ses infrastructures et secteurs économiques pour renforcer leur résilience face aux défis émergents. En 2024, sous la présidence d'Olivier Appert, Denis Randet et Richard Lavergne, avec Antoine Belleguie comme rapporteur, le Groupe de Travail sur la Transition énergétique de l'ANRT a mené une analyse approfondie des technologies d'adaptation nécessaires pour sécuriser les secteurs clés : eau, énergie, agriculture, urbanisme, industrie, transports, santé, défense et spatial. Cet article identifie des pistes stratégiques majeures – telles que la gestion optimisée des ressources en eau, le renforcement des infrastructures énergétiques, et la digitalisation des processus – pour accompagner la transition vers une économie durable et résiliente. En intégrant une approche systémique, ces initiatives visent à renforcer l'interconnexion des secteurs et encouragent une gouvernance partagée pour mieux faire face aux impacts climatiques futurs.

L'Association Nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT) dispose d'un Groupe de travail permanent sur la Transition énergétique dont la mission est de soutenir les pouvoirs publics dans l'élaboration de la Stratégie Française sur l'Énergie et le Climat (SFEC). Cette dernière est la feuille de route de la France pour atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 et assurer l'adaptation de la société aux impacts du changement climatique. Sa dernière version a été publiée le 23 avril 2020 et la suivante devrait être publiée en 2025.

Elle intègre notamment la Stratégie Nationale de la Recherche Énergétique (SNRE, prévue par l'article L.144-1 du code de l'énergie), la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE), ainsi que le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC), qui est plus particulièrement concerné par le présent article.

Le changement climatique représente un défi global sans précédent pour la société, avec des impacts profonds sur tous les secteurs : l'industrie, l'eau, l'énergie, l'agriculture, les infrastructures, la santé... Face à ces transformations majeures, l'adaptation devient une priorité. Elle a bien entendu des dimensions sociétales et passera inévitablement par une modification des comportements. Toutefois, la technologie peut grandement faciliter la façon d'y parvenir, tant en délais qu'en coûts, dans des conditions préservant la cohésion sociale et le développement durable au niveau mondial. C'est dans ce contexte que le Groupe de travail sur la Transition énergétique de l'ANRT a investigué les enjeux techno-

logiques de l'adaptation. Il a mené une série de consultations réunissant des acteurs clés – grands groupes, instituts de recherche, universités et organismes gouvernementaux – afin d'explorer les solutions technologiques susceptibles de nous rendre plus résilients.

L'adaptation est un élément central des stratégies nationales et internationales de gestion des risques climatiques. Elle vise à réduire la vulnérabilité des systèmes humains et naturels aux impacts inévitables du changement climatique, tout en renforçant la résilience des infrastructures et des écosystèmes (MTECT, 2023). Alors que l'atténuation se concentre sur la réduction des émissions de Gaz à effet de serre (GES), l'adaptation s'intéresse aux effets du réchauffement avec ses impacts locaux et ses multiples indicateurs. Cependant, les frontières entre adaptation et atténuation sont parfois floues, certaines technologies, procédés ou stratégies pouvant répondre simultanément aux deux objectifs.

## Gestion de l'eau : technologies pour une ressource vitale

L'eau, ressource essentielle à la vie, est particulièrement vulnérable face aux impacts du changement climatique. Les sécheresses répétées et la raréfaction des réserves d'eau mettent sous pression les secteurs agricoles, industriels, et la santé. En France, 20 % des terres agricoles sont déjà touchées par la sécheresse, et les tensions hydriques risquent de s'aggraver dans les décennies à venir. D'un autre côté, la croissance

des inondations menace les sols, les infrastructures et les habitations. Face à ces défis, la gestion de l'eau doit être repensée tant sur le plan quantitatif que qualitatif.

### Quantité et gestion durable

La réutilisation des eaux usées traitées s'impose comme une solution de plus en plus viable. Aujourd'hui, environ 30 % des eaux de rivière en France proviennent déjà des stations d'épuration, et cette proportion devrait augmenter dans les années à venir. Les technologies de traitement de l'eau évoluent pour capturer les micropolluants, garantissant ainsi la qualité des rejets dans les milieux naturels. Des systèmes de stockage, tels que les bassins de rétention, associés à des dispositifs de gestion automatisée, sont en cours de développement pour prévenir les inondations et pour assurer un approvisionnement en eau même en période de sécheresse prolongée. Enfin, le dessalement de l'eau de mer, bien que coûteux, est considéré pour certaines régions où les tensions sur l'eau deviennent critiques.

### Qualité de l'eau

La prolifération des cyanobactéries, favorisée par la hausse des températures, représente une menace grandissante pour la santé publique. Parmi les solutions envisagées, la réoxygénation des eaux stagnantes et la mise en place de technologies de contrôle de la qualité de l'eau jouent un rôle clé.

## Industrie : technologies pour une résilience renforcée et une décarbonation rapide

L'industrie est à la fois une source importante d'émissions de gaz à effet de serre et une victime des impacts climatiques extrêmes. Les vagues de chaleur, les pénuries d'eau, les inondations, et les perturbations de la chaîne d'approvisionnement affectent directement la production. Face à ces enjeux, l'industrie doit s'adapter, protéger ses installations, et intégrer des technologies innovantes qui, tout en améliorant son efficacité énergétique et réduisant son impact environnemental, renforcent sa résilience.

### Numérisation des processus industriels et gestion intelligente des ressources

L'intégration des technologies numériques joue un rôle clé dans l'adaptation. La modélisation des processus industriels, de leur sensibilité aux conditions atmosphériques, l'usage de jumeaux numériques, le traitement des données fournies par des capteurs intelligents permettent de mieux gérer les ressources énergétiques, l'eau, les matières premières, et de maintenir la qualité de la production. Grâce à la prise en compte des prévisions météorologiques et des signaux d'alerte, les usines peuvent ajuster leurs opérations en permanence et réagir de plus en plus en temps réel aux aléas climatiques.

### Réduction de la consommation d'eau

L'industrie, particulièrement dans les secteurs chimiques et métallurgiques, est confrontée à des besoins importants en eau. Les tensions sur les ressources hydriques, accentuées par le changement climatique, poussent à l'adoption de technologies permettant de réduire la consommation d'eau. EDF, par exemple, a développé des systèmes de refroidissement qui consomment moins d'eau, notamment grâce à des systèmes de boucle fermée. La réutilisation des eaux usées constitue une autre piste pour réduire les prélèvements. Ces innovations permettent de mieux gérer la ressource hydrique tout en garantissant la continuité des opérations industrielles lors de périodes de sécheresse.

### Transition énergétique et électrification des processus industriels

L'électrification des processus industriels est l'un des piliers de la décarbonation de l'industrie. Cette transition impose déjà des défis technologiques de modification des procédés et des installations. Il faudra en outre tenir compte de leur résilience à des conditions climatiques extrêmes.

## Énergie : vers une production résiliente et durable

La transition énergétique a profondément transformé la production et la distribution d'électricité, un vecteur essentiel de la décarbonation et de l'autonomie énergétique. D'un réseau traditionnel reposant sur quelques sources pilotables, nous évoluons vers un réseau décentralisé intégrant une multitude de sources intermittentes, telles que les éoliennes et les panneaux photovoltaïques. La continuité et la qualité de l'approvisionnement en électricité sont maintenues grâce aux *smart grids*, à un pilotage intelligent et à l'utilisation de batteries. Cependant, malgré les progrès réalisés, ces dernières restent insuffisantes pour assurer le stockage intersaisonnier, qui demeure un défi majeur. Dans ce contexte, l'adaptation du secteur énergétique est cruciale. Il s'agit avant tout de garantir la production et le transport de l'électricité – et également du gaz – même dans des conditions climatiques extrêmes.

### Adaptation des centrales nucléaires et hydrauliques

EDF, à travers son projet ADAPT, s'attache à renforcer la résilience des centrales nucléaires face aux événements climatiques extrêmes. Cela inclut, entre autres, la modernisation des systèmes de refroidissement, mis à rude épreuve par la hausse des températures. Dans le domaine de l'hydroélectricité, des modèles hydrologiques avancés permettent d'anticiper les pénuries d'eau tout en minimisant l'impact sur les écosystèmes.

### Énergies intermittentes

Les éoliennes, déjà conçues pour résister à des tempêtes, devront être adaptées pour tenir compte de contraintes climatiques encore plus sévères, notamment en mer. Quant aux panneaux photovoltaïques, leur rendement dépend non seulement de l'intégrité de leurs surfaces, exposées aux risques de grêle, mais également de leur performance en haute température. Les batteries de nouvelle génération, comme celles au lithium-ion ou au sodium-ion, jouent un rôle croissant dans l'équilibrage local des réseaux. Elles sont en plein développement et contribueront de manière significative à la continuité de l'approvisionnement électrique, même en cas de défaillance du réseau principal.

### Maintien de la continuité des lignes

L'enfouissement des lignes électriques à moyenne tension est un levier clé pour renforcer la résilience du réseau face aux événements climatiques extrêmes. Enedis prévoit ainsi d'enfouir environ 100 000 kilomètres de ces lignes d'ici 2050, réduisant ainsi leur vulnérabilité aux tempêtes et aux autres aléas climatiques.

### Agriculture : vers des systèmes de production résilients

Le secteur agricole est durement touché par les bouleversements climatiques, avec une augmentation des périodes de sécheresse et des épisodes de pluies torrentielles. Les agriculteurs doivent adapter leurs pratiques pour maintenir des rendements stables dans un environnement de plus en plus incertain.

Les technologies de micro-irrigation, couplées à l'utilisation de capteurs et de sondes intelligentes, permettent aujourd'hui une gestion optimisée des ressources en eau dans le secteur agricole, limitant ainsi les gaspillages.

### Sélection variétale et nouvelles pratiques

L'un des principaux leviers d'adaptation consiste à développer des variétés végétales résistantes au stress hydrique. Les techniques de mutagenèse et d'édition génomique permettent de créer des plantes avec des racines plus profondes, capables de mieux résister aux sécheresses prolongées. Parallèlement, les pratiques agroécologiques, telles que l'agroforesterie, permettent de diversifier les systèmes agricoles tout en réduisant leur vulnérabilité. Les techniques culturales innovantes, telles que le semis direct ou la rotation des cultures, jouent également un rôle dans la conservation de la fertilité des sols et la réduction de l'érosion.

### Technologies d'irrigation et robots agricoles

L'irrigation intelligente, avec des capteurs, des drones, et des satellites pour surveiller l'humidité des sols, permet une gestion plus fine des ressources en eau. La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation, déjà courante dans certains pays méditerranéens, pourrait

également s'étendre en France. L'utilisation de robots et d'équipements agricoles intelligents, tels que les drones de surveillance, permet de réduire la consommation d'eau, tout en optimisant les apports en nutriments et en minimisant l'usage des pesticides.

### Urbanisme et infrastructures : adapter les villes aux défis climatiques

Les zones urbaines sont particulièrement vulnérables aux impacts du changement climatique, notamment les vagues de chaleur et les inondations. La végétalisation réduit les températures extérieures, mais pas celle des logements. Pour cela, il faut combiner les matériaux, les climatiseurs, la ventilation, et la disposition urbanistique : c'est un problème systémique, et on devrait développer davantage la science du bâtiment. En parallèle, la gestion des eaux pluviales, *via* des bassins de rétention et des systèmes d'infiltration, contribue à prévenir les inondations tout en permettant la réutilisation de l'eau pour l'irrigation des espaces verts.

### Transport : vers une mobilité durable et résiliente

Le secteur des transports, responsable d'une grande part des émissions de gaz à effet de serre, doit évoluer rapidement vers des solutions bas carbone tout en renforçant sa résilience face aux événements climatiques extrêmes. L'électrification des véhicules et l'amélioration des infrastructures de transport sont essentielles pour répondre aux défis du changement climatique.

### Électrification des transports et infrastructures de recharge

L'électrification massive des véhicules, notamment grâce au développement de batteries à longue autonomie, est un levier crucial pour réduire l'empreinte carbone du secteur. Le déploiement d'infrastructures de recharge rapide, soutenu par des réseaux électriques intelligents, est indispensable pour garantir une transition fluide vers une mobilité plus propre. Enedis, par exemple, prévoit l'adaptation de ses réseaux pour accompagner l'essor de la mobilité électrique.

### Résilience des infrastructures de transport

Le renforcement des infrastructures de transport, telles que les réseaux ferroviaires et routiers, est également nécessaire pour faire face aux aléas climatiques. L'utilisation de technologies de maintenance prédictive permet d'anticiper et de prévenir les défaillances liées aux événements climatiques, assurant ainsi la continuité du service.

## Santé : anticiper et répondre aux crises sanitaires

Le changement climatique entraîne des risques sanitaires accrus, avec une augmentation des vagues de chaleur et la propagation de maladies infectieuses. Le secteur de la santé doit anticiper ces nouveaux défis.

## Surveillance épidémiologique

L'utilisation de l'intelligence artificielle pour analyser les données environnementales en temps réel permet d'anticiper la propagation des maladies infectieuses. Des systèmes d'alerte précoce, basés sur des capteurs environnementaux, aident également à déclencher des plans de prévention sanitaire.

Tableau synoptique des actions prioritaires pour l'adaptation au changement climatique en France (Source : ANRT).

Domaine	Technologies Clés	Impact	Maturité Technique	Acceptabilité <sup>1</sup> Économique et sociale
<b>Eau</b>	Réutilisation des eau traitées	Moyen	Moyenne	Moyenne
	Recharge des nappes phréatiques	Élevé	Moyenne	Moyenne
	Dessalement de l'eau de mer	Moyen	Moyenne	Moyenne
<b>Énergie</b>	Renforcement des réseaux de distribution	Élevé	Forte	Forte
	Développement des smart grids	Élevé	Moyenne	Moyenne
	Stockage de l'énergie (batteries, STEP)	Élevé	Moyenne	Moyenne
<b>Agriculture</b>	Sélection de variétés résistantes	Élevé	Forte	Moyenne
	Agroécologie et agroforesterie	Élevé	Moyenne	Moyenne
	Optimisation de l'irrigation et micro-irrigation	Élevé	Forte	Moyenne
<b>Villes et Bâtiments</b>	Adaptation des bâtiments face à la chaleur	Élevé	Forte	Moyenne
	Gestion des eaux pluviales et inondations	Élevé	Moyenne	Moyenne
	Urbanisme résilient (îlots de fraîcheur)	Moyen	Moyenne	Forte
<b>Santé</b>	Développement de systèmes d'alerte pour les vagues de chaleur	Moyen	Moyenne	Moyenne
	Gestion proactive des risques sanitaires	Moyen	Moyenne	Moyenne
<b>Industrie</b>	Modernisation des infrastructures énergétiques	Élevé	Moyenne	Forte
	Sécurisation des chaînes d'approvisionnement	Élevé	Moyenne	Moyenne
	Résilience des outils de production	Moyen	Moyenne	Moyenne
<b>Transport</b>	Renforcement des infrastructures	Élevé	Moyenne	Forte
	Développement de nouvelles technologies de transport	Moyen	Moyenne	Moyenne
<b>Défense</b>	Résilience des bases et infrastructures	Moyen	Forte	Moyenne
	Adaptation des véhicules et équipements militaires	Moyen	Forte	Moyenne
<b>Spatial</b>	Surveillance satellitaire des impacts climatiques	Élevé	Forte	Forte
	Développement de capacités de relai satellite en cas de crise	Moyen	Moyenne	Moyenne

« Moyen » → Intermédiaire – « Fort » → Significative – « Élevé » → Critique.

<sup>1</sup> Ce critère mesure la faisabilité d'une technologie ou d'une action, en prenant en compte son coût, son accessibilité, et son adoption sociale. Moyenne : des barrières économiques ou sociales importantes subsistent. Élevée : acceptation encourageante mais nécessitant encore des efforts de déploiement ou de sensibilisation. Forte : forte adhésion sociale et faisabilité économique déjà démontrées.

## Défense : maintenir les capacités opérationnelles

Les hommes et les matériels, déjà capables d'opérer dans des environnements difficiles, vont devoir faire face à des conditions plus extrêmes. Par exemple, une température très élevée réduit la capacité d'emport des hélicoptères. La Défense a entrepris une revue systématique de la résilience des infrastructures, du matériel, des équipements, des conditions d'emploi, de l'entraînement des personnes, et des mesures d'adaptation à prendre.

## L'espace et les satellites : un outil essentiel

Les satellites jouent un rôle central dans la surveillance et l'anticipation des phénomènes climatiques grâce à des programmes souvent internationaux, comme le programme européen Copernicus. Ces satellites permettent de collecter et de cartographier des données sur l'état des terres et des mers, de suivre des phénomènes climatiques comme la montée des eaux, les températures extrêmes ou les inondations. Ces données permettent aussi d'améliorer les modèles de prévision météorologiques, de mieux anticiper les impacts du changement climatique et d'ajuster les réponses aux crises. Pour opérer constamment en temps réel, il faudrait cependant augmenter le nombre de satellites. Les satellites permettent encore d'analyser les sols et la couverture végétale, leur évolution, et de fournir à la biologie – en plein développement – des moyens pour mieux comprendre leurs interactions. Enfin, il y a le rôle des satellites en télécommunications, et leur capacité de secours en cas de défaillance d'infrastructures terrestres.

## Conclusion : des technologies au service d'une adaptation résiliente et durable

L'adaptation au changement climatique repose sur une mobilisation massive des innovations technologiques. Le Groupe de travail Transition énergétique a permis de mettre en lumière un éventail de solutions qui, dans leur diversité, forment autant de réponses concrètes aux défis posés par le réchauffement climatique. Que ce soit à travers une meilleure gestion des ressources hydriques, la digitalisation des infrastructures ou l'électrification des transports, ces technologies sont les piliers d'une transition vers une société plus résiliente. Toutefois, leur efficacité dépendra de leur mise en œuvre rapide et coordonnée, ainsi que d'une collaboration renforcée entre les acteurs publics et privés.

# Des enjeux sociaux de l'adaptation

Par Jean-François NATON

Ex-vice-président et conseiller du Conseil économique, social et environnemental (CESE)

Le Conseil économique, social et environnemental (CESE) est mobilisé depuis de très nombreuses années avec ses avis pour participer à la prise de conscience des enjeux écologiques. Plusieurs avis ont donné à penser et produit des préconisations pour modifier nos comportements individuels et collectifs. En 2023 et 2024, deux avis sont venus porter le débat face au défi climatique et à l'urgence d'opérer la transition écologique. Deux avis en cohérence d'analyse qui osent s'attaquer au défi du travailler autrement, dans une stratégie d'adaptation et d'atténuation. Ce défi ne sera relevé qu'avec la mobilisation de toutes et tous, l'ensemble du monde du travail et le renouveau du dialogue social, ce qui impose de faire entrer l'entreprise dans l'histoire démocratique en donnant au devoir d'écoute de celles et ceux qui la font, la priorité dans les principes de prévention du code du travail.

Le Conseil économique, sociale et environnemental (CESE) a en avril 2023 et mai 2024 adopté deux avis<sup>1</sup> qui participent de la prise de conscience de l'urgence d'entreprendre de profondes transformations pour s'engager et réussir la planification écologique.

Ces deux avis ont été le fruit d'un intense travail d'auditions, de débats souvent passionnés et passionnants durant lesquels s'est imposée la certitude que rien ne sera possible sans la participation consciente des travailleuses et des travailleurs. Les transformations des situations de travail, le travailler autrement s'imposent à toutes et tous, quel que soit le domaine d'activité, afin d'engager la nécessaire adaptation. Une adaptation qui doit être traversée par une stratégie d'atténuation de l'impact des activités humaines sur le vivant.

Le CESE est la troisième assemblée mentionnée dans la Constitution en son article 69. L'utilité et même l'existence du CESE ont été mises en cause dans un passé encore récent, ce qui a conduit à une profonde refondation. En termes de composition, les personnalités qualifiées nommées par le Gouvernement ont laissé place à des représentants du monde associatif, des ONG plus en mesure d'élargir le champ de la réflexion et des débats. Le CESE a pu aussi s'appuyer sur l'apport de la participation citoyenne, sous différentes formes d'organisations dont les conventions citoyennes. En termes d'orientation, le CESE remet des avis qui tendent à anticiper les débats publics et éclairer les pouvoirs publics.

<sup>1</sup> « Travail et santé-environnement : quels défis à relever face aux dérèglements climatiques ? », avril 2023, rapporteur Jean-François Naton ; « Mobiliser les acteurs de l'emploi et du travail pour réussir la planification écologique », mai 2024, rapporteurs Claire Tutenuit et Pascal Mayol.

Un CESE souvent moqué car, en recherche de compromis, éloigné du bruit et de la fureur, il ne joue pas dans la cour des communicants, des coups de com. Sa commission Travail/Emploi présidée par Sophie Thierry a de façon efficace saisi le contexte : celui où s'entremêlent les crises écologique, sociale, démocratique avec celle du travail. Avec la présidence de Sophie Thierry, le travail fait enfin débat. Le CESE a commencé à affirmer que le travail, cœur des activités humaines, est aujourd'hui face à une crise de sens, de finalité, et que s'il est perçu comme un problème, c'est aussi par lui qu'on trouvera des solutions. C'est par lui que passe l'atténuation du changement climatique, en montrant à quel point il doit être un déterminant de santé, en souhaitant que le dialogue social ancré dans les entreprises, les services publics, dans les territoires de vie, devienne le lieu de la mobilisation nécessaire et en élargissant les conditions du débat démocratique au travail.

Pour comprendre que la crise climatique et l'effondrement de la biodiversité nous font entrer dans une époque que les concepts des Lumières, du progrès continu, de la lutte des classes et des rapports de forces peinent à appréhender, alors qu'il convient de (re-)faire société avec la Terre, de conjuguer : terre, toit, travail. Les trois T des révolutions.

Aussi, l'avis « Travail et santé-environnement : quels défis à relever face aux dérèglements climatiques ? » est traversé par les soulèvements du travail et de la Terre.

Les préconisations du CESE concernant cet avis sont les suivants.



## Le premier principe qui a guidé les membres du CESE repose sur la nécessité de briser les approches sectorielles de la santé

Il n'y a pas une santé publique, une santé environnementale, une santé au travail. De fait, la santé est globale et l'approche de la santé doit être globale.

Il en résulte trois préconisations :

- un délégué interministériel doit être en mesure de coordonner l'ensemble des politiques visant à adapter la société au changement climatique ;
- les excédents de la branche « Accident du travail-maladies professionnelles » peuvent financer une part des actions mises en œuvre pour cette adaptation dans le milieu du travail, ce qui est légitime au vu des risques pour la santé encourus par l'ensemble des travailleurs ;
- un outil statistique robuste doit être construit pour évaluer les conséquences du changement climatique sur la santé dans toutes ses dimensions, donc aussi la santé au travail.

## Le deuxième principe est celui d'une culture commune de la prévention

La prévention est souvent le parent pauvre des politiques publiques, mais aussi de la gestion des risques dans les entreprises. Le Document unique d'évaluation des Risques professionnels (Duerp) est, par exemple, méconnu par la moitié des entreprises, alors même qu'il est obligatoire.

Il en résulte une série de préconisations dont notamment celles-ci :

- une formation commune des salariés et des employeurs sur le changement climatique et son impact sur le travail ;
- une campagne de sensibilisation nationale sur la nécessité d'anticiper le risque climatique en milieu professionnel ;
- l'obligation d'un Duerp à jour pour prétendre bénéficier d'une aide de l'État ;
- l'écoute comme nouveau principe général de prévention.

Ce dernier point est particulièrement important et novateur.

Le code du travail prévoit des principes généraux de prévention :

- 1° éviter les risques ;
- 2° évaluer les risques qui ne peuvent pas être évités ;
- 3° combattre les risques à la source ;

4° adapter le travail à l'homme, en particulier en ce qui concerne la conception des postes de travail ainsi que le choix des équipements de travail et des méthodes de travail et de production, en vue notamment de limiter le travail monotone et le travail cadencé et de réduire les effets de ceux-ci sur la santé ;

5° tenir compte de l'état d'évolution de la technique ;

6° remplacer ce qui est dangereux par ce qui n'est pas dangereux ou par ce qui est moins dangereux ;

7° planifier la prévention en y intégrant, dans un ensemble cohérent, la technique, l'organisation du travail, les conditions de travail, les relations sociales et l'influence des facteurs ambiants, notamment les risques liés au harcèlement moral et au harcèlement sexuel, tels qu'ils sont définis aux articles L.1152-1<sup>2</sup> et L.1153-1<sup>3</sup>, ainsi que ceux liés aux agissements sexistes définis à l'article L.1142-2-1<sup>4</sup> ;

8° prendre des mesures de protection collective en leur donnant la priorité sur les mesures de protection individuelle ;

9° donner les instructions appropriées aux travailleurs.

Le CESE propose d'ajouter un 10<sup>e</sup> principe qui serait de fait plutôt le premier dans l'ordre logique : l'écoute. Rien n'est possible sans le monde du travail ; aussi, l'objectif est de construire ensemble une réponse aux risques professionnels en général et aux risques liés au changement climatique en particulier par une écoute mutuelle et une reconnaissance des situations de travail, pour les transformer.

## Le troisième principe consiste à repenser l'organisation du travail

Il n'est pas question de nier les différences d'approche et les conflits qui existent entre employeurs et travailleuses et travailleurs. Il n'est pas question non plus de nier les questions de productivité, de performance et de rentabilité des entreprises. Simplement, quand il est question de changement climatique, les convergences d'approche doivent l'emporter pour répondre aux nouveaux défis auxquels l'ensemble du monde du travail, la société toute entière, doit faire face.

Ce ne sont pas seulement les travailleurs du dehors qui sont exposés au changement climatique. Ce sont aussi tous les travailleurs du dedans qui travaillent dans les usines, dans les commerces et dans les bureaux. C'est

<sup>2</sup> <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072050&idArticle=LEGIARTI000006900818&dateTexte=&categorieLien=cid>

<sup>3</sup> <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072050&idArticle=LEGIARTI000006900824&dateTexte=&categorieLien=cid>

<sup>4</sup> <https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do?cidTexte=LEGITEXT000006072050&idArticle=LEGIARTI0000031072444&dateTexte=&categorieLien=cid>

pour cela que les bâtiments à usage professionnel doivent être revus au regard du changement climatique.

De même, l'organisation du travail doit tenir compte du changement climatique. L'absence de prise en considération du changement environnemental a coûté six vies pendant les vendanges de 2023 en Champagne. Ce sont six vies qui auraient pu être sauvées si la prévention avait été au rendez-vous.

Pour cette raison, le CESE a émis les préconisations suivantes qui donnent à la prévention la priorité absolue :

- modifier la réglementation pour que les branches bâtiment et travaux publics (BTP) puissent disposer du risque canicule comme elles disposent du risque d'intempéries lié aux froid, à la pluie, à la neige... afin de limiter les effets du changement climatique sur les organismes (cette préconisation est mise en œuvre depuis l'été 2024. ;
- promouvoir le dialogue social pour passer d'une logique de gestion de crise à une logique de prévention en intégrant l'impact du dérèglement climatique dans les négociations, tout en veillant à ce que les mesures négociées contribuent à l'effort général de sobriété ;
- intégrer les conséquences du dérèglement climatique sur l'organisation et les conditions de travail dans les obligations de négociation périodique de branche professionnelle et intégrer le thème des conséquences environnementales des orientations stratégiques de l'entreprise dans les consultations obligatoires au sein du Comité social d'entreprise.

L'organisation du travail, en tant qu'elle entraîne des conséquences sur la santé des travailleurs, est l'affaire de tous. Le changement climatique induit des changements d'organisation. Ceux-ci doivent être consentis, c'est-à-dire compris et approuvés par l'ensemble des membres du collectif de travail.

Les partenaires sociaux sont au cœur même de la transformation du monde du travail imposée par le changement climatique. Leurs forces ne sont pas en elles-mêmes suffisantes, mais sans elles, il ne peut y avoir ni changement comportemental, ni changement culturel, ni changement social. Il reste que le changement est aussi une affaire politique et donc de rapports de force. Sans tomber dans l'angélisme, plus le dialogue social fait consensus, plus le rapport de forces est favorable pour aborder la question du changement climatique. Inversement, un dialogue social faible et dégradé conduit à des relations sociales conflictuelles qui évincent la question du changement climatique. C'est pourquoi une remise en débat des ordonnances Macron s'impose afin de redonner des moyens d'agir aux organisations syndicales.

Il reste que tout n'est pas réglé pour autant. Il y a toujours le risque d'entreprises ou de secteurs qui ne joueraient pas le jeu. Les employeurs ne sont pas tous partants, même si beaucoup le sont.

Aussi, faire entrer l'entreprise dans l'histoire démocratique est et sera l'essentiel car elle est précisément une

de ces institutions qui organisent la vie, la socialisation elle doit donc être rendue conforme à notre idéal démocratique, si nous en avons encore un.

La mobilisation de tous les acteurs, notamment, le syndicalisme, dans une renaissance ou une refondation avec un retour aux sources salutaire et une dépollution nécessaire est appelée. C'est le défi d'aujourd'hui qui est identique à celui d'hier : s'approprier son travail à une nouvelle échelle afin qu'il soit un atout pour le monde vivant. C'est un travail d'éducation populaire qui devra unir les femmes et les hommes de bonne volonté.

## Conclusion

Nous sommes dans un moment crucial de l'histoire de l'humanité, c'est la décennie vitale pour la survie d'une planète habitable.

Il est donc urgent de faire entrer notre modèle de développement dans les limites planétaires.

Avec cet avis, le CESE a voulu contribuer à cette conscientisation d'un possible monde meilleur, pour ne pas sombrer dans le renoncement, la lâcheté.

Promouvoir le travail, le vivant est une idée neuve, car démocratiser et dépolluer iront de pair ou échoueront ensemble.

Ainsi, c'est bel et bien parce que le syndicalisme n'accepte pas la paupérisation d'une partie de la population, c'est bien parce que nous sommes portés par les valeurs fondatrices : « bien-être, liberté, fraternité », que nous ne voulons pas que ce soient elles et eux, femmes et hommes, qui subissent de plein fouet un apartheid planétaire, c'est parce que nous considérons que le travail est une des clés de voûte que nous voulons le transformer afin que l'humanité comme toute vie sur Terre puisse l'habiter.

Alors, les germes possibles, avec la crise écologique, d'un nouveau statut du travail salarié qui fasse place à son objet : l'œuvre accomplie, pas seulement sa valeur d'échange, substituant la conception ergologique entrevue dans la déclaration de Philadelphie à la conception marchande du travail et du vivant<sup>5</sup>, pour trouver dans l'intelligence du passé les moyens de comprendre le présent et de se projeter dans l'avenir avec la promesse de nouveaux « jours heureux ».

<sup>5</sup> Voir *L'esprit de Philadelphie* d'Alain Supiot.

# Défis de l'industrie automobile face au changement climatique

Par Marc MORTUREUX

Ingénieur général des Mines, directeur général de la Plateforme automobile (PFA)

Pour décarboner le transport routier, premier émetteur de gaz à effet de serre en France, l'industrie automobile s'est engagée dans une transformation sans précédent pour développer des véhicules à zéro émission à l'usage, à savoir les véhicules électriques à batterie, ou, pour certains véhicules lourds, à hydrogène. Cette électrification, d'ores et déjà bien engagée avec 17 % de part de marché en 2024, constitue néanmoins un défi considérable pour l'industrie européenne qui se voit fortement concurrencée par de nouveaux entrants chinois et américains : enjeu de souveraineté, notamment pour les batteries ; défi industriel et social, pour la reconversion des sites et des salariés impactés ; acceptabilité du consommateur, en fonction des usages de son véhicule... Pour répondre à ces défis immenses, il y a urgence pour l'Union européenne de porter enfin une vision stratégique pour son industrie automobile et sortir du tout réglementaire.

## Une industrie des solutions face au défi climatique

En 2018, la filière automobile en France s'est clairement positionnée comme une industrie des solutions face au défi climatique. Il s'agissait, dans le cadre du contrat stratégique de filière 2018-2022, de prendre le virage de l'électrification en se fixant pour objectif la multiplication par cinq en 5 ans des ventes de véhicules électriques, et un parc, à fin 2022, d'un million de véhicules électrifiés (véhicules 100 % électriques et hybrides rechargeables).

Ce virage s'impose par le fait que, comme illustré par la Figure 1 ci-dessous, le véhicule électrique émet deux à quatre fois moins de CO<sub>2</sub> que son équivalent thermique sur l'ensemble de son cycle de vie, a un bon rendement énergétique, et n'émet pas de polluants à

l'échappement du moteur (particules et oxydes d'azote notamment).

Force est de constater que, sous l'effet d'efforts sans précédent d'innovation et d'investissement, les industriels ont été au rendez-vous de ces objectifs : l'offre s'est développée, et le niveau symbolique d'un million de véhicules électrifiés a été atteint avec un trimestre d'avance et, malgré une addition de crises, la part de marché des véhicules électriques, autour de 17 % fin 2023, a été multipliée par dix en 5 ans.

Cette transformation s'inscrit, pour l'industrie automobile, dans le cadre d'un changement plus global que l'on peut à bon droit qualifier d'historique. Parce qu'elle modifie comme jamais la chaîne de valeur du secteur à travers trois basculements disruptifs.

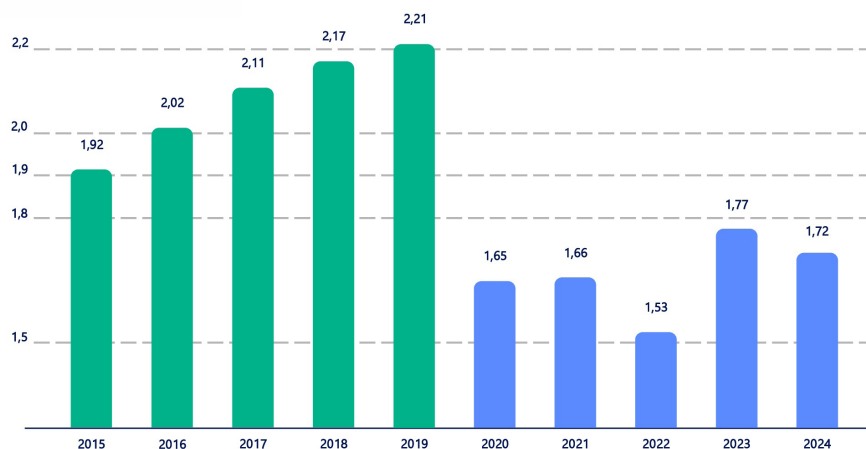


Figure 1 : Évolution du marché automobile français (en millions de véhicules particuliers) de 2015 à 2024 (Source : PFA).

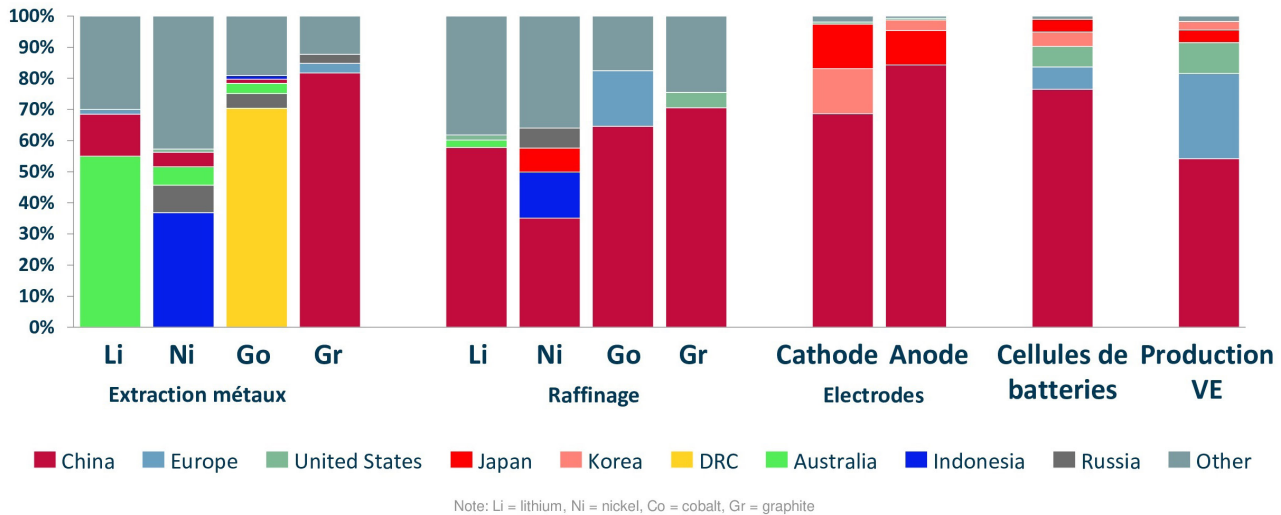


Figure 2 : Distribution géographique de la chaîne d'approvisionnement pour véhicules électriques en 2021 et 2022 par pays en Kg et % (Source : Analyse Strat Anticipation / Agence Internationale de l'Énergie).

Disruption liée à l'agenda environnemental, en premier lieu, avec le basculement des motorisations de technologies thermiques vers les technologies électriques : il fait sauter en quelque sorte le verrou technologique qui, au regard de la complexité et des savoir-faire que mobilisent la conception et la fabrication d'un moteur thermique, jouait jusqu'alors le rôle de barrière à l'entrée pour le secteur.

Disruption liée à la révolution numérique, deuxièmement, qui fait basculer l'enjeu de valeur du véhicule du *hardware* vers le *software* et l'électronique, en ouvrant la perspective d'une irruption de nouveaux acteurs, mais aussi d'une approche profondément renouvelée des usages et de la vie à bord.

Disruption à la fois digitale et sociétale, enfin, avec le basculement d'une logique industrielle de ventes de produits à une logique d'offre de services de mobilité.

## Un effort sans précédent d'innovation et d'investissement

Le contenu d'un véhicule électrique est profondément différent de celui d'un véhicule thermique, comme le montre la Figure 2 ci-dessus qui compare les contenus respectifs de deux véhicules de gamme équivalente. Le basculement vers l'électrique va se traduire par l'arrêt pur et simple de tout un pan de notre industrie traditionnelle autour du moteur thermique sur lequel nous avons une avance technologique – et qui représente encore près de 50 000 salariés en France – au profit de nouvelles chaînes de valeur dans lesquels l'Asie et notamment la Chine ont fortement investi depuis près de 20 ans.

Afin de relever ce défi de la plus grande transformation de son histoire, l'industrie automobile innove comme jamais : plus d'un brevet sur cinq déposés en France émane d'industriels de l'automobile et, avec près de 60 milliards d'euros de dépenses R&D, le secteur

représente à lui seul un tiers de l'effort d'innovation de l'Union européenne.

En France, un tel effort d'innovation est encouragé par les pouvoirs publics dans le cadre, notamment, du Coram (comité d'orientation pour la recherche automobile et mobilité) lancé en 2020 : cela représente, à date, 61 projets d'innovation qui s'inscrivent dans la feuille de route technologique définie par la PFA, pour 1 milliard d'euros de dépenses R&D (dont 390 millions d'euros d'aides de l'État).

Ces efforts se sont déjà traduits par une large gamme de véhicules électriques et électrifiés produits en France, comme le montre la Figure 3 (voir page suivante). Mais, au-delà des constructeurs, cette offre renouvelée est le fruit d'investissements considérables engagés par les PME et sous-traitants du secteur, sous l'impulsion des fonds de soutien déployés par l'État, représentant un total de plus de trois milliards d'euros d'investissements industriels.

Ces 4 dernières années ont également été marquées par l'annonce d'investissements majeurs dans des « gigafactories » créatrices d'emplois au cœur de nos régions sur les nouvelles chaînes de valeur : batteries, hydrogène, matériaux à très faible empreinte carbone, électronique de puissance, unités de recyclage des matériaux critiques, comme illustrée sur la Figure 4 située page suivante.

## Le Ban 2025, autant de défis pour l'Union européenne

Avec l'adoption du Green deal, l'Europe a décidé d'accélérer considérablement le rythme d'électrification du marché automobile, et d'exclure dès 2035 le thermique et l'hybride pour faire du véhicule électrique la solution unique pour tous les véhicules légers. Avec des objectifs intermédiaires nécessitant de vendre plus

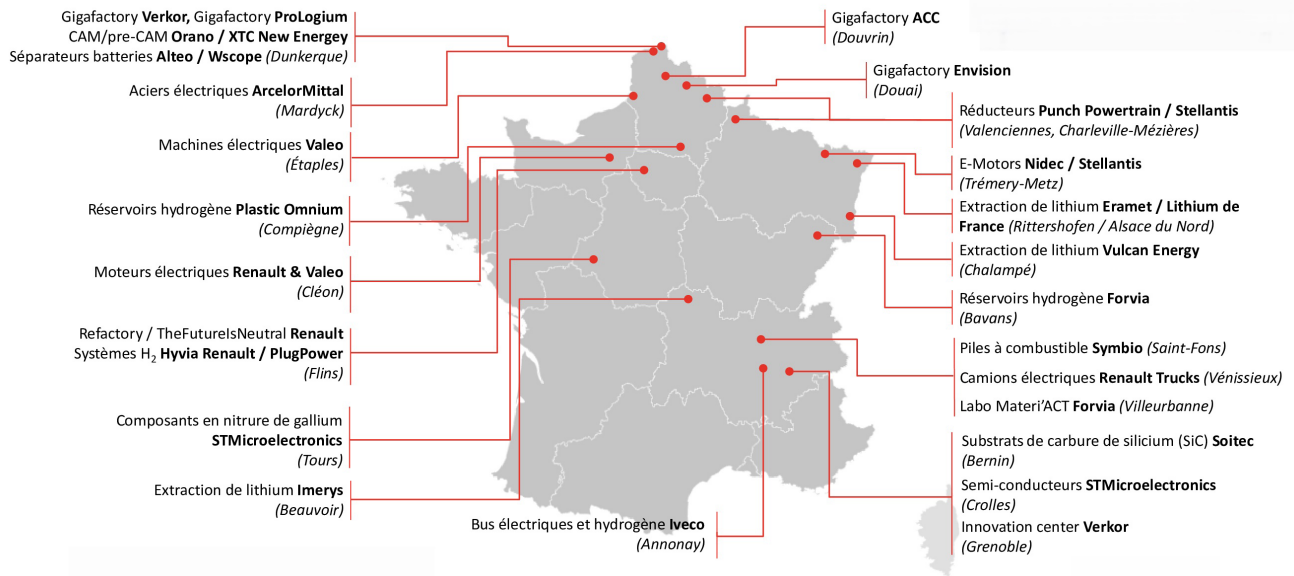


Figure 3 : Carte non exhaustive des constructions des nouvelles usines ou centres de recherche en France (Source : PFA).

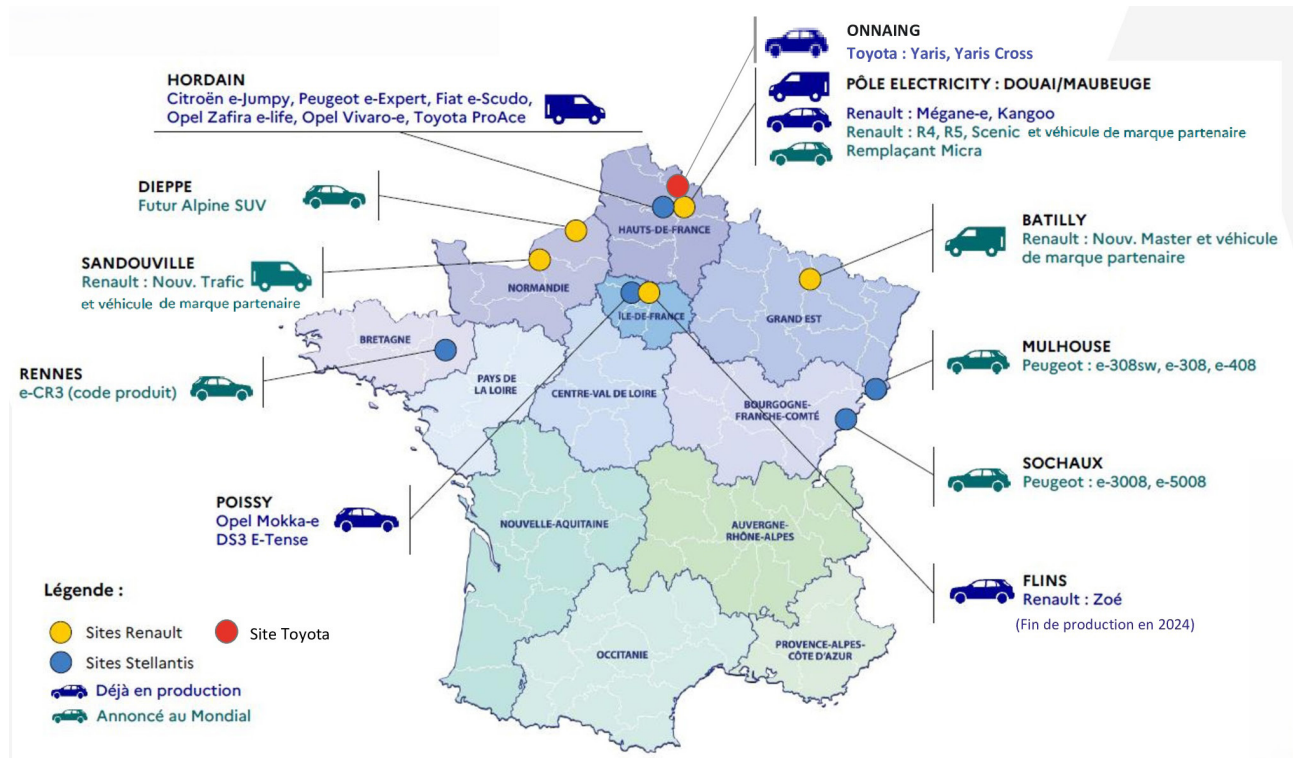


Figure 4 : Carte des sites de production de véhicules électrifiés en France (Source : DGE).

de 20 % de véhicules électriques en Europe en 2025, et plus de 50 % en 2030.

Concrètement, sur le marché français, nous avons vendu 200 000 véhicules électriques en 2022, 300 000 en 2024, nous devons en vendre plus de 420 000 en 2025, 1 million en 2030 et 2 millions en 2035. Avec de lourdes pénalités pour les constructeurs s'ils n'y arrivent pas !

La trajectoire pour les poids lourds est un peu plus étalée dans le temps, mais l'objectif est également

d'aller le plus vite possible vers une électrification massive du marché.

C'est une trajectoire très volontariste, au nom de la lutte contre le réchauffement climatique, mais qui n'est pas sans risque pour l'Europe qui doit faire face, au moins, à quatre défis majeurs.

Un défi, tout d'abord, qui touche à notre souveraineté industrielle et technologique. Les choix européens en faveur du tout-électrique sont faits dans un contexte où, selon l'Agence internationale de l'Énergie, 50 % de la

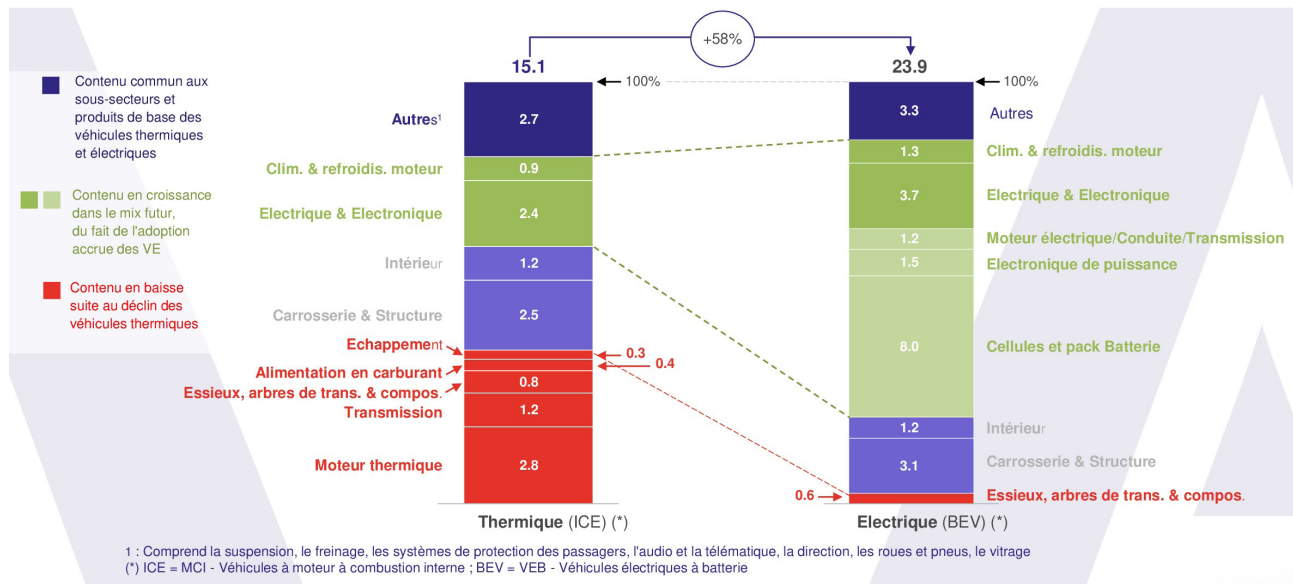


Figure 5 : Contenu moyen véhicule par domaine, en milliers d'euros, en 2019 (Source : AlixPartners Research & Analysis).

chaîne de valeur du véhicule et 75 % de la chaîne de valeur de la batterie, sont aujourd'hui situées en Chine (voir la Figure 5). En particulier le maillon stratégique de l'approvisionnement en matières critiques pour batteries et leur raffinage.

Or, la Chine, déjà premier marché mondial et premier producteur mondial avec 30 millions d'unités vendues en 2023, soit un tiers de la production mondiale, est devenue également, fin 2022, le premier exportateur mondial. En Europe, sur le segment des 100 % électriques, les importations chinoises (toutes marques), qui ne dépassaient pas les 1 % jusqu'alors, représentent fin 2024 près d'un quart du marché (24 %).

Il est d'autant plus légitime de voir l'Union européenne défendre ses intérêts en veillant à une concurrence équitable comme elle l'a fait, à l'issue d'une enquête anti-subsidiation lancée à l'encontre de la Chine, avec l'application de droits compensateurs. Mais ces droits ne concernent que les véhicules 100 % électriques alors que ce sont les hybrides qui se développent le plus aujourd'hui, et certains constructeurs chinois, comme BYD, se positionnent fortement sur ce segment, notamment l'hybride rechargeable.

Et la véritable réponse au défi qui est posé ici relève d'une stratégie industrielle plus globale à travers le soutien à l'innovation et aux investissements industriels, la sécurisation des approvisionnements en matériaux critiques (objectif du CRM Act), et la recherche d'une meilleure compétitivité. Ce dernier point est central pour réussir à produire des véhicules électriques performants en Europe à un prix abordable pour tous.

Le deuxième défi porte sur l'efficacité écologique des choix qui sont faits aujourd'hui pour le secteur automobile. Définie aujourd'hui dans la réglementation sur la seule base des émissions à l'usage, elle se mesurera demain à l'aune de l'ensemble du cycle de vie du véhicule. Il s'agit de valoriser pleinement et dès à présent

l'atout dont bénéficie l'Europe et la France en particulier, avec une électricité faiblement carbonée, pour localiser chez nous la production et le recyclage des véhicules et des batteries. La mise en place de l'éco-conditionnalité du bonus en France depuis fin 2023 a montré son efficacité à cet égard.

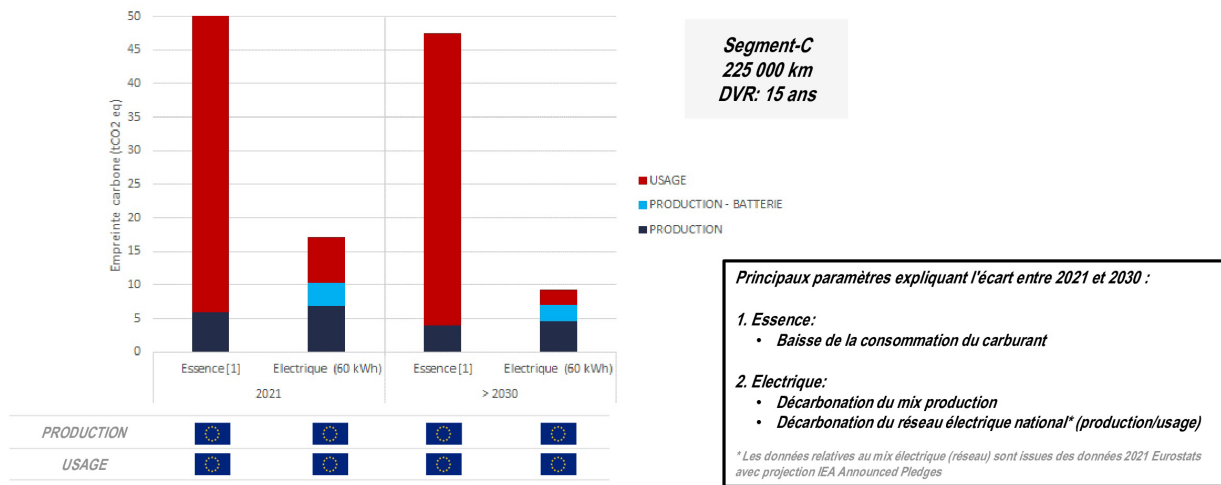
Les deux autres défis concernent : d'une part, l'impact d'une telle transformation sur le tissu industriel et sur l'emploi, avec un chantier immense touchant à la formation et au développement des compétences relevant des enjeux technologiques d'avenir ; d'autre part, la prise en compte déterminante du consommateur face à l'exigence d'un large accès à la mobilité électrique. Deux défis d'autant plus prégnants aujourd'hui au regard de la nouvelle phase dans laquelle est entrée la crise du marché en 2024, mais aussi de l'impact des fortes contraintes qui pèsent sur les finances publiques.

## Incertitudes économiques et budgétaires

Depuis mi-2024, l'exigence de la réglementation européenne semble en effet se heurter à la réalité d'un marché lourdement affecté par les incertitudes économiques et les hésitations du consommateur, et notre industrie automobile est prise en étau entre ses obligations réglementaires et les attentes de ses clients.

En 2021 puis en 2022, la pénurie de semi-conducteurs et la crise énergétique liée au conflit en Ukraine, ont constitué autant de répliques au séisme de la pandémie de Covid, en 2020, qui avait provoqué un effondrement historique du marché en France (- 25,5 %), comme en Europe (- 24 %). Et si, en 2023, les ventes ont connu une légère embellie permettant de rattraper une partie des pertes liées à la pénurie de semi-conducteurs, le marché français est à nouveau en baisse depuis l'été

### Segment-C – Production Europe 2021 & 2030 – Usage 15 ans Europe



- Un **véhicule essence** a **une empreinte carbone de deux à quatre fois supérieure** à celle d'un **véhicule électrique**.
- **L'empreinte carbone** d'un **véhicule essence** est majoritairement portée par **la phase d'usage (>80%)**
- Celle d'un **véhicule électrique** découle **majoritairement de sa production** et celle de sa **batterie**

Figure 6 : Comparaison de l'empreinte carbone d'un véhicule électrique par rapport à un véhicule à essence (Source : PFA).

2024, avec un niveau en retrait de plus de 22 % par rapport à 2019 (voir la Figure 6).

Dans le même temps, et pour la première fois depuis 5 ans, ce faible niveau global du marché automobile s'accompagne d'une baisse des ventes de véhicules électriques qui accusent un léger recul en 2024 après 4 années de forte croissance.

Or, les contraintes qui pèsent sur les finances publiques en France ne sont pas de nature à contribuer au soutien du marché. La perspective d'un alourdissement du malus automobile associé à la baisse actée du montant du bonus pour l'achat d'un véhicule électrique, sont même susceptibles en réalité d'amplifier la chute du marché avec des impacts à court terme sur les entreprises et sur l'emploi.

L'industrie automobile est une industrie de volumes. Le rétrécissement du marché, au moment où la filière engage la plus grande transformation de son histoire, s'est d'ores et déjà traduit, à l'automne 2024, par la multiplication des annonces de restructurations d'entreprise.

Cette vague de restructurations, très marquée en Allemagne et en France en particulier, revêt une dimension largement européenne. En Europe, dans un marché global qui stagne, les ventes de véhicules électriques reculent de 5,4 %. La suppression, fin 2023, des aides à l'achat en Allemagne, où les ventes de véhicules électriques ont chuté de 22 % en 2024, explique très largement ce recul préoccupant.

## Pour une véritable stratégie industrielle en Europe

Une telle décélération des ventes de véhicules électriques n'est pas sans conséquences sur l'atteinte des

objectifs fixés par la réglementation européenne. C'est un moment de vérité pour la trajectoire qui s'impose au secteur automobile d'ici à 2035. Et ce, dès cette année 2025 : pour être au rendez-vous des normes européennes, on estime qu'il faudrait atteindre une part de marché des véhicules électriques en Europe de l'ordre de 22 % dès 2025, alors qu'elle a baissé de 14,5 à 13,5 % entre 2023 et 2024 (et a stagné en France à hauteur de 17 % comme indiqué précédemment).

Dans ce contexte, il y a urgence pour l'Union européenne de porter enfin une vision stratégique à la hauteur du poids économique que représente l'industrie automobile en Europe. Et une ambition industrielle qui remette le consommateur au centre, en intégrant la question des incitations à l'achat et des infrastructures de recharge à l'échelle de l'Europe.

En optant pour le tout-électrique dès 2035, Bruxelles a fait le choix d'une technologie unique dominée par nos concurrents chinois. Sachant qu'il faudra atteindre 50 % de ventes de véhicules électriques en Europe en 2030, segment sur lequel les importations chinoises représentent déjà 24 % du marché en Europe, on estime que la part de marché des véhicules de marque chinoise en Europe, toutes motorisations confondues, passera de 6 % en 2024 à au moins 12 % en 2030.

L'exigence, dès lors, est d'engager une stratégie de reconquête industrielle en Europe. Nous plaidons en faveur d'une telle vision stratégique depuis plusieurs années. Aujourd'hui, Mario Draghi, dans son rapport alarmant, ne dit pas autre chose lorsqu'il écrit que « le secteur automobile est un exemple clé du manque de planification de l'Union européenne, appliquant une politique climatique sans politique industrielle ».

À l'image du contrat stratégique de filière signé avec l'État à l'échelle nationale, nous plaidons en faveur

d'un Pacte automobile européen, une vision partagée autour des défis majeurs que supposent l'ambition climatique et des engagements réciproques entre l'Union européenne et son industrie automobile ; avec des mécanismes de financement dans la durée des grands projets industriels pour leur donner le temps de devenir compétitifs et rentables ; ainsi que des mécanismes pour s'assurer d'un contenu local significatif des véhicules vendus en Europe, comme le font les Américains et les Chinois.

Les États-Unis ont décidé d'augmenter leurs droits de douane de 100 % pour les importations de véhicules chinois, et viennent d'annoncer l'interdiction de vente aux États-Unis de véhicules connectés intégrant de la technologie chinoise ou russe, tant en termes de composants que de logiciels, estimant qu'ils pouvaient représenter un risque pour la sécurité nationale.

La Chine, qui avait imposé des *joint-ventures* avec des partenaires chinois comme condition d'installation sur leur marché, refuse aujourd'hui tout transfert de technologie en Europe et poursuivent leur stratégie de soutien massif à l'innovation.

Pendant ce temps, l'Europe met les constructeurs sous forte tension, entre la réglementation qui les soumet à de lourdes pénalités en cas de non-respect de l'électrification des ventes à marche forcée, et les consommateurs, qui ne sont pas prêts à basculer vers l'électrique

au rythme fixé par l'Europe. Résultat, pour réduire le risque de pénalités, la plupart des constructeurs européens sont amenés à passer des accords (*pooling*) avec les nouveaux entrants en Europe focalisés sur l'électrique (Tesla et certains constructeurs chinois) pour les aider à tenir leurs objectifs. Cela se traduit par des soutiens financiers de nos constructeurs à leurs nouveaux concurrents en Europe, ce qui affaiblit notre industrie.

De même, le mécanisme d'ajustement carbone aux frontières (MACF), qui vise à pénaliser l'entrée des matières premières en Europe si elles ne respectent pas les objectifs de décarbonation fixés en Europe, ne concerne pas les pièces et composants : ce mécanisme va paradoxalement inciter à fabriquer ces pièces à l'extérieur de l'Europe, à un moindre coût car sans les mêmes contraintes de décarbonation, et à les importer ensuite dans l'UE sans taxe !

Avec l'arrivée de Donald Trump à la Maison Blanche et la volonté de plus en plus affirmée de la Chine d'exporter en Europe pour écouler ses surproductions, il est temps que l'Europe se réveille et ne soit pas le naïf du village global !



# L'adaptation aux aléas climatiques : un enjeu majeur pour l'industrie

Par Emmanuelle BROMET

Directrice du Développement durable d'Arkema

Le changement climatique représente un défi mondial majeur pour les entreprises, notamment les entreprises industrielles. Elles doivent s'adapter aux événements météorologiques extrêmes, à la hausse des températures et à la raréfaction des ressources naturelles. Si de nombreuses sociétés travaillent sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre (atténuation), il est tout aussi crucial de s'adapter aux conséquences du changement climatique (adaptation). Les entreprises doivent désormais prendre des mesures préventives pour réduire leurs risques, en particulier les risques de sécurité industrielle et de continuité d'activité.

Chez Arkema, des actions sont menées depuis des années pour réduire la vulnérabilité de ses actifs et augmenter la résilience de ses sites. Cela inclut l'adaptation des installations existantes pour les rendre moins vulnérables aux événements climatiques extrêmes. Une alternative de production est mise en place pour assurer une continuité de service aux clients. Des mesures de prévention, telles que le renforcement de l'organisation de gestion de crise et la formation des équipes, sont déployées.

Le changement climatique, avec ses effets de plus en plus manifestes, constitue un défi d'envergure mondiale. Les entreprises, en particulier celles opérant dans le secteur industriel, sont directement impactées par ces changements mais sont aussi des acteurs des différentes solutions à mettre en place. Les phénomènes météorologiques extrêmes, l'augmentation des températures, la raréfaction des ressources naturelles, sont aujourd'hui des défis connus qui sont souvent traités via l'évolution des réglementations environnementales et autres. Afin de gérer ces enjeux, l'adaptation aux aléas climatiques est devenue une nécessité, et doit, avec la décarbonation, s'imposer comme une priorité stratégique tant pour les acteurs publics que privés, en réponse à l'accélération de ces phénomènes.

Deux points essentiels sont à considérer :

- le changement climatique a des effets mondiaux, mais ses conséquences varient selon les secteurs économiques et les géographies ;
- l'atténuation et l'adaptation sont deux notions différentes mais encore souvent confondues par les entreprises. C'est ce que révèle une enquête de Sia Partners et de l'Ademe en 2023 : près de la moitié des 3 000 entreprises interrogées affirment mener des actions d'adaptation, alors qu'il s'agit souvent d'actions d'atténuation pour réduire des émissions de gaz à effet de serre.

## Contexte et enjeux pour les entreprises industrielles

Tout d'abord, il est important de rappeler la différence entre atténuation et adaptation face au changement climatique : l'atténuation vise à réduire les causes du changement climatique (émissions de gaz à effet de serre) tandis que l'adaptation consiste à s'ajuster aux conséquences déjà présentes ou à venir de ce changement. On distingue deux catégories d'aléas climatiques : les aléas climatiques aigus et les aléas chroniques : les aléas climatiques aigus sont des événements soudains et intenses (canicules, tempêtes, inondations) tandis que les aléas chroniques sont des changements graduels et durables (hausse des températures moyennes, élévation du niveau de la mer).

Derrière ces aléas climatiques se cachent différents types de risques pour l'entreprise, notamment des risques de sécurité, des risques sur la continuité d'activité, des risques financiers et des risques de réputation. Parmi les exemples d'impacts, peuvent être également cités la perturbation des chaînes d'approvisionnement, les dommages aux infrastructures et la pénurie de ressources.

Les conséquences économiques et opérationnelles des événements météorologiques extrêmes sont consi-

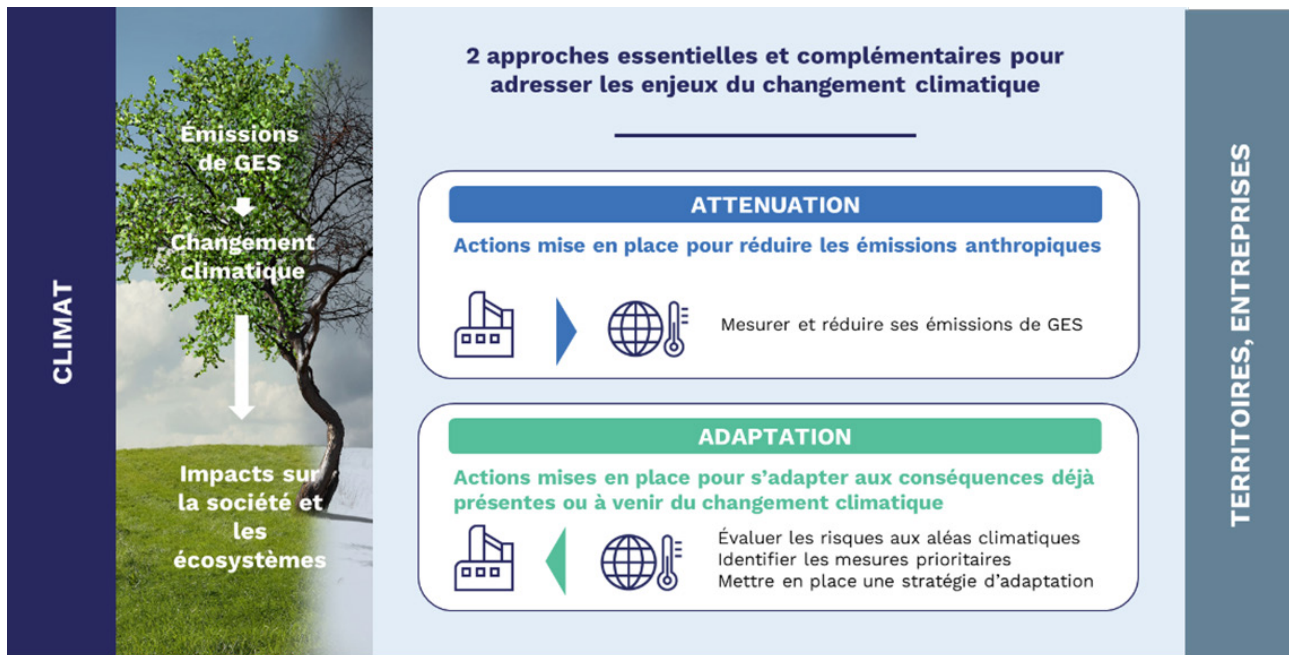


Figure 1 : Double enjeu d'atténuation et d'adaptation au changement climatique (Source : Arkema).

dérables. En 2022, ces événements auraient coûté 264 milliards de dollars à l'échelle mondiale, selon le Lancet Countdown 2023. D'après la compagnie d'assurance Swiss Re, le coût de l'inaction est également à prendre en compte. Investir dans l'adaptation permet assurément de diminuer les coûts à long terme associés aux dommages causés par les phénomènes climatiques.

Les politiques publiques seront clés pour accompagner les entreprises. Elles sont déjà fortement impliquées sur le volet atténuation *via* la mise en place d'objectifs de neutralité carbone à l'horizon 2050. C'est le cas du Pacte vert en Europe qui est décliné dans les États membres qui mettent en place, par exemple, des soutiens publics pour les projets de décarbonation des entreprises. *Via* le Pacte vert, le volet adaptation est également abordé, notamment pour accompagner les territoires européens qui sont les plus exposés aux impacts climatiques afin d'anticiper, par exemple, leur diversification économique et leur reconversion. C'est, par exemple, l'objectif du Fonds pour une transition juste.

Il était logique que les politiques publiques fussent jusque-là plus tournées vers une dynamique de décarbonation en imposant des objectifs sur les émissions de CO<sub>2</sub>. Les entreprises se sont ainsi essentiellement consacrées à la mise en place de stratégies pour les atteindre. Celles relatives à l'adaptation climatique sont en revanche beaucoup plus récentes. La France a, par exemple, adopté sa stratégie d'adaptation au changement climatique en 2006, c'est-à-dire sept ans avant que ne paraisse la stratégie d'adaptation de l'Union européenne qui a été réactualisée en 2021. Depuis, plusieurs Plans nationaux d'adaptation au Changement climatique (PNACC) ont été publiés. Le troisième est actuellement en consultation et il s'appuie sur une trajectoire de réchauffement de référence pour l'adapta-

tion au changement climatique (TRACC) publiée fin 2023 dont le scénario de référence vise une température de + 4°C en 2100. Définie à partir du scénario tendanciel selon les scientifiques du GIEC, elle doit servir de référence à toutes les actions d'adaptation menées en France.

Les politiques publiques relatives à l'adaptation ont d'abord eu comme objectif de sensibiliser, en parallèle d'actions sur l'atténuation, les différentes parties prenantes, dont les entreprises, sur le principe de se préparer au réchauffement climatique. Depuis moins longtemps, elles deviennent plus « prescriptives ». C'est, par exemple, le cas de la CSRD qui oblige au niveau européen d'intégrer l'adaptation au changement climatique dans le *reporting* extra-financier pour les entreprises concernées. En France, les Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPRN) ou les Schémas d'aménagement et de gestion des eaux (SAGE) obligent les collectivités et les entreprises à prendre en compte les risques climatiques dans leurs projets. Quant aux financements aujourd'hui disponibles, notamment par Horizon Europe et plus particulièrement la Mission Adaptation au Changement climatique<sup>1</sup>, ils sont très orientés vers les collectivités. L'arsenal réglementaire est en train de se mettre en place, mais avant lui il est important de favoriser la sensibilisation à travers l'information et l'échange de bonnes pratiques *via* la mise en place de réseaux. Certains guides ont d'ailleurs été publiés pour aider les entreprises dans leur parcours d'adaptation au changement climatique qui n'est pas toujours simple mais qui devient incontournable, puisque ce risque doit faire partie aujourd'hui de la cartographie des risques d'une entreprise.

<sup>1</sup> <https://www.horizon-europe.gouv.fr/mission-adaptation-au-changement-climatique-et-aux-transformations-sociales-27800>

## Chez Arkema, le passage à l'action pour s'adapter au changement climatique

Chez Arkema, l'adaptation aux aléas climatiques est un sujet sur lequel nous travaillons depuis plusieurs années et qui est géré de manière très opérationnelle. Nos actions visent à réduire la vulnérabilité de nos actifs et de nos activités aux effets présents et attendus du changement climatique et à augmenter notre résilience. L'industrie de la chimie est très en alerte sur les risques et la sécurité du fait de la nature des matières premières que l'on utilise, des produits que l'on fabrique et des procédés. Notre ADN est de limiter au maximum le risque industriel.

Dans le cas précis de l'adaptation, notre objectif est donc de déployer un plan sur nos sites les plus exposés et vulnérables pour renforcer les actions déjà menées dans les différentes entités du groupe, notamment à travers :

- l'adaptation des installations existantes pour les rendre moins sensibles et plus résilientes aux événements climatiques extrêmes ;
- l'intégration des projections des événements climatiques extrêmes dans la conception des nouvelles installations ou des projets de modernisation des sites.

En parallèle de ces actions, nous faisons en sorte de disposer d'une alternative de production pour la majorité de nos sites au sein de notre groupe afin d'assurer une continuité de service aux clients.

Nous avons lancé une étude d'évaluation des risques climatiques sur la période 2021-2050 pour nos sites industriels et centres de R&D, selon leur niveau d'exposition et leur vulnérabilité, sur la base des scénarios IPCC RCP 2.6 et RCP 8.5, correspondant à un réchauffement climatique à la fin du siècle respectivement au-dessous de 2°C et au-dessus de 4°C. Cette étude complète nos données historiques et a permis de consolider la liste des principaux sites les plus exposés du Groupe, dont la plupart étaient déjà identifiés. Pour ces sites en particulier, plusieurs mesures de prévention ont été déployées comme un renforcement de l'organisation de gestion de crise, notamment les plans d'urgence et l'entraînement des équipes de crise. En effet, une adaptation efficace au changement climatique passe par la formation de ses salariés en tenant compte des spécificités de chaque site. Les autres actions consistent, par exemple, à protéger les postes électriques, isoler les équipements critiques, surélever les pompes, renforcer les protections hivernales des systèmes incendie, ou encore mettre en place des parois coupe-vent ou des nouveaux systèmes de vannage.

Certains sites ont bénéficié d'études spécifiques encore plus poussées. C'est le cas en 2022 du site de Changshu en Chine. Cela nous a permis de simuler les effets d'inondations sur le site et de bien vérifier le dimensionnement requis des systèmes de drainage en

cas de phénomènes extrêmes tels que projetés à un horizon de 50 ans.

La région Amériques, étant une des régions les plus exposées à d'importants événements climatiques extrêmes ces dernières années, est en avance sur l'élaboration des plans d'adaptation. Nous y avons développé une démarche d'analyse systématique d'exposition aux risques physiques climatiques et d'identification de mesures d'adaptation nécessaires. Une boîte à outils interne de planification et d'intervention en cas de conditions météorologiques extrêmes a été déployée auprès des sites industriels aux États-Unis, ainsi qu'au Canada, au Mexique, au Brésil et en Argentine. Cette boîte à outils a été conçue de manière à s'assurer du bon fonctionnement des protections essentielles, telles que l'alimentation de secours, lors d'événements climatiques extrêmes.

Cette différence d'approche montre bien que l'exposition aux aléas climatiques peut être variée et multiple selon les régions du monde. Au sein d'Arkema, avec plus de 140 sites industriels, nous défendons le principe d'une adaptation ajustée à chaque situation. Ce processus est complexe et nécessite une réflexion par grandes régions.

Pour les nouveaux projets majeurs ou les projets de modernisation d'installations, par la nature de nos activités et par nos emplacements, nous avons depuis plusieurs années pris en compte dans leur *design* le risque d'inondations, de grand froid, ou encore de tempête. De plus, une analyse approfondie des potentiels impacts liés au changement climatique et un plan d'adaptation associé sont désormais systématiquement réalisés dès les premières phases de conception des projets majeurs afin de renforcer le *design* des installations face au risque aigu potentiel identifié.

Nous avons par ailleurs des actions spécifiques concernant la ressource en eau *via* une approche globale visant à réduire les prélèvements tout en mettant en place une gestion spécifique sur chaque site. Cette gestion est déterminée par le niveau d'exposition et de vulnérabilité actuel et futur au stress hydrique. Réduire les prélèvements en eau passe par l'optimisation et la discipline des opérations, avec de nombreux points communs avec l'énergie car le refroidissement et la production de vapeur sont souvent les premières utilisations de l'eau sur les sites industriels du secteur de la chimie. Par ailleurs, nous mettons l'accent sur la réutilisation de l'eau, incluant non seulement les applications relativement simples telles que la réfrigération, mais aussi la réutilisation des eaux résiduaires traitées. En particulier, nous avons évalué l'ensemble de nos sites en fonction des enjeux hydriques et leur avons attribué un niveau de priorité dans la gestion des ressources en eau. Ce classement repose à la fois sur les perspectives d'aggravation de la situation hydrique et sur l'importance économique de l'eau pour chaque site. Il prend en compte non seulement le coût d'approvisionnement et d'utilisation de l'eau, mais également les pertes potentielles liées à une pénurie d'eau, autrement dit le coût de l'eau manquante. Ce calcul permet d'orienter les investissements d'adaptation nécessaires.

Les prochaines étapes vont consister à renforcer la résilience sur toute notre chaîne de valeur. Cela commence par la collaboration avec nos fournisseurs, avec qui il est essentiel de coconstruire des solutions d'adaptation, notamment avec ceux de l'énergie. Ensuite, pour assurer la sécurité des approvisionnements, il est clé d'en diversifier les sources et, si nécessaire, de mettre en place des stocks de sécurité pour certaines matières premières. La gestion de la chaîne logistique doit aussi être optimisée, *via* des itinéraires de transport pour réduire l'exposition aux risques climatiques et le développement des systèmes de suivi en temps réel.

En parallèle, les partenariats avec les collectivités locales sont primordiaux puisque la mise en œuvre des projets d'adaptation doit se faire à l'échelle territoriale. Dans tous les cas, il est important de rester réactif et d'élaborer rapidement les ajustements nécessaires en fonction des évolutions climatiques et technologiques.

Enfin, un comité de pilotage dédié à l'adaptation climatique vient d'être mis en place au niveau du groupe. L'objectif est de coordonner nos efforts et de définir des indicateurs de suivi pour mesurer les progrès sur les actions à décliner.

## Conclusion

L'adaptation au changement climatique n'est plus une option, mais une obligation pour les entreprises industrielles. En identifiant nos vulnérabilités, en mettant en œuvre des mesures de résilience appropriées et en se conformant aux politiques publiques, nous pouvons non seulement atténuer nos risques, mais également réduire nos coûts à long terme.

À l'instar d'Arkema, de nombreuses grandes entreprises historiquement concernées par la question de l'adaptation en raison de la nature de leurs activités utilisent des outils de diagnostic du risque climatique, classés par grande famille de risques et par géographie. Par ailleurs, en ce qui concerne la finance durable et le *reporting* extra-financier, nous nous devons d'adopter une approche anticipative, intégrant le risque climatique dans nos exercices de *reporting* ainsi que dans nos scénarios de projection financière. Les entreprises de taille intermédiaire (ETI) et les petites et moyennes entreprises (PME) vont devoir également s'approprier progressivement cette thématique, mais cela va très probablement nécessiter le soutien des grands groupes et de politiques publiques claires et cohérentes pour les aider à mieux appréhender les risques physiques climatiques.

# L'approche de Saint-Gobain pour l'adaptation au changement climatique

Par Emmanuel NORMANT

Directeur du Développement durable du groupe Saint-Gobain

Les conséquences du changement climatique peuvent être multiples pour un groupe de la taille de Saint-Gobain : de multiples risques, sur les *assets*, la chaîne d'approvisionnement, les conditions de travail, que ce soit du fait d'évènements extrêmes, de canicules, du changement du régime des eaux... Mais, également, des évolutions à venir des marchés servis par Saint-Gobain obligeant à repenser les solutions proposées. La prise de conscience des effets du changement climatique se généralise au sein des diverses fonctions du groupe et les outils existants de gestion intègrent de manière de plus en plus systématique ces conséquences.

**S**aint-Gobain, créé en 1665, est un groupe de 160 000 collaborateurs, 50 Mds€ de chiffre d'affaires et est présent industriellement dans 76 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, mais pas uniquement. Les produits fabriqués et vendus sont extrêmement variés avec des procédés de toute nature, citons par exemple :

- la production de verre plat, de fibre de verre ou de laine de verre pour l'isolation, un procédé en flux continu, énérgo-intensif, avec des fours fonctionnant à plus de 1 300°C. Un four verrier ne peut pas être arrêté brutalement ;
- la production de plaque de plâtre, un procédé en flux continu, mais plus flexible ;
- la production de mortiers industriels, dans de petites entités réparties géographiquement ;
- la transformation du verre pour le vitrage automobile, Saint-Gobain est un fournisseur critique de l'industrie automobile ;
- la distribution des matériaux de construction dans des réseaux d'agence (Point.P...) répartis au plus près des territoires.

Ce sont plus de 1 000 usines de toutes tailles, plus de 3 000 agences de distribution des matériaux de construction. Les risques liés au changement climatique sur les opérations de Saint-Gobain sont donc de natures très diverses :

- ce sont les risques liés à nos *assets*, actuels ou futurs ;

- avec une problématique particulière liée à l'accès à l'eau, notamment pour les équipements nécessitant d'être refroidis ;
- ce sont les questions liées à l'organisation du travail, que ce soit lors d'un évènement extrême, ou dans des perspectives d'augmentation des températures ;
- enfin, ce sont des questions relatives à la résilience de nos chaînes d'approvisionnement.

## Une mobilisation à la suite de divers évènements extrêmes

2018, dans le désert égyptien, proche de la mer Rouge : un orage crée une violente inondation dans la zone de Ain Soukhna. Saint-Gobain exploite un four verrier dans la zone, le site se retrouve sous l'eau. Grâce à la mobilisation de nos équipes, le four verrier n'est pas perdu. Un tel évènement n'avait pas été anticipé.

2021, en Allemagne : montée rapide du Rhin inondant un site verrier dans la région de Stolberg. Là encore, grâce à la mobilisation de nos équipes, le four verrier est préservé. La montée des eaux dépassait, de loin, les scénarios historiques centennaux.

En parallèle, ces dernières années, on constate une multiplication des sinistres liés à des évènements climatiques, inondations, tempêtes, grêle, qui sont désormais très majoritaires dans notre sinistralité, là où les incendies étaient majoritaires il y a 20 ans.

Ces évènements, particulièrement brutaux, nous ont conduits à revoir très profondément la manière dont les évènements extrêmes étaient pris en compte dans nos études d'évaluation des risques. Saint-Gobain a ainsi pris l'attache d'un tiers pour compléter les scénarios

historiques habituellement utilisés par des scénarios prédictifs. En commençant par les installations les plus exposées et présentant les risques les plus importants, notamment les fours verriers, des audits sur site ont été réalisés pour identifier les équipements les plus critiques et les mettre en sécurité. Pour citer un exemple, les points bas de ces sites ont été caractérisés, et les armoires électriques installées en point bas ont été déménagées vers des zones moins exposées.

Par ailleurs, nos usines disposent de plans de continuation d'activité (*business continuity plan*), qui sont des documents qui décrivent les risques et les actions à mener lors de la survenue de ces risques. Ils intègrent désormais les risques prédictifs, la manière de s'organiser en cas d'évènement extrême comme une inondation, les installations à avoir sur site pour être prêt le cas échéant – par exemple, dès lors qu'un four verrier ne peut pas être arrêté brutalement, et si l'ensemble de la zone autour d'une usine est inondée, il faut pouvoir avoir sur site les installations qui permettent aux équipes spécialistes de la conduite de nos fours de rester plusieurs jours sur place.

Enfin, les scénarios prédictifs sont désormais systématiquement utilisés en cas de nouveau projet.

## Les risques liés au stress hydrique

Une des conséquences d'ores et déjà très tangible du changement climatique est celui du stress hydrique. Les zones à fort ou très fort stress hydrique (selon la méthodologie Aqueduct du WRI) se multiplient dans le monde. Les usines de Saint-Gobain sont dépendantes de l'eau, soit comme fluide de refroidissement, notamment pour les fours verriers, soit parce que l'eau intervient dans certains de nos procédés au cours des réactions chimiques de fabrication de nos produits – c'est le cas, par exemple, pour la fabrication de plaque de plâtre.

Pour faire face aux risques liés au stress hydrique, Saint-Gobain s'est doté de deux objectifs :

- une réduction de 50 % de nos prélèvements en eau entre 2017 et 2030 ;
- pas de rejets en eau (et donc mise en circuit fermé et réduction drastique des prélèvements) dans les zones à très fort stress hydrique – une trentaine d'usines de Saint-Gobain, principalement situées en Inde et au Moyen-Orient, sont déjà à « 0 » rejets en eau, ce qui minimise les prélèvements et préserve donc la ressource.

Pour ce qui est de l'eau utilisée comme fluide de refroidissement, les solutions techniques existent, il s'agit de mettre en boucle fermée, avec l'installation de tours de refroidissement. La plupart de nos sites sont déjà en boucle fermée, les investissements sont en cours pour les autres et la boucle fermée est désormais un standard pour tout nouveau projet.

Pour ce qui est de l'eau de procédé, cela nécessite de repenser certains de nos procédés en comprenant ce

que pourrait être une usine « zéro eau » ou « très basse consommation en eau », dans la même logique de ce que peut être une usine « zéro ou bas carbone ».

## L'organisation du travail

Au-delà des questions d'organisation du travail en cas de survenue d'évènement extrême comme une inondation déjà évoquée, les prochaines années vont voir se multiplier les vagues de chaleur dans beaucoup de parties du monde. Cela implique d'anticiper la manière dont les équipes peuvent travailler en cas de forte chaleur.

Dans la plupart de nos usines, le travail se fait en intérieur. Dans certains cas, les postes occupés sont déjà exposés aux fortes chaleurs, c'est le cas de tous les postes à proximité de nos fours. La manière de gérer un poste exposé est déjà bien connue de nos équipes et des standards existent – durée du travail exposée, pause en zone froide, équipements de ventilation collectifs ou individuels, hydratation régulière... Les bonnes pratiques sont de plus en plus largement partagées au sein du groupe. Certains pays sont, bien évidemment, concernés au premier chef avec d'ores et déjà une bonne partie de l'année avec des températures élevées – on peut penser à l'Inde ou au Moyen-Orient. Ces pays ont mis en place depuis longtemps des conditions de travail dans les usines et les bureaux qui permettent de faire face à ces fortes chaleurs.

Les risques de forte chaleur sont plus nouveaux dans certains lieux, c'est le cas par exemple en France, avec des équipes qui peuvent être souvent en extérieur, comme dans les zones de stockage des agences de distribution des matériaux de construction. C'est encore plus le cas pour les équipes de nos clients qui interviennent sur les chantiers de construction. Là aussi, les bonnes pratiques se multiplient et sont largement partagées – par exemple, certaines de nos agences ont adaptées leurs horaires de travail lors de canicules pour répondre à la demande des clients préférant les horaires matinaux ou tardifs « à la fraîche ».

Sur ces questions d'organisation du travail, la réalité est, dans tous les cas, très locale. Rien qu'en France, les risques et conséquences sont très différents lorsque l'on est à Lille ou à Toulouse. C'est au niveau local que les choix doivent être faits. Des règles « groupe », généralisables, n'ont guère de sens. Il faut, en revanche, s'assurer que l'anticipation ait bien lieu.

## La résilience de la chaîne d'approvisionnement

Février 2021 au Texas : une vague de froid conduit à des interruptions massives de fourniture d'électricité sur une vaste étendue.

2011 en Thaïlande : une inondation met en péril la production mondiale d'équipements électroniques, des éléments critiques de la chaîne de valeur des semi-conducteurs étant concentrés dans la zone touchée.

Ces deux exemples, parmi d'autres, démontrent la vulnérabilité de certaines chaînes d'approvisionnement, que ce soit au niveau local ou au niveau global. Ces vulnérabilités ne sont pas une nouveauté – les risques géopolitiques sont, par exemple, intégrés de longue date dans la manière dont les entreprises analysent leurs risques. Le changement climatique vient encore renforcer la nécessité de bien comprendre ces vulnérabilités et de comprendre comment les atténuer, notamment *via* des redondances et la multiplication des fournisseurs quand cela est possible.

Un groupe comme Saint-Gobain s'est engagé depuis quelques années dans un dialogue avec ses fournisseurs sur les questions d'atténuation du changement climatique – les fournisseurs de Saint-Gobain sont en effet une composante importante de l'empreinte carbone du groupe au sein du scope 3. Des « journées fournisseurs » sont désormais régulièrement organisées pour informer nos fournisseurs sur la stratégie carbone du groupe et les accompagner dans leur feuille de route. L'adaptation au changement climatique sera, à l'avenir, partie intégrante de cette relation. Cela reste encore, toutefois, une question à construire.

## L'adaptation au changement climatique comme opportunité

Au-delà du risque sur nos opérations, les questions liées à l'adaptation au changement climatique vont transformer nos marchés. C'est particulièrement le cas pour le marché de la construction, avec, notamment, la multiplication des vagues de chaleur.

Un groupe comme Saint-Gobain est présent dans de multiples zones géographiques et commercialise donc déjà des solutions adaptées à tous les climats possibles. Les solutions techniques existent, par exemple, pour adapter nos bâtiments à de fortes chaleurs – par exemple, les solutions d'isolation contre le froid isolent également contre le chaud, elles apportent la résilience nécessaire aux bâtiments. Cependant, la façon d'installer ces solutions peut être différente dans des climats majoritairement froids et humides, froids et secs, chauds et humides, chauds et secs. Il faut, en particulier, s'assurer que les risques d'humidité sont correctement appréhendés lors de l'installation de ces solutions pour éviter de futures pathologies pour le bâtiment. Ce sont toutes les questions relatives à la physique qui doivent être revues et adaptées à un climat changeant. Les équipes de Saint-Gobain y travaillent.

Les conséquences du changement climatique sont multiples, fortes chaleurs, mais aussi tempêtes, fortes pluies, inondations. Dans tous les cas, des solutions techniques existent pour y faire face, celles-ci sont d'ores et déjà dans le portefeuille de Saint-Gobain, ou peuvent justifier des compléments de gammes dans les zones géographiques concernées. Des développements sont, par exemple, en cours, pour faciliter le développement de toitures ou façades végétalisées, pour développer des solutions de fixation renforcées pour les façades, pour identifier des solutions de ventilation active ou passive.

Mais c'est aussi former nos équipes de ventes et de *marketing* au changement climatique pour qu'elles puissent proposer les meilleures solutions à nos clients en anticipation. Et alimenter l'innovation du groupe.

## Une transformation d'ampleur de la chaîne de valeur du bâtiment

C'est, en effet, l'ensemble de la chaîne de valeur du bâtiment qui doit être transformée pour être plus durable et résiliente. La prise de conscience de l'importance du changement climatique dans cette transformation en est à ses débuts. Saint-Gobain cherche à mobiliser l'ensemble de la chaîne de valeur vers une construction plus durable. Pour ce faire, Saint-Gobain a mis en place un observatoire de la construction durable<sup>1</sup> qui comprend :

- un baromètre annuel pour mieux comprendre comment la construction durable est perçue ;
- un magazine mensuel sur la construction durable ;
- des "sustainable construction talk" permettant de mobiliser les acteurs concernés sur les enjeux clés.

Lors de la Climate Week à New York en septembre 2024, le thème choisi pour le "talk" était celui de l'adaptation. L'ensemble des participants ont reconnu la criticité du sujet, les enjeux clés, notamment autour de l'assurabilité, du financement, des normes. Ces travaux se poursuivront avec l'ensemble des acteurs concernés.

## Conclusion

Depuis quelques années, en parallèle à tous les travaux pour réduire son empreinte carbone et celle de ses clients, Saint-Gobain s'est mobilisé pour comprendre comment appréhender les conséquences du changement climatique. Ce qui en ressort n'est pas tant la nécessité d'outils fondamentalement nouveaux, mais plutôt comment les outils existants doivent évoluer pour intégrer correctement ces conséquences – évaluation des risques, plans de continuité d'activité, analyse de vulnérabilité de nos fournisseurs, organisation du travail, science du bâtiment, partage de bonnes pratiques. Un tel sujet nécessite une approche collective au sein de l'entreprise, mais également au sein de son écosystème. L'adaptation au changement climatique est, finalement, une bonne façon de revisiter ses certitudes et de faire évoluer ses façons de travailler pour plus de résilience.

<sup>1</sup> <https://www.saint-gobain.com/fr/observatoire-construction-durable>

# L'adaptation de l'industrie au changement climatique, l'exemple de Michelin

Par Antoine SAUTENET et Francis RENAULT

Michelin

Au regard du réchauffement accéléré du climat, l'adaptation aux risques physiques climatiques est un impératif pour toute organisation. C'est le cas naturellement de Michelin. En tant qu'acteur industriel et mondial, de nombreux risques physiques, à la fois systémiques et multidimensionnels, touchent le groupe. C'est la raison pour laquelle Michelin a tenté d'anticiper ces enjeux au travers d'une vaste étude d'exposition aux risques qui s'est accompagnée de la formalisation d'une politique d'adaptation ambitieuse, structurée autour de principes. La planification des grandes actions est en cours.

## Introduction

### Accélération du réchauffement climatique et dépassement des limites planétaires

Le changement climatique est un des neuf processus qui garantissent la stabilité et la résilience du système Terre – les limites planétaires<sup>1</sup>. Si le climat de la planète connaît des fluctuations, depuis l'ère préindustrielle (1850), la composition de l'atmosphère s'est modifiée en raison des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique dont le cumul dans l'atmosphère provoque un réchauffement des différents compartiments environnementaux (atmosphère, terres, mers, glaces).

La température atmosphérique mondiale moyenne a déjà augmenté d'au moins 1,1°C au cours des 130 dernières années. Dans ce contexte, 2024 marque un tournant avec une température atmosphérique mondiale moyenne 1,6°C plus élevée que le niveau préindustriel, tout en étant la première année qui dépasse le seuil de 1,5°C<sup>2</sup>. La forte hausse du réchauffement planétaire observée depuis 1950 ne peut plus s'expliquer par les fluctuations climatiques naturelles selon les rapports scientifiques du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Il est désormais

reconnu que ce phénomène est dû aux gaz à effet de serre, tels que le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>)<sup>3</sup>, qui sont rejetés dans l'atmosphère lors de la combustion des énergies fossiles comme le charbon, le pétrole et le gaz, ainsi que lors de l'utilisation des sols, par exemple avec le déboisement des forêts tropicales. Ces processus accentuent l'effet de serre, pointant sans ambiguïté les émissions anthropiques<sup>4</sup>.

Les effets du changement climatique sont non seulement déjà visibles mais ils devraient aussi s'aggraver à moyen terme<sup>5</sup>. Le réchauffement climatique se poursuit sans faiblir<sup>6</sup>, alors que le monde et nombre d'États le composant ne sont pas sur la bonne voie pour atteindre l'objectif de l'Accord de Paris, à savoir « limiter l'augmentation de la température moyenne de la planète en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindus-

<sup>1</sup> Rockström, J., Steffen, W., Noone, K. *et al.* (2009), A safe operating space for humanity. *Nature* 461, pp. 472-475, <https://doi.org/10.1038/461472a>. Richardson K, Steffen W, Lucht W, Bendtsen J, Cornell SE, Donges JF, Drüke M, Fetzer I, Bala G, von Bloh W, Feulner G, Fiedler S, Gerten D, Gleeson T, Hofmann M, Huiskamp W, Kummu M, Mohan C, Nogués-Bravo D, Petri S, Porkka M, Rahmstorf S, Schaphoff S, Thonicke K, Tobian A, Virkki V, Wang-Erlandsson L, Weber L, Rockström J. Earth beyond six of nine planetary boundaries. *Sci Adv.* 2023 Sep 15;9(37):eadh2458. doi: 10.1126/sciadv.adh2458. Epub 2023 Sep 13. PMID: 37703365; PMCID: PMC10499318.

<sup>2</sup> Copernicus Climate Change Service (C3S) bulletin – December 2024.

<sup>3</sup> The Cenozoic CO<sub>2</sub> Proxy Integration Project (CenCO2PIP) Consortium\*† (2023), "Toward a Cenozoic history of atmospheric CO<sub>2</sub>", *Science*, 382, eadi5177(2023), DOI:10.1126/science.adi5177.

<sup>4</sup> Cécile Renouard, Rémi Beau, Christophe Goupil & Christian Koenig (coords.) (2020), *Manuel de la grande transition – Les liens qui libèrent*, Paris.

<sup>5</sup> James E Hansen, Makiko Sato, Leon Simons, Larissa S Nazarenko, Isabelle Sangha, Pushker Kharecha, James C Zacher, Karina von Schuckmann, Norman G Loeb, Matthew B Osman, Qinjian Jin, George Tselioudis, Eunbi Jeong, Andrew Lacis, Reto Ruedy, Gary Russell, Junji Cao & Jing Li (2023), "Global warming in the pipeline", *Oxford Open Climate Change*, Volume 3, Issue 1, 2023, kgad008, <https://doi.org/10.1093/oxfclm/kgad008>

<sup>6</sup> Les huit dernières années ont été les plus chaudes jamais enregistrées dans le monde. Mais 2023 a été marqué par un réchauffement anormal de + 0,2°C, voir Gavin Schmidt (2024), "Climate models can't explain 2023's huge heat anomaly – we could be in uncharted territory", *Nature*, 19 March 2024, [https://www.nature.com/articles/d41586-024-00816-z?utm\\_source=cbnewsletter&utm\\_medium=email&utm\\_term=2024-03-20&utm\\_campaign=Daily+Briefing+20+03+2024](https://www.nature.com/articles/d41586-024-00816-z?utm_source=cbnewsletter&utm_medium=email&utm_term=2024-03-20&utm_campaign=Daily+Briefing+20+03+2024)



triels ». À titre d'exemple, la demande mondiale de charbon a atteint un nouveau record en 2024<sup>7</sup>.

### L'adaptation au changement climatique, un impératif catégorique pour toute organisation

L'action collective est pourtant essentielle pour éviter des changements irréversibles dans les systèmes terrestres et protéger la vie telle que nous la connaissons. Dans ce cadre, chacun – individu, entreprises, États – doit intégrer le « risque climat » – à la fois urgent, global et systémique –, qui peut se décomposer en deux types de risques : risques de transition et risques physiques<sup>8</sup>. Les risques de transition sont les risques dus à la fois à la mise en place d'une stratégie de réduction des gaz à effet de serre et son implication sur la stratégie et le modèle d'affaires d'une organisation. Les risques physiques sont les conséquences directes et tangibles du changement climatique.

Ce sont des manifestations météorologiques amplifiées par le réchauffement climatique. Ils peuvent être aigus ou chroniques. Les risques aigus comprennent notamment les sécheresses, les vagues de chaleur, les inondations, les précipitations extrêmes, les incendies de forêt, etc. qui s'intensifient avec le changement climatique. La hausse des températures, le stress hydrique, l'expansion des ravageurs et des maladies tropicales dans les zones tempérées et une perte accélérée de la biodiversité sont considérés comme des risques chroniques.

L'évolution de la fréquence et/ou de l'intensité des risques physiques climatiques expose les personnes et les biens à des conséquences qui s'amplifient. Cela concerne les sites et le personnel d'un groupe comme Michelin, et plus généralement l'ensemble de sa chaîne de valeur. Plus un aléa climatique se produit de manière répétée dans le temps, plus une entreprise sera exposée à un risque physique élevé. Dans cette perspective, il est utile de bien saisir la nature des risques pour le groupe Michelin, avant d'appréhender les modalités d'action de l'entreprise.

### La caractérisation des risques physiques liés au changement climatique au sein du groupe Michelin

En tant qu'acteur industriel mondial, le groupe Michelin a des interactions significatives avec l'environnement naturel tout au long du cycle de vie de ses produits et services. À ce titre, le groupe est soumis à des risques physiques liés au changement climatique (risques aigus et chroniques tels que définis dans la nomenclature

du TCFD – Task Force on Climate Related Financial Disclosures)<sup>9</sup>.

La dimension mondiale du groupe, aussi bien au niveau de ses implantations industrielles que de sa chaîne d'approvisionnement, l'expose aux conséquences climatiques variant selon la localisation géographique.

### Risques pour les actifs de Michelin

Michelin a des activités dans le monde entier : plus de 130 000 personnes et 131 sites de production (pneumatiques et matériaux de haute technologie). Ces activités pourraient être considérablement affectées par une fréquence ou une intensité accrue des vagues de chaleur, tempêtes et ouragans, inondations, sécheresses et autres risques naturels exacerbés par le changement climatique. Ne pas s'adapter à ces conditions pourrait entraîner des interruptions d'activité, des dommages matériels et des risques pour la santé et la sécurité des personnes.

La nature de ces risques est en effet pluridimensionnelle. Elle doit en particulier prendre en considération la santé physique et mentale des employés sur site et hors site, la continuité d'activité, la sûreté aux niveaux local, régional et international, le fonctionnement des procédés et des supports aux procédés, ou encore la résistance et disponibilité des bâtiments et des infrastructures.

Dans cette perspective, un tel risque pourrait se matérialiser par exemple par l'incapacité du personnel à se rendre sur son lieu de travail en raison d'événements climatiques extrêmes (inondations, canicules, etc.) ou par l'indisponibilité d'infrastructures importantes (routes, ports, réseau électrique, gaz et cogénération).

### Risques dans la chaîne de valeur

La diversité des approvisionnements et l'interdépendance entre les nombreux facteurs nécessaires à la production de ses produits (infrastructures, énergie, disponibilité du personnel, moyens de transport, etc.) donnent un caractère systémique aux conséquences du changement climatique. Ce sujet est d'autant plus critique que le groupe Michelin est fortement dépendant de la nature et de la filière caoutchouc naturel, et dispose également d'une forte ambition dans le domaine des matières biosourcées et recyclées<sup>10</sup>.

Globalement, pour l'ensemble des matières premières utilisées par le groupe<sup>11</sup>, le changement climatique peut

<sup>7</sup> IAE – World Energy Outlook 2024.

<sup>8</sup> Carbone4 (2022), « Les 2 types de risques climatiques pour une organisation », 3 novembre 2022, <https://www.carbone4.com/article-2types-risques-climatiques>.

<sup>9</sup> Task Force on Climate-Related Financial Disclosures | TCFD), <https://www.fsb-tcfd.org/>, voir Palutikof J. P., Street R. B. & Gardiner E. P. (2019), "Decision support platforms for climate change adaptation: an overview and introduction", *Climatic Change*, 153, pp. 459-476, <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02445-2>

<sup>10</sup> L'ambition du groupe Michelin est d'utiliser 100 % de matériaux recyclés ou renouvelables dans ses produits en 2050, avec un engagement de 40 % en 2030. Voir Document d'Enregistrement Universel du groupe Michelin (2023), « Leader technologique au service du mouvement | Michelin », <https://www.michelin.com/groupe>

<sup>11</sup> Dans la composition d'un pneumatique entrent en jeu environ 200 produits et composants différents, dont certains très spécifiques.

augmenter le coût de l'extraction et de la production des matières premières et avoir un impact sur leur disponibilité. Par ailleurs, les infrastructures de production peuvent être endommagées, ce qui entraîne une augmentation des coûts. Les événements météorologiques extrêmes peuvent également entraîner des pénuries de matières premières et une hausse de leurs prix.

En ce qui concerne le caoutchouc naturel plus spécifiquement, le changement climatique a un fort impact sur quatre paramètres climatiques clés pour la production de caoutchouc naturel : la température moyenne, les précipitations cumulées, le nombre de mois secs et le nombre de mois froids.

Une étude commandée par Michelin<sup>12</sup> identifie un effet potentiel majeur et global du réchauffement climatique sur la production de caoutchouc naturel, notamment sur la période 2050-2100, susceptible de diminuer le potentiel de rendement de l'ensemble des zones actuelles de 5 à 20 % dans le scénario d'émission de gaz à effet de serre « SSP2 » ("Middle of the Road" Shared Socioeconomic Pathways) du GIEC<sup>13</sup>, et davantage dans les zones plus sèches.

Le changement climatique est également susceptible d'augmenter la durée de la période d'immaturité en affectant la croissance immature, car les saisons sèches devraient être plus longues et/ou plus intenses. Les sécheresses extrêmes, les vagues de chaleur, le déficit hydrique, ainsi que les fortes pluies et les inondations accrues par le changement climatique, seront associés à une augmentation de la mortalité de l'hévéa ou à une baisse des rendements. En Thaïlande, en 2024, par exemple, de fortes pluies ont causé des pertes de récoltes. Les changements dans les conditions climatiques pourraient également avoir des impacts sur l'endroit où des ravageurs et des maladies spécifiques peuvent se propager et affecter les zones de production.

Par ailleurs, les délais et les coûts de logistique peuvent être particulièrement affectés par les risques physiques liés au changement climatique. Les conditions météorologiques extrêmes (canicules) et la perturbation du cycle de l'eau (stress hydrique) peuvent endommager les infrastructures de transport et perturber les chaînes d'approvisionnement, entraînant des retards de livraison et une augmentation des coûts logistiques, avec un impact potentiel sur le chiffre d'affaires de Michelin. De plus, la chaîne de valeur de Michelin présente de nombreux intrants interdépendants nécessaires à la fabrication et à la distribution de ses produits (infrastructures, énergie, disponibilité de la main-d'œuvre, systèmes de transport, etc.) qui augmentent la gravité du risque ainsi que la présence de points de défaillance uniques<sup>14</sup>.

<sup>12</sup> FOREST AI & CIRAD (2022), « Cartographie des impacts du changement climatique sur le caoutchouc naturel ».

<sup>13</sup> Sixth Assessment Report – IPCC, <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>

<sup>14</sup> ADEME (2022), « Risques physiques et adaptation au changement climatique de l'industrie - Focus Transports », avril 2022, <https://bibliothèque.ademe.fr/changement-climatique-et-energie/5348-risques-physiques-et-adaptation-au-changement-climatique-de-l-industrie-focus-transports.html>

## Les modalités d'action du groupe Michelin en matière d'adaptation

Face à la multiplication des événements climatiques extrêmes pouvant aller jusqu'à causer des ruptures d'activités, le groupe vise à se donner les moyens d'une stratégie climat résiliente et réaliste.

La stratégie climat s'articule autour de deux axes :

- la transition vers zéro émission nette à travers la décarbonation de la chaîne de valeur du groupe et la contribution à une mobilité bas carbone des utilisateurs grâce à des produits à haute efficacité énergétique ;
- l'adaptation aux risques physiques dus au changement climatique.

Dans le cadre du volet adaptation, une étude d'exposition aux risques mentionnés *supra* a été effectuée, permettant de poser les bases d'une politique d'adaptation pour le groupe.

### Une vaste étude d'exposition aux risques

Michelin a identifié et évalué ses impacts, risques et opportunités liés au climat au moyen d'une étude de l'exposition au climat actuel et aux conditions climatiques anticipées en 2030 et 2050 d'environ 720 sites Michelin ou d'intérêt pour Michelin, incluant des sites de distribution, et d'environ 230 sites de fournisseurs clés de matières premières.

Les principaux facteurs de sélection des sites Michelin sont la présence du personnel et la criticité pour la continuité de l'activité. Le principal facteur de sélection des sites des fournisseurs de matières premières est l'importance de la continuité des activités. Les évaluations sont basées sur les modèles désagrégés SPP2-4.5 (réchauffement mondial moyen estimé en 2100 : 2,7°C) et SSP5-8.5 (réchauffement mondial moyen estimé en 2100 : 4,4°C) du GIEC<sup>15</sup>. Les aléas climatiques considérés concernent notamment la chaleur (sèche et humide), le stress hydrique / sécheresse, les inondations, les vents forts et les glissements de terrain. Les niveaux d'exposition des sites à ces aléas climatiques et leur évolution sont cohérents avec les changements climatiques prévus par zone géographique.

Sur la base des résultats, les principaux aléas climatiques auxquels sont exposés les sites du groupe et de ses fournisseurs sont la chaleur, les inondations, le stress hydrique et les vents forts et très forts (tornades, typhons, ouragans). L'évaluation de la vulnérabilité des sites du groupe est en cours.

<sup>15</sup> Sixth Assessment Report – IPCC, <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/> ; Carbone4 (2022), « Les scénarios SSP, Décryptage et recommandations d'utilisation pour une démarche d'adaptation au changement climatique », juillet 2022, <https://www.carbone4.com/publication-scenarios-ssp-adaptation>

### La mise en place d'une politique d'adaptation autour de principes structurants

Le groupe a défini une politique d'adaptation aux risques climatiques physiques<sup>16</sup>. Celle-ci précise les ambitions de l'entreprise, les échéances pour les atteindre ainsi que la nécessité d'engager ce défi collectivement, avec toutes les parties prenantes – l'entreprise elle-même, ses clients, ses fournisseurs et partenaires –, et les communautés d'implantation de ses sites. Cette politique s'inscrit dans le cadre de la politique du groupe en matière de responsabilité sociétale des entreprises (RSE).

Elle considère l'ensemble de la chaîne de valeur du groupe au regard de l'urgence climatique afin d'apprécier son exposition et d'évaluer sa vulnérabilité en matière de santé et sécurité des personnes, de continuité des activités, voire de marchés, etc. Il est à noter que les risques liés à l'approvisionnement en caoutchouc naturel sont couverts par un plan de résilience. La mise en œuvre des principaux leviers de ce plan se poursuivra au-delà avec les actions suivantes : diversification des sources d'approvisionnement, programmes de sélection et d'amélioration variétale, promotion des pratiques agricoles les plus résilientes et suivi des tendances climatiques et sanitaires dans les bassins de production.

Cette politique s'applique à toutes les sociétés du groupe. Concrètement, cela implique la mise en œuvre de mesures d'adaptation. Par exemple, pour s'adapter aux fortes chaleurs sur certains sites, les horaires de travail ont été modifiés pour la santé des personnes mais aussi pour maintenir la qualité de certains produits semi-finis. Des systèmes de brumisation d'eau ont été installés pour faire baisser la température. L'installation de presses de cuisson électriques permet également de faire baisser la température dans les ateliers concernés. Réduire les prélèvements d'eau des sites industriels permet également au groupe de s'adapter en cas de tensions sur cette ressource qui s'intensifient depuis quelques années.

La politique d'adaptation tient compte de la nature systémique, sociétale et multidimensionnelle des conséquences des risques climatiques. Ces caractéristiques conduisent le groupe, partout où il l'estime nécessaire, à influencer ou à collaborer avec des parties prenantes externes sur sa chaîne de valeur. Les actions d'influence visent à mettre en mouvement les parties prenantes externes sur la voie de l'adaptation. Les actions collaboratives permettent au groupe de contribuer aux mesures d'adaptation déjà initialisées par des parties prenantes externes.

### Conclusion : une approche écosystémique de l'adaptation aux risques physiques climatiques

Nous sommes confrontés à un monde en profonde mutation, avec des risques grandissants, et donc notre manière de produire et d'acheminer les flux va devoir s'y adapter. Dans cette logique une bonne compréhension des risques en vue d'une meilleure anticipation est un préalable si l'on veut développer de nouveaux modèles de chaînes d'approvisionnement plus résilientes et donc plus compétitives.

Mais une entreprise seule ne peut agir sur ce sujet urgent, global et systémique : une approche en écosystème est indispensable avec l'ensemble des parties prenantes, publiques et privées. L'urgence climatique n'est pas simplement un enjeu de compétitivité pour les entreprises, c'est avant tout une question de survie.

<sup>16</sup> Michelin, Politique d'adaptation aux risques physiques climatiques, <https://www.michelin.com/en/sustainability/company/planet/climate-action>

# Accompagner les collaborateurs exposés aux fortes chaleurs : un enjeu clé

Par Laure GIRODET

Directrice Santé et Sécurité du groupe Veolia

Comment adapter les conditions de travail pour améliorer la protection des collaborateurs face aux effets du dérèglement climatique ? Au-delà de la gestion des vagues de chaleur, Veolia s'engage dans une approche proactive des risques liés à la chaleur, articulée autour de trois piliers :

- Protéger : le groupe a défini un « kit de base » obligatoire à décliner selon le niveau d'exposition afin de permettre aux collaborateurs de mieux s'hydrater, se protéger et récupérer. Il s'appuie sur un partage de bonnes pratiques internes, fort de sa présence dans des zones exposées aux fortes chaleurs.
- Prévenir : dans une démarche *bottom-up* et d'écoute active, les équipes sont mobilisées pour évaluer les risques spécifiques et mettre en place les mesures de prévention adaptées pour renforcer la résilience à long terme.
- Co-construire : par des consultations des parties prenantes, Veolia s'engage dans une démarche collaborative pour réinventer la qualité de vie au travail face à ces risques croissants.

## Le contexte climatique

Les mois de juin 2023 à juin 2024 ont été les plus chauds jamais enregistrés au niveau mondial. D'ici 2050, Toulouse subira 24 jours supplémentaires de fortes chaleurs par an et son climat deviendra comparable à celui de Valence en Espagne aujourd'hui. D'ici 2050, certaines régions verront même le nombre de jours où la température dépasse les 30°C multiplié par trois.

Parmi les différents aléas du changement climatique, la chaleur extrême représente une préoccupation majeure pour la santé et la sécurité tant pour les travailleurs à l'intérieur qu'à l'extérieur. Aujourd'hui, 70 % des travailleurs sont exposés à des chaleurs excessives au niveau mondial.

## Les risques liés à la chaleur au travail

Le stress thermique constitue l'un des principaux impacts de l'exposition à la chaleur. Il peut se manifester par l'apparition de différents symptômes tels que : maux de tête, nausées, vertiges, crampes musculaires, déshydratation, ou encore des signes d'épuisement. Il peut rapidement évoluer vers des symptômes plus graves, comme le coup de chaleur, pouvant entraîner le décès. Selon l'Organisation Internationale du Travail (OIT), 18 970 décès au travail par an sont en effet imputables à la chaleur excessive. Une exposition prolongée et répétée à la chaleur peut conduire sur le long terme

au développement de maladies rénales, de certains cancers de la peau, ou encore de troubles oculaires.

Outre ces impacts sur la santé, l'exposition à la chaleur constitue de manière générale un facteur aggravant d'autres risques professionnels et en particulier celui du risque d'accident de travail. En effet, travailler sous la chaleur induit de la fatigue, une baisse de vigilance et une augmentation du temps de réaction. Selon une étude de Parks *et al.* (2020)<sup>1</sup>, lorsque la température dépasse 38°C, la probabilité d'accident de travail augmente de 10 à 15 %. L'acclimatation est également un facteur impactant : 70 % des décès liés à la chaleur surviennent au cours de la première semaine de travail, dont 45 % se produisant le premier jour ou lors de la reprise du travail après une absence d'une semaine ou plus (Tustin *et al.*, 2018)<sup>2</sup>. La chaleur accroît par ailleurs d'autres risques tels que le risque chimique, biologique, ou encore les risques psychosociaux (estime de soi en cas de sudation excessive, difficulté à prendre de vraies pauses si exposés au regard des passants ou des clients).

L'exposition à la chaleur impacte également la productivité : au-delà de 33°C et pour une intensité de travail modérée, elle chuterait de 50 % (rapport 2019 de l'OIT). Afin d'évaluer et de prévenir efficacement ces différents

<sup>1</sup> Parks R. *et al.*, (2020), "Anomalously warm temperatures are associated with increased injury deaths", *Nature Medicine*, 26(1), pp. 65-70.

<sup>2</sup> Tustin AW *et al.*, (2018), "Risk factors for heat-related illness in US workers: an OSHA case series", *J Occup Environ Med*, 60(8):e383-e389.



Figure 1 : Le changement climatique, une réalité (Source : Étude Veolia 2024).

risques, il est essentiel de prendre en compte l'ensemble des paramètres influençant la vulnérabilité du travailleur exposé. La température en est l'un des principaux mais d'autres facteurs aggravants sont à considérer : niveau d'humidité, rayonnement, tenues de travail et équipements de protection individuelle (EPI) inadaptés, effort physique, différents facteurs personnels, acclimatation insuffisante, manque d'hydratation ainsi que de temps et de lieux permettant de récupérer (ombre, abris frais, pauses), le travail isolé et le niveau de connaissance du risque et enfin les comportements...

Une stratégie de prévention qui permet de faire face à ces risques spécifiques est alors déterminante<sup>3</sup>.

### Une préoccupation récente mais croissante dans de nombreuses législations

En matière de prévention des risques associés à l'exposition à la chaleur au travail, les cadres réglementaires diffèrent fortement au niveau mondial et restent assez souvent généraux ou se focalisent sur quelques secteurs d'activités. Ainsi, au Qatar, il est interdit de travailler avec une température dépassant 32,1°C WBGT<sup>4</sup>. L'Espagne vient récemment d'adopter un congé payé

<sup>3</sup> [https://www.linkedin.com/posts/lauregirodet\\_health-safety-resolutions-activity-7242224837081845761-vQGm?utm\\_source=share&utm\\_medium=member\\_desktop](https://www.linkedin.com/posts/lauregirodet_health-safety-resolutions-activity-7242224837081845761-vQGm?utm_source=share&utm_medium=member_desktop)

<sup>4</sup> L'indice WBGT (Wet Bulb Globe Temperature) est un des indices de stress thermique les plus fiables et un outil d'aide à la prévention. Il mesure la contrainte thermique à laquelle est exposée une personne en activité sur un poste de travail standard sur une période de 8 heures. Cet indice prend en compte plusieurs paramètres : la température de l'air, l'humidité, la vitesse de l'air ainsi que la température moyenne de rayonnement.

climatique en cas d'alerte météo. En France, il n'y a pas de seuil réglementaire de température : les entreprises doivent organiser les mesures adaptées. En revanche, les situations de canicule sont désormais couvertes par le régime de chômage intempéries du BTP.

Très peu de pays ont adopté des seuils de température maximale. Pour la plupart de ces pays, les seuils définis résultent de la combinaison de plusieurs paramètres et sont exprimés selon des indices composites tels que le WBGT. Les principales recommandations portent sur l'évaluation des risques et la mise en place de mesures adaptées en cas de fortes chaleurs.

À la suite de travaux menés sur les impacts du changement climatique, l'OIT a présenté les enseignements de son étude et formulé plusieurs recommandations dans le cadre de deux rapports publiés en avril et juillet 2024<sup>5</sup>.

### Le triple défi de Veolia et ses atouts

Avec le changement climatique, le groupe Veolia est confronté à un triple défi : gérer les risques concernant les personnes et les infrastructures, proposer une offre différenciante répondant aux besoins des clients et anticiper les évolutions réglementaires (cf. Figure 1).

Nos équipes gèrent historiquement les risques d'inondation et de sécheresse. Sur ces questions de résilience et d'adaptation des sites à ces aléas, les équipes sont aguerries dans la prévention et la gestion de crise des services essentiels, comme par exemple la fourni-

<sup>5</sup> Assurer la sécurité et la santé au travail à l'heure du changement climatique (OIT, 22 avril 2024). La chaleur au travail : Implications pour la sécurité et la santé (OIT, juillet 2024).

## Un groupe de travail Veolia composé de 13 sites

Panel représentatif des activités du groupe (eau, assainissement, déchets, énergie, production de membranes)

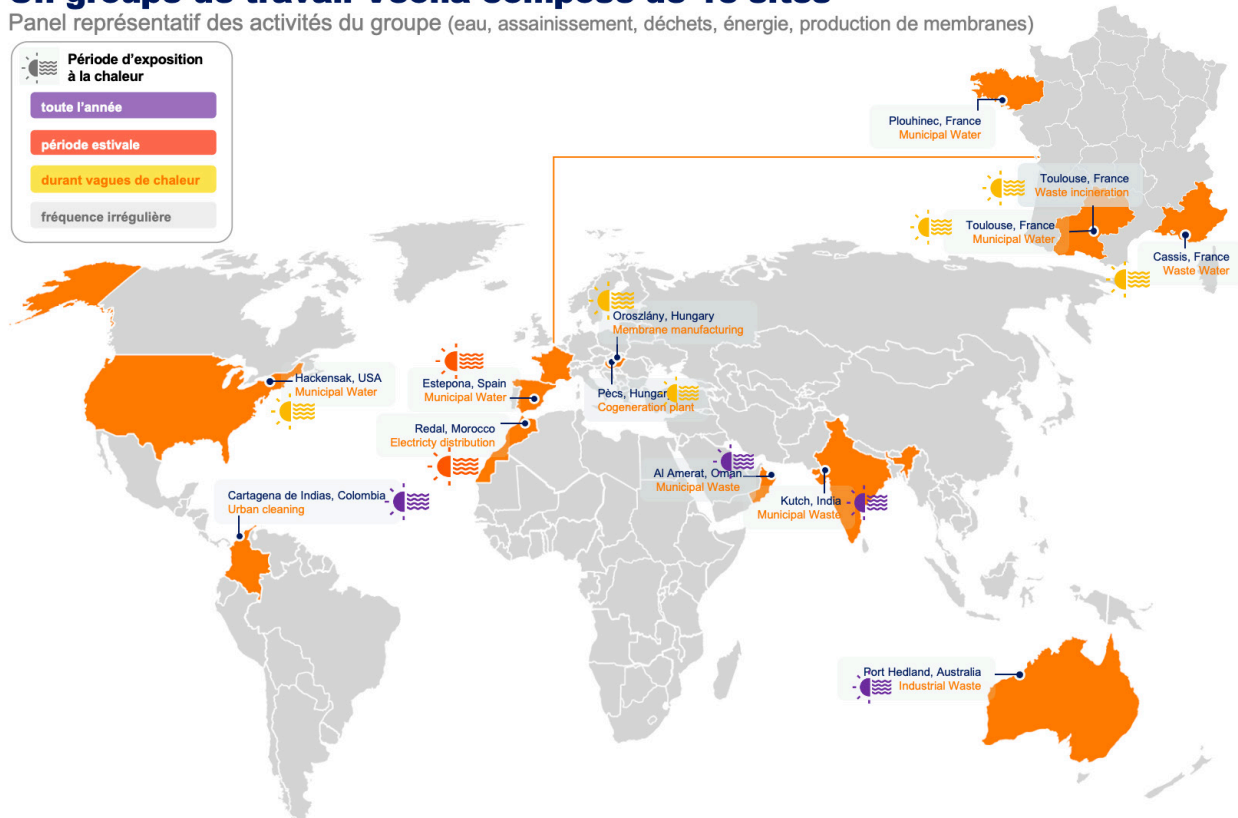


Figure 2 : Carte des 13 sites Veolia impliqués (Source : Étude Veolia 2024.).

ture continue d'eau potable en cas de sécheresse, la gestion des eaux pluviales et des débordements des réseaux suite à des inondations, ou encore la résilience et la continuité du service en cas de tempêtes (événements dont la fréquence a augmenté de 43 % aux États-Unis<sup>6</sup>) ou de méga feux (Australie).

Pour répondre au triple défi climatique, Veolia, leader de la transformation écologique, dispose d'une ressource rare : son implantation dans 44 pays sur les 5 continents. Par ailleurs, sa maîtrise de trois métiers (eau, déchets et énergie) constitue une base de données très fournie de savoirs locaux sur l'adaptation aux températures extrêmes selon les climats.

Dans ce cadre, la direction du Développement durable et Performance plurielle *via* ses pôles « Climat » et « Adaptation aux changements climatiques » (DDD) est chargée d'élaborer et de promouvoir le plan de décarbonation, ainsi que les mesures d'atténuation et d'adaptation des sites et activités à ces enjeux. Afin de renforcer la résilience des infrastructures avec des investissements gérés en liaison avec nos clients, la DDD a lancé il y a 2 ans un audit global de l'exposition aux risques climatiques des différentes activités et infrastructures du groupe en s'appuyant sur la méthode

<sup>6</sup> Selon le National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) - National Hurricane Center (<https://www.nhc.noaa.gov/climo/>) le nombre moyen de tempête de la période 2011-2020 était de 17,3, comparativement à une moyenne à long terme (1981-2010) de 12,1.

OCARA<sup>7</sup>. Cette démarche au niveau des *Business Units* a permis entre autres d'évaluer les mesures existantes d'atténuation des risques et d'identifier des sites prioritaires nécessitant une évaluation de la vulnérabilité.

Pour compléter la démarche, la Direction de la Prévention Santé Sécurité (DPSS) que je pilote a souhaité explorer les enjeux du changement climatique sur la santé et la sécurité des collaborateurs.

### Une méthode : une démarche *bottom-up*

La DPSS a ainsi lancé dès 2023 une démarche ambitieuse d'écoute des travailleurs exposés et de recueil des meilleures pratiques, voulue *bottom-up*, élément clé du dialogue social par ailleurs.

Pour cela, un groupe de travail composé de 13 sites répartis sur les 5 continents (*cf.* Figure 2) avec des activités différentes (travail à l'intérieur ou à l'extérieur dans les trois métiers eau, déchets, énergie) et différents niveaux d'exposition à la chaleur. Ces sites ont été sélectionnés sur la base de l'analyse de vulnérabilité réalisée par la DDD : France (4), Hongrie (2), Espagne, Maroc, Oman, Inde, Australie, États-Unis et Colombie. Pour certains sites, comme à Carthagène en Colombie, les collaborateurs sont déjà confrontés à des tempéra-

<sup>7</sup> OCARA (Operational Climate Adaptation and Resilience Assessment) : Référentiel d'analyse de la résilience des entreprises aux impacts du changement climatique.

## Nombre moyen prévisionnel de jours par an au-dessus de 30°C en 2050

IPCC Scenario SSP5-8.5 ou 2.4°C

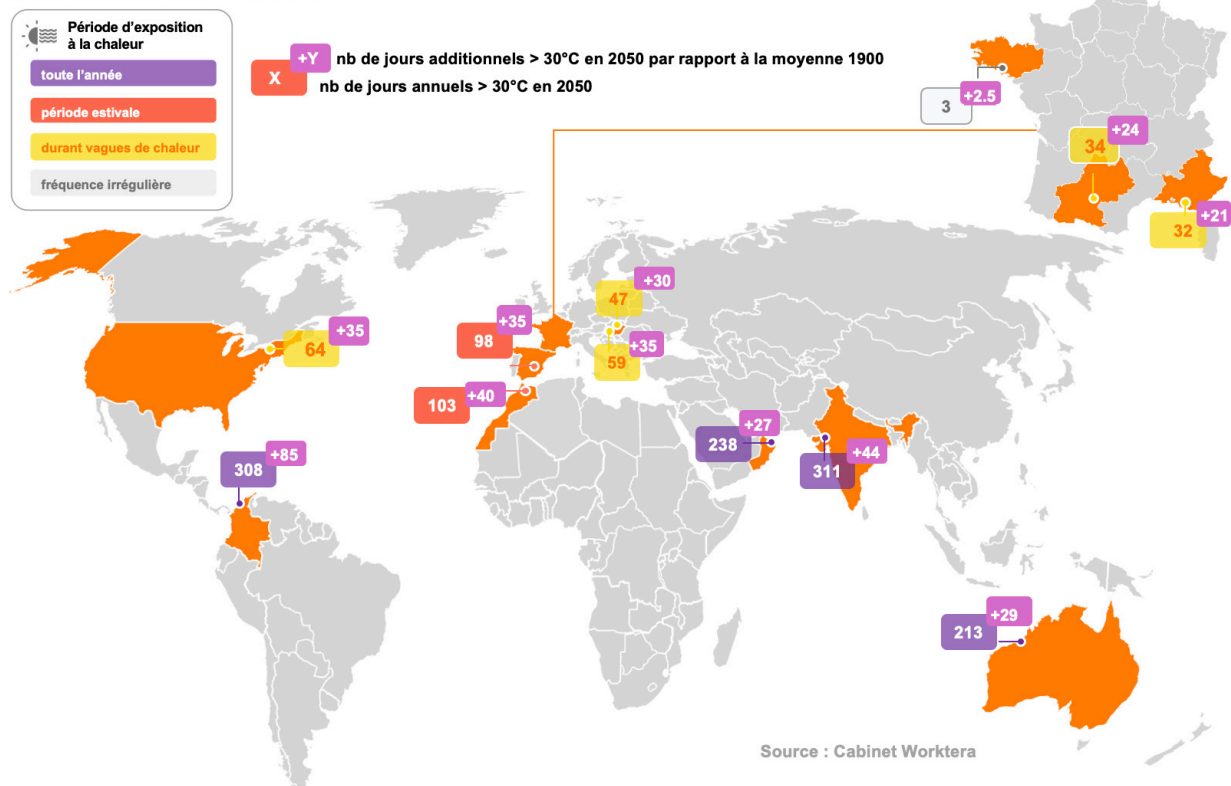


Figure 3 : Prévisions de chaleur sur les 13 sites étudiés en 2050  
(Source : Étude Veolia 2024, à partir de IPCC scénario SSP5-8.5/CMIP6/CCKP).

tures supérieures à 30°C presque toute l'année, alors que pour d'autres, l'exposition ne concerne que la période estivale comme en Espagne ou lors de vagues de chaleur ponctuelles comme en Hongrie.

Des entretiens ont ensuite été menés auprès de collaborateurs de terrain (opérationnels, responsables santé sécurité et managers) exposés au risque sur ces sites.

Ils ont aussi été un vecteur de sensibilisation et de projection de chacun des treize pays sur l'évolution de son contexte climatique à horizon 2030, 2050 et 2070 (cf. Figure 3).

Cette collecte d'informations de terrain a permis d'identifier des facteurs de risque, de formaliser les meilleures pratiques, et surtout d'établir la feuille de route straté-

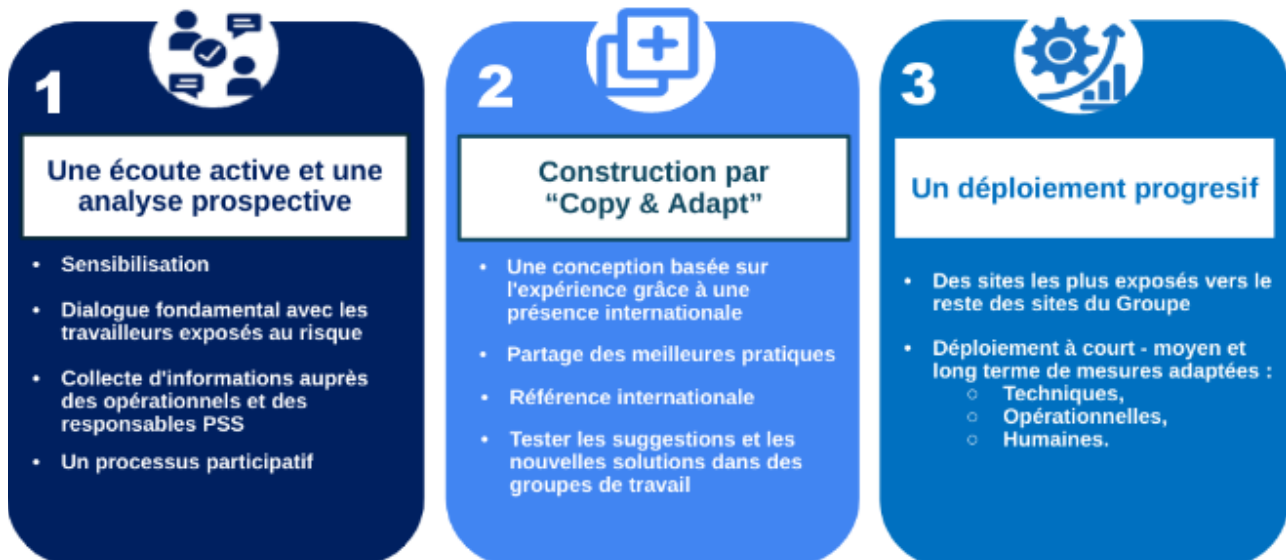


Figure 4 : L'approche stratégique adoptée par Veolia pour améliorer la résilience au travail (Source : Étude Veolia 2024).

gique. La synthèse a été réalisée début 2024 et doit donner lieu à une démarche de "Copy & Adapt", consistant à tester, adapter et déployer, dans chaque pays (cf. Figure 4), les suggestions et les nouvelles solutions, en les améliorant. Cette méthode est fréquemment employée au sein de Veolia, qui présente une organisation décentralisée, responsabilisant les employés des différentes *Business Units*.

La nouveauté est que, dans cette démarche, ce sont les équipes Veolia du Sud (Inde, Oman, Australie...), habitués depuis longtemps à la gestion de la chaleur, qui transfèrent leurs bonnes pratiques vers les pays du Nord.

Nous avons été accompagnés dans cette démarche par le cabinet Worktera avec Fatiha Labbas, consultante en qualité de vie et des conditions de travail et en RSE et Fouzi Benkhefifa, expert climat, qui a notamment réalisé de nombreuses études de vulnérabilité et de stratégies d'adaptation au changement climatique en France et à l'international.

## Résultats : une feuille de route holistique

La feuille de route globale « résilience des collaborateurs à la chaleur excessive au travail » est donc construite pour aider les équipes dans chaque pays à progresser, en fonction de leur contexte et de l'urgence, avec des mesures humaines, organisationnelles et techniques.

### Un « kit de base » obligatoire

Un « kit de base » obligatoire à mettre en œuvre par chaque pays et site, adaptable selon le contexte local, avec des mesures plus ou moins graduées. Sa composition s'articule autour de trois axes :

- Hydratation : fourniture de gourdes isothermes ou glacières, de solutés électrolytiques sous surveillance médicale complétés par des tests d'hydratation... voire de cartes ou d'applications de localisation de points d'accès à l'eau fraîche pour les agents de collecte de déchets, par exemple, dans certaines zones géographiques comme l'Amérique du Sud ;
- Récupération : assurer des pauses confortables par des abris frais accessibles et une fréquence adaptée des pauses tenant compte des enjeux d'acclimatation ;
- Protection : fourniture de crème solaire, filets de protection solaire ou tentes *pop-up*, ou encore plantation d'arbres. Ces mesures peuvent être complétées par la fourniture de systèmes de brumisation ou de cartes ou d'applications de localisation d'abris frais ou d'îlots de fraîcheur.

### De la sensibilisation et de la prévention

Chez Veolia, l'Australie et le Moyen-Orient étaient particulièrement matures sur ce volet. Ces zones ont insisté sur l'importance de rendre les collaborateurs autonomes dans la gestion et l'évaluation de leur confort

thermique. Ceci passe par l'organisation de séquences de formation courtes, répétées et régulières, avec des contenus simples, variés et accessibles à tous. Chaque collaborateur doit être en capacité de reconnaître les signes précoces d'inconfort thermique (maux de têtes, fatigue, sudation...) chez eux ou dans le cadre de la vigilance partagée, chez leurs collègues, afin qu'ils sachent s'arrêter à temps.

### Des tenues et accessoires de travail adaptés à la chaleur

Différents tests sont en cours sur des bracelets de prévention des coups de chaleur, des gilets rafraichissants, des *hydra patches* et des chaussettes, gants respirants et thermorégulateurs. Les solutions les plus pertinentes seront déployées selon les zones géographiques.

### Des lieux de travail agréables et résilients

Des lieux de travail agréables et résilients, à travers des chartes de *design* des nouveaux espaces ou de rénovation pour réduire l'impact des variations de température.

### Des hébergements collectifs

Un focus spécifique a été mis sur les hébergements collectifs qui sont fournis dans certains lieux géographiques aux collaborateurs. Ces locaux font régulièrement l'objet d'évaluations en matière d'hygiène, de santé et de sécurité. Les grilles d'audit ont été complétées en 2023 par un volet « climat », incluant par exemple l'accès à l'eau fraîche, la climatisation du logement et du transport entre l'hébergement et le lieu de travail selon sa durée. Les 24 hébergements collectifs du Moyen-Orient regroupant 1 400 collaborateurs ont ainsi été mis à niveau.

### Une procédure de gestion des risques liés à la chaleur

Elle intègre notamment des renforcements du *monitoring* pour adapter l'organisation et la gestion de l'acclimatation, ainsi que le détail des mesures techniques, humaines et organisationnelles.

### Un suivi médical

Un suivi médical pour les populations les plus exposées, incluant des contrôles dermatologiques réguliers, une surveillance des troubles oculaires et un suivi des maladies rénales potentiellement liées à la déshydratation. Ce suivi est déjà en place dans certains pays d'Amérique du Sud.

### Une approche globale avec nos parties prenantes

Une approche globale en faisant équipe avec nos parties prenantes (clients et sous-traitants) et en coconstruisant des solutions avec nos fournisseurs. En effet, l'évolution des horaires de travail de la collecte de déchets ou de la maintenance des réseaux d'eau pour réparer les fuites ainsi que la modification du calen-



drier des arrêts annuels des usines d'incinération de déchets doivent être faites de façon concertée avec les collectivités et maîtres d'ouvrages concernés. À l'heure actuelle, certains arrêts de maintenance annuelle se font pendant l'été et les dizaines de personnes qui travaillent habituellement dans l'usine sont remplacées par des centaines d'intervenants de tous corps de métier.

### **Des bonnes pratiques Veolia**

Un répertoire des bonnes pratiques Veolia regroupe l'ensemble de ces mesures et des initiatives des différents pays, en amélioration continue. Le déploiement progressif de ces dernières dans les sites les plus exposés est en cours, sur la base des analyses de température et de réglementation de chaque pays et des mesures déjà en place.

## **Conclusion**

De toutes ces mesures, les mesures humaines jouent un rôle essentiel dans l'adaptation aux fortes chaleurs et la sensibilisation est cruciale. Chaque collaborateur peut ainsi prévenir les situations de stress thermique en les identifiant précocement. Elles les responsabilisent dans la gestion de leur confort thermique, les incitant à s'arrêter à temps en prenant des pauses adaptées et véritablement régénérantes. Ces pauses doivent apporter hydratation / rafraîchissement, récupération et protection, les trois éléments du « kit de base ».

Cette feuille de route, complétée d'une veille réglementaire et technique, est en cours de déploiement sous forme de plans d'actions court, moyen et long terme selon la catégorisation d'exposition aux fortes chaleurs.

L'accueil, très positif, tant par les équipes locales que par les partenaires sociaux et les premiers clients impliqués, est le garant d'une progression adaptée et rapide de notre résilience collective.

# Adaptation des aéroports au changement climatique

Par François-Xavier CHOPIN

Adjoint au sous-directeur du Développement durable de la direction générale de l'Aviation civile (DGAC)

Infrastructures essentielles pour la croissance et pour la cohésion sociale et économique, les aéroports sont exposés aux aléas météorologiques et aux effets du changement climatique. Dans le cadre du troisième plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC), les travaux de la direction générale de l'Aviation civile (DGAC) et des aéroports ont permis de définir le contenu des études pour évaluer la vulnérabilité des aéroports. Le résultat de ces études permettra d'arrêter les coûts de l'adaptation et les choix stratégiques d'investissement.

**E**n 2019, dernière année de référence avant la crise sanitaire, l'aviation civile représentait en France 4,3 % du PIB, 1,165 million d'emplois et 90 Mds€ de chiffre d'affaires<sup>1</sup>.

## Les aéroports, des infrastructures stratégiques exposées aux effets du changement climatique

### Les aéroports, maillons indispensables d'une chaîne de services à haute valeur

L'intensité du maillage aéroportuaire français est le produit de l'histoire d'un pays pionnier de l'aviation civile<sup>2</sup>. Maillons essentiels au service de la mobilité, les aéroports constituent des infrastructures stratégiques pour le développement économique et l'attractivité des territoires. Dédiées à la desserte point à point ou permettant les correspondances, tel le *hub* de Paris-Charles-de-Gaulle, ou l'intermodalité, ces infrastructures répondent également à des enjeux d'aménagement du territoire, de désenclavement, de connectivité ou encore de continuité territoriale avec l'Hexagone, notamment pour les territoires insulaires ou ultra-marins.

Outre l'aviation commerciale, les aéroports rendent des services pour d'autres usages : affaires, transport de personnel politique, sanitaire, sécurité civile, militaire...

### Des infrastructures vulnérables aux effets du changement climatique

Les impacts du changement climatique sur un aéroport couvrent un large spectre : perturbation des opérations aériennes et au sol, sécurité des passagers et du personnel, perturbation des chaînes logistiques, difficultés d'accès aux aéroports.

En juin 2017, les températures ont approché 50°C<sup>3</sup> à l'aéroport de Phoenix Sky Harbor International en Arizona. À ces températures, l'air moins dense diminue la portance des aéronefs qui compensent en augmentant leur poussée ; l'enrobé des pistes devient collant. Cet épisode de chaleur extrême s'est traduit par l'annulation massive de vols au départ et à l'arrivée de l'aéroport. Au-delà des conditions de navigation, le fonctionnement de l'aéroport dans son ensemble est perturbé. Les personnels au sol prennent de longues pauses pour se rafraîchir, les services de santé sont sollicités pour prendre en charge les passagers sujets à des malaises, les consommations dues à la climatisation augmentent, ce qui met en tension les installations électriques et peut entraîner des ruptures de la chaîne du froid.

Les aéroports et les aéronefs sont par ailleurs exposés aux phénomènes météorologiques violents : grêle, foudre, précipitations, vagues de submersion, cisaillement du vent dans les basses couches... Le changement climatique peut également accroître l'exposition des aéronefs aux turbulences par temps clair<sup>4</sup>. Dans les Antilles ou l'océan Indien, les aéroports sont en outre confrontés au risque cyclonique et aux tempêtes tropicales.

<sup>1</sup> Projet annuel de performances - Annexe au projet de loi de finances pour 2025 - Budget annexe Mission ministérielle Contrôle et exploitation aériens, <https://www.budget.gouv.fr/documentation/file-download/27680>

<sup>2</sup> Rapport 2017 sur le maillage aéroportuaire français, <https://agence-cohesion-territoires.gouv.fr/sites/default/files/2021-01/rapport-maillage-aeroportuaire-francais-2017.pdf>

<sup>3</sup> Washington Post, 21 juin 2017, <https://www.washingtonpost.com/news/capital-weather-gang/wp/2017/06/20/its-so-hot-in-phoenix-that-airplanes-cant-fly/>

<sup>4</sup> Agence de l'Union européenne pour la sécurité aérienne (AESA) – Gérer l'impact du changement climatique sur l'aviation, <https://www.easa.europa.eu/fr/light/topics/managing-impact-climate-change-aviation>

## La prise en compte du changement climatique par la DGAC et les aéroports

### Le développement d'un outil d'évaluation

En 2011, le Service technique de l'Aviation civile (STAC) de la DGAC a développé l'outil VULCLIM<sup>5</sup> qui permet aux exploitants d'évaluer la vulnérabilité, côté ville et côté piste, des aérodromes de France hexagonale face aux effets du changement climatique. L'outil, mis à jour suivant les évolutions des projections climatiques, permet de cartographier les risques à partir de l'exposition à chaque aléa climatique retenu, en fonction d'indicateurs prédéfinis et de leur impact sur chaque composant de l'aérodrome. Dans la démarche globale d'adaptation, cet outil de pré-diagnostic constitue une première étape.

### Les études de vulnérabilité et les plans d'adaptation dans le cadre du PNACC 3

Un système de transport est résilient s'il est capable de faire face à une perturbation en étant adapté ou transformé afin de préserver ses infrastructures et ses services. Aussi, la mesure 30 « assurer la résilience des transports et des mobilités » du PNACC 3 vise à adapter les transports aux effets du changement climatique avec l'établissement des plans d'adaptation des infrastructures et des services de transport à partir d'études de vulnérabilité.

Les ministres chargés de l'Environnement, des Transports et des Finances ont ainsi demandé à plusieurs exploitants d'aéroports<sup>6</sup> la réalisation d'une étude de vulnérabilité et d'un plan d'adaptation contenant des propositions chiffrées pour les infrastructures et services sous leur responsabilité. Le choix s'est porté sur quelques plateformes stratégiques : les plateformes franciliennes dont Paris-Charles-de-Gaulle, première frontière de France, des aéroports régionaux hexagonaux, et des aéroports d'Outre-mer pour lesquels les enjeux de continuité territoriale avec l'Hexagone et de connectivité, notamment avec les territoires alentours, sont évidents.

Le coût des études de vulnérabilité est supporté par chaque exploitant.

### La démarche de la DGAC et de l'Union des aéroports français (UAF)

La DGAC a mis en place avec l'UAF, organisation professionnelle représentant les aéroports français, une gouvernance pour se doter d'une feuille de route

pour la démarche d'adaptation au changement climatique. Côté DGAC, les services compétents dans les domaines régaliens, technique, immobilier et de la navigation aérienne sont mobilisés. Ces travaux ont abouti à un socle de cahier des charges, support au lancement des consultations sur les études de vulnérabilité début 2025.

Pour délimiter le périmètre des études de vulnérabilité, trois composantes aéroportuaires ont été retenues. La première concerne les infrastructures, parmi lesquelles les parkings voitures, les aires de trafic et de manœuvre des aéronefs, les accès *via* les aires et les services desservant l'aéroport. La deuxième concerne l'ensemble des bâtiments, dont ceux sous maîtrise d'ouvrage de l'État (tours de contrôle, blocs techniques) ou ceux utilisés pour la gestion de crise. La troisième concerne l'exploitation, soit l'ensemble des équipements permettant le déroulement des opérations aériennes : zones de stockage de carburant, zones d'opérations des services de sauvetage et de lutte contre les incendies des aéronefs, engins d'assistance, équipements visuels ou radioélectriques d'aide à la navigation aérienne.

Les études seront conduites selon la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC) qui repose sur l'association de niveaux de réchauffement à différentes échéances, à savoir : + 2°C en 2030, + 2,7°C en 2050 et + 4°C en 2100 par rapport à l'ère préindustrielle pour la France hexagonale.

Pour l'Outre-mer, les déclinaisons locales des niveaux de réchauffement planétaire n'ont pas encore été fixées à ce jour. En l'absence de TRACC pour les aéroports ultra-marins, il a été décidé de prendre en référence les scénarios climatiques du GIEC. En cohérence avec les choix faits pour d'autres infrastructures de transport, le scénario Representative concentration pathways<sup>7</sup> 8.5, moins robuste que la TRACC mais qui s'en rapproche jusqu'à l'horizon 2050, a été retenu. Pour les études lancées sur la base de ce scénario RCP 8.5, assorti le cas échéant d'un scénario médian, il a été convenu d'apprécier les résultats des études à l'aune de la TRACC pour mesurer les écarts et apprécier l'opportunité de leur mise à jour.

À terme, il s'agira d'assurer le retour d'expérience auprès de l'ensemble de la communauté aéroportuaire. Pour les aéroports sous concession, l'obligation de réaliser une étude de vulnérabilité sera introduite dans les contrats à l'occasion de leur renouvellement.

## Perspectives

### L'exploitation des données et l'évolution des référentiels techniques

Pour les pouvoirs publics, le traitement des données issues des études, leur consolidation (données brutes et cartographiques) et leur partage avec d'autres acteurs, au premier rang desquels les collectivités locales, telle

<sup>5</sup> <https://www.stac.aviation-civile.gouv.fr/fr/outil-devaluation-vulnerabilite-au-changement-climatique>

<sup>6</sup> Aéroports de Paris, Strasbourg-Entzheim, Lyon Saint-Exupéry, Nice Côte d'Azur, Marseille-Provence, Montpellier-Méditerranée, Toulouse-Blagnac, Bordeaux-Mérignac, La Réunion Roland Garros, La Martinique Aimé Césaire, La Guadeloupe Maryse Condé.

<sup>7</sup> <https://www.drias-climat.fr/accompagnement/sections/53>

la région PACA<sup>8</sup> qui pilote de tels travaux à son échelle, sont essentiels. Là, réside un enjeu de cohérence de l'action publique.

Comme le prévoit le PNACC 3, une évolution des référentiels, normes et réglementations techniques qui spécifient les conditions climatiques dans lesquelles les matériels, les infrastructures et les services fonctionnent nominalement est requise, notamment pour prévenir la mal-adaptation. Ces conditions climatiques se rapportent aux plages de température extérieure, à l'intensité des précipitations, aux forces de vent, au débit d'une rivière, au poids de la neige sur les toits, au niveau de la mer ou encore à la hauteur des vagues.

Pour les modèles climatiques, il s'agit de déterminer si une hausse de la récurrence des événements climatiques s'accompagnera d'une hausse de leur intensité. En tout état de cause, la répétition de ces événements, y compris ceux de moindre intensité, entraînera des conséquences sur les infrastructures et leur durée de vie. Aussi, ces nouvelles conditions d'exploitation doivent être prises en compte dans les normes et les méthodes de conception, d'entretien, de gros renouvellement et d'exploitation. À cette fin, des travaux sont engagés aux échelles internationale<sup>9</sup>, européenne<sup>10</sup> et nationale.

La question du rythme d'actualisation des études de vulnérabilité se posera, en fonction des données scientifiques disponibles (par exemple, le niveau de la mer de référence) et de la commande politique.

### Les enjeux pour le secteur aérien

Le lien intime entre les risques dus au changement climatique et les risques d'exploitation explique l'engagement des exploitants aéroportuaires dans la démarche d'adaptation au changement climatique pour maintenir en conditions opérationnelles les infrastructures, matériels et services sous leur responsabilité.

Maintenir un réseau d'infrastructures de transport résilient nécessitera des investissements conséquents. En Europe, l'ensemble des modes de transport étant exposé aux effets du changement climatique, garantir la robustesse du Réseau trans européen de transports (RTE-T) et la connexion des réseaux nécessite d'intégrer dès aujourd'hui l'adaptation dans les politiques

relatives à ce réseau<sup>11</sup> avec une stratégie et des investissements à la clé.

La répétition d'événements météorologiques extrêmes, susceptibles de mettre hors service des réseaux de transport, est facteur de pertes d'exploitation, d'une moindre fiabilité des services aériens et d'une augmentation des coûts assurantiels. La localisation même de certaines plateformes pourrait être remise en cause – en fonction des hypothèses retenues – notamment pour des aéroports côtiers confrontés à la montée du niveau de la mer.

À terme, le rapport entre l'utilité sociale de certaines plateformes, appréciée à l'aune du service rendu (aménagement du territoire, connectivité, création de valeur, emploi, attractivité, tourisme...), et les coûts de l'adaptation, pourrait devenir plus prégnant. La socio-économie et les projections issues des plans d'adaptation esquisseront le modèle des plateformes : stratégie de résilience, mesures prioritaires d'adaptation, niveau de services.

Sensible aux différentes crises – économiques, financières, géopolitiques et sanitaires – qui ont éprouvé sa robustesse, le secteur aérien a démontré sa capacité à rebondir, notamment à l'issue de la pandémie de Covid-19, la crise la plus grave l'ayant affecté. Avec le chantier de la décarbonation, l'adaptation au changement climatique représente l'un des défis majeurs pour ce secteur. Dans cette perspective, les efforts du secteur aérien pour atteindre ses objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de décarbonation seront déterminants.

<sup>8</sup> Plan d'adaptation pilote en 2025 pour le système de transport de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, avec l'ambition de l'adoption d'un plan unifié pour tous les gestionnaires d'infrastructures de transport régionaux.

<sup>9</sup> OACI : <https://www.icao.int/environmental-protection/Pages/adaptation.aspx> et les travaux du Comité on aviation environmental protection (CAEP).

<sup>10</sup> Règlement 2021/1119 établissant le cadre requis pour parvenir à la neutralité climatique, notamment l'adoption et la mise en œuvre par les États membres de stratégies et de plans d'adaptation. Pour le transport aérien, voir les travaux de l'AESA, <https://www.easa.europa.eu/fr/light/topics/managing-impact-climate-change-aviation>

<sup>11</sup> Investments in climate adaptation should be an integral part of the trans-European transport network, study shows, [https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/investments-climate-adaptation-should-be-integral-part-trans-european-transport-network-study-shows-2024-12-19\\_en](https://transport.ec.europa.eu/news-events/news/investments-climate-adaptation-should-be-integral-part-trans-european-transport-network-study-shows-2024-12-19_en)

# Agriculture

Par Thierry CAQUET

Vice-président de l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAE) en charge de l'international

Les impacts du changement climatique sont déjà visibles pour la plupart des productions agricoles, y compris en France, avec des conséquences non seulement pour les producteurs, mais aussi pour l'ensemble des acteurs des filières, jusqu'aux consommateurs. Face aux évolutions tendancielles du climat et à la variabilité accrue des conditions météorologiques, l'adaptation incrémentale est insuffisante. Au travers d'une démarche systémique, il est indispensable de faire évoluer, de manière parfois drastique, les pratiques tout au long des chaînes de valeur afin d'augmenter leur résilience. Si de nombreux leviers d'adaptation existent, aucun n'est totalement efficace et ce sont des combinaisons transformantes de leviers à effet partiel qui doivent être imaginées et mises en œuvre. Dans un contexte de plus en plus incertain et face au risque de mal-adaptation, l'inaction n'est pas une option et la mobilisation de tous les acteurs est indispensable, et ceci bien au-delà de l'échelle locale.

L'agriculture est l'un des premiers secteurs économiques à être impactés par le changement climatique. Les conséquences potentielles sur la production, en termes de quantité, de qualité ou encore de variabilité, augmentent les risques pour les producteurs et accentuent leur fragilité économique. Mais les impacts concernent aussi les filières agroalimentaires dans leur ensemble. C'est pourquoi il est indispensable de définir et de déployer des stratégies d'adaptation tout au long de la chaîne de valeur.

## Des projections alarmantes

Les évolutions climatiques à venir vont induire une profonde modification de la production agricole dans le monde entier. En France, l'étude Explore2 fournit des projections inquiétantes sur les ressources en eau pour les prochaines décennies, notamment pour le Sud du pays (Evin *et al.*, 2024). Les conséquences sur l'agriculture seront multiples (Ayphassorho *et al.*, 2020) : augmentation de l'évapotranspiration, impliquant que les cultures vont requérir davantage d'eau et que la sécheresse des sols va s'accroître dans de très nombreuses régions ; diminution des précipitations en été, rendant difficiles, voire impossibles, les cultures d'été sans irrigation dans certaines régions ; augmentation des précipitations hivernales pouvant entraîner des excès d'eau provoquant des difficultés pour le travail agricole et des anoxies racinaires préjudiciables pour les rendements ; variabilité accrue de la production fourragère, avec des conséquences majeures pour l'élevage ; attaques accrues de pathogènes ; altération de la qualité des produits agricoles.

Quelques opportunités sont toutefois à signaler, comme la remontée de cultures méridionales vers le nord ou la capacité de réaliser trois cultures en deux ans dans une même parcelle. L'augmentation de la concentration en

CO<sub>2</sub> atmosphérique pourrait aussi avoir un effet positif sur le rendement de certaines cultures.

Des conséquences sont aussi attendues pour les industries agro-alimentaires en termes d'approvisionnement en matières premières (type, volumes, origine), de transformation (modification des *process*), de stockage, de transport ou bien encore de modes de consommation (saisonnalité, préférences des consommateurs, etc.). Par exemple, en raison de la mondialisation, les produits agro-industriels parcourent de plus grandes distances entre le fournisseur et le consommateur final. Des impacts tout au long des réseaux d'approvisionnement sont à envisager, en lien avec l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes tels que vagues de chaleur, inondations, tempêtes ou sécheresses (Godde *et al.*, 2021), menaçant la fourniture de denrées alimentaires. Si la variabilité des rendements n'est pas corrélée entre régions, les flux commerciaux au cours d'une année peuvent partiellement compenser ces impacts, avec des exportations en cours de période des pays moins touchés vers ceux qui le sont. Si toutefois plusieurs régions connaissent simultanément des chocs climatiques ou autres (guerres par exemple), la stabilité du système alimentaire mondial pourrait être compromise.

L'augmentation des températures et de l'humidité peut accroître les pertes post-récolte dues aux ravageurs et aux maladies, augmenter l'occurrence des contaminations microbiennes ou augmenter le coût de la réfrigération et d'autres formes de conservation. Des impacts sur les prix de nombreuses denrées alimentaires sont à attendre, comme cela a déjà été observé pour l'huile d'olive, le cacao ou les pommes de terre pour les frites. Les changements régionaux peuvent entraîner un déplacement des centres de production, ce qui peut impliquer des changements dans les lieux de stockage et de transformation et une réorganisation des entreprises.

Enfin, l'augmentation des risques rend la planification des activités des transformateurs de produits alimentaires de plus en plus incertaine. L'abandon de certaines productions par les agriculteurs peut amener les industriels à ajuster leur volume de production ou à rechercher d'autres fournisseurs. Des ruptures d'approvisionnement ne sont pas à exclure.

## Quelles options pour l'adaptation ?

### De l'ajustement à la reconception des systèmes

L'adaptation est une démarche d'ajustement au climat, actuel ou attendu, ainsi qu'à ses conséquences. Le changement climatique étant destiné à se poursuivre, c'est nécessairement un processus continu.

Face aux risques climatiques et à leurs conséquences sur le système alimentaire, il s'agit d'accroître la résilience des systèmes, en réduisant leur vulnérabilité aux évolutions tendanciennes du climat tout en permettant de réagir face aux événements extrêmes et à la variabilité des conditions météorologiques. Ceci suppose un potentiel d'anticipation dynamique, afin de conférer aux systèmes considérés une capacité de résistance face aux perturbations, tout en favorisant les capacités d'apprentissage et de transformation. C'est aussi l'occasion d'envisager la meilleure façon d'exploiter les opportunités offertes par le changement climatique.

Les stratégies et les actions à long terme qui en découlent peuvent aller d'une adaptation à court terme à une adaptation à plus long terme et aboutir à des transformations profondes.

Différentes stratégies peuvent être identifiées selon l'amplitude du changement qu'elles impliquent (voir la Figure 1). L'adaptation incrémentale est une extension des pratiques et comportements actuels visant à éviter

la rupture du système. Elle correspond à la manière dont les activités agricoles ont co-évolué de manière spontanée avec les modifications du climat depuis la naissance de l'agriculture. Elle repose pour une part sur des savoirs et savoir-faire anciens. Il s'agit par exemple de pratiques d'optimisation (décalage des dates de semis) ou de substitution (modification des variétés semées). Elle intègre aussi des leviers techniques ou technologiques (capteurs d'humidité des sols, outils d'aide à la décision...).

Face aux évolutions attendues, l'adaptation ne peut plus être uniquement incrémentale. Il est nécessaire de développer des démarches plus systémiques, en cohérence avec la mise en œuvre de l'agroécologie (Mauguin *et al.*, 2024). Ainsi, l'introduction de davantage de diversité à différentes échelles (parcelle, exploitation, territoire), tant pour les cultures que pour l'élevage, l'amélioration de la qualité des sols ou la mise en place d'infrastructures agroécologiques (haies par exemple) permettent de mieux faire face à des conditions climatiques plus incertaines. Les pratiques qui améliorent la qualité des sols ont aussi des co-bénéfices pour l'atténuation du changement climatique (réduction des émissions de gaz à effet de serre – GES, augmentation du puits de carbone).

Les évolutions du climat prévues au cours de la seconde moitié du XXI<sup>e</sup> siècle nécessiteront des transformations de plus grande ampleur, jusqu'à des scénarios de rupture qui restent à imaginer.

### Les leviers de l'adaptation

Il existe de nombreux leviers pour l'ensemble des productions agricoles, tous à efficacité partielle : sélection génétique, végétale ou animale ; modifications des itinéraires techniques et techniques culturales ; conduite des troupeaux ; gestion des ressources en eau ; etc.

La génétique est fréquemment évoquée comme l'option privilégiée pour l'adaptation. Or, si elle peut beaucoup,

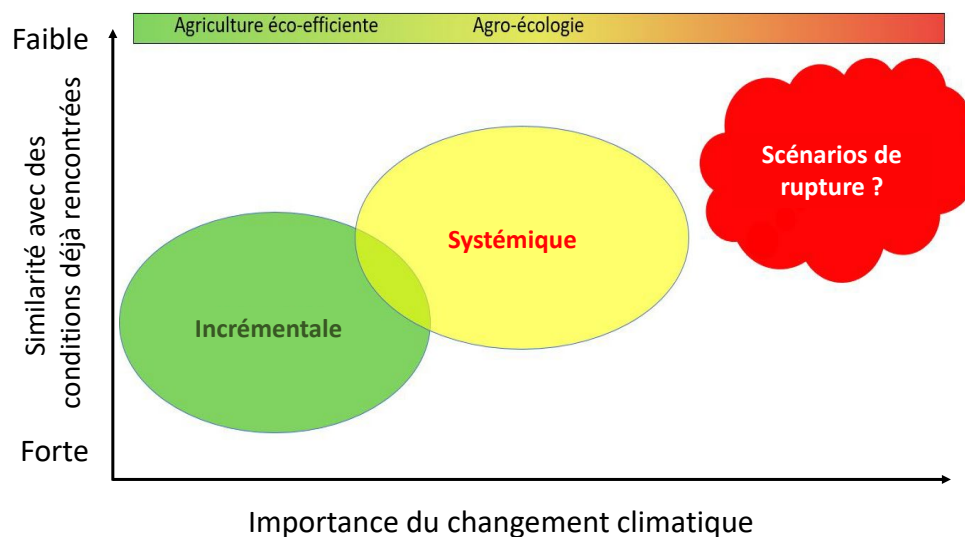


Figure 1 : Différentes stratégies d'adaptation au changement climatique en agriculture (Source : modifié de Price, 2012).

elle ne peut pas tout à la fois, notamment du fait qu'il s'agit souvent de chercher à gérer des compromis. Chez les plantes par exemple, diminuer la transpiration en agissant sur la fermeture des stomates (pores à la surface des feuilles) revient à réduire la photosynthèse et donc la croissance et la production de biomasse (et par contrecoup les rendements). Ce n'est donc que l'un des leviers, qui doit être combiné avec d'autres.

La gestion des ressources en eau est un sujet particulièrement critique, comme l'illustrent les conflits récents autour de la création de retenues de substitution remplies en périodes de hautes eaux pour servir à l'irrigation en été. La réutilisation des eaux usées traitées, actuellement très peu développée en France, est une autre option à envisager, mais qui pose des questions (qualité sanitaire, prix, impacts sur les milieux qui recevaient jusque-là ces eaux, etc.). Dans les deux cas, si le renforcement de la ressource en eau pour l'agriculture sera nécessaire, l'irrigation doit évoluer, dans des conditions assurant la viabilité économique des exploitations, vers une irrigation plus économe, centrée sur la sécurisation de la production et non sur sa maximisation. Ceci doit s'accompagner d'une évolution des assolements et des pratiques (travail du sol en particulier) pour rendre plus efficaces les apports en eau. Il faut aussi se poser la question de la réorientation des productions vers des cultures moins irriguées, voire non irriguées comme le tournesol ou le sorgho (mais cela pose la question de la valorisation de productions pour lesquelles les filières sont encore peu organisées) ou à plus grande valeur ajoutée, notamment au plan local (productions animales laitières, production de semences, maraîchage).

### Une priorité : éviter la mal-adaptation

Des stratégies d'adaptation mal conçues ou mises en œuvre de façon incorrecte peuvent conduire à des situations de mal-adaptation (Juhola *et al.*, 2016) : augmentation des émissions de GES, augmentation de l'exposition et de la sensibilité aux impacts du changement climatique, renforcement de la vulnérabilité de certains groupes sociaux, réduction des possibilités d'adaptation à long terme...

Dans le domaine agricole, les situations de mal-adaptation sont surtout documentées en relation avec les ressources en eau. Par exemple, l'utilisation d'une technologie d'irrigation plus efficace ou la mise à disposition de ressources en eau additionnelles peuvent inciter les agriculteurs à privilégier des cultures avec des besoins en eau plus élevés ou à augmenter la surface irriguée et de ce fait le volume d'eau utilisé. Cette situation, observée en Chine ou en Espagne, illustre « l'effet rebond », décrit initialement par Jevons dans l'énoncé du paradoxe qui porte son nom<sup>1</sup> (Sears *et al.*, 2018).

<sup>1</sup> Selon Jevons, à mesure que les améliorations technologiques augmentent l'efficacité avec laquelle une ressource est employée, la consommation totale de cette ressource augmente au lieu de diminuer.

## L'adaptation des filières et des chaînes de valeur

### Une préoccupation au-delà de la seule production

L'adaptation d'une filière correspond à une démarche d'ensemble pour organiser la résilience aux impacts du changement climatique et en saisir les opportunités. Ceci implique une réflexion avec tous les acteurs (interprofessions, producteurs, organisations professionnelles, coopératives, industries agroalimentaires, distributeurs, recherche agricole, etc.) pour mieux comprendre les forces et les fragilités de la filière et de ses composantes. Il s'agit aussi de faire évoluer les institutions et les politiques publiques, par exemple en adaptant les cahiers des charges des labels. Ce chemin implique aussi de se poser des questions relatives aux investissements à long terme (stockage, transformation... ; Caquet *et al.*, 2020). Dans tous les cas, l'adaptation doit être en cohérence avec les objectifs de réduction des émissions de GES et avec les évolutions de la société en termes de consommation.

Les démarches mises en œuvre dans le secteur des industries agro-alimentaires ont à la fois des dimensions tactiques et stratégiques : diversifier les sources d'approvisionnement ; utiliser d'autres matières premières ; modifier les *process* ; mettre en place des adaptations techniques post-récolte pour réduire les pertes (Davis *et al.*, 2021). L'évolution du commerce international est aussi un mécanisme potentiel d'adaptation, avec des bénéfices substantiels au niveau mondial, mais répartis de manière inégale (Gouel et Laborde, 2021).

### L'exemple de la filière viticole

La filière viticole est concernée par le changement climatique de plusieurs façons : certaines zones viticoles pourraient devenir impropres à une production de qualité tandis que de nouvelles zones favorables, plus septentrionales, pourraient apparaître ; l'évolution des conditions climatiques a déjà une influence significative sur la quantité, la qualité et la typicité du vin (acidité, augmentation du taux de sucre et d'alcool, couleur, arômes...) mais aussi sur les revenus des vignerons et sur le classement et la valeur des vignobles.

L'adaptation peut mobiliser des innovations tout au long de la chaîne de valeur : variétés tardives, plus tolérantes à la sécheresse ou aux ravageurs ; modification des pratiques (taille, effeuillage, gestion du sol et de l'eau...) ; pratiques œnologiques correctives (nouvelles levures, ajustement du pH, désalcooolisation...). Il s'agit aussi de mieux prendre en compte les hétérogénéités au sein des terroirs (par exemple, déplacer les vignobles vers des parcelles exposées différemment) et de faire évoluer les réglementations (par exemple, cahiers des charges des productions sous signe de qualité).

Des projets de recherche pluridisciplinaires, dont le projet Laccave soutenu par INRAE (Ollat et Touzard, 2024), ont alimenté la réflexion des professionnels qui,

sous la coordination de l'INAO et de FranceAgriMer ont élaboré la stratégie de la filière viticole face au changement climatique, présentée en août 2021 au ministre en charge de l'Agriculture. Cette stratégie comporte 40 actions, réparties en 7 domaines : améliorer la connaissance des zones viticoles ; agir sur les conditions de production ; favoriser un matériel végétal adapté ; agir sur les pratiques œnologiques ; évolutions des marchés et garantie de production ; recherche, développement, transfert, formation ; contribuer à l'atténuation du changement climatique.

## Conclusion

Face aux défis du changement climatique, l'adaptation de l'agriculture et des filières agro-alimentaires au changement climatique n'est pas une option. Elle impose une mobilisation de tous les acteurs et des changements de paradigmes afin d'envisager de réelles transformations. Il est nécessaire d'adopter une vision systémique et des démarches volontaires. Un enjeu est de combiner des scénarios de transformation à l'échelle locale avec des démarches globales dans le but d'anticiper d'éventuelles sources de mal-adaptation.

## Références bibliographiques

- AYPHASSORHO H., BERTRAND N., MITTEAULT F., PUJOS C., ROLLIN D. & SALLENAVE M. (2020), « Changement Climatique, Eau, Agriculture », Rapport CGEDD n°012819-01, CGAAER n°19056.
- CAQUET T., GASCUEL C. & TIXIER-BOICHARD M. (coord.) (2020), *L'agroécologie : des recherches pour la transition des filières et des territoires*, Versailles, Éditions Quæ.
- DAVIS K.F., DOWNS S. & GEPHART J.A. (2021), "Towards food supply chain resilience to environmental shocks", *Nature Food*, 2, pp. 54-65.
- EVIN G., HINGRAY B., REVERDY A., DUCHARNE A., SAUQUET E. (2024), « Ensemble de projections Explore2 : Changements moyens et incertitudes associées », Rapport de fin de projet.
- GODDE C.M., MASON-D'CROZ D., MAYBERRY D.E., THORNTON P.K. & HERRERO M. (2021), "Impacts of climate change on the livestock food supply chain; a review of the evidence", *Global Food Security*, 28, 100488.
- GOUEL C. & LABORDE D. (2021), "The crucial role of domestic and international market-mediated adaptation to climate change", *Journal of Environmental Economics and Management*, 106, 102408.
- JANSSENS C., HAVLIK P., KRISZTIN T., BAKER J., FRANK S., HASEGAWA T., LECLERE D., OHREL S., RAGNAUTH S., SCHMID E., VALIN H., VAN LIPZIG N. & MAERTENS M. (2020), "Global hunger and climate change adaptation through international trade", *Nature Climate Change*, 10, pp. 829-835.
- JUHOLA S., GLAAS E., LINNAR B.-O. & NESET T.-S. (2016), "Redefining maladaptation", *Environmental Science & Policy*, 55, pp. 135-140.
- MAUGUIN P., CAQUET T. & HUYGHE C. (2024), *L'agroécologie*, Humensis, « Que sais-je ? ».
- OLLAT N. & TOUZARD J.-M. (eds) (2024), *Vigne, vin et changement climatique*, Versailles, Éditions Quæ.
- PRICE R.J., (2012), "Climate Change Research in Primary Industries: A collation and analysis of R, D & E activities in Australia", Final Report, Climate Change Research Strategy for Primary Industries, University of Melbourne, Melbourne.
- SEARS L., CAPARELLI J., LEE C., PAN D., STRANDBERG G., VUU L. & LIN LAWELL C.-Y.C., (2018), "Jevons' paradox and efficient irrigation technology", *Sustainability*, 10, 1590.



# La qualité des constructions face au changement climatique

Par Philippe ESTINGOY

Ex-directeur général de l'Agence Qualité Construction

Comme l'a indiqué John Ruskin (1819-1900), « La qualité n'est jamais un accident ; c'est toujours le résultat d'un effort intelligent. ». Dans l'analyse faite par les experts en construction des causes des sinistres, il est fréquent de cibler la responsabilité sur un défaut d'exécution, parfois sur un défaut de conception, mais sans pousser les investigations plus loin. Alors qu'il faut avoir conscience que des impasses dans les études par manque de temps ou de financement sont porteuses d'une importante sinistralité.

Face aux enjeux du réchauffement climatique et à la nécessité d'améliorer les performances énergétiques et environnementales des constructions, il est nécessaire de fournir un effort intelligent pour avoir des évolutions techniques et technologiques majeures et de qualité. Pour autant, nombreux sont ceux qui ne sont pas assez convaincus que les premières économies d'énergie et de carbone pourraient venir d'une baisse de la sinistralité liée à une connaissance insuffisante de la physique du bâtiment et des techniques de construction !

Nous avons besoin de beaucoup mieux appréhender de nombreux sujets qui sont potentiellement porteurs de pathologies comme la migration de la vapeur d'eau dans les parois, la performance durable des complexes isolants, les nouveaux matériaux, le réemploi, la qualité de l'air intérieur, les énergies nouvelles... De plus, il est nécessaire d'avoir une approche holistique du bâtiment avec des examens sur les impacts à court, moyen et long terme.

## Qualité de la construction : responsabilités et assurances

Le secteur de la construction a l'impérieuse nécessité d'intégrer des innovations technologiques et des découvertes scientifiques pour s'adapter aux enjeux liés au réchauffement climatique. Face à ce défi sociétal, l'approche qualité qui doit être recherchée a un impact sur la responsabilité du constructeur et sur le rôle de l'assurance.

La singularité du dispositif assurantiel français influe sur la gestion des responsabilités ; il faut le repositionner historiquement avant d'examiner certaines conséquences.

### Responsabilité du constructeur : un héritage multiséculaire

La responsabilité du constructeur est un concept ancien, présent depuis l'Antiquité, comme en témoignent le Code d'Hammurabi ou les écrits de l'architecte romain Vitruve. En France, des traces d'une responsabilité décennale existent dès 1768. Le Code Napoléon, en 1804, a repris cette notion en son article 1792 : « Si l'édifice construit à prix fait, péricule en tout ou en partie par le vice de la construction, même par le vice du sol, les architectes et entrepreneurs en sont responsables pendant dix ans. ».

La loi Spinetta de 1978 a marqué un tournant en instaurant une assurance à « double détente » : l'assurance dommages-ouvrage (DO) obligatoire pour le maître d'ouvrage et l'assurance responsabilité civile décennale (RCD) pour le constructeur. Cette approche permet une indemnisation rapide du maître d'ouvrage en cas de sinistre, sans recherche de responsabilité. L'assureur DO se retournant ensuite contre le constructeur responsable et son assureur RCD.

### Les enjeux de l'assurance face au changement climatique Deux sujets importants

Les assureurs sont confrontés à deux sujets majeurs liés au changement climatique :

- Le coût des conséquences d'événements naturels amplifiés par le réchauffement climatique : avec différents dispositifs, les assureurs participent au financement des travaux de prévention et de remédiation pour protéger les constructions existantes et futures contre les risques accrus d'inondations, de sécheresse, de retrait-gonflement des argiles, etc. Avec un questionnement sur les équilibres financiers des dispositifs assurantielles liés aux catastrophes naturelles.
- L'efficacité des investissements pour réduire les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre : face à l'évolution du climat, les assureurs soutiennent les choix de construction

robustes et performants en économies d'énergie, en adoptant une approche holistique dans une analyse complexifiée pour les assureurs « construction ».

### Deux inquiétudes spécifiques à l'assurance construction

Les sinistres sériels et les incertitudes dans l'analyse du risque décennal sont deux difficultés majeures dans l'analyse du risque lors de la formalisation des contrats d'assurance liés à la responsabilité civile décennale des constructeurs.

Les sinistres sériels, liés à des défauts de conception ou de fabrication d'un produit industriel, constituent un des risques majeurs pour les assureurs construction, alors que les industriels ne sont pas des constructeurs au sens de l'article 1792 du code civil et n'ont donc pas de responsabilité décennale. Plusieurs exemples passés peuvent être cités : certains panneaux photovoltaïques, des panneaux isolants de chambre froide, l'usage de la ouate de cellulose, des vannes « quart de tour », les bétons de la Maurienne... Et c'est l'assureur RCD de l'entreprise qui sera mobilisé. Un des sujets prioritaires de l'Agence Qualité de la Construction (AQC) est d'aider les assureurs à détecter au plus vite les sinistres sériels pour éviter la propagation des désordres et limiter les coûts.

L'analyse du risque décennal, au moment de la souscription de l'assurance DO et des assurances des constructeurs, présente une difficulté pour évaluer les désordres qui pourraient apparaître à l'échéance de la responsabilité décennale des constructeurs. Sur ce point, l'observatoire Sycodés de l'AQC et les analyses faites peuvent aider les assureurs dans leurs études. Une deuxième difficulté, plus difficile à appréhender, est liée d'une part à l'évolution jurisprudentielle de ce qu'est l'impropriété à destination, couverte par la responsabilité décennale du constructeur, et d'autre part aux nouvelles techniques et technologies lorsque, pour répondre aux obligations portées par les politiques techniques, elles sont définies sans effort intelligent pour les concevoir.

La question « quelle assurance pour les risques de l'innovation technologique » est fondamentale avec la transition énergétique pour laquelle nous avons besoin de développer de l'innovation, alors que le gradient du changement est très court et que nous avons un besoin important de progression technologique (voire d'audace ?), ce qui laisse augurer, en l'absence d'études adaptées, une forte augmentation des risques de sinistralité.

## Puissance publique et innovation

### Les politiques techniques

Les politiques techniques permettent à la puissance publique de réguler les dispositions constructives afin de répondre aux exigences fondamentales suivantes : 1) droit des tiers et de la puissance publique ; 2) résistance mécanique, stabilité et étanchéité des constructions ; 3) sécurité incendie ; 4) hygiène, santé ; 5) sécu-

rité d'utilisation et accessibilité ; 6) confort d'usage ; 7) économie d'énergie et isolation thermique ; 8) utilisation durable des ressources naturelles et enjeux environnementaux.

Ces politiques peuvent concerner les constructions neuves, les rénovations ou l'exploitation des bâtiments. Cette notion a été construite progressivement au cours des siècles, les quatre derniers points n'apparaissant qu'à la fin du XX<sup>e</sup> siècle.

La diversité des sujets traités par ces règles techniques mises en place progressivement et l'émergence de nouveaux sujets liés, par exemple, à la santé et à l'environnement rendent les règles techniques complexes et peuvent conduire à des incohérences entre elles.

La multiplication des règles peut à la fois être un facteur de progrès technique et de protection des citoyens d'aujourd'hui et de demain, mais aussi un frein à l'innovation. L'inflation de règles techniques peut aussi entraîner des conséquences majeures sur le coût de la construction.

### Innovations et innovateurs

Au regard des ouvertures nombreuses qui sont offertes, il y a une interrogation constante sur le sérieux des « innovateurs » et la capacité à vérifier les performances sur le long terme des nouveaux produits et équipements proposés en réponse aux orientations politiques, avec dans le même temps le sujet de la disponibilité de certains matériaux en fonction des contextes géopolitiques. Le rôle des assureurs est fondamental dans l'acceptation (ou non) des nouveaux produits.

Aujourd'hui, dans la construction, les financeurs de l'innovation « produit » sont les industriels, petits et grands, éventuellement aidés, sous conditions, par la puissance publique. Ce sont eux qui retirent le bénéfice financier généré par une innovation et qui en supportent l'échec commercial. Le client peut avoir aussi un petit bénéfice, ainsi que les générations futures lorsqu'une innovation apporte un plus pour l'environnement. En revanche, ceux qui supportent les conséquences de désordres générés sont, d'une part, le maître d'ouvrage de la construction et, d'autre part, les constructeurs – les uns comme les autres mobilisant leurs assurances, l'assurance dommages-ouvrage pour le maître d'ouvrage et la garantie de responsabilité décennale pour les constructeurs (et parfois la garantie multirisques habitation pour l'occupant). Maîtres d'ouvrage et constructeurs n'ont que marginalement la possibilité de s'exprimer sur les innovations produit. Leurs assurances sont alors pleinement légitimes à approuver des dispositifs qui permettent un certain « contrôle » du risque.

### Innovation et assurance

Un angle de questionnement du thème « le risque de l'innovation technique dans le bâtiment pour l'assureur » est : « Dans l'innovation technique, quelles places respectives accorder au principe de responsabilité des différents acteurs et quelle logique d'assurance ? ».

Cette question doit être abordée dans une logique coût/bénéfice équilibrée dans laquelle l'innovation technique peut, effectivement, se développer – ou non.

Le domaine spécifique du bâtiment, avec, entre autres, la distinction entre industriels et entrepreneurs, la responsabilité du « constructeur » (RCD) et l'assurance dommages-ouvrage (DO), ne peut pas être comparé aux autres secteurs économiques. Et si l'équilibre trouvé avec le système actuel, construit par notre histoire, n'est pas parfait et génère régulièrement des récriminations autour de l'impossibilité d'innover dans la construction, il reste à en imaginer un autre qui, tout en supprimant un éventuel frein à l'innovation, ne remettrait pas en cause les apports du dispositif assurantiel actuel.

## Les apports de l'Agence Qualité Construction (AQC)

L'AQC, en partenariat avec les assureurs, joue un rôle crucial dans l'adaptation du secteur de la construction aux enjeux du changement climatique. En mettant l'accent sur la prévention des risques, l'amélioration de la qualité et de la performance énergétique des bâtiments, l'AQC contribue à renforcer la résilience du secteur face aux défis futurs. La responsabilité du constructeur et l'assurance sont des éléments clés de cette démarche, permettant de garantir la qualité et la pérennité des ouvrages. Elle travaille pour, entre autres :

- Identifier les pathologies récurrentes et émergentes grâce à l'analyse des rapports d'expertise et des données statistiques sur les sinistres. L'AQC a ainsi pu limiter l'impact de sinistres sériels grâce à son dispositif d'alerte.
- Éclairer les assureurs dans la gestion des risques : en distinguant la technique courante (normes, DTU, etc.) de la technique non courante (produits innovants nécessitant une validation préalable).
- Piloter la production et diffuser des recommandations professionnelles sur les produits et techniques de construction, et divers autres outils ayant vocation à aider les acteurs de la construction dans l'évolution de leurs pratiques. La mise en place de la plateforme Pro'RENO regroupe plus de 800 ressources (vidéos, fiches, rapports, podcasts, etc.) mises gratuitement à disposition des professionnels.
- Piloter un programme de recherche pour développer des méthodes de mesure de la performance énergétique des bâtiments fiables et rapides. L'AQC a piloté et contribué à la création d'outils permettant de réaliser ces mesures en 24 heures, voire moins dans certaines configurations.

## Perspectives et défis technologiques

Malgré les actions évoquées, les désordres et les coûts de réparation vont augmenter tant pour les assureurs

que pour les assureurs dommages avec le régime CATNAT, mais ces augmentations seront moindres que si rien n'était fait.

Pour éviter les risques liés aux nouvelles constructions, il est essentiel de connaître les performances des nouveaux matériaux dans le temps. Cependant, plusieurs acteurs, en dehors des grands industriels, proposent des solutions innovantes sans connaître la physique du bâtiment et les risques de désordres ! L'AQC travaille sur plusieurs axes pour relever les défis technologiques liés à la construction durable, entre autres :

- matériaux biosourcés : évaluation de la performance et de la durabilité de ces matériaux innovants, en tenant compte des risques (gradient de la vapeur d'eau dans le complexe isolant, point de rosée, durabilité des performances, etc.) ;
- qualité de l'air intérieur et confort : importance de la ventilation pour garantir une bonne qualité de l'air intérieur, en lien avec la performance énergétique des bâtiments ;
- réemploi des matériaux : afin de qualifier les performances physiques et chimiques des produits lors de leur réemploi ;
- pompes à chaleur : amélioration du fonctionnement des pompes à chaleur pour optimiser leur performance et leur durabilité ;
- résilience aux effets du changement climatique : techniques de construction, matériaux, etc.

# La stratégie opérationnelle de RTE pour transformer le réseau de transport d'électricité à l'horizon 2040

Par Xavier PIECHACZYK

Président du directoire de Réseau de Transport d'Électricité (RTE)

Le réseau de transport d'électricité français est une infrastructure essentielle pour le pays qui doit, à la fois, garantir son attractivité, et aussi, être le support de la bascule du pétrole et du gaz fossile vers l'électricité. Sa transformation représente donc un enjeu de décarbonation mais également de souveraineté. À travers son plan stratégique à l'horizon 2040, Réseau de Transport d'Électricité (RTE) planifie la poursuite de la 3<sup>e</sup> ère de développement du réseau autour de trois piliers : renouveler le réseau et l'adapter au changement climatique pour maintenir la qualité de service ; raccorder les nouveaux consommateurs et producteurs d'électricité pour réussir l'électrification du pays et la réindustrialisation des territoires ; et renforcer la colonne vertébrale du réseau pour permettre le transport de ces nouveaux flux électriques. Plan d'aménagement et d'équipement du territoire, ce plan représente aussi un acte industriel et souverain, qui doit être synonyme de croissance et d'emplois en France et en Europe.

Le réseau de transport public d'électricité français est une infrastructure essentielle pour le pays qui doit, à la fois, garantir son attractivité d'aujourd'hui et de demain, et aussi, être le support de la bascule du pétrole et du gaz fossile vers l'électricité. Son adaptation représente donc un enjeu de décarbonation mais également de souveraineté énergétique.

Le réseau développé, maintenu et exploité par Réseau de Transport d'Électricité (RTE) est l'héritage de deux phases qui ont jalonné l'histoire de notre pays : la première, après la Seconde Guerre mondiale, lors de la reconstruction de la France ; la deuxième, dans les années 1970-1990, à l'occasion du développement du parc électronucléaire français et du plan « Messmer ».

Aujourd'hui, il s'agit bien de planifier une troisième ère. Celle qui doit préparer la France à ce que l'électricité devienne la source d'énergie majoritaire dans le mix énergétique français, à un moment où la France s'est fixée des objectifs ambitieux de décarbonation et de réindustrialisation. Un moment où le rôle de l'électricité dans le chemin vers la neutralité carbone fait désormais l'objet d'un relatif consensus. Un moment au cours duquel les usages énergétiques des Français, des entreprises, des industries changent, avec leur nécessaire électrification.

En 2035, dans son scénario de référence du Bilan prévisionnel 2023-2035, RTE décrit une consommation de

615 TWh<sup>1</sup> qui permettrait d'atteindre les objectifs du Fit for 55. Alors qu'en 2024, la France a consommé environ 450 TWh. Nul ne peut « prédire » les consommations de demain, qui dépendent de nombreux paramètres. En revanche, nous savons que cette consommation doit augmenter, si le pays veut transférer des usages hydrocarbures vers un mode décarboné<sup>2</sup>. Plus de consommation d'électricité nécessite alors davantage de production d'électricité. Entre les deux : le réseau. L'évolution du réseau fait donc inévitablement partie de l'équation d'une France qui se réindustrialise, tout en se décarbonant.

<sup>1</sup> RTE, Bilan prévisionnel édition 2023 – Futurs énergétiques 2050 - 2023-2035 : première étape vers la neutralité carbone et <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques#Lesdocuments>

<sup>2</sup> En 2023, la consommation finale à usage énergétique par énergies se répartit ainsi, sur un total de 1 476 TWh : 39 % de pétrole, 27 % d'électricité, 18 % de gaz naturel, 13 % d'EnR thermiques et déchets, 3 % de chaleur commercialisée, moins de 0,5 % de charbon. Source : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-energie-2024/pdf/pages/donnees-cles.pdf>

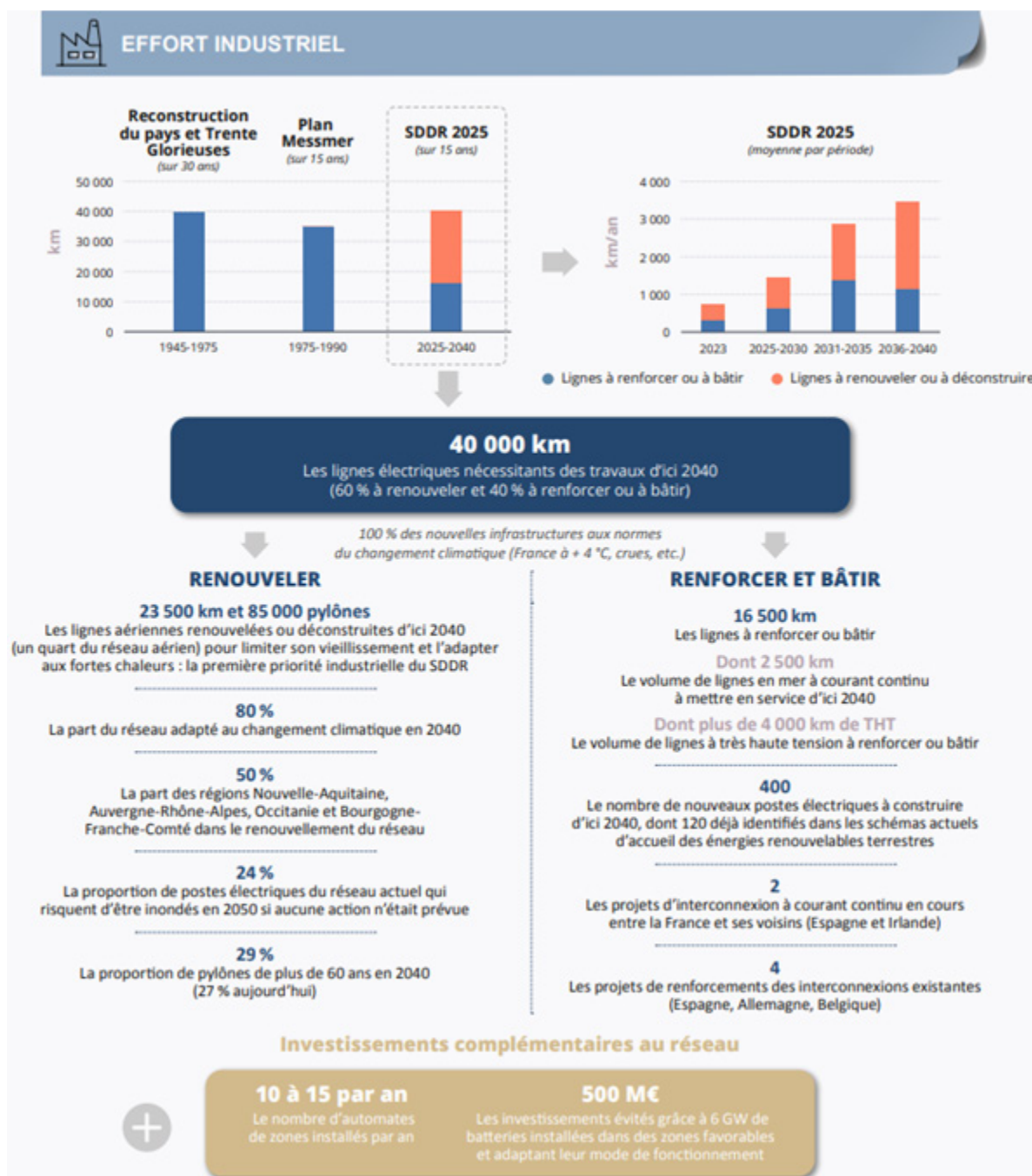


Figure 1 : Chiffres clés (Source : RTE, Schéma décennal de développement du réseau – Synthèse – édition 2025, p. 40).

## Planifier cette troisième ère

C'est à travers un plan-programme<sup>3</sup> dit « SDDR »<sup>4</sup> que RTE planifie la transformation du réseau de transport

<sup>3</sup> Le statut de plan-programme, tel que régi par la loi, implique que ce plan fasse l'objet de plusieurs avis officiels de l'État, à travers le ministre en charge de l'Énergie, de l'Autorité environnementale et de la Commission de régulation de l'Énergie. En outre, il doit être soumis à la Commission nationale du débat public, qui a d'ores et déjà été saisie, et qui a décidé d'organiser un débat public en 2025. À la suite de ces avis et de la participation du public, RTE publiera une version définitive de son plan d'investissements pour 2040, qui constituera la stratégie de référence.

<sup>4</sup> Schéma décennal de développement du réseau – prévu par la loi. RTE a fait le choix de se projeter à 15 ans.

d'électricité pour les 15 prochaines années. Il était important que les grandes orientations de ce plan puissent être dévoilées dès début 2025. En effet, certains programmes d'investissements sont urgents, notamment ceux dédiés à l'adaptation au changement climatique et au renforcement de parties du réseau qui pourraient devenir rapidement limitantes. Par ailleurs, RTE a choisi de faire de la visibilité un enjeu central de ce plan, pour permettre à ceux qui se connectent au réseau ainsi qu'à la *supply chain* de se projeter. En outre, pour optimiser les coûts d'une telle infrastructure, il faut la mutualiser et la prioriser, donc la planifier. Là aussi, la visibilité est clé.

## Une méthode de travail éprouvée

RTE a travaillé pendant plus de 2 ans sur les grandes orientations de son plan d'investissements à l'horizon 2040, comme une déclinaison réseau des Futurs énergétiques 2050 et du Bilan prévisionnel 2023-2035. À la suite de ces études, différents scénarios et alternatives ont été testés, comme usuellement. Une large concertation des parties prenantes a été par ailleurs lancée pour connaître leurs besoins et leurs attentes.

Cette concertation a été complétée par une consultation publique qui a réuni près de 300 réponses, dont la majorité émane des territoires. Les fournisseurs d'équipements et sous-traitants industriels de RTE, de même que les gestionnaires de réseau de transport d'électricité européens, ont aussi contribué.

Beaucoup considèrent largement que le développement du réseau est nécessaire dans les territoires. Nombre d'entre eux soulignent l'importance d'un raccordement rapide et priorisé, sans toutefois trouver un consensus sur les solutions de priorisation. Enfin, le niveau global de tension sur le marché est confirmé par les fournisseurs et les équipementiers. L'évolution de la stratégie achats de RTE vers plus de visibilité, avec des contrats plus longs, plus standards et plus massifiés, a commencé à y répondre, mais toute la *supply chain* aspire à davantage de visibilité pour pouvoir investir dans son appareil de production.

## Un plan d'aménagement et d'équipement du territoire articulé autour de trois grands piliers

### Renouveler en adaptant

Renouveler le réseau et l'adapter au changement climatique pour maintenir la même qualité de service, raccorder les nouveaux consommateurs (industries manufacturières, *data centers*, électrolyseurs, etc.) et producteurs d'électricité (nucléaire, *offshore*, énergies renouvelables terrestres) pour réussir l'électrification du pays et la réindustrialisation des territoires, renforcer la colonne vertébrale du réseau chargée de déplacer les grands flux d'électricité dans le pays, ainsi qu'avec nos voisins, tels sont les trois grands piliers du plan que RTE propose.

Le premier pilier décrit la nécessité de renouveler le réseau et de l'adapter au changement climatique.

### Raccorder

Le deuxième pilier projette le raccordement des consommateurs et des producteurs d'électricité. Le raccordement des industriels a été identifié comme la priorité n°1 par RTE. À cet égard, RTE a déjà contractualisé avec plus de 140 projets industriels et octroyé des droits d'accès au réseau pour une puissance de 21 GW. Ces projets doivent désormais se concrétiser pour se projeter en phase travaux. Du côté de la production, le SDDR prévoit le raccordement des futurs premiers EPR 2, des énergies renouvelables en mer,

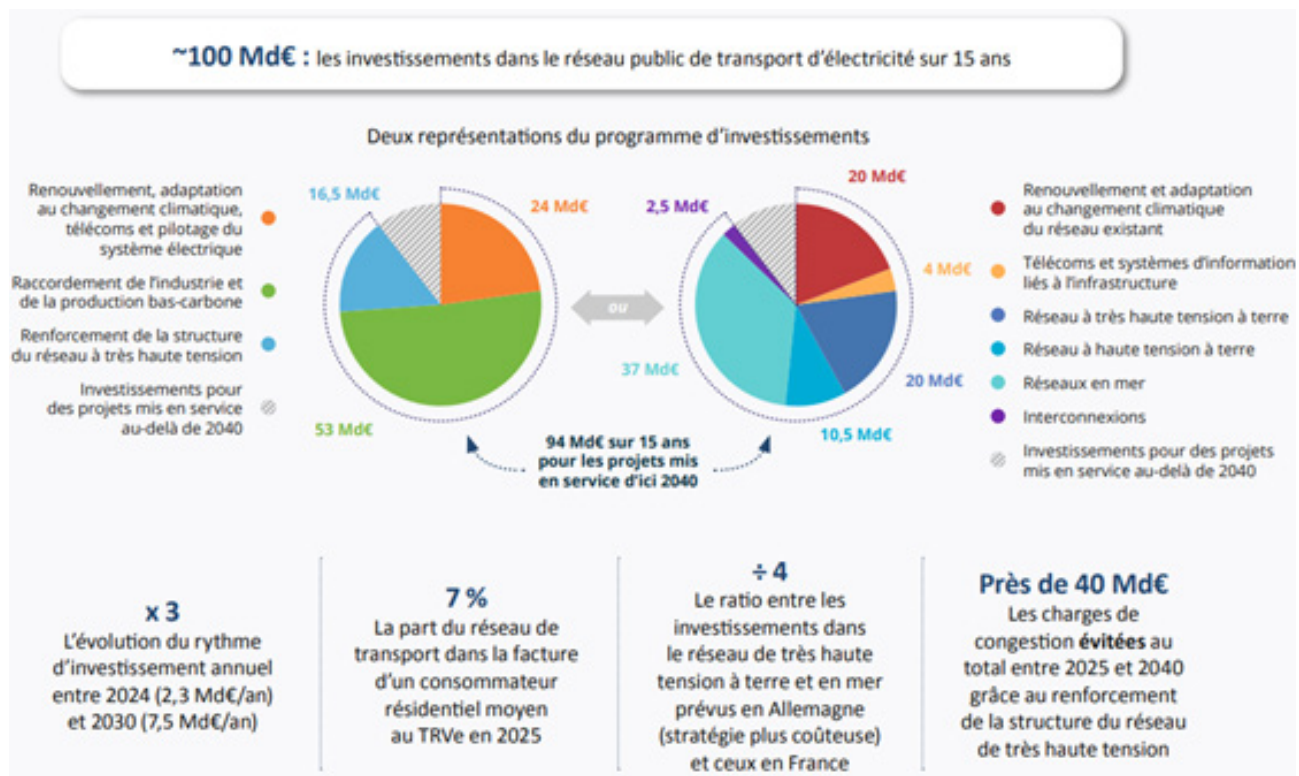


Figure 2 : Dépenses (Source : RTE, Schéma décennal de développement du réseau – Synthèse – édition 2025, p. 43).

en prévoyant la création d'un réseau de transport maritime qui n'existe pas aujourd'hui, ainsi que le raccordement des énergies renouvelables terrestres, sur la base des objectifs nationaux envisagés par l'État.

### Renforcer

Enfin, le troisième pilier décrit le renforcement de la grande colonne vertébrale du système électrique : il s'agit du réseau très haute tension 400 000 volts, qui doit accueillir les nouveaux flux électriques – plus importants et répartis différemment sur le territoire. Il représente un élément crucial pour garantir un système électrique aussi fluide demain qu'aujourd'hui, en limitant les congestions<sup>5</sup>.

L'évolution de l'empreinte environnementale et territoriale du réseau a été étudiée et les moyens de l'éviter et de la réduire sont identifiés.

Ce plan, qui prévoit environ 100 milliards d'euros d'investissements pour les 15 prochaines années, comporte des options et des paramètres pour régler l'intensité de l'investissement au fil du temps. Il est séquencé en plusieurs périodes : jusqu'en 2030, 2030-2035 et 2035-2040.

## L'impérieuse nécessité de renouveler le réseau et de l'adapter au climat

Parmi les trois piliers qui composent ce plan, celui du renouvellement du réseau et de l'adaptation au changement climatique constitue le plus grand programme industriel du SDDR.

### Un réseau construit dans sa grande majorité au cours de la deuxième moitié du XX<sup>e</sup> siècle

Aujourd'hui, 20% des lignes aériennes ont plus de 70 ans et 65 000 pylônes ont entre 70 et 105 ans. Le réseau de transport d'électricité a donc été construit pour résister à des conditions climatiques bien différentes de celles d'aujourd'hui, et de demain...

À la suite des tempêtes de 1999, dès sa création, RTE a pris à bras le corps le sujet de la sécurisation mécanique de ses ouvrages exposés aux fortes tempêtes avec un programme qui a duré 15 ans. Ainsi, depuis 2017, ces ouvrages peuvent résister à des vents de 180 km/h sur le littoral et de 150 km/h dans les terres.

<sup>5</sup> « Un réseau dont la structure devient inadaptée engendre des coûts importants pour la collectivité. Par exemple, la saturation du réseau allemand a coûté, au cours des trois dernières années, entre 1 et 4 Mds€ par an aux gestionnaires de réseau allemands, et donc aux consommateurs. Ces coûts sont passés directement dans les tarifs de réseau dans tous les pays. En France, sans renforcement du réseau, les volumes annuels de *redispatching* pourraient atteindre 3 Mds€/an dès 2035 (contre environ 100 M€ en 2024) », RTE, Schéma décennal de développement du réseau – Synthèse – édition 2025, p. 28.

### Une exposition aux risques des ouvrages accentuée par le changement climatique

Les ouvrages du réseau, lignes et postes électriques, sont de plus en plus soumis aux risques induits par le changement climatique, notamment en lien avec les épisodes de forte chaleur et les inondations.

Alors que les câbles des lignes chauffent nécessairement lors du transit de l'électricité, les vagues de chaleur intense sans vent ne permettent pas aux câbles de se refroidir et pourraient provoquer des effets de dilatation trop importants avec un risque pour l'environnement immédiat des lignes (notamment la végétation) ou des transits nécessairement limités. À ce jour, 37 % des lignes aériennes sont exposées au risque chaleur. Avec la stratégie prévue dans le SDDR, plus aucune ligne ne sera concernée en 2060. Sur le plan de l'ingénierie, il s'agit notamment de changer les pylônes en ayant parfois recours à des pylônes plus hauts et de remplacer les câbles actuels par des câbles d'une capacité plus importante.

Pour les postes, c'est bien la résilience face aux inondations centennales projetées pour 2100 qui est visée. Ainsi, 18 % des postes dont RTE est propriétaire seraient inondables – en climat projeté – avec un risque sur l'alimentation électrique. Dans le plan, en 2060, seuls 7 % de ces postes le resteront, supportés par des schémas d'exploitation en période de crue qui devront permettre une reprise d'alimentation sur les postes voisins.

### Une stratégie « deux-en-un »

Face à ces défis, le SDDR prévoit un programme industriel d'ampleur avec 23 500 km de lignes renouvelées et 85 000 pylônes remplacés d'ici 2060, permettant ainsi d'assurer, à la fois, le remplacement des équipements les plus anciens, et la résilience du réseau à un climat projeté à + 4°C en 2100, évitant ainsi de multiplier les études d'ingénierie ainsi que les travaux sur une même infrastructure. Cette stratégie de référence représente un coût total de 20 milliards d'euros, pour une adaptation finalisée en 2060.

RTE mène d'ores et déjà des actions sur l'aluminium, l'acier et le cuivre avec la mise en place de processus et d'expérimentation sur le recyclage de ces matières (en boucle ouverte et fermée). D'un point de vue technique, la part d'aluminium recyclé dans les conducteurs peut atteindre jusqu'à 30 %. Outre le rehaussement du poids des critères environnementaux dans tous les marchés déjà mis en place, la prochaine étape consiste à fixer des cibles sur les taux de matériaux recyclés pour inciter les fournisseurs à passer à l'échelle. Par ailleurs, le programme éolien en mer est un levier pour accélérer la recherche sur la substitution du cuivre par de l'aluminium dans les câbles sous-marins.

### La nécessaire mise en place d'un programme industriel dédié au renouvellement du réseau aérien

Si l'emplacement des lignes et des postes ne sera, en général, pas modifié, les équipements seront, eux,



Figure 3 : Indicateurs (Source : RTE, Schéma décennal de développement du réseau – Fiche 3 – Renouvellement et adaptation au changement climatique – édition 2025, p. 28).

plus récents et construits pour être toujours adaptés au climat de 2100.

Ce programme industriel de renouvellement et de résilience représente plus de la moitié de la longueur totale d'infrastructures du réseau concernée par des travaux sur une période de 15 ans.

Un programme composé d'une multitude de petits travaux, où seule la standardisation, aussi bien des matériels que des opérations d'ingénierie, permettra de réussir.

## Un acte industriel et souverain

Ce plan identifie les défis industriels et les moyens de les relever. En cela, il constitue un acte industriel et une opportunité de regagner en souveraineté manufacturière.

RTE souhaite que ses investissements maximisent les retombées économiques sur le territoire national et européen avec, par exemple, l'ambition d'atteindre une part de 50 % de matériel français pour le raccordement *offshore*.

L'un des moyens essentiels pour tenir cet engagement est de poursuivre la transformation de la politique d'achats de RTE, qui s'est orientée vers des contrats plus longs et massifiés, ainsi que de la *supply chain* afin de sécuriser les approvisionnements, dans un contexte de tension mondiale. Ainsi, RTE offre davantage de débouchés commerciaux et incite ses fournisseurs à investir sur leurs propres actifs pour le passage à l'échelle. En contrepartie, des critères de durabilité plus exigeants – notamment sur la recyclabilité des matériaux – sont mis en place.

Les investissements prévus favoriseront la création de 8 000 à 12 000 emplois par an d'ici 2030 dans la filière des réseaux électriques, allant de la fabrication des matériels aux travaux.

## Les quatre clés pour réussir ce plan

Avec ce plan stratégique, RTE projette le réseau de transport d'électricité à l'horizon 2040.

Au-delà de ses trois piliers comme autant de priorités, quatre clés de réussite doivent être réunies. La première réside dans la maîtrise de la trajectoire et de ses coûts : avec un plan priorisé et optimisé (ainsi que les stratégies alternatives et options) – ce plan se situe dans la fourchette basse par rapport à nos voisins européens. La deuxième clé réside dans la poursuite de la transformation de la politique d'approvisionnement et de la *supply chain*, au cœur de ce plan. La troisième est la filière des réseaux électriques qui doit disposer des ressources humaines et des compétences nécessaires. Enfin, la quatrième clé concerne la refonte du droit d'accès au réseau, afin d'éviter la spéculation sur les droits de raccordement en faisant évoluer le principe du « premier arrivé, premier servi », ainsi que les principes qui guident son indisponibilité pendant les travaux, qui seront nombreux et importants.

Tout cela est nécessaire, car il n'y aura pas d'Europe et de France décarbonées sans un réseau transformé et solide, qui bénéficiera, *a minima*, à deux prochaines générations de Français.



# SNCF Réseau mobilisée pour l'adaptation au changement climatique – une profession de foi

Par **Matthieu CHABANEL**

Président-directeur général de SNCF Réseau

**Benoit CHEVALIER**

Directeur du programme Adaptation au changement climatique de SNCF Réseau

Et **Mathilde KOSCIELNY**

Pilote programme de SNCF Réseau

Les grands gestionnaires d'infrastructure sont tous confrontés au changement climatique, dont les conséquences sont déjà mesurables. SNCF Réseau est d'ores et déjà engagée pour relever le défi, faire évoluer ses principes de surveillance et de maintenance, progresser dans la connaissance et adapter ses actifs à moyen et long terme, en veillant à se concentrer sur les actions ayant le meilleur rapport coût/efficacité.

## Introduction

Le mot « infrastructure » a été inventé par les ingénieurs français dans les années 1870 pour désigner les travaux de terrassement d'une voie ferrée, qui allaient devenir le plan Freycinet. Il traduit le choix fait par les générations successives d'un réseau ferroviaire construit pour durer, ouvrage technique résistant en toutes saisons et incluant des marges de sécurité dont nous bénéficions toujours aujourd'hui.

Mais le dérèglement climatique change les règles. Nous sommes d'ores et déjà confrontés à des épisodes météorologiques dont la conception de l'infrastructure n'avait pas anticipé le niveau ou la fréquence, qu'il s'agisse d'événements extrêmes ou de phénomènes cycliques qui fatiguent les systèmes techniques.

Cette tendance de fond nous demande de construire, en s'appuyant sur l'expérience accumulée, sur le très haut niveau de sécurité du réseau, sur les marges existantes, une nouvelle science de l'adaptation au changement climatique du système ferroviaire. Celle-ci doit à la fois identifier les bons choix techniques et les méthodes économiques pour prioriser les investissements, afin de pouvoir continuer à proposer à chacun une solution de mobilité préservant la planète.

## L'adaptation est notre histoire

### Notre expérience

L'adaptation est notre histoire. Depuis sa construction au XIX<sup>e</sup> siècle, le réseau ferré national est exposé aux saisons et aux aléas climatiques.

Pour faciliter l'accès aux villes et aux industries, une partie du réseau s'est établie le long des cours d'eau. Pour desservir l'ensemble du territoire, il a fallu développer une ingénierie technique et un savoir-faire quotidien adapté au profil de chaque terrain, aux sols meubles comme aux roches, à la pluie, à la neige, à la mer, au vent, à la chaleur, au froid.

S'adapter. L'infrastructure linéaire, les ouvrages en terre (déblais et remblais), les ouvrages d'art ont été conçus et progressivement adaptés en s'ajustant à la fois au progrès technique et à l'environnement : tracé, matériaux, dimensionnement.

Pour André Martinet, ingénieur des Ponts-et-Chaussées (1928) : « Les ouvrages doivent être faits [sur mesure] pour le terrain et le cours d'eau et non le terrain ou le cours d'eau pour eux ». Partant de cette philosophie, le réseau ferroviaire s'est édifié dans un temps où chaque saison recommence et se ressemble : l'époque de l'ère préindustrielle, celle d'une stabilité à mémoire d'homme, référence d'aujourd'hui pour l'observation de l'évolution du climat. Cette époque est aussi à l'ori-

gine des normes d'un réseau qui s'est développé et a marqué le territoire de son empreinte, embarquant avec lui la modernité : non seulement génie civil, mais aussi électricité, signalisation, automatisation, vitesse et temps réel.

### Les vulnérabilités du réseau

Chaque ouvrage, chaque système du réseau ferroviaire, comporte des marges de sécurité intégrées par ceux qui l'ont construit : un pont, par exemple, est conçu pour résister aux crues centennales connues à la date de sa conception. Mais il a aussi des vulnérabilités face aux intempéries croissantes et aux phénomènes naturels associés. Face à ces risques, la projection des tendances passées ne suffit plus et plusieurs solutions s'offrent au gestionnaire du réseau pour assurer l'intégrité du système et la continuité de service : surveiller, maintenir, protéger, parfois reconstruire, réinventer.

Si les exemples récents sont nombreux, le cas de la destruction du franchissement de la Ravoire à Bourg-Saint-Maurice par une lave torrentielle emportant l'ouvrage d'art en 1981 (voir la Figure 1), illustre les enjeux auxquels le ferroviaire a de tout temps été confronté et qui ont pu aussi s'aggraver avec la densi-

fication de l'urbanisation (Koscielny, 2006). La réponse à cet événement avait alors été de « réinventer » une portion de ligne avec un nouveau tracé, en concertation avec les services de l'État.

### Les nouveaux défis dès aujourd'hui

Pour la continuité et la sécurité de son activité, le gestionnaire d'infrastructure s'est depuis longtemps emparé du sujet de la gestion des intempéries et des risques naturels sur lesquels il a contribué à faire progresser les techniques de conception, de prévention et d'exploitation.

Mais le dérèglement climatique va amplifier les phénomènes dans leur intensité et leur fréquence, avec toutefois des incertitudes dans l'ampleur des conséquences opérationnelles pour le système ferroviaire, ses clients et ses équipes.

### Maintenance et exploitation

Ce contexte impose une pression déjà tangible sur les mainteneurs et sur les agents chargés de la gestion des circulations, qui va probablement s'intensifier, tous



Figure 1 : Solution alternative retenue avec un changement de tracé plutôt qu'une réparation à l'identique : franchissement de la Ravoire de Bourg-Saint-Maurice (Source cartographique : [www.geoportail.gouv.fr](http://www.geoportail.gouv.fr)).

domaines confondus, et peut même changer les priorités de gestion.

Ainsi, l'accroissement des chutes d'arbres liées à l'augmentation de leur mortalité (+ 80 % en 10 ans (IGN, 2023)) et la prolifération plus rapide de la végétation sur les voies et aux abords du fait de températures plus chaudes et de l'abondante pluviométrie, accentuent les gênes sur la circulation, nécessitant des efforts accrus de maintenance.

### Conception

Du point de vue du concepteur, ce que l'on appelle le risque « connu », maîtrisé jusqu'alors dans la conception de l'infrastructure par des réglages ou des marges de sécurité établies, est aujourd'hui à revisiter et questionne légitimement les règles de dimensionnement actuelles.

Le domaine de l'hydraulique est particulièrement concerné avec une probable modification des régimes de crues. L'analyse de l'évolution du risque d'inondation de plaine montre une tendance généralisée à l'augmentation des débits de crue décennale à l'horizon 2050, (Covea, 2022). Le risque d'inondation par ruissellement peut être plus important du fait de la fréquence des précipitations intenses et parfois de l'artificialisation des sols. Les ouvrages sont désormais contraints d'absorber l'accroissement des pics de débits avec les problématiques que cela représente : inondation de plateforme, endommagement des ouvrages hydrauliques et des ouvrages en terre, questions sur le redimensionnement ou la reconstruction des infrastructures, après un incident ou à titre préventif.

## La stratégie d'adaptation au changement climatique

Pour relever l'ensemble de ces défis, et coordonner les initiatives déjà engagées, SNCF Réseau s'est dotée d'une stratégie (2024) qui se décline en trois volets : progresser dans la connaissance, prioriser les actions, et travailler en partenariat.

### Progresser dans la connaissance

Si le changement climatique se mesure déjà au quotidien, son ampleur dans les prochaines décennies est difficile à traduire. SNCF Réseau s'appuie dans ce domaine sur le travail mené par Météo France qui permet de préciser peu à peu les phénomènes auxquels il sera nécessaire de s'adapter sur la base de la trajectoire officielle (TRACC, 2024).

Il faut ensuite, en combinant l'expérience de l'entreprise et des modèles théoriques, estimer les conséquences sur les installations du réseau ferré et sur les conditions de travail des agents. Depuis 2020, c'est l'objet des études de vulnérabilité, outils de référence pour anticiper l'impact du climat. Celles-ci montrent d'ailleurs que tous les risques ne sont pas au même niveau et, en particulier, que le cycle de l'eau a plus d'impact que la chaleur pour les infrastructures.

En tirer les conséquences en termes d'adaptation des référentiels est un défi technique dans une entreprise d'ingénieurs ayant montré depuis longtemps la puissance de leur rigueur scientifique mais qui doivent aujourd'hui travailler avec de nombreuses données manquantes.

### Agir et prioriser

Tous les domaines de compétences de SNCF Réseau sont à mobiliser pour l'adaptation :

- l'exploitation du réseau – par exemple : ralentir les trains pour assurer le service si les caténaires de conception ancienne sont détendues lors d'une vague de chaleur ;
- la maintenance (surveillance et entretien) – par exemple : croiser la donnée météorologique et la connaissance du patrimoine sensible sur la base d'algorithmes de traitement de données pour déclencher les tournées de vérification suite à des fortes pluies ;
- les actifs eux-mêmes – ce qui peut aller de la peinture blanche, pour limiter la chaleur dans les guérites de signalisation, à la mise en « transparence hydraulique » d'une voie nouvelle en zone inondable. Ce troisième axe, recelant les actions les plus coûteuses et longues à mettre en œuvre, ne doit pas être le seul mobilisé, même si c'est souvent le premier qui vient à l'esprit.

L'humain est au cœur de ces trois axes, parce que l'adaptation ne se fera pas sans les compétences et l'engagement des agents, et parce que cela n'est possible que si l'entreprise assure leur sécurité et leur santé au travail dans un climat qui change (révision des plages de travail par période de forte chaleur par exemple).

Dans tous ces domaines, les actions possibles sont nombreuses, les fausses bonnes idées également, et les financements contraints. Plutôt que d'indiquer aux opérationnels comment faire, la démarche de SNCF Réseau est de partager les problématiques, les bonnes pratiques, et de fournir des outils pour prioriser les choix techniques : une méthode d'analyse coûts-bénéfices (voir l'Encadré) dans la lignée de la théorie initiée par Jules Dupuit au XIX<sup>e</sup> siècle, un « label » permettant d'évaluer le niveau d'adaptation d'un investissement, etc.

Dans un contexte de rareté des fonds publics et de besoins importants de remise à niveau des infrastructures existantes vieillissantes – avec pour le réseau ferré français l'ambition fixée par les pouvoirs publics de porter de 3 à 4,5 Mds€ par an les investissements de renouvellement et de modernisation des lignes structurantes – l'effort de rajeunissement du patrimoine apparaît comme le socle de la réponse aux enjeux du changement climatique pour le volet investissements. Un réseau renouvelé avec des composants (rails, systèmes de signalisation, caténaires, ouvrages...) conçus selon les standards actuels sera, toute choses égales par ailleurs, plus résilient. Cela peut apparaître comme une évidence mais ne doit pas être perdu de vue au

### Encadré : Le calcul économique pour l'adaptation au changement climatique

Depuis les années 1950, l'analyse coûts-bénéfices a été utilisée à différentes reprises pour évaluer le bon dimensionnement d'investissements de protection contre les risques naturels. Le travail du mathématicien David Van Dantzig (1956) fait figure de référence dans ce domaine. Cette recherche, qui intervient après un tragique raz-de-marée aux Pays-Bas en 1953, cherche à déterminer la hauteur optimale des digues. Aujourd'hui encore, les formules issues de ces travaux inspirent largement la stratégie néerlandaise de prévention des inondations.

L'application de cette méthode au changement climatique est intervenue à partir des années 2000. On trouve une large synthèse de ces travaux dans le Fifth Assessment Report du GIEC (IPCC, 2014). Son message est qu'il existe un niveau optimal de protection, qui ne correspond pas au risque zéro, à partir duquel le coût des actions d'adaptation est supérieur aux dommages évités (cf. Figure).

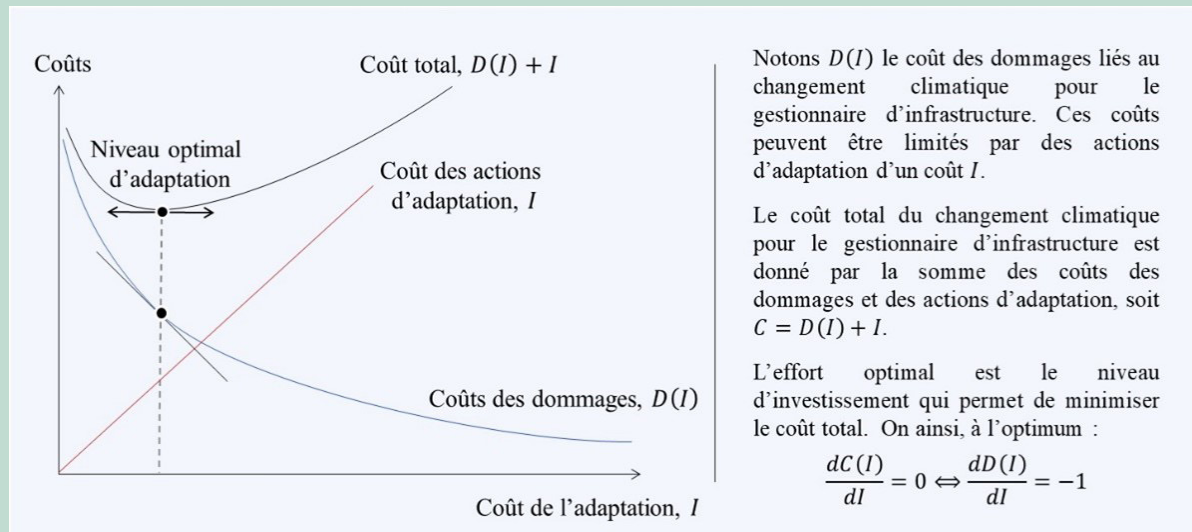


Figure : Évaluation coûts-bénéfices GIEC (IPCC, 2014).

Pour le gestionnaire d'une infrastructure publique, une particularité de l'analyse coûts-bénéfices tient à l'existence d'effets qui dépassent son périmètre. La disponibilité de l'offre de transport a de la valeur pour la collectivité. Une infrastructure permet à des individus de se déplacer pour travailler, voyager, visiter des proches. Ces bénéfices correspondant au bien-être des voyageurs, très marginalement captés dans les revenus du gestionnaire d'infrastructure, doivent être intégrés dans l'analyse à travers une approche socioéconomique.

La question de l'incertitude de la trajectoire climatique, autre particularité, fait intervenir des paramètres inconnus comme le progrès technique, la croissance économique ou les efforts d'atténuation des États. Les méthodes standards d'analyse en présence d'incertitude ne sont pas pertinentes car elles proposent une approche probabiliste non appropriée pour l'évolution du climat. D'autres méthodes consistent à adopter une stratégie prudentielle en se plaçant dans des scénarios relativement dégradés. Les analyses coûts-bénéfices mises en œuvre par SNCF Réseau reprennent cette idée en se conformant à la Trajectoire Nationale d'Adaptation.

moment de construire les programmes d'investissements des décennies à venir.

#### Travailler en partenariat

Non seulement les actions d'adaptation doivent mobiliser et embarquer toutes les compétences de l'entreprise, mais elles doivent aussi associer l'ensemble de l'écosystème.

Cela commence par l'expertise technique : ainsi, Météo France ou encore l'industrie ferroviaire sont partenaires de SNCF Réseau.

Ces partenariats concernent aussi le tissu des acteurs locaux : chambres d'agriculture, autres gestionnaires d'infrastructure, etc. En effet, un réseau parfaitement résilient n'a pas de sens si les routes sont inondées sans accès à la gare pour les clients. Il en est de même

si l'électricité est coupée. De fait, les entreprises en avance dans la réflexion, dont SNCF Réseau fait partie, doivent tirer l'ensemble du territoire.

Cela concerne, enfin, la décision politique : l'État, les régions et les autorités locales échangent avec SNCF Réseau, notamment pour les décisions d'investissements et, à terme, pour fixer ensemble le niveau d'événement extrême auquel s'adapter, et au-delà duquel une tactique de repli et de réparations après-coup est privilégiée.

## Conclusion

L'adaptation au changement climatique est une ambition majeure de SNCF Réseau mais aussi un exercice d'humilité face aux incertitudes sur l'ampleur des phénomènes et de leurs impacts. La nature est un système vivant régi par des cycles qui lui sont propres, il faut être à son écoute et composer avec ses manifestations, tout en assurant que les solutions proposées soient compatibles avec les autres engagements écologiques de l'entreprise.

## Références

- COVEA (2022), « Changement climatique & Assurance : Quelles conséquences sur la sinistralité à horizon 2050 ? », 44 p. In MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES (2024), « Chiffres-clés des risques naturels », Ed. 2023, 156 p.
- IGN (2023), « Inventaire Forestier national », Mémento édition, 37 p.
- IPCC (2014), Chapter 17 - Economics of adaptation. In "Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC", Cambridge University Press.
- KOSCIELNY M. (2006), *Impact des aménagements en montagne sur l'évolution géodynamique des versants, Application au site des Arcs*, Thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée, 354 p.
- MARTINET A. (1928), « Cours de chemin de fer. Construction, voie, exploitation technique », École Nationale des Ponts et Chaussées, manuscrit 4° 28718. In PAMS C., SIDURON A. & COEUR D. (2021), « Systèmes ferroviaires et inondations en France, au XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècles : des environnements sous pression », Colloque Le chemin de fer : deux siècles d'enjeux environnementaux – 1<sup>er</sup> et 2 décembre, Lyon, France.
- MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE ET DE LA COHÉSION DES TERRITOIRES (2023), « La trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC) », 30 p.
- SNCF RESEAU (2024), « Adaptation au changement climatique. Stratégie de SNCF Réseau », 36 p.
- VAN DANTZIG D. (1956), "Economic decision problems for flood prevention", *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, pp. 276-287.

# Les sites de production d'électricité nucléaire, le changement climatique et l'habitabilité des territoires

Par Catherine HALBWACHS

Directrice de la RSE et du projet ADAPT de la direction de la Production Nucléaire et Thermique d'EDF

Et Edouard DEQUEKER

Professeur à la Chaire d'Économie urbaine de l'ESSEC

Les centrales de production d'électricité nucléaires d'EDF sont historiquement des acteurs économiques majeurs de leurs territoires d'implantation, tout en dépendant fortement des ressources et aménités locales, qu'elles soient naturelles ou issues d'investissements territoriaux. Face au changement climatique, EDF développe depuis 2020 le programme ADAPT pour préparer son parc nucléaire à l'horizon 2050. Mené avec la Chaire d'Économie urbaine de l'ESSEC, ce programme propose une approche systémique basée sur sept « leviers d'habitabilité » (démographie, déchets, biodiversité, économie, eau, foncier, paysages) et deux dimensions transversales (infrastructures et gouvernance). Cette démarche s'inscrit dans une approche de « Responsabilité Territoriale de l'Entreprise », renforcée par l'urgence climatique. Elle répond à la nécessité de contribuer activement à la préservation des conditions d'habitabilité à long terme.

## Introduction

Le parc nucléaire français est composé de 57 réacteurs en exploitation, le dernier mis en service en 2024 se trouvant à Flamanville (Manche). Ces réacteurs, tous exploités par EDF et de différents niveaux de puissance, sont répartis sur l'ensemble du territoire national au sein de 18 centrales. Chaque centrale peut comporter 2 à 6 réacteurs.

Du fait de durée de vie technique de ses installations, EDF s'est préoccupée très tôt de l'exposition de ses activités aux conséquences du changement climatique. Dès la publication du 1<sup>er</sup> rapport du GIEC en 1990, EDF a engagé des études avec l'appui de sa R&D pour s'approprier les scénarios d'évolution du climat. En 2003, suite à la canicule, EDF s'est dotée d'un Plan Aléas Climatiques, et en 2010 le groupe a adopté sa première Stratégie d'Adaptation. Les mesures techniques d'adaptation mises en place par EDF pour anticiper l'impact du changement climatique sur ses installations et sur le système électrique français ont fait l'objet de plusieurs publications, dont on trouvera une sélection en annexe et qui décrivent notamment les besoins en eau.

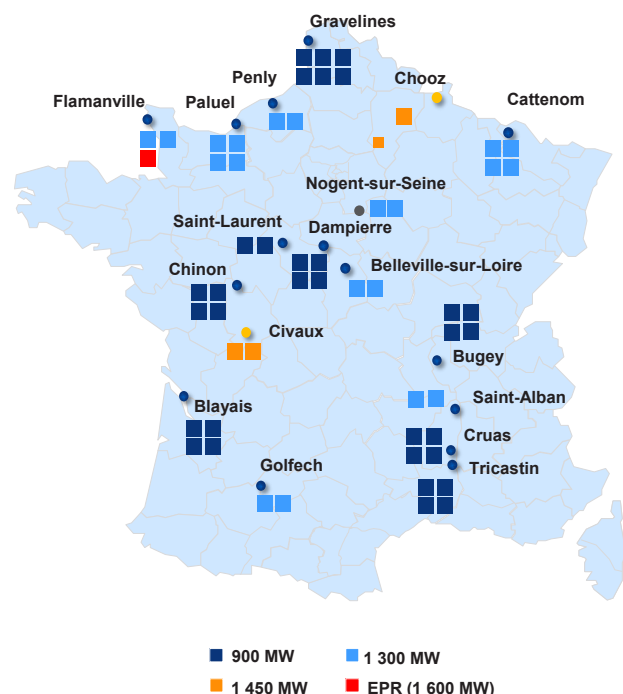


Figure 1 : Le parc nucléaire français en exploitation en 2025 (Source : EDF).

L'objet de cet article est de présenter la démarche d'adaptation engagée par EDF sous un angle différent et novateur, à savoir à travers la dimension territoriale de ses sites de production d'électricité nucléaire, dans une perspective systémique de l'adaptation.

En effet, le poids économique des centrales de production d'électricité nucléaires d'EDF sur leurs territoires d'implantation<sup>1</sup> est très significatif. Les études réalisées par l'Insee permettent aujourd'hui de se faire une idée assez précise de leur impact local. Ainsi, la centrale de production nucléaire du Blayais (Gironde) emploie 1 500 salariés et 1 000 sous-traitants. Au total, la centrale participe à l'activité de plus de 3 500 personnes et contribue à en faire vivre 9 400 à travers un système de chaînes de valeurs et d'emplois induits. 74 communes situées autour de la centrale bénéficient des apports directs.

Par leur ampleur et leur durée de vie, les centrales contribuent à jouer un rôle d'amortisseur économique et social sur ces territoires, parfois en difficulté face aux dynamiques de métropolisation et au déclin de certaines activités industrielles. De tels objets industriels, qui influencent des territoires d'une quarantaine de kilomètres de diamètre (ses voies de communication, ses réseaux d'énergie, ses lieux de formation et de vie) sur près d'un siècle, de la construction et l'exploitation à la post-production sont peu fréquents. La présence d'une centrale de production est donc très souvent perçue par les habitants et les élus locaux comme une source de relative stabilisation de l'emploi sur longue période, une source de recettes fiscales et un soutien à des services de proximité.

Pour autant, les sites EDF dépendent de leurs territoires d'implantation. Par ailleurs, bien que significativement importantes, les activités des sites ne représentent finalement que quelques pourcents de la richesse créée localement et, comme dans tous les territoires français, d'autres activités économiques moins spécifiques sont présentes (agriculture, petite industrie, services...) et les services aux personnes (activités dites présentes) sont très souvent majoritaires en nombre d'emplois concernés, d'autant plus que la population est vieillissante. Ainsi, si EDF ne peut faire l'économie d'une réflexion sur les dynamiques locales, sa légitimité d'action se cantonne au périmètre de ses activités, et toute implication au-delà de ce dernier doit se faire conjointement avec les autres acteurs territoriaux, qu'ils soient publics (État déconcentré, collectivités territoriales, gestionnaires d'infrastructures) ou privés (industriels, habitants, ONG, etc.).

<sup>1</sup> Le « territoire d'implantation » d'une centrale ne renvoie pas à un périmètre rigide. Au travers de l'analyse de la localisation de ses salariés, comme pour la définition par l'Insee d'une aire d'attraction d'une ville, il est cependant possible d'approcher un périmètre d'interrelations socioéconomiques quotidiennes, que l'on peut qualifier de « territoire d'ancrage direct ». Ce dernier n'englobe pas la totalité du ou des territoires d'adaptation, dans une perspective de changement climatique, qui sont souvent bien plus vastes.

## Le territoire, pourvoyeur d'externalités

Alors que les apports d'une centrale de production d'électricité nucléaire à un territoire ont été largement documentés par l'Insee, les études recensant les apports du territoire d'accueil à la centrale sont, elles, beaucoup plus rares. En premier lieu, l'analyse des contraintes techniques s'appliquant aux implantations de centrales de production nucléaires illustre bien l'intérêt pour elles de bénéficier d'un environnement adéquat. La présence d'un cours d'eau régulier et conséquent ou de la mer, l'absence de risque sismique significatif, l'absence de risques industriels majeurs alentour, la présence de voies de transport ferré ou permettant des transports lourds par la route pour acheminer le personnel et le matériel, sont autant d'aménités locales précieuses.

Ces aménités essentielles sont souvent naturelles, mais aussi le fruit d'investissements locaux et donc le produit d'un écosystème de gouvernance. Dans un contexte de changement climatique et de mutations économiques et technologiques majeures appelées à se poursuivre, ces ressources territoriales sont potentiellement confrontées à une série de menaces. Ainsi par exemple, les infrastructures de génie civil<sup>2</sup> (certains types de ponts, voies sur berge, etc.) se retrouvent fragilisées par les sécheresses ou les inondations. Les épisodes de sécheresse peuvent entraîner des dégradations structurelles et des fissurations de différents éléments de pont du fait d'un rétrécissement du matériau en raison de la perte de l'eau qui le compose. Les phénomènes de sécheresse peuvent également favoriser les mouvements de terrain au niveau des structures sur lesquelles repose le pont. Ces fragilisations sont telles que les pouvoirs publics vont être contraints à réaliser des travaux lourds de reprise des fondations s'ils veulent maintenir le gabarit routier autorisé.

Au-delà des dimensions techniques du fonctionnement opérationnel de la centrale, ses salariés sont aussi contributeurs à la dynamique territoriale : ils y habitent, ils y élèvent leurs enfants, ils y travaillent, ils s'y déplacent et ils y consomment. La centrale est donc par nature tributaire de l'ensemble de l'offre territoriale, ne pouvant pas, à la manière d'un phalanstère du XIX<sup>e</sup> siècle, pourvoir seule à l'ensemble des besoins de ses salariés. Serait-il possible d'exploiter une centrale de production nucléaire sans école, sans collège, sans commerces de proximité, sans services de restauration ou sans activités de loisirs ? L'attractivité des sites EDF – et donc *in fine* leur fonctionnement même – est donc consubstantiellement liée à l'attractivité de leurs territoires d'implantation respectifs. Les centrales ont réussi le pari de leur implantation grâce à ce réseau de services, et y contribuent aujourd'hui en soutenant financièrement et matériellement de nombreux projets locaux. Il en va de même pour l'adaptation des territoires dans un contexte de changement climatique.

<sup>2</sup> <https://infraclimat.com>

## Accompagner l'adaptation des territoires

Depuis le début des années 2020, la direction du parc nucléaire et thermique d'EDF porte une réflexion d'ensemble sur l'adaptation de ses centrales à leur environnement d'implantation : c'est le programme ADAPT. Celui-ci a pour ambition de préparer le parc nucléaire actuellement en exploitation aux futurs climatiques à l'horizon 2050 et au-delà. Il s'agit de compléter les méthodes d'ingénierie technique, appliquées aux outils industriels de production, par les enjeux liés aux contextes élargis de production.

ADAPT mène une série de travaux de recherche sur le maintien de l'habitabilité des territoires autour de ses sites. Menés en partenariat avec la R&D d'EDF, ces travaux ont conduit à la création d'une Chaire ESSEC-EDF sur l'habitabilité des territoires, rattachée à la Chaire d'Économie urbaine. Dans une première phase, une équipe de recherche mixte ESSEC/R&D EDF a réalisé un diagnostic de la situation territoriale de sites d'implantation. La large exploitation des données quantitatives disponibles dans les bases de connaissances est en train d'être complétée par une série d'interviews des acteurs locaux clés, identifiés par les sites eux-mêmes. Au-delà des représentants institutionnels et des forces économiques locales, l'équipe réunit actuellement des focus-groupes composés d'habitants. Une synthèse sera prochainement réalisée et présentée à chaque site au fur et à mesure du déploiement de la démarche. Dans la seconde phase des travaux, à

partir des enseignements recueillis, un certain nombre d'actions seront lancées, directement, localement par les sites de production en partenariat avec les acteurs locaux pour imaginer et déployer un nouveau cadre favorable à l'adaptation des modalités d'implantation de nos centrales.

Ces études participent à l'émergence d'une approche nouvelle des enjeux systémiques du dérèglement climatique, qui respecte à la fois les caractéristiques de nos territoires mais aussi la légitimité de chacun à agir.

## Appréhender les risques systémiques pour le territoire

Dans le cadre de ces travaux, l'appui d'EDF à un territoire pourrait s'ouvrir par une révision des analyses de risques locaux, en lien avec les pouvoirs publics et le déploiement du 3<sup>e</sup> Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC). Cette approche, utile au regard des conditions d'exploitation de nos centrales, n'est cependant et malheureusement ni suffisante, ni adaptée aux enjeux de la situation.

Elle n'est pas suffisante car les conséquences du changement climatique ne peuvent se résumer uniquement aux aléas météorologiques, à l'instar des tempêtes extrêmes ou des canicules ponctuelles. Le changement climatique embarque des dérives de plus long terme comme la montée lente du niveau de la mer, matrice de pollutions d'aquifères côtiers. Ce phénomène, déjà

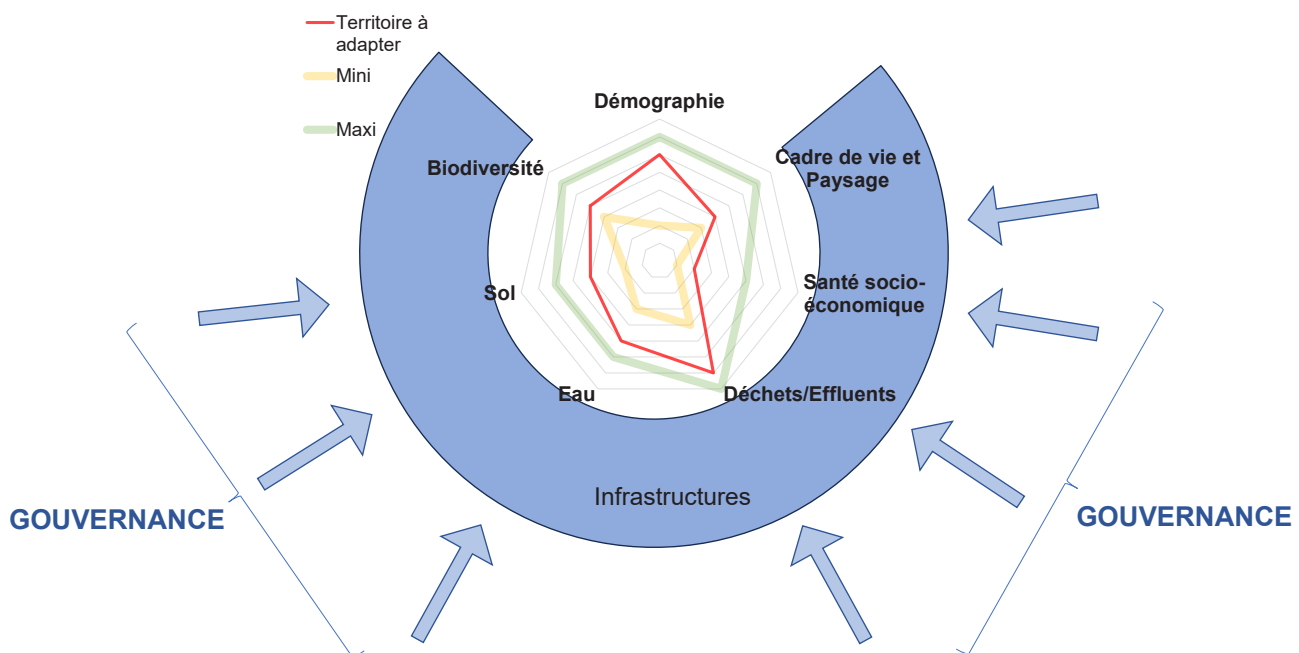


Figure 2 : Les leviers de l'habitabilité  
(Source : Chaire ESSEC-EDF sur l'habitabilité des territoires).



présent dans certaines zones (ainsi près de la centrale de Flamanville) est très attentivement suivi<sup>3</sup>.

Toutes ces raisons conduisent EDF à développer une approche globale de l'adaptation des territoires, en considérant l'écosystème territorial comme un tout.

## Vers une approche systémique

Comment EDF peut-elle accompagner un territoire considéré comme un « tout » ? La posture choisie par l'entreprise consiste à développer une approche par les leviers qui répondent aux urgences de l'adaptation au changement climatique des territoires. Cette approche permet de dessiner une feuille de route pour l'analyse et la gestion collective de paramètres locaux déterminants pour le maintien de l'habitabilité des territoires.

Les travaux menés visent en conséquence à identifier un certain nombre d'*items* qui, s'ils venaient à être mis en difficulté, fragiliseraient le territoire. Ainsi, les études de diagnostic portent sur le questionnement de 7 *items* (démographie locale, capacité à gérer les déchets et les effluents générés par le territoire, état de la biodiversité, santé socioéconomique, suffisance de la ressource en eau, foncier et cadres de vie disponibles mais aussi maintien des paysages). Les faiblesses potentielles des infrastructures mais aussi l'adaptation de la gouvernance locale font l'objet de réflexions complémentaires.

Or, aujourd'hui, si les populations locales ont bien en tête la réalité du changement climatique, elles perçoivent toutefois mal le lien entre leurs observations quotidiennes et la cause profonde du changement climatique. Elles se heurtent à la difficulté d'appréhender le temps long d'une part, et l'entrée dans trajectoire nouvelle et inédite de l'autre, qui ne prendra pas la forme d'une crise ponctuelle classique mais plutôt d'une catastrophe lente. Mieux, le lien de causalité reste généralement « accroché » à d'anciens événements historiquement récurrents (débordement d'un fleuve, par exemple). Ainsi, pour illustrer ce propos, les études menées dans le cadre de la démarche ADAPT (analyses statistiques, entretiens, focus-groupes), sur un site particulièrement touché, ont montré un faible lien de causalité fait par les interviewés entre l'abattage d'épicéas rendu nécessaire par la présence de scolytes et le changement climatique.

Sur la base de ces travaux, EDF souhaite promouvoir des actions visant à lever ces difficultés, à préserver ses 7 + 2 *items* et à encourager des actions favorisant l'implantation d'activités productives sur le territoire (facteur d'amélioration du bilan économique local), afin de favoriser ou maintenir une dynamique démographique et socioéconomique positive. Dans des territoires où la perception du changement climatique

est faible ou en retrait, EDF noue des partenariats pour développer des actions de science participative et partager des « bonnes pratiques », comme le fait de peindre les toits de bâtiments en couleur claire afin de lutter contre la chaleur, ou de restaurer des zones humides protégeant la biodiversité et le grand cycle de l'eau.

## Renforcer la Responsabilité Territoriale d'EDF

Il s'agit finalement de construire, dans la perspective du changement climatique, une nouvelle dynamique de Responsabilité Territoriale des sites EDF. En s'intéressant à la façon dont l'entreprise participe activement au développement et à la résilience de son territoire d'implantation, cette approche reconnaît que certaines entreprises, par leur ancrage territorial fort, ont un intérêt stratégique à contribuer à la préservation des conditions qui permettent au territoire de rester dynamique et habitable sur le long terme<sup>4</sup>.

Dans cette perspective, EDF est convaincue que les entreprises peuvent et doivent jouer un rôle direct dans le développement de leur territoire d'implantation, en lien avec les acteurs locaux. Cette démarche prend une dimension particulièrement pertinente face au dérèglement climatique et à l'enjeu de l'adaptation du fait de leur très longue présence territoriale, de l'ordre du siècle.

Pour les sites de production, cela implique une participation active aux dispositifs et aux dynamiques qui sous-tendent ces leviers, non pas en se substituant aux autres acteurs, mais en apportant leur contribution spécifique à une gestion collective et durable de ces ressources stratégiques. Il ne s'agit pas seulement d'être un acteur économique majeur, mais de devenir un partenaire actif dans la construction de l'habitabilité future du territoire. Cette évolution induit le développement de nouvelles compétences, de nouveaux outils d'analyse et de nouvelles modalités d'intervention dans les systèmes locaux de gouvernance.

## Références bibliographiques

LAUGIER C. *et al.* (2020), *Centrales nucléaires et environnement - Prélèvements d'eau et rejets - Édition 2020*, EDP Sciences, <https://aboutique.edpsciences.fr/produit/1159/9782759825592/centrales-nucleaires-et-environnement>

LAUGIER C. (2021), « Nucléaire et changement climatique : adaptation du parc français aux canicules et sécheresses », Colloque international annuel du Forum Météo et Climat 2021, <https://forumeteoclimat.com/programme/colloque-2021/>

<sup>3</sup> À noter que le risque de submersion des installations nucléaires en contexte de changement climatique fait partie des risques pris en compte lors de la conception des installations et sont régulièrement réévalués lors des examens périodiques des installations par l'Autorité de Sûreté nucléaire et de Radioprotection pour tenir compte des avancées de la science.

<sup>4</sup> La notion de « Responsabilité Territoriale de l'Entreprise », telle que développée par la Chaire d'Économie urbaine de l'ESSEC, va au-delà de la seule territorialisation de la Responsabilité Sociale. Elle désigne toutes les formes d'implications de l'entreprise, quels qu'en soient les motivations, qui permettent de co-produire des externalités positives sur le territoire avec d'autres parties prenantes et en particulier les acteurs publics.

HALBWACHS C. *et al.* (2022), « Impacts des vagues de chaleur sur la production d'énergie électrique », Rapport de ONERC à la Première ministre et au Parlement, La Documentation Française, <https://www.vie-publique.fr/catalogue/289200-les-vagues-de-chaleur-dans-un-contexte-de-changement-climatique>

BURTIN A. *et al.* (2022), « Résilience des systèmes électriques face au changement climatique », *Annales des Mines - Responsabilité & Environnement*, n°106, [https://www.annales.org/re/2022/re\\_106\\_avril\\_2022.html](https://www.annales.org/re/2022/re_106_avril_2022.html)

TABARY L. (2023), « L'eau et l'énergie dans le changement climatique », *Annales des Mines - Responsabilité & Environnement*, n°112, [https://www.annales.org/re/2023/re\\_112\\_octobre\\_2023.html](https://www.annales.org/re/2023/re_112_octobre_2023.html)

PAREYS. *et al.* (2023), « L'adaptation aux effets du changement climatique des infrastructures des systèmes électriques », *La Revue de l'Énergie*, n°667, <https://www.larevuedelenergie.com/ladaptation-aux-effets-du-changement-climatique-des-infrastructures-des-systemes-electriques/>

BOISSEZON C. *et al.* (2024), « Comment EDF s'adapte au changement climatique », <https://www.edf.fr/groupe-edf/agir-en-entreprise-responsable/responsabilite-societale-dentreprise/neutralite-carbone-et-climat/adaptation-changement-climatique>

DEQUEKER E. (2025), « La Responsabilité Territoriale de l'Entreprise », Paris, Cahiers de recherche n°1 de la Chaire d'Économie urbaine, janvier 2025, <https://chaire-economie-urbaine.essec.edu/publications/les-cahiers-de-la-chaire>

# Changement climatique : comprendre les impacts sur le système énergétique

Par Julia MARIS  
Groupe ENGIE

Le changement climatique est désormais une réalité partout dans le monde, avec des impacts nombreux et multiformes pour les entreprises. Le secteur énergétique n'est pas épargné avec des impacts sur l'intégrité des actifs, sur la production et la demande d'énergie, sur la santé-sécurité des employés ou encore sur les chaînes d'approvisionnement mondiales de biens et de services. Les acteurs vont devoir apprendre à faire face à ce nouveau paradigme, qui les met face à de nouveaux enjeux d'anticipation, de collaboration mais également de financement de l'adaptation au changement climatique.

## Introduction

En 2024, le réchauffement climatique dépassera, selon toute vraisemblance, pour la première fois + 1,5°C par rapport à l'ère préindustrielle<sup>1</sup>, limite à long terme fixée par l'Accord de Paris<sup>2</sup>. Les conséquences physiques du réchauffement climatique se font de plus en plus fréquentes et violentes, comme l'actualité récente l'a malheureusement démontré. Le secteur de l'énergie n'est pas épargné : au-delà des dommages subis par nos installations dus aux événements naturels extrêmes, le changement climatique a également un impact significatif sur la production de nos actifs, sur la demande d'énergie, sur notre chaîne d'approvisionnement ainsi que sur la santé et la sécurité de nos employés et sous-traitants. Si des solutions d'adaptation existent, leur efficacité varie considérablement selon le contexte : type de risque climatique auquel l'on est exposé, moment et manière de la mise en œuvre des mesures d'adaptation. En parallèle du défi que représente la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'adaptation aux effets du changement climatique soulève ainsi de nouveaux enjeux. L'anticipation selon les types d'actifs et les zones géographiques, ainsi que la coordination entre acteurs, notamment à un niveau local, seront clés pour protéger les systèmes énergétiques et assurer la résilience de la transition.

<sup>1</sup> « Il est de fait certain que 2024 sera l'année la plus chaude enregistrée et dépassera de plus de 1,5°C le niveau préindustriel [période 1850-1900] », annonçait lundi 9 novembre 2024 le service changement climatique (C3S) de l'observatoire européen Copernicus.

<sup>2</sup> À noter que cet accord fait toutefois référence à des tendances de long terme : la moyenne de réchauffement de 1,5°C devra être observée sur au moins 20 ans pour considérer la limite franchie.

## Intégrité des actifs face au changement climatique

Les impacts du changement climatique sur le secteur de l'énergie sont multiples. L'effet le plus connu est la destruction d'actifs liée aux événements climatiques extrêmes (tornades, grêle, feux de forêt, inondations...). L'un des enjeux de la transition énergétique est que les actifs de production renouvelable (éoliennes, fermes solaires, biométhaniseurs) sont généralement plus vulnérables aux événements climatiques extrêmes que les actifs thermiques. Face à des catastrophes naturelles de grande échelle, il est impossible de garantir systématiquement l'intégrité des sites de production. Les panneaux solaires les plus solides ne peuvent résister au passage d'un ouragan, particulièrement fréquent dans certaines régions du monde, et les inondations de grande ampleur ont un effet dévastateur sur tout type d'installation, industrielle ou non. La priorité des efforts d'adaptation au changement climatique doit donc être d'éviter les zones les plus à risque et d'améliorer la robustesse de nos installations. Les travaux du GIEC et de la communauté scientifique climatique ont permis de faire grandement avancer nos connaissances en matière d'évolution de ces risques à l'échelle mondiale. Il est essentiel que les développements de nouveaux projets énergétiques intègrent la composante du risque climatique dès le début des phases de réflexions de *business* développement pour limiter efficacement les risques. En parallèle, l'accent doit être mis sur l'anticipation de ces événements extrêmes afin de pouvoir mettre en place les mesures d'urgence de protection des sites et des employés présents sur place (orientation verticale des panneaux solaires en cas de grêle, orientation des pales d'éoliennes dans le sens du vent...). Enfin, la définition de plans de continuité de l'activité est essentielle ; nous devons apprendre à reconstruire et réparer nos sites industriels rapidement



Figure 1 : Dégâts causés par l'ouragan Milton sur le parc solaire Lake Placid aux États-Unis en octobre 2024 (Source : Gallery: Lake Placid (Fla.) Solar | Milton damage | Duke Energy | News Center, <https://news.duke-energy.com/multimedia-gallery/photos/hurricane-milton/lake-placid-fla-solar-milton-damage>).

afin de garantir la sécurité du système énergétique. La réparation d'un site peut en effet prendre de quelques semaines à plusieurs mois voire des années en fonction du niveau d'anticipation et de formation des équipes et partenaires sur le sujet.

## Santé et sécurité des personnes : un enjeu majeur

Un autre effet bien connu du changement climatique, qui va bien au-delà du secteur énergétique, est l'impact sur la santé et la sécurité des employés et sous-traitants. Le stress thermique ou « température ressentie » (combinaison de la température et de l'humidité de l'air) a des conséquences sévères sur la santé des personnes. Ses effets sont chroniques et ponctuels, tels que la syncope ou le coup de chaleur, et peuvent avoir des conséquences fatales dans les cas les plus graves. Les scénarios du GIEC indiquent une augmentation alarmante des niveaux de stress thermique partout dans le monde ; on estime ainsi qu'en 2050, New Delhi connaîtra une température ressentie de plus de 41°C à l'ombre (zone de « danger » et « danger extrême » pour la santé) durant près de la moitié de l'année. Pour toute la zone nord-ouest du Brésil, ce sera le cas durant

plus des deux tiers de l'année. Cette dégradation des conditions de travail appelle à une mobilisation des employeurs afin de protéger les travailleurs sur site. Si des solutions d'adaptation existent (équipements adaptés, aménagement des conditions et horaires de travail...), elles nécessitent une remise en question de l'ensemble de nos manières de travailler pour intégrer cette nouvelle dimension.

## Transformation de la production et demande d'énergie

Le changement climatique affecte également le fonctionnement et la production des actifs énergétiques. Les sécheresses et vagues de chaleur ont tendance à impacter la disponibilité locale en eau, et donc à réduire la production des centrales hydrauliques qui sont essentielles pour assurer la stabilité des réseaux électriques. Les vagues de chaleur dégradent les circuits électriques présents dans les panneaux solaires et réduisent leur production, et les variations de vents pourraient réduire la production éolienne également. Enfin, la raréfaction de la ressource en eau et l'augmentation de la température de l'eau des rivières et des côtes peuvent impacter le fonctionnement des centrales

thermiques qui requièrent de l'eau pour leur système de refroidissement. Si la température de l'eau environnante est trop élevée, il n'est plus possible d'évacuer l'eau des systèmes afin de préserver la biodiversité des cours d'eau. Du côté de la demande d'énergie, des mutations profondes sont également à prévoir : si la demande de chaleur risque de baisser, on s'attend à un accroissement très significatif de la demande de froid dans tous les pays. La difficulté pour le système énergétique va donc être de réussir à répondre à cette nouvelle demande, qui ne connaît pas la même saisonnalité et qui ne s'appuie pas sur les mêmes technologies de production.

### Chaîne de valeur énergétique : des défis à relever

Le changement climatique influence la chaîne de valeur de l'énergie de diverses manières, allant au-delà des actifs de production et de distribution. Par exemple, une grande partie des panneaux solaires est actuellement fabriquée en Asie de l'Est, une région particulièrement vulnérable aux effets du changement climatique. De plus, l'agriculture et les forêts, essentielles pour la production de biométhane et de biomasses, pourraient être affectées par une augmentation des feux de végétation et des sécheresses. Ces impacts, bien que complexes et interdépendants, offrent également des opportunités pour repenser et renforcer la résilience de la chaîne de

valeur énergétique. En anticipant ces défis et en adoptant des stratégies adaptées (diversification d'approvisionnement, réindustrialisation et développement de savoir-faire européens), il est possible de minimiser les risques.

### Vers des solutions basées sur l'anticipation et la collaboration

Face à ce changement de paradigme, le secteur de l'énergie va donc devoir se transformer. En parallèle des impacts négatifs, d'autres opportunités vont émerger dont les acteurs doivent se saisir. Ainsi, les solutions de flexibilité vont jouer un rôle croissant, non seulement pour soulager le réseau électrique en période de pointe, mais également pour assurer la continuité de la fourniture d'énergie en cas de destruction ou d'indisponibilité des actifs de production, notamment renouvelables. Autre élément essentiel, si l'on s'attend à une forte baisse de la demande de chaleur, le besoin de froid va au contraire fortement augmenter. Des solutions collectives, notamment les réseaux de froid, présentent un fort potentiel pour répondre à cette demande en évitant les équipements individuels redondants et gourmands en énergie. Ces réseaux à échelle urbaine sont également plus résilients face aux aléas climatiques du fait de leur taille et de leur dispersion : non seulement les actifs de production d'énergie sont plus résistants, mais ils sont également



Figure 2 : Éolienne détruite par une tornade dans l'Iowa en mai 2024 (Source : AP Photo/Charlie Neibergall ; Powerful tornado topples wind turbines in US: Experts say such destruction is 'extremely rare' | Euronews, <https://www.euronews.com/green/2024/05/23/powerful-tornado-topple-wind-turbines-in-us-experts-say-such-destruction-is-extremely-rar>).

plus nombreux que dans un système individuel, ce qui assure des solutions de secours en cas d'évènement climatique extrême. Enfin, la collaboration entre les différents acteurs va être essentielle pour assurer la résilience des systèmes. Pour les énergéticiens, c'est une opportunité de collaborer avec l'ensemble des parties prenantes afin de les intégrer aux enjeux et stratégies liés à l'adaptation : les clients, particuliers et industriels, mais aussi les pouvoirs publics, les riverains ou encore les fournisseurs.

## Financement de l'adaptation

L'adaptation au changement climatique nécessite des investissements significatifs. Ainsi, à l'échelle de la France, l'Institute for Climate Economics (ICE) estime qu'un budget d'au minimum 2,3 milliards par an est essentiel pour mettre en place les mesures incontournables à lancer dès maintenant. Ces investissements sont justifiés par le coût de l'inaction climatique, qui pourrait entraîner des pertes économiques considérables. Selon certaines estimations, le coût de l'inaction pourrait représenter entre 1 et 10 % du PIB annuel d'ici 2050, si le réchauffement mondial atteint + 2°C. Les sinistres climatiques, tels que les vagues de chaleur, les sécheresses et les inondations, ont déjà un impact financier significatif, avec des coûts d'indemnisation des assurances en forte hausse. En France, par exemple, le coût des sinistres climatiques a été estimé à 10 milliards d'euros pour l'année 2022<sup>3</sup>. Ces coûts sont appelés à augmenter si des mesures d'adaptation ne sont pas mises en place rapidement.

Si les entreprises privées (industries, fonds d'investissement) ont bien entendu une place centrale dans le financement de l'adaptation, les gouvernements jouent également un rôle crucial en mettant en place des politiques incitatives et des subventions pour permettre aux entreprises et aux particuliers d'investir dans des technologies et des infrastructures résilientes. De plus, les partenariats public-privé peuvent être une solution efficace pour mobiliser les ressources nécessaires et partager les risques. Il est essentiel de développer des modèles économiques innovants et des instruments financiers adaptés pour soutenir les efforts d'adaptation et garantir la durabilité des systèmes énergétiques face aux défis climatiques.

Le changement climatique ne peut plus aujourd'hui être considéré comme un enjeu isolé. Il représente une nouvelle réalité à laquelle nos économies, nos gouvernements et nos sociétés doivent impérativement s'adapter, tant au niveau local qu'international. Le secteur de l'énergie est au cœur de cet effort colossal, et il est essentiel que la mitigation et l'adaptation au changement climatique soient placées au centre de nos priorités. Pour réussir cette adaptation, l'anticipation, la collaboration entre les acteurs du secteur et la mise en œuvre rapide de solutions efficaces seront déterminantes.

<sup>3</sup> S'adapter, ne rien faire... combien ça coûte ? | Centre de ressources pour l'adaptation au changement climatique ?, <https://www.adaptation-changement-climatique.gouv.fr/comprendre/enjeux/le-cout-de-l-adaptation-et-de-l-inaction>

# Les entreprises, l'eau et le changement climatique

Par Christian LECUSSAN et Albin PINAUDEAU

Président et délégué général de la Fédération nationale des associations de riverains et utilisateurs industriels de l'eau (Fenarive)

Depuis de nombreuses années, les industriels gèrent leurs eaux avec attention pour économiser et/ou moins polluer. Le changement climatique nécessite d'accroître les efforts déjà faits et, pour cela, de penser différemment pour allier développement économique et économie d'eau. Le paramètre m<sup>3</sup> d'eau par unité produite devient incontournable. La détermination du prix du m<sup>3</sup> d'eau qui manque doit se substituer au simple prix de l'eau utilisée. Des adaptations réglementaires et des progrès techniques doivent être faits pour mettre en œuvre de nouvelles technologies qui permettront de répondre au stress hydrique. Une vision systémique et partenariale doit être envisagée lorsqu'on traite des enjeux de l'eau car tout est lié : de l'amont à l'aval, de l'été à l'hiver, en passant par les synergies transversales entre usagers.

**U**ne évidence : pas d'eau, pas d'entreprise, pas de production.

Depuis toujours, les entreprises ont choisi de s'implanter là où la ressource en eau est en quantité suffisante, qu'il s'agisse d'entreprises de service ou de production. Ce liquide magique, l'eau, est ainsi nécessaire pour de nombreux usages. Il peut servir pour le transport, comme fluide thermique pour refroidir ou réchauffer, dans les procédés comme agent de nettoyage, comme solvant ou matière première, comme transporteur au sein des *process*, et, dans des quantités bien moindres, pour satisfaire les besoins des salariés.

Mais aussi : pas d'énergie, pas d'entreprise.

L'eau est aussi une source d'énergie exploitée probablement depuis la préhistoire avec un fort développement au Moyen Âge pour alimenter les moulins à eau, qui dès la fin du XIX<sup>e</sup> siècle ont cédé progressivement la place aux turbines pour produire de l'électricité, ce qui a permis aussi le développement d'entreprises dans des périmètres plus éloignés des rivières.

## L'eau et le changement climatique

L'eau est le marqueur le plus tangible du changement climatique. Inondations et sécheresses sont des événements qui existent depuis toujours. La nouveauté, c'est la fréquence de ces événements, leur intensité et leur temporalité qui sont beaucoup plus variables que par le passé.

On savait qu'en hiver, il pouvait y avoir un risque d'inondation, que pendant la période estivale la quantité d'eau disponible pouvait être limitée, mais ce n'était pas systématique. La stratégie était alors de faire le dos rond en attendant que la situation s'améliore. Maintenant, ce n'est plus vrai.

Jean Jouzel mentionnait le changement climatique il y a près de 50 ans mais son impact sur l'eau n'était pas mis en exergue. Et il n'a que peu été écouté.

## La réduction de l'utilisation de l'eau dans les entreprises

Comme M. Jourdain faisait de la prose sans le savoir, les industriels ont fait de l'adaptation au changement climatique depuis plusieurs décennies pour des raisons essentiellement réglementaires et économiques. Comme nous le mentionnions dans les *Annales des Mines* d'octobre 2023<sup>1</sup>, la gestion de l'eau par les entreprises est intégrée depuis des décennies.

La réglementation en matière d'environnement a d'abord porté sur les émissions atmosphériques et les risques que pouvaient générer les entreprises, notamment avec le décret impérial du 15 octobre 1810<sup>2</sup>. Dans la loi du 19 décembre 1917<sup>3</sup>, l'eau n'était toujours pas un paramètre pris en compte sur le plan qualitatif comme quantitatif. C'est la loi sur l'eau du 16 décembre 1964<sup>4</sup> qui a mis l'accent sur le problème de la pollution aqueuse avec, pour faciliter les progrès, la création des agences de l'eau, véritable mutuelle de l'eau.

<sup>1</sup> Voir l'article « Les progrès industriels dans la gestion de l'eau » dans le numéro des *Annales des Mines – Responsabilité & Environnement*, n°112, octobre 2023, <https://annales.org/re/2023/re112/2023-10-16.pdf>

<sup>2</sup> <https://aida.ineris.fr/reglementation/decret-imperial-15101810-relatif-manufactures-ateliers-rependent-odeur-insalubre>

<sup>3</sup> Loi du 19 décembre 1917 modifiée relative aux établissements dangereux, insalubres ou incommodes.

<sup>4</sup> Loi n°64-1245 du 16 décembre 1964 relative au régime et à la répartition des eaux et à la lutte contre leur pollution.

Cette loi jouait sur deux tableaux, des contraintes techniques et des contraintes financières. Elle a mis en place le principe du pollueur-payeur avec son corollaire dépollution-aides des agences de l'eau. Ce fut un vrai déclencheur des progrès réalisés par les entreprises. Mais les industriels visaient le problème qualitatif, et le quantitatif n'était pas le sujet : il y avait suffisamment d'eau disponible pour répondre aux besoins.

La loi du 19 juillet 1976 sur les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) impose une approche intégrée, et une seule autorisation délivrée à un site industriel réglemente l'ensemble des aspects concernés : risque accidentel, déchets, rejets dans l'air, pollution des sols, rejets dans l'eau et prélèvements d'eau dans le milieu naturel.

L'arrêté du 2 février 1998 rentre dans le détail non seulement sur l'aspect qualitatif mais aussi sur l'aspect quantitatif sans toutefois que le changement climatique soit un moteur de progrès.

Ces deux mots « changement climatique » n'existaient pas encore dans les consciences de tout un chacun. On trouve cependant déjà des contraintes comme l'interdiction de refroidissement en circuit ouvert<sup>5</sup> ou, dans certains arrêtés d'autorisation d'exploiter, l'obligation de ne pas augmenter les surfaces imperméabilisées du site.

Parallèlement à ces contraintes réglementaires, les entreprises ont investi dans la gestion de l'eau sur leur site. La logique de gestion de l'eau sur un site industriel

intègre obligatoirement l'aspect quantitatif et l'aspect qualitatif. Si on réduit les prélèvements, il convient aussi de réduire les pollutions de façon à ne pas augmenter les concentrations dans les rejets. Les progrès doivent donc concerner les deux paramètres.

En fait, on constate que les entreprises sont parfois en avance sur les contraintes réglementaires, parfois sont boostées par celles-ci.

En matière de quantité, les premières réalisations, au début des années 1990, ont consisté à mettre en place des recyclages dans les processus de refroidissement. Puis les efforts ont continué en travaillant sur les procédés, la sensibilisation des opérateurs...

Comme nous l'avons démontré dans notre étude publiée en 2019 (étude Fenarive<sup>6</sup> : actions des industriels en faveur de la préservation de la ressource en eau - Fenarive), les progrès sont constants et ils n'ont pas cessé. Si on compare les volumes déclarés dans la base RRTP<sup>7</sup> sur le portail Géorisques par les 100 entreprises qui utilisent le plus d'eau, hors énergéticiens, on constate une réduction des prélèvements de 250 millions de m<sup>3</sup> entre 2015 et 2023, dont seulement 5 % d'eau de mer : 95 % des gains ont été faits sur des ressources d'eau douce. Il faut par ailleurs garder en mémoire que la majorité de l'eau prélevée par les industriels – environ 90 % – est restituée au milieu naturel. Les eaux prélevées sur des ressources superficielles sont restituées dans la même masse d'eau ou dans une masse d'eau voisine.

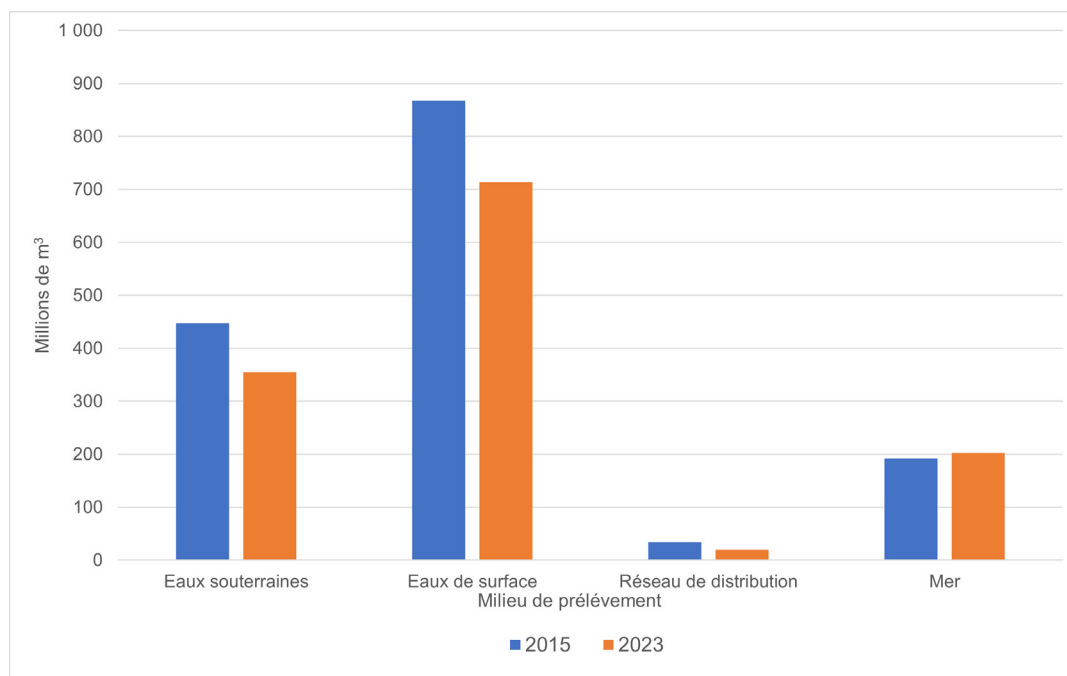


Figure 1 : réduction des prélèvements par les 100 plus importants utilisateurs industriels d'eau, hors énergéticiens : les volumes « réseau de distribution » comprennent les volumes d'eau potable et les volumes d'eau brute provenant d'un fournisseur extérieur au site (Source : Les industriels concernés).

<sup>5</sup> Article 14 de l'arrêté du 2 février 1998.

<sup>6</sup> <https://www.fenarive.fr/download/etude-fenarive-actions-des-industriels-en-faveur-de-la-preservation-de-la-ressource-en-eau/>

<sup>7</sup> Registre des rejets et des transferts de polluants.



Tableau : Exemple de coût d'investissement nécessaire pour réduire les prélèvements d'eau sur le bassin Seine Normandie (Source : Agence de l'eau Seine Normandie).

Secteurs activités	Consommation unitaire		Réduc prélèvement m3	Investissement €	Coût du m3 économisé en €
	Avant investissement	Après investissement			
Agro alimentaire Végétal	8 l/l	5,3 l/l	634	200 000	315
Agro alimentaire Végétal	110 l/T	0 l/T	1 000 000	28 000 000	28
Production alcool	310 l/hl	88,6 l/hl			
Agro alimentaire Animal	90 l/T	5 l/T	3 400	366 000	108
Chimie	5,15 l/Kg	4,8 l/Kg	7 455	841 826	113
Papeterie	18,6 l/Kg	17,6 l/Kg	315 000	155 201	0,49
Bois			4 000	79 465	20
Fonderie	0,4 l/Kg	0,36 l/Kg	1 000	478 482	478

**Note de lecture** : La première ligne du tableau intitulée « Agro alimentaire végétal » correspond à une unité de conserverie, la seconde à la fabrication d'alcool de bouche à partir de matière première végétale.

## De nouveaux paramètres de gestion

Comme nous le disions : pas d'eau, pas d'activité et surtout pas de croissance.

Le paramètre m<sup>3</sup> pour la gestion quantitative de l'eau au niveau d'un site ne suffit plus.

Celui qu'il faut maîtriser est la quantité d'eau nécessaire pour fabriquer une unité de produit fini aux bornes de l'établissement industriel. Par exemple, quel est le volume d'eau nécessaire pour fabriquer une boîte de petits pois, une voiture, une tonne de pâte à papier, un kilo de principe actif pharmaceutique, un pull-over, une tonne d'acier, un litre de bière, etc. C'est un paramètre qui est presque intégré dans l'industrie mais pas encore dans l'administration<sup>8</sup>. Vouloir réduire de X % les prélèvements n'a pas de sens tangible, d'autant plus que l'on ne connaît pas avec précision le niveau de prélèvement de l'année de référence.

Ce n'est qu'en réduisant le taux unitaire de consommation d'eau que l'on peut concilier adaptation au changement climatique et croissance économique.

Le prix du m<sup>3</sup> d'eau en métropole, au 1<sup>er</sup> janvier 2023, était, tous utilisateurs confondus, de 4,52 €/m<sup>3</sup> (2,21 €/m<sup>3</sup> pour l'eau potable et 2,31 €/m<sup>3</sup> pour l'assainissement collectif)<sup>9</sup>. Pour le prélèvement direct dans le milieu naturel et le traitement pour les usages industriels au sein des établissements, on estime que le coût est de 5 à 10 fois inférieur.

Voici quelques exemples d'investissements pour réduire les volumes d'eau douce utilisés en 2024 dans des secteurs très diversifiés pour des entreprises de

tailles très diverses qui utilisent de l'eau potable et/ou de l'eau prélevée directement dans le milieu.

Malgré les efforts déjà faits, la tension demeure et la pénurie de 2022 a fait prendre conscience à la majorité des acteurs que le changement climatique était bien là. Que son impact sur l'eau est et sera une réalité, et que le manque d'eau pouvait durer. Cela a aussi mis en exergue les problématiques de la gestion de l'eau par tous les acteurs.

La réduction d'activité voire l'arrêt de quelques sites dus à ces problématiques ont amené les entreprises à considérer non plus le simple prix ou coût du m<sup>3</sup> d'eau mais le coût du m<sup>3</sup> qui manque pour assurer la production. Ce sont les coûts indirects tels que les coûts de ralentissement, d'arrêt de l'activité, de redémarrage quand la quantité d'eau disponible est revenue à la normale, ceux engendrés par la production manquante par rapport au nominal du site ou encore par les transferts d'activité d'un site à l'autre pour assurer la continuité de service.

En fait, on constate qu'en intégrant ces paramètres, le prix du m<sup>3</sup> d'eau qui manque peut être de 10 à 100 fois le prix du m<sup>3</sup> qui est généralement pris en compte.

Les améliorations les plus simples étant faites, poursuivre les progrès entraîne des coûts d'investissements et de fonctionnement plus importants par rapport aux m<sup>3</sup> économisés. C'est pourquoi prendre en compte le coût du m<sup>3</sup> qui manque conduit à un *pay-back* qui rentre dans les standards économiquement acceptables.

Cette approche commence à être utilisée par certaines entreprises, appartenant pour le moment plutôt à de grands groupes industriels qu'à des PME ou des TPE. Mais le concept fait son chemin.

## Le plan eau

Les sécheresses de 2022 ont conduit au plan Eau présenté par le président de la République en mars 2023

<sup>8</sup> Instruction interministérielle du 1<sup>er</sup> juillet 2024 relative à la mise en œuvre des mesures du Plan d'action pour une gestion résiliente et concertée de l'eau.

<sup>9</sup> Rapport de l'observatoire des services public d'eau et d'assainissement pour 2022 publié en 2024.

avec 53 mesures dont seulement 3 concernent directement les entreprises. Elles sont impliquées indirectement dans plusieurs autres mesures.

Depuis plusieurs années, la Fenarive préconisait à ses adhérents d'étudier au sein de leurs sites industriels les flux d'utilisation de l'eau et les actions à mettre en place en cas de pénurie ou d'inondation.

En 2023-2024, les Dreal et la Drieat ont demandé aux entreprises de réaliser leur plan de sobriété en eau. Ceci a permis à chacun de formaliser sa situation vis-à-vis des ressources en eau disponibles localement.

La première mesure du plan eau demande une démarche commune au sein de chaque filière économique. Cela a permis de définir des actions à mener au niveau de chaque branche d'activité qui guideront toutes les entreprises du secteur.

La mesure 2 vise 55 sites industriels en capacité de progresser en matière de réduction des prélèvements, ciblés en fonction de leurs prélèvements et de la disponibilité en eau dans leur zone d'implantation. Notons toutefois que de 2015 à 2023 ces sites ont déjà réduit leurs prélèvements de plus de 230 millions de m<sup>3</sup> d'eau douce.

Quelle est la part des variations de productions dans ces baisses de prélèvements ? Seul le coefficient unitaire d'utilisation d'eau par unité produite permettrait de répondre à cette question.

De nombreuses mesures du plan eau font appel à des besoins financiers pour pallier les points faibles dans la gestion de l'eau. On peut citer, 170 collectivités avec des rendements réseau inférieur à 50 % ou encore 2 000 communes ayant connu des tensions sur l'approvisionnement en eau (mesure 14 du plan Eau). Manifestement, les 23,4 Mds€ dépensés pour la politique de l'eau en France métropolitaine, en moyenne annualisée sur la période 2013-2022<sup>10</sup>, n'ont pas permis de résorber ces points faibles. Les industriels, dont les progrès sont reconnus, souhaitent ne pas être les principaux contributeurs à ces besoins de financement mais souhaitent que l'effort soit réparti entre toutes les parties prenantes. Au vu de leurs contributions à l'augmentation des ressources des agences de l'eau pour les XII<sup>es</sup> programmes, cela ne semble pas être le cas. Les budgets des agences de l'eau ont été augmentés de 325 millions d'€/an de 2023 à 2025, les industriels verront leurs redevances augmentées de près de 170 millions/an à partir de 2025.

## Des contraintes techniques et administratives

Les technologies faciles à mettre en œuvre pour réduire les prélèvements sont déjà en place et ont permis les progrès que nous mentionnons plus haut. Pour continuer à progresser, les industriels se trouvent face à

deux types de freins, des freins techniques et des freins réglementaires.

De nouvelles techniques et de nouveaux matériaux permettraient de développer de nouvelles technologies. Pour cela, un renforcement de la recherche fondamentale dans les domaines de la physique, de la chimie et de la biologie est nécessaire.

Une des technologies qui permettrait sans doute de progresser dans les économies d'eau est le recyclage de l'eau au sein des procédés. Comme nous l'avons vu, près de 90 % de l'eau prélevée sur les sites industriels est rendue au milieu naturel. Dans bien des cas elle pourrait être réutilisée une deuxième ou une troisième fois dans le *process* avant d'être rejetée, à condition de l'épurer.

Les industriels savent faire la qualité de l'eau dont ils ont besoin, de l'eau brute dans les circuits de refroidissement à l'eau ultra pure qui sera utilisée dans les préparations injectables. Dans l'industrie agroalimentaire, le recyclage et la réutilisation de l'eau contenue dans la matière première (betterave sucrière, lait...) se pratique déjà depuis longtemps.

Le problème pour généraliser ces pratiques est bien d'avoir les autorisations pour faire de la réutilisation d'eau traitée. Les mesures 15 et 16 du plan eau visent à débloquer la situation. Les textes, décrets et arrêtés pris en 2023 au niveau des ministères de la Santé et de l'Agriculture, et ceux à venir dans un avenir très proche applicables aux ICPE « Installations classées pour la protection de l'environnement », vont lever les verrous pour permettre la mise en place de ces technologies dans les unités industrielles.

Autre écueil à résorber, la connaissance RÉELLE des prélèvements et des utilisations d'eau. Pour cela, des progrès sont à faire tant du côté des bases de données qui stockent les informations disponibles que de celui des industriels dans la saisie des valeurs mesurées sur site. En effet, comment régler un problème que l'on mesure mal ?

## En conclusion

Comme le souligne le rapport du Conseil général de l'Économie et de l'IGEDD de juillet 2024<sup>11</sup>, les inondations et les sécheresses que nous avons subies ces dernières années ont servi d'électrochoc et ont mis la gestion de l'eau sur le devant de la scène. À nous maintenant de penser autrement : le prix de l'eau n'est plus de quelques euros et l'eau doit être partagée entre tous ceux qui en ont besoin – particuliers, agriculteurs, industriels – et les efforts à faire aussi.

L'eau et sa disponibilité deviennent ainsi un facteur crucial des stratégies de développement et d'implantation des activités industrielles.

<sup>10</sup> Étude du Cercle Français de l'eau « Panorama du financement global de la politique de l'eau en France métropolitaine » publiée en novembre 2024.

<sup>11</sup> IGEDD (2024), « Rapport sur la sobriété hydrique des installations classées pour la protection de l'environnement », juillet 2024, [https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions\\_services/cge/Sobriete\\_Hydrique\\_IGEDD\\_CGE.pdf](https://www.economie.gouv.fr/files/files/directions_services/cge/Sobriete_Hydrique_IGEDD_CGE.pdf)

# Le difficile financement de l'efficacité énergétique dans l'industrie

Par Alain ROUSSET

Président du Conseil régional de Nouvelle-Aquitaine

En Nouvelle-Aquitaine, la transition écologique a été anticipée, amorcée et accélérée depuis des années, notamment à travers la feuille de route du Conseil régional : Néo Terra. En matière d'industrie, cela se traduit par une transition énergétique maîtrisée, limitant notamment les gaz à effet de serre. Mais comment rendre cette transition abordable et efficace pour des entreprises qui doivent faire face à des défis économiques, commerciaux et techniques parfois redoutables ?

Voilà tout l'enjeu de la politique industrielle de la Nouvelle-Aquitaine que se propose d'étudier cet article, à travers l'identification des industriels énérgo-intensifs, un accompagnement ciblé et sur-mesure, une action efficace et une concertation entière avec les partenaires de la chaîne de valeurs. Tout cela, sur fond de croissance des énergies renouvelables, notamment du solaire et du photovoltaïque, en privilégiant de plus en plus des contrats de gré à gré.

Il y a urgence. Plus que jamais, le changement climatique et la diminution des ressources énergétiques fossiles constituent des enjeux majeurs, fortement interdépendants, qui font l'objet de mesures européennes et nationales destinées à en limiter la portée. À son échelle, la région Nouvelle-Aquitaine affiche des orientations particulièrement ambitieuses sur ce point, à travers notamment l'objectif de 30 % d'amélioration de l'efficacité énergétique et la baisse de 45 % des émissions de gaz à effet de serre d'ici à 2030. L'industrie, qui représente de son côté près de 20 % de la consommation énergétique et 10 % des émissions de gaz à effet de serre en Nouvelle-Aquitaine, est un élément clef dans la poursuite de ces objectifs.

En outre, en 2019, après 8 années de travail avec plus de 450 scientifiques autour du dérèglement climatique (Acclimaterra<sup>1</sup>) et l'érosion de la biodiversité (Ecobiose), la feuille de route Néo Terra<sup>2</sup> a érigé la transition énergétique, économique, industrielle agricole et écologique en nouvelle matrice de l'action régionale – traçant un nouveau chemin pour la Nouvelle-Aquitaine.

Quatre années plus tard, les scientifiques s'accordant sur une urgence devenue civilisationnelle, ce cap régional était autant conforté par les rapports alarmistes qu'il incitait la région à redoubler d'efforts, de même qu'enrichi de nouveaux paramètres extra-écologiques ; ainsi, en novembre 2023, la réactualisation de Néo Terra a été adoptée par l'assemblée régionale.

Trois facteurs ont entraîné ce travail : l'accélération des effets du dérèglement climatique et la nécessité de l'adaptation, d'abord ; l'intégration de la santé dans son acception globale « One Health – Une seule santé », mêlant l'humain à son écosystème, comme pilier de l'action, ensuite ; enfin, la reconnaissance des solidarités comme condition *sine qua non* d'une transition réussie, « embarquant » tout le monde. C'est dans le cadre de ce nouveau contrat social et écologique enrichi en Nouvelle-Aquitaine que la politique industrielle régionale a poursuivi ses transformations.

Mais, de manière tout à fait concrète, comment déclencher les investissements en efficacité énergétique et substitution des énergies renouvelables aux énergies fossiles dans les entreprises industrielles ?

Car, n'oublions pas que les entreprises n'investissent pas dans des projets d'efficacité énergétique si le Temps de Retour Brut (TRB) excède 2 à 3 ans – ce qu'on peut parfaitement comprendre ! En effet, ce retour terrain recueilli auprès des entreprises de la région a été confirmé par une étude du cabinet ENEA<sup>3</sup> basée sur les réponses de quelques 600 industriels à une enquête sur le thème de l'efficacité énergétique : « Les temps de retours jugés acceptables sont [...] souvent très courts, les investissements nécessaires étant mis en regard d'autres investissements envisageables pour la société : souvent de 3 ans maximum, ils peuvent parfois même devoir être inférieurs à 2 ans ».

<sup>1</sup> <https://www.acclimaterra.fr/>

<sup>2</sup> <https://www.neo-terra.fr/>

<sup>3</sup> Source : L'efficacité énergétique dans l'industrie : verrous et besoins en R&D, ENEA Consulting.

En outre, en période de bas prix, les TRB sont plus élevés : l'efficacité énergétique est ainsi souvent mise de côté. Mais si le coût des énergies est l'élément le plus déterminant dans l'attractivité des actions d'efficacité énergétique, il ne se suffit pas pour autant. En 2022, l'augmentation spectaculaire des coûts de l'énergie n'a pas permis d'accélérer les investissements en la matière. Entre 2021 et 2022, le nombre de subventions régionales accordé pour des investissements en efficacité énergétique par la région a chuté de 35 % quand les prix de l'énergie explosaient. Cela peut paraître paradoxal mais cette augmentation des prix étant associée à de grandes difficultés financières pour les entreprises, celles-ci n'ont pas toujours été en mesure d'investir, dans l'efficacité énergétique de surcroît.

Aujourd'hui, comme d'autres pans de l'économie française – et européenne et mondiale –, l'industrie française traverse une crise importante : sans aide, cette transition ne se fait pas.

## Les 4 piliers de l'action régionale auprès des industries depuis 2016

Face au double défi de la réindustrialisation et de la transition écologique, la région Nouvelle-Aquitaine s'est donc très tôt dotée d'outils de financements pour l'accompagnement de la transition énergétique de son industrie : dès 2014, un appel à projets « Compétitivité énergétique des entreprises » a ainsi été lancé, qui devait permettre aux bénéficiaires de réduire le temps de retour brut et ainsi de pouvoir s'engager sur des investissements qu'ils n'auraient pas réalisés sans cela.

Et puis, c'est à partir de 2016 que la stratégie régionale, forte d'un premier retour d'expérience du dispositif, s'est affinée. Quatre leviers principaux de réussite ont ainsi été identifiés et testés entre 2016 et 2024, pour garantir une action publique efficace et atteindre nos objectifs.

### Une action ciblée

En Nouvelle-Aquitaine, comme sur le plan national, il y a un phénomène de concentration de la consommation ; 80 % des consommations se font sur 200 entreprises, soit moins de 10 % des entreprises industrielles régionales. Au-delà de ces grands ordres de grandeur, il restait à identifier individuellement chacun de ces gros consommateurs. En 2016, un important travail d'identification et de quantification des consommations d'énergie des 9 500 entreprises de production a donc été réalisé, conforté ensuite par des travaux communs avec l'Arec et l'Ademe. Entre 2017 et 2020, la quasi-totalité de ces cibles a été approchée et rencontrée individuellement. Ce travail, qui a permis l'identification des cibles prioritaires à accompagner, est en cours d'actualisation ; un nouveau bilan est attendu pour 2025.

### Une action adaptée

Une fois ce ciblage réalisé, il reste à proposer des modalités d'accompagnement adaptées aux différents consommateurs, car on n'accompagne pas un petit consommateur comme on accompagne un énérgo-

intensif. Pour ceux-ci, une réduction significative des consommations concernera souvent des investissements importants, sur plusieurs lignes de production, investissements généralement étalés dans le temps et décidés annuellement dans le cadre de programmes d'investissement glissants à 5 ans. En plus du dispositif d'appel à projets, ouvert à tous, a donc été décidée la mise en place de contrats de partenariats ciblés vers les industriels énérgo-intensifs : l'objectif était de construire avec eux leurs plans d'investissements et stratégies en efficacité énergétique à 3 ou 5 ans *via* un accompagnement sur « mesure ». Les premiers partenariats ont été signés en 2017 ; en 2024, ce sont 20 sites qui sont – ou ont été – accompagnés *via* ce type de contrats. Les 20 sites accompagnés représentent notamment à eux seuls 20 % de la consommation industrielle régionale d'énergie, et concentrent environ 30 % des aides totales attribuées par la région dans le cadre de l'accompagnement des entreprises industrielles à la transition énergétique. Plus précisément, le montant total des aides s'élève à 46 M€ en subvention et 23 M€ de prêt public. Cette démarche initiée dès 2017 par la région Nouvelle-Aquitaine a ensuite été mise en place à l'échelle nationale à partir de fin 2023, au travers de la mise en place des contrats de transition écologique. Les 50 entreprises industrielles françaises les plus émettrices de CO<sub>2</sub> ont élaboré des trajectoires de décarbonation spécifiques, fixant des objectifs concrets de réduction des émissions et s'engageant à réduire leurs émissions de 45 % d'ici à 2030.

### Une action efficace

La subvention doit permettre d'abaisser le temps de retour des investissements envisagés, sans toutefois permettre une « sur-rentabilité » des investissements. Pas de forfait donc dans le cadre des aides régionales : chaque attribution de subvention se fait sur mesure. En parallèle du respect des règlements d'encadrement communautaire qui fixent les montants maximums de subvention attribuables, la région s'assure que la subvention versée sera dimensionnée « au juste besoin ». Pour ce faire, on s'intéresse aux temps de retour de l'investissement qui ne doit jamais être inférieur à 2 ans pour l'entreprise, mais aussi au ratio de subvention par tonne de CO<sub>2</sub> évité ; celui-ci doit dans l'idéal être inférieur à 50 €/tonne de CO<sub>2</sub> évité. Entre 2016 et 2024, le ratio moyen de subvention accordé par la région Nouvelle-Aquitaine s'élevait en moyenne à 5 €/tonne de CO<sub>2</sub> évité.

### Une action concertée avec les partenaires

Les aides gérées par la région ne pourront permettre d'atteindre à elles seules les objectifs de réduction de la consommation d'énergie du secteur. La complémentarité de nos dispositifs avec les mécanismes existants, les CEE notamment – Certificats d'économie d'énergie – mais aussi les autres financeurs publics comme l'Ademe est essentielle. Cette collaboration passe par :

- Un partage de notre stratégie avec les autres financeurs publics et un suivi de nos actions respectives auprès des industriels régionaux ; ainsi, un groupe de travail, associant les agents de l'Ademe, de la

région et de la Dreal, permet notamment de suivre régulièrement l'actualité des 200 entreprises les plus consommatrices de la région.

- Des co-financements pour les opérations les plus ambitieuses mobilisant typiquement des montants d'aides supérieurs à 1 M€.
- Une mutualisation de nos ressources : géré par l'Ademe depuis 2009, le Fonds Chaleur cible les installations produisant de la chaleur ou du froid, et qui fonctionnent avec des énergies fossiles. L'objectif est d'encourager leur remplacement par des équipements utilisant des énergies renouvelables. En application de la loi 3DS de février 2022 (loi relative à la différenciation, la décentralisation, la déconcentration et la simplification de l'action publique locale), la région Nouvelle-Aquitaine a souhaité expérimenter la délégation du Fonds Chaleur. Le soutien des actions de décarbonation des entreprises est l'un des deux axes de cette délégation active depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2024 : le Fonds Chaleur délégué permet ainsi à la région de soutenir les investissements en faveur de la production de chaleur renouvelable (bois énergie, géothermie, solaire thermique, récupération de chaleur). La région devient ainsi « guichet unique » de la transition énergétique des entreprises industrielles sur son territoire, facilitant ainsi l'accompagnement des entreprises en évitant une multiplication de contacts et de demandes pour les porteurs de projet.

## 2020 : le tournant vers une approche plus novatrice

**Développer les contrats de gré à gré, ou comment le besoin en électricité des industriels permet l'émergence de nouveaux actifs de production d'électricité sur le territoire de la Nouvelle-Aquitaine.**

Le bilan de l'action régionale en matière de décarbonation des entreprises industrielles est positif : entre 2016 et 2024, la consommation énergétique industrielle de la région a baissé de 10,4 %, ce qui nous situe même au-delà des objectifs fixés par le SRADDET à ce jour. L'effet direct des aides régionales est estimé à plus près de 2 TWh, soit plus de 55 % de la réduction globale du secteur.

Mais, depuis 2020, la région Nouvelle-Aquitaine a choisi d'aller plus loin. En effet, une fois le périmètre strict du site traité – besoin énergétique abaissé et énergie fossile substituée – reste le levier de la décarbonation des consommations d'énergies indirectes. Chaque fois qu'un industriel consomme de l'électricité, la production de celle-ci aura un impact lié au mode de production de l'électricité consommée. Les "Green Corporate PPA"<sup>4</sup>, offrent la possibilité aux entreprises de contractualiser l'achat d'une partie de leur consommation électrique sur des contrats à long terme garantissant un prix fixe de l'électricité sur 15 à 20 ans, tout en verdissant leur consommation énergétique. Et le potentiel de ces nou-

veaux contrats est réel : plus de 32 actifs de production d'électricité renouvelable ont vu le jour en Nouvelle-Aquitaine grâce à des PPA d'entreprise depuis 2022, et entre 2020 et 2025, les PPA solaires ont représenté un quart de l'augmentation du productible solaire fixé par le SRADDET.

Mais si des PPA se contractualisent depuis quelques années maintenant, ils étaient jusque-là la chasse gardée des entreprises très fortement consommatrices d'électricité et des très grands groupes. Le défi est aujourd'hui de démocratiser un modèle de PPA, accessible actuellement uniquement aux très grandes entreprises – pour des raisons de bancabilité et de volume de consommation électrique –, et de l'ouvrir à des entreprises dont la notation financière et la consommation d'électricité sont plus modestes.

Alors que la Nouvelle-Aquitaine est une région propice au développement des énergies renouvelables et notamment du solaire photovoltaïque, la région Nouvelle-Aquitaine a donc proposé une stratégie de soutien aux entreprises afin qu'elles puissent acheter directement l'électricité produite dans notre région, *via* des contrats de gré à gré.

Nous accompagnons en particulier le Club des ETI de Nouvelle-Aquitaine pour aboutir à un PPA collectif, ce qui serait une première en France. 95 % des ETI n'ont pas la consommation d'électricité suffisante pour pouvoir contractualiser un PPA ; en se regroupant, elles pourront atteindre une taille critique et ainsi collectivement contractualiser avec le développeur de projet solaire photovoltaïque. L'objectif de production s'élève à 25 GWh/an de solaire photovoltaïque sur la région d'ici 2026, pour alimenter environ 25 % de la consommation électrique de ces entreprises d'ici 2026.

<sup>4</sup> PPA = "Power Purchase Agreement" ou contrat d'achat d'électricité en gré à gré.

# Caen la mer en transition : T-Time en sachant renoncer et rediriger

Par Nicolas JOYAU

Président de la communauté urbaine Caen la mer

Et Emmanuel RENARD

Vice-président de la communauté urbaine Caen la mer en charge de l'Aménagement

Depuis plus de 25 ans, la ville de Caen et Caen la mer ont engagé des réflexions sur la reconversion de la friche industrialo-portuaire de la « Presqu'île ». Plan-guide adopté en 2015, études réglementaires et avant-projet terminés, la phase opérationnelle est enclenchée en 2023.

Ce projet majeur (45 ha en centre urbain, 2 500 logements) se veut un quartier démonstrateur de la ville durable. Les curseurs de l'urbanisme classique sont bousculés pour imaginer des modèles qui seraient duplicables.

En mars 2023, un rapport du GIEC réévalue à la hausse l'élévation du niveau des mers entre + 0,63 et + 1,01 m à 2100, correspondant à l'hypothèse de température confirmée par le Haut Conseil pour le Climat. Une étude hydraulique estime que dans ces hypothèses, 30 % des jours de l'année verront des espaces couverts d'eau.

« Pause », le projet tel que conçu ne verra pas le jour. Entre renoncement et redirection, de nouveaux modèles sont à envisager en intégrant la variable de la temporalité.

**P**our lutter contre le dérèglement climatique autant que pour s'adapter à ses inévitables conséquences, la communauté urbaine Caen la mer est mobilisée pour accélérer les actions de transition environnementale.

C'est un des axes majeurs de ses politiques publiques, un des trois grands défis identifiés dans notre projet de territoire<sup>1</sup> que nous aurons à relever au cours du XXI<sup>e</sup> siècle ; les deux autres étant le défi démographique (l'Insee prévoit sur le bassin de vie de Caen la mer une augmentation des 65 ans et plus de + 51 % à 2070) et la transition numérique.

Trois grands enjeux qui nécessitent transversalité, concertation et action territorialisée en partenariat avec les acteurs locaux. C'est d'ailleurs le sens de notre démarche « Caen la mer, territoire en transition »<sup>2</sup> qui rassemble élus, habitants, associations, acteurs économiques et institutionnels. Une démarche connexe à notre projet de territoire qui s'est construite en concertation pour proposer une feuille de route affichant des actions concrètes et perceptibles des habitants à la maille du quartier ou de la commune. Elles n'en sont pas moins ambitieuses, ni moins innovantes. Cette approche concrète de la transition répond à la stratégie

posée dans nos documents de planification : schéma directeur de l'énergie, PADD du PLUi-HM...

La mécanique se veut simple : mettre en résonance ce qui existe, expérimenter, dupliquer, essayer.

Sur l'exemple du projet de ZAC « Caen Presqu'île », elle montre comment elle a intégré les prévisions du GIEC pour revoir totalement le projet initial, et en faire un projet « durable » et résilient au regard des prévisions jusqu'à 2100.

**« Expérimenter, dupliquer » :  
le projet initial « Caen Presqu'île »  
comme quartier démonstrateur  
de la ville durable**

**La reconversion d'une friche  
industrialo-portuaire de 300 ha**

L'opération « Caen Presqu'île » est la reconversion d'une friche industrialo-portuaire de 300 ha sur trois communes : Caen, Mondeville et Hérouville Saint-Clair. Les premières réflexions remontent à la fin des années 1990 ; le plan-guide, réalisé par l'agence néerlandaise MVRDV, est adopté en 2015. Au printemps 2018, ce projet est déclaré Projet d'Intérêt Majeur et prévoit 4 secteurs de projets. Parmi lesquels la ZAC dite du

<sup>1</sup> <https://caenlamer.fr/projet-territoire>

<sup>2</sup> <https://caenlamer.fr/actualites/caen-mer-territoire-transition>

« Nouveau Bassin », un espace de 45 ha aux portes du centre-ville de Caen prévoyant la constructibilité de 240 000 m<sup>2</sup> de surface de plancher, dont 30 000 m<sup>2</sup> d'activités et 2 500 logements.

L'objectif est clair : en faire un quartier démonstrateur de la ville durable qui nous permettrait ensuite, par retour d'expérience, de travailler le renouvellement urbain sur d'autres quartiers.

Aussi, nous intéressons nous à l'ensemble des ODD (Objectifs de Développement Durable) établis par l'ONU (Organisation des Nations Unies) afin de les concrétiser dans le cadre de ce projet.

### Un quartier pour tous

La Presqu'île doit pouvoir héberger toutes les classes de population. Depuis l'hébergement d'urgence, que l'État a mis en œuvre voici quelques années et que le projet de ZAC ne prévoit pas de déménager, jusqu'aux plus hauts déciles de revenus. Une étude dite « de peuplement » est ainsi lancée pour déterminer les typologies, les coûts de sortie des logements, la mixité sociale (logement locatif social, accession sociale, le bail réel solidaire, accession privée) à mettre en œuvre pour répondre à cet objectif (l'arbitrage s'établira avec 28 % de Logements Locatifs Sociaux, 20 % d'accession encadrée et 52 % de privé avec mécanisme de limitation des prix de sortie par un retour en charge foncière à la collectivité au-dessus d'un certain prix).

### Les traces du passé comme élément de durabilité : vers un projet « bio-régional »

#### Un « bocage urbain » symbole de l'omniprésence du végétal

Fabriquer la ville de demain en s'appuyant sur son passé était un des éléments fort du plan-guide de

MVRDV. La trame verte s'appuie sur ces traces, notamment le réseau de 18 km de haies bocagères établi selon le principe des « offsets ».

Un « offset », principe posé par MVRDV, est un espace de 8 à 10 ml de large, entourant les espaces destinés à muter et composé de deux haies bocagères bordant un cheminement doux (cf. Figure 1).

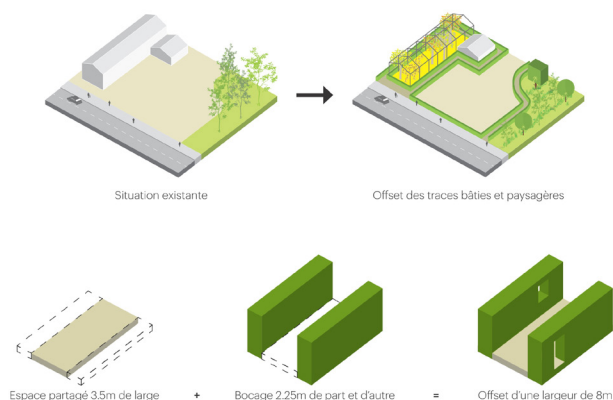


Figure 1 : Principe de l'offset, générant de la haie bocagère (Source : MVRDV Architects).

Outre ces *offsets*, 12 ha d'espaces verts sont envisagés sur la ZAC, le « Parc des Rails » (en référence à la présence d'anciennes voies ferrées sur lesquelles la nature a repris ses droits) en est l'élément majeur.

Par ailleurs, une trame de cœurs d'îlots végétalisés vient créer un réseau de micro-espaces verts de proximité.

#### Voirie et fonciers constructibles définis sur les traces du passé

Le plan de voirie envisagé est celui de l'époque industrielle et les parcelles, bien que la collectivité ait une

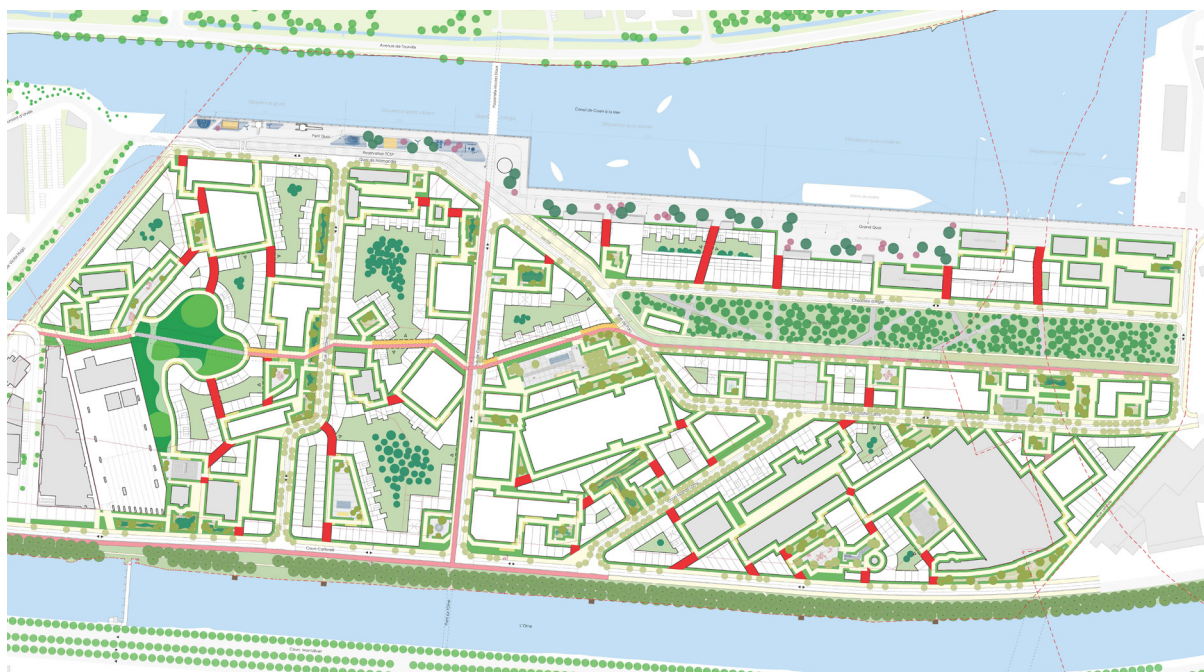


Figure 2 : Plan masse illustrant la présence des haies le long des *offsets* (Source : MVRDV Architects).



Figure 3 : Épannelages permettant une mixité des formes urbaines (Source : MVRDV Architects).

maîtrise foncière substantielle, ne sont pas « orthogonalisées » par remembrement. En outre, la constructibilité est déterminée sur les traces bâties existantes : sur chaque parcelle, le bâti devient un vide et le vide l'entourant devient bâti. L'objectif étant de favoriser une diversité des formes urbaines et de mettre l'architecture au cœur des projets de construction. Pour garantir un taux d'ensoleillement minimum en hiver et une ventilation naturelle en été, un modèle numérique est mis en œuvre, permettant de déterminer les épannelages des immeubles. En parallèle, un livre blanc est élaboré avec les acteurs de la promotion immobilière concernant les attendus sur un haut niveau de qualité des logements : superficies minimales par typologie, dimension des extérieurs, orientations, etc.

### Mobilités décarbonées

En termes de mobilités, place aux piétons, vélos et transports en commun : une extension du tramway vient irriguer le quartier, maillé par des espaces dédiés aux mobilités actives. Pour permettre plus facilement des logements traversants, les parkings de voitures ne sont pas réalisés à l'échelle de chacun des projets immobiliers (pour que la trame de l'immeuble ne soit pas celle du parking) mais au sein d'un réseau de parkings silos foisonnés avec du stationnement public et dont le maillage à l'échelle de la ZAC garantit un droit d'usage dans un parking à moins de 150 m de chez soi (cf. Figure 3).

### Une vigilance particulière sur le risque hydraulique

La ZAC du Nouveau Bassin est située en cœur de la communauté urbaine, en centre-ville de Caen. C'est

un espace vulnérable face aux risques d'inondation et de submersion marine notamment. Plus largement, le territoire de Caen la mer a pris en compte plusieurs démarches stratégiques et opérationnelles en matière de résilience face à ces risques : Plan National d'Adaptation au Changement Climatique, Stratégie Nationale de Gestion Intégrée du Trait de Côte, Notre Littoral pour Demain, travaux du GIEC Normand...

Dans l'objectif d'encadrer les projets d'aménagement, un Plan de Prévention Multirisques de la basse vallée de l'Orne a été élaboré par l'État et approuvé en 2021 par arrêté préfectoral<sup>3</sup>. Ce plan intègre le risque d'inondation par débordement de cours d'eau et la submersion marine pour des événements exceptionnels (crue centennale de l'Orne et élévation du niveau des mers à long terme à + 60 cm) selon les données connues à son élaboration.

Les niveaux à prendre en compte comme cote de plancher des constructions sont alors de 5 à 5,20 mNGF suivant les secteurs sur la ZAC<sup>4</sup>.

La résilience du projet s'est alors bâtie autour de trois axes : réduction de la vulnérabilité, prise en compte de la gestion de crise et développement de la culture du risque. En menant un travail de concertation étroit entre les services de l'État et la Ville de Caen, la SPLA « Caen Presqu'île » et son équipe de maîtrise d'œuvre a donc conçu le projet en prévoyant des couloirs de « transparence hydraulique », des rez-de-chaussée

<sup>3</sup> [https://www.calvados.gouv.fr/contenu/telechargement/15436/126568/file/02\\_20210810\\_pprm-bvo\\_note\\_presentation.pdf](https://www.calvados.gouv.fr/contenu/telechargement/15436/126568/file/02_20210810_pprm-bvo_note_presentation.pdf)

<sup>4</sup> [https://www.calvados.gouv.fr/contenu/telechargement/15438/126578/file/20210810\\_pprm\\_bvo\\_cote\\_reference\\_orne.pdf](https://www.calvados.gouv.fr/contenu/telechargement/15438/126578/file/20210810_pprm_bvo_cote_reference_orne.pdf)



surélevés et des marges de sécurité par rapport aux cotes du PPRM.

6 mesures de réduction de la vulnérabilité ont été intégrées dans le projet :

- bâtiments et îlots transparents ;
- bâtiments et îlots sur socle « remblayé » + 80 cm au-dessus du terrain naturel (TN) ;
- réseaux divers adaptés ;
- prescriptions spécifiques pour les activités ;
- positionnement des équipements sensibles de préférence sur les secteurs hors d'eau et accessibles ;
- réalisation d'un réseau de parkings silos.

Cette conception a permis l'obtention de l'ensemble des autorisations administratives nécessaires (loi sur l'Eau notamment), permettant ainsi de passer en phase de réalisation de la ZAC.

Les documents de référence, s'ils s'intéressent au « risque » de submersion aux échéances 2050-2100 lié à des événements exceptionnels, n'envisagent pas la situation « quotidienne » (trajectoire d'élévation et marées) et ne croisent pas les risques d'inondations et de submersions.

## Été 2023 : renoncement puis redirection

### Quel « quotidien » dans 50 ans ?

Les autorisations administratives étant obtenues, le projet passe donc en phase opérationnelle, les consultations des opérateurs immobiliers sont lancées, les premiers groupements retenus.

En parallèle d'échanges techniques dans le cadre de la préparation des permis de construire, dernières réflexions sur un des enjeux majeurs du site : assurer sa résilience face au risque hydraulique à long terme.

Un nouveau rapport du GIEC sort en mars 2023 et confirme l'accélération du changement climatique en faisant état d'une élévation du niveau moyen de la mer d'ici à 2100 qui est de 0,63 à 1,01 m dans le cas du scénario d'émissions de GES très élevées (SSP5-8.5), et correspondant à une élévation des températures de + 3,3°C à + 5,7°C. Par rapport à la même période de référence, l'élévation probable d'ici à 2150 est de 0,98 à 1,88 m dans le cas du scénario d'émissions très élevées (SSP5-8.5).

Quelques semaines plus tard, le Haut Conseil pour le Climat (juin 2023) projette une trajectoire de réchauffement moyen de + 4°C d'ici la fin du siècle<sup>5</sup>. Dans ce rapport, il est indiqué « Une logique d'adaptation transformationnelle, peu perceptible aujourd'hui, nécessite d'inclure dans les référentiels actuels des caractéristiques prévisibles d'événements futurs de différentes probabilités d'occurrence, y compris faible, mais dont les impacts potentiels seraient majeurs ».

Indépendamment des événements exceptionnels aux échéances 2050-2100, que se passera-t-il au quotidien sous le seul effet de l'élévation du niveau des mers ?

Nous commanditons alors une étude hydraulique simplifiée pour déterminer, en première approche, le niveau (statique) de l'eau avec une élévation moyenne de 1 m.

Il ressort de cette étude que les cotes des très fortes marées hautes qui se produisent environ 2 % du temps dans l'année se produiront 57 % du temps avec une élévation de 1 m.

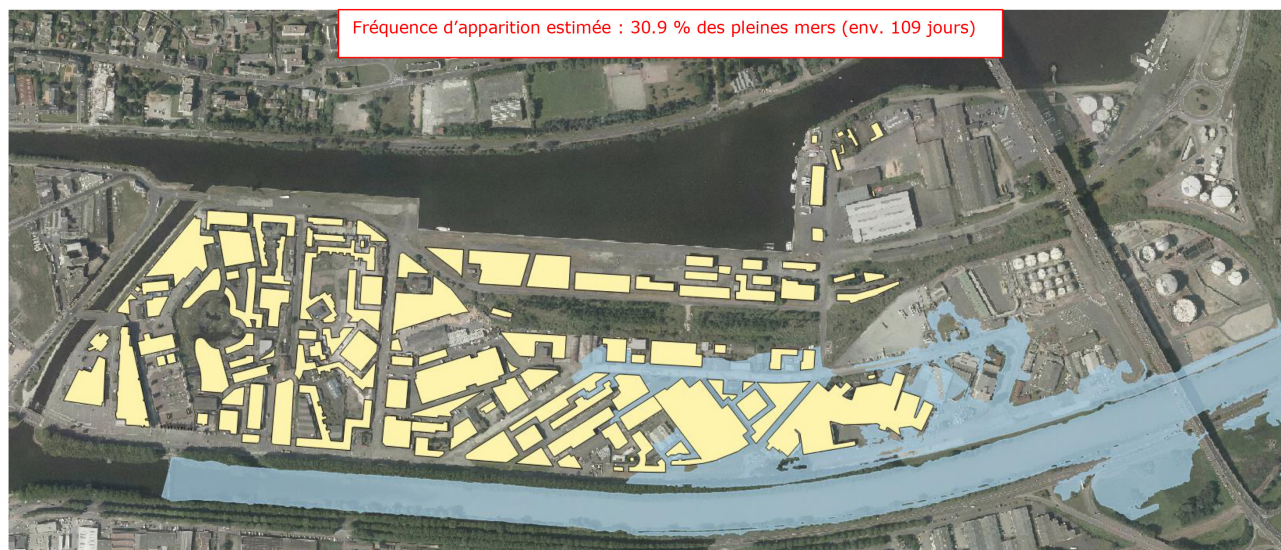


Figure 4 : Secteurs du projet sous la cote 4,74 mNGF, atteinte par un coefficient de marée de 80 avec élévation du niveau marin de 1 m (Source : MVRDV Architects).

<sup>5</sup> [https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2023/06/HCC\\_RANC\\_2023-VF.pdf](https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2023/06/HCC_RANC_2023-VF.pdf)

La Figure 4 indique, par exemple, le niveau de débordement susceptible d'intervenir sur environ un tiers des pleines mers de l'année.

Alors que la notion de « risque », qui renvoie à une probabilité, nous éloigne de la réflexion du « quotidien », il apparaît qu'un tiers de l'année, les espaces publics de la ZAC seraient inondés d'une lame d'eau qui, aussi fine soit elle, questionne sur les fonctionnalités de la ville. Comment fonctionnent dans ce contexte les réseaux souterrains ? Comment concevoir et entretenir des espaces publics couverts d'eau salée régulièrement « alimentés » par une laisse de mer ? Quelles mobilités, quand, un jour sur trois, une lame d'eau recouvre la voirie ?

### En responsabilité : renoncer

Dans ce contexte, est-il responsable de poursuivre en s'appuyant sur la légitimité des autorisations administratives alors qu'elles n'intègrent pas les dernières projections scientifiques ?

Est-il responsable de créer de la valeur patrimoniale sur un secteur dont nous mesurons « scientifiquement » la vulnérabilité ? Qui assumera, dans « + 1 m », ou dans « + 1,5 m » le coût de la relocalisation de ces biens ? Quelle que soit la répartition de cette charge à l'avenir, il ne nous semble pas concevable de poursuivre le projet en l'état.

Alors que la tension en matière de logement sur le périmètre de Caen la mer se fait sentir, alors qu'un « projet démonstrateur » de la ville durable passait en phase opérationnelle, nous appuyons sur le bouton « pause » et prenons la décision d'engager, en partenariat avec les services de l'État, une étude hydraulique dynamique sur l'ensemble de la basse vallée de l'Orne, depuis l'amont de Caen jusqu'à l'estuaire. Ce modèle numérique servira d'outil d'aide à la décision, demande est faite que les données d'entrée puissent être modifiée (conditions aux limites en aval : élévation du niveau des mers, débits de l'Orne...).

L'ensemble des projets connexes du projet de ZAC font l'objet d'un moratoire : création d'une passerelle enjambant le canal pour relier la Presqu'île au quartier Saint-Jean Eudes, prolongation du tramway. Par ailleurs, les cessions de foncier avec les opérateurs immobiliers ne sont pas signées.

### La redirection : la nécessité d'un projet urbain gérant la temporalité

Par son positionnement aux portes du centre-ville, la friche industrialo-portuaire ne peut rester en l'état. D'autant moins que des activités y sont bien présentes : la base nautique de Caen-Mondeville y accueille l'école de voile, des entreprises y sont installées. Par ailleurs, les quais, la présence de l'Orne sont des espaces très propices à la promenade et leurs abords à l'accueil d'événementiel. Il y a nécessité de réaménager les espaces publics aux standards actuels (mobilités douces, végétalisation) et pour y assurer la sécurité.

Par ailleurs, le territoire de Caen la mer est attractif. La tension sur le logement est réelle, que ce soit sur le

parc social (où le taux de tension se rapproche de 4) ou sur le parc privé (vacance globale de 6,8 % et vacance structurelle de 2 ans et plus de 1,6 %).

En matière d'emploi, sur les 10 dernières années (entre 2014 et 2024), les effectifs salariés du secteur privé ont augmenté, en moyenne, de 1 450 emplois par an à Caen la mer, soit une progression totale de + 14,7 %<sup>6</sup> (un taux supérieur à celui de la région et de nos voisines Rouennaise et Havraise).

Dans le contexte d'aménagement du « Zéro Artificialisation Nette », la friche industrialo-portuaire de la Presqu'île est un espace considérable. De nouvelles données doivent cependant être intégrées dans la réflexion.

Les temporalités notamment. La stratégie urbaine résiliente intégrera la notion de réversibilité : une première phase d'activités qui pourront se déployer pendant plusieurs décennies avant, dans une seconde phase, de se déplacer pour rendre l'espace à la nature.

Ainsi, la maîtrise foncière publique permet de gérer les temporalités et leurs conséquences. En effet, par voie d'AOT (Autorisation d'Occupation Temporaire), la collectivité pourra autoriser des activités dont l'amortissement est envisageable sur 40, 50, 60 ans. Des clauses spécifiques pourraient garantir aux porteurs de projet un équilibre économique en cas d'accélération de l'aléa ou, *a contrario*, proposer un « retour à meilleure fortune » à la collectivité si les conséquences du réchauffement climatique permettaient à un opérateur de rester plus longtemps sur site.

C'est donc un changement de modèle considérable qui est à mettre en œuvre, sur la programmation, le modèle de la ZAC et les équilibres budgétaires.

## Conclusion

D'un quartier pensé et conçu comme un modèle de durabilité (qui ne verra pas le jour en l'état), notre collectivité s'engage aujourd'hui dans une démarche de résilience de son territoire avec une approche globale.

Les principes d'aménagement du projet « Caen Presqu'île » ont malgré tout permis d'explorer certains modèles qui seront déclinés sur d'autres opérations de renouvellement urbain et c'est en responsabilité que nous avons décidé de mettre en « pause/stop » un projet urbain majeur et de commencer à penser à sa redirection.

L'étude hydraulique dynamique, menée en partenariat avec l'État, permettra à notre territoire de mieux définir les conséquences du changement climatique sur le fond de vallée de l'Orne, dans diverses hypothèses. Cette étude devra être complétée par une approche multi-acteurs globale pour définir une stratégie territoriale de développement résilient à l'échelle de l'estuaire et de la Basse Vallée de l'Orne. Bien évidemment, la question de la gouvernance de cette stratégie sera cruciale.

<sup>6</sup> Source : Note de Caen Normandie Développement sur la base de données de l'Urssaf Normandie et France Travail.

Cette expérience pose la question suivante : le cadre réglementaire est-il aujourd'hui suffisant pour procéder aux choix d'aménagement ? Notre projet « Caen Presqu'île » s'inscrivait bien évidemment dans un processus menant aux autorisations environnementales.

Nos collectivités locales font face à des difficultés croissantes en matière d'aménagement, pour répondre aux enjeux de durabilité tout en répondant aux besoins immédiats (logement notamment).

Bien évidemment, la trajectoire de réduction de l'étalement urbain est nécessaire. Ces développements en tache d'huile symboles du modèle d'aménagement des « Trente Glorieuses » ont généré des difficultés structurelles pour les territoires en matière de mobilités ou encore de coûts des services publics environnementaux (densité des services publics et de leurs infrastructures coûteuses...).

Le renouvellement urbain n'en est pas facilité pour autant. Naturellement plus coûteux et nécessitant davantage de concertation pour la collectivité, il est également plus complexe dans la temporalité, dans les démarches administratives nécessaires et dans la gestion des risques.

Dans un contexte d'urgence environnementale ou encore de crise du logement et de changement de paradigme en matière d'aménagement, il nous faut trouver davantage d'efficacité et de souplesse dans nos processus d'élaboration de la ville.

# Adaptation ou transition écologique ?

Par Claire TUTENUIT

Déléguée générale de l'association française des Entreprises pour l'Environnement (EpE)

Et Ken GUILTAUX

Responsable des pôles Changement Climatique et Achats d'EpE

Alors que les projections climatiques à 2050 disposent d'un niveau de certitude élevé, l'adaptation au changement climatique n'est plus tant un défi nouveau qu'un défi complexe aux facettes et ramifications nombreuses. Devenant partie intégrante de l'activité et de la transformation des entreprises, l'adaptation sera plus efficace si elle est gérée de façon intégrée avec l'atténuation du changement climatique, et aussi avec les enjeux de biodiversité. Dans ce contexte, les entreprises ressentent de plus en plus la nécessité de coopérer avec leurs financeurs, leurs territoires ou encore leur chaîne de valeur en vue d'atteindre un objectif global de résilience de l'activité.

## Introduction

Historiquement, l'adaptation au changement climatique a été essentiellement le fait des entreprises ayant la charge de dimensionner et gérer les grandes infrastructures (énergie, réseaux, etc.). EpE publiait ainsi dès 2014<sup>1</sup> les pratiques de redimensionnement des pylônes (RTE) et voies ferrées (SNCF), tandis qu'EDF revoyait les calculs de production et les méthodes de gestion de ses barrages hydroélectriques. Aujourd'hui, les constats sont sans appel et largement partagés : les chaînes de valeur complexes et mondiales sont exposées à de nombreux aléas ; les impacts physiques du changement climatique frappent plus rapidement qu'attendu ; les dépendances aux réseaux de transport, d'énergie et de communication demandent une résilience collective et territoriale ; les populations les plus défavorisées sont aussi les plus vulnérables ; la multiplication des catastrophes climatiques est un défi pour les assurances, entre augmentation des primes et risque d'inassurabilité de dommages prévisibles, voire certains.

En 2025, les entreprises, de toutes tailles et secteurs, sont nombreuses à s'approprier l'enjeu de l'adaptation dans toute sa complexité. Loin de considérer l'adaptation comme acquise, elles questionnent ses implications sur leurs bâtiments et les conditions de travail de leurs collaborateurs, leurs investissements et leurs marchés, leurs territoires d'implantation et leurs chaînes de valeur, les incertitudes étant fortes dans tous ces domaines. L'adaptation est devenue un enjeu de gestion de risques.

Alors que ce sujet prend de plus en plus de poids en France – avec le troisième plan national d'adaptation au

changement climatique – et en Europe – avec la CSRD et son volet climat – et que le coût de l'inaction au niveau global est de mieux en mieux appréhendé, la question peut parfois se poser chez certaines entreprises de sa place dans les stratégies environnementales.

Or, divers travaux<sup>2,3,4</sup> montrent que non seulement l'adaptation au changement climatique sera plus efficace si elle est appréhendée en tenant compte des enjeux de réduction des émissions et de biodiversité, mais aussi qu'elle est un levier parmi d'autres amenant l'entreprise à rendre son activité résiliente sur le court et long terme, et ce, au-delà des questions climatiques. À ce titre, la question de la ressource en eau et de son partage constitue une illustration forte de la complexité de la mise en œuvre de cette résilience, croisant de multiples dimensions de la transition écologique avec des enjeux clés pour d'autres acteurs.

## Structurer une démarche globale d'adaptation<sup>5</sup>

Face à un risque climatique encore peu maîtrisé, nombre d'entreprises adoptent généralement un parcours d'adaptation consistant essentiellement à mettre

<sup>1</sup> Les entreprises et l'adaptation au changement climatique, EpE-ONERC, 2014.

<sup>2</sup> Impacts sur la biodiversité, les écosystèmes français et les services écosystémiques. Recommandations pour l'adaptation de la biodiversité, FRB, 2013.

<sup>3</sup> Entreprises et solutions fondées sur la nature - S'emparer du concept pour passer à l'action, Comité Français de l'UICN, 2022.

<sup>4</sup> Face au changement climatique, accélérer une adaptation systémique et juste, CESE, 2023.

<sup>5</sup> Les éléments présentés dans cette partie sont issus de la publication, « En entreprise, comment s'engager dans un parcours d'adaptation au changement climatique ? », Ademe-EpE, 2024.

en œuvre des actions isolées pour répondre à un aléa précis puis les évaluer. Les actions peuvent être ponctuelles ou continues, en réponse à des événements climatiques soudains ou récurrents qui perturbent les activités de l'entreprise. Ce parcours est qualifié de « partiel » car les actions couvrent un périmètre restreint et ne sont pas élaborées dans le cadre d'une approche globale de tous les risques climatiques auxquels l'entreprise sera confrontée, à la différence d'un parcours « complet ». L'évaluation des actions menées, dans ce cadre, vise à améliorer leur efficacité mais n'ambitionne pas de fournir la prise de recul nécessaire pour adapter voire transformer l'entreprise et son modèle. L'engagement dans un parcours partiel peut néanmoins être vu comme un premier pas dans l'adaptation, rendant ensuite plus facile le passage vers un parcours complet.

Ce dernier est constitué de trois phases : diagnostic, stratégie et suivi-évaluation. Le diagnostic évalue les risques physiques (menaces et opportunités) que font peser le changement climatique et ses conséquences sur l'ensemble de l'entreprise et de ses chaînes de valeur, amont comme aval. De ceci découlent des propositions d'actions de différentes natures, qui sont priorisées, articulées entre elles, budgétisées et planifiées dans le temps au sein d'une stratégie d'adaptation. Enfin, l'évaluation porte cette fois sur la stratégie de manière globale en plus des actions mises en œuvre. Elle peut se faire en amont (*ex ante*), pendant (*in itinere*) ou en aval de la démarche (*ex post*), facilitant ainsi l'amélioration continue de la stratégie d'adaptation. L'intérêt d'une entreprise est grand de s'engager dans un parcours d'adaptation complet, le seul qui intègre les risques à long terme, dont certains sont invisibles ou pas encore envisagés aujourd'hui, comme le montrent certains témoignages de ce numéro et de la publication Ademe-EpE.

Transversalement à ces deux types de parcours, qui ne sont pas exclusifs l'un de l'autre et qui, en pratique, se succèdent très souvent dans le temps, se trouvent les territoires et les chaînes de valeur au sein desquels les entreprises produisent et se développent. Les entreprises s'inscrivent en effet dans des écosystèmes, comme ce numéro le montre : les territoires et filières dont elles dépendent sont également confrontés aux impacts du changement climatique et s'efforcent d'y apporter des réponses. Les entreprises ont donc intérêt à penser leur parcours d'adaptation en synergie avec ceux-ci et en coopération avec les acteurs et les initiatives qui leur sont associés pour favoriser la cohérence des efforts, la solidarité et l'émergence de co-bénéfices multiples. Cette approche collective permet de mutualiser et de partager les diagnostics, les outils, les plans d'actions, voire les moyens à mettre en œuvre pour l'adaptation.

## De l'adaptation à la résilience

Le contexte réglementaire du rapportage fournit un levier intéressant aux entreprises pour non seulement initier un parcours complet d'adaptation au changement climatique, mais aussi le construire et le faire vivre en

cohérence avec les autres enjeux environnementaux. Plus précisément, l'analyse de double matérialité (impact de l'activité sur l'environnement et de l'environnement sur l'activité) consiste à identifier les risques, notamment physiques, pouvant peser sur l'entreprise et leurs potentielles conséquences financières. Au-delà de l'analyse, il est attendu que les entreprises soumises à un tel rapportage communiquent sur un plan de transition, qui inclut là-encore les actions de réduction de leur empreinte environnementale et de réduction des différents risques dont le risque climatique.

Dans le cas de l'adaptation au changement climatique, cette approche transversale est notamment utile pour éviter la « mal-adaptation », par exemple en transférant le risque ailleurs ou en aggravant encore plus les impacts et donc les risques futurs. À titre d'exemple la climatisation en réponse au risque de canicules peut présenter plus d'inconvénients que d'avantages, ou l'inverse<sup>6</sup> : cela dépend de la température de consigne, de l'énergie utilisée, de l'usage des locaux... et des alternatives disponibles dans tel ou tel lieu géographique. La construction de digues en réponse au risque d'inondation peut être une solution pour protéger une installation essentielle, mais peut aussi être qualifiée de « mal-adaptation » si elle incite à de nouvelles constructions en zone inondable à moyen terme, accroissant la consommation d'énergie et de ressources. En outre, certaines adaptations peuvent transférer le risque vers d'autres acteurs (chauffage des rues par la climatisation, par exemple). À l'inverse, opter pour une solution d'adaptation fondée sur la nature, chaque fois que c'est possible, est bien souvent plus susceptible de générer des co-bénéfices (notamment pour la biodiversité) en plus de répondre au besoin de manière presque aussi efficace qu'une solution exclusivement technologique. La complémentarité avec une solution technologique plus légère peut s'avérer le meilleur compromis. Les villes minérales sont par exemple plus gourmandes en énergie que les villes végétalisées.

Au-delà des entreprises de l'économie réelle, le secteur financier bénéficie des données des entreprises pour mieux piloter son portefeuille d'investissements. En effet, les dommages causés aux entreprises par les aléas climatiques peuvent générer des risques de crédit voire de faillite et donc de perte sèche pour leurs financeurs, qui ont alors intérêt à valider la pertinence de l'allocation de financements. Par exemple, les décisions d'investissement pourront être conditionnées (évaluation de la vulnérabilité du site, existence d'une assurance contre ces risques, mise en œuvre d'un plan d'adaptation) et se concrétiser à travers des outils de financement innovants. Du point de vue des entreprises, l'adaptation devient alors un facteur d'attractivité pour les financeurs en diminuant le risque financier des projets.

Toutefois, le risque climatique n'est pas le seul risque généré par la poursuite des modes actuels de production et de consommation. En effet, la multiplication des crises récentes peut être aussi due à des facteurs tant

<sup>6</sup> [https://annales-des-mines.org/wp-content/uploads/2025/01/Gazette130\\_web.pdf](https://annales-des-mines.org/wp-content/uploads/2025/01/Gazette130_web.pdf)

de biodiversité (par exemple, destruction des forêts entraînant la disparition des services environnementaux associés et/ou propagation zoonotique de virus vers l'homme) ou de ressources (tensions sur des matières premières minérales ou issues du vivant). En adoptant une vision intégrée et systémique de leur transition écologique, les entreprises seront ainsi plus à même d'anticiper des crises de plus en plus complexes et protéiformes et donc de rendre leurs activités résilientes. Cela peut parfois amener à des décisions plus radicales et transformatrices touchant aux chaînes d'approvisionnement, aux activités ou aux marchés servis (relocalisation, diversification, réorientation de projets d'investissements ou désinvestissement d'actifs échoués).

## L'eau à l'avant-garde des enjeux de résilience

L'eau constitue une illustration de l'intérêt de penser la résilience de son activité<sup>7</sup>. Cette ressource est critique pour de nombreuses activités humaines dont l'agriculture et l'industrie (respectivement 70 et 22 % des prélèvements mondiaux). Inondations ou sécheresses peuvent générer d'importantes pertes économiques par arrêt d'activités, voire destruction de récoltes, productions et équipements. L'eau constitue également une ressource essentielle de la transition écologique : les forêts en ont besoin pour pleinement jouer leur rôle de puits de carbone ; la sortie des énergies fossiles appelle à une montée en puissance de la biomasse, dont la production est consommatrice d'eau ; enfin, centrales hydroélectriques et nucléaires voient déjà leur capacité de production affectée en période de stress hydrique.

La disponibilité et la qualité de l'eau ont des effets sur la biodiversité à prendre également en compte dans les décisions des entreprises pour mesurer l'intérêt de s'adapter : les rejets du refroidissement des centrales électriques dans les cours d'eau sont déjà limités en période chaude pour éviter de perturber les écosystèmes, ce qui donne l'opportunité de planifier leur maintenance ; les rejets des usines de dessalement de l'eau de mer ont des impacts repérés sur les milieux marins suite à l'augmentation de la salinité locale par les rejets de saumure (perte d'oxygène et de lumière) ; les substances véhiculées par les eaux usées ainsi que les rejets non traités de l'élevage intensif participent à l'eutrophisation des masses d'eau ; enfin, la pollution des sols générée par l'industrie et l'agriculture intensive *via* les eaux souterraines ou de surface constitue une cause majeure de perte de biodiversité. Or, celle-ci fournit de nombreuses solutions, tant pour réguler la qualité de l'eau que pour contribuer à l'adaptation locale au changement climatique et son atténuation.

Ces constats illustrent la complexité du partage d'une eau plus rare et le risque de conflits d'usages nouveaux entre les activités humaines et avec la biodiversité. En France, la gouvernance locale de l'eau par bassin, à

laquelle les entreprises contribuent pleinement, répond à ces différents enjeux. Son approche de plus en plus systémique tient compte des cycles de l'eau. Elle intègre qualité et disponibilité de l'eau, préservation de la biodiversité et désormais adaptation avec des débats sur des trajectoires de sobriété par type d'usage, dont les usages industriels et de refroidissement, permettant de limiter les risques d'arrêt d'activité<sup>8</sup>.

Les entreprises sont donc appelées à faire évoluer leurs pratiques et à réduire leurs impacts sur l'eau et donc les risques de tension, d'autant plus qu'elles sont généralement moins prioritaires que les consommateurs et l'agriculture dans la hiérarchie des usages. Des investissements sont aujourd'hui réalisés dans le recyclage, la réutilisation en circuit fermé ou encore la récupération de l'eau de pluie sur les sites, dans une démarche double de réduction des usages et de gestion des risques liés à l'eau sur les sites et dans les chaînes de valeur. Des actions de désimperméabilisation des sols sont entreprises pour contribuer à une meilleure gestion des eaux de pluie (réduction des risques d'inondation, alimentation des nappes phréatiques). Les premiers cas d'usages en développement seront utiles pour alimenter les réflexions sur une résilience plus globale des chaînes de valeur.

## Conclusion

La première action utile dans une maison inondée est de fermer le robinet ; ensuite, on peut éponger et réaménager. Si l'adaptation du monde économique au changement climatique est inéluctable et spontanée car ayant une logique économique pour l'entreprise elle-même, il serait ainsi dangereux de ralentir les investissements et efforts de réduction des émissions. L'intégration des deux en une approche systémique de la transition écologique incluant eau et biodiversité, avec le dialogue entre entreprises, financeurs et leurs parties prenantes comme méthode de travail, facilitera l'identification et la mise en œuvre de solutions technologiques, naturelles, organisationnelles et financières à combiner pour obtenir une meilleure résilience. La France bénéficie actuellement d'une avance certaine en matière de données climatiques pour le diagnostic des risques, et nombre d'entreprises ont intégré les enjeux de la biodiversité tout en poursuivant leur travail d'alignement avec l'Accord de Paris. Transformer l'adaptation en un levier d'atténuation, de résilience et de compétitivité permettrait à son tissu économique de tirer profit de cet avantage.

<sup>7</sup> Évaluation des liens d'interdépendance entre la biodiversité, l'eau, l'alimentation, la santé et le changement climatique (évaluation Nexus), IPBES, 2024.

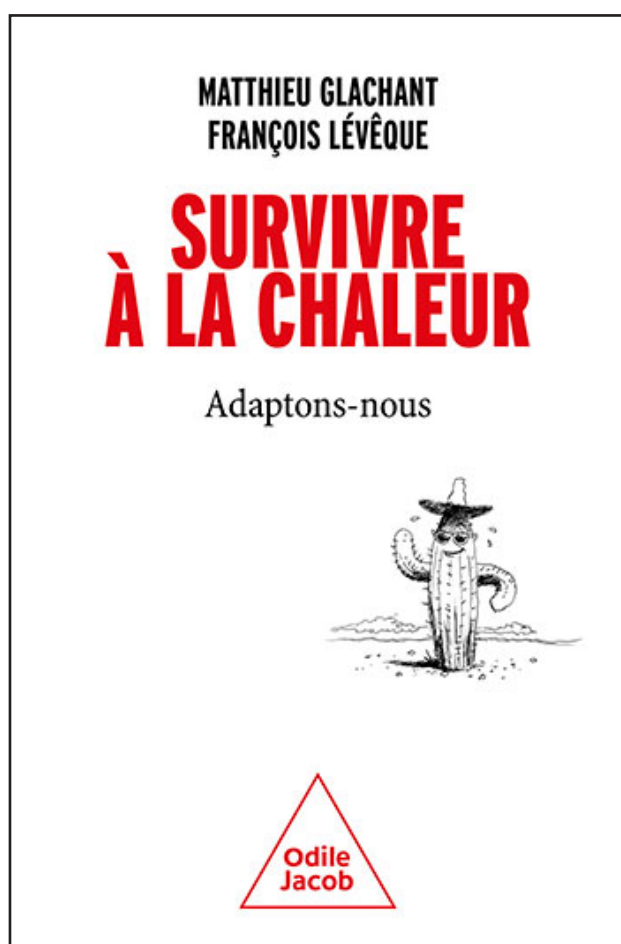
<sup>8</sup> Voir également l'article de Philippe Kahn et Michel Pascal dans ce même numéro sur ce sujet.

# Renforcer les politiques d'adaptation

À propos de l'ouvrage  
de Matthieu Glachant et François Lévêque,  
« Survivre à la chaleur – Adaptons-nous »,  
Éditions Odile Jacob, 2025

Par Claire TUTENUIT

Déléguée générale d'Entreprises pour l'Environnement (EpE)



À l'heure où la France se dote d'un plan national d'adaptation tablant sur un réchauffement moyen de + 4°C en 2100, cet ouvrage écrit par deux professeurs d'économie à l'École des Mines de Paris vient à point apporter des réponses nuancées aux grandes questions sur l'adaptation. Ils y apportent les méthodes de l'approche économique mais surtout, compte tenu des incertitudes sur le climat futur, un appel au bon

sens : quelles sont les modalités d'adaptation les plus probables, quels sont leurs effets à grande échelle, leurs chances de succès ? Pourquoi et comment concilier adaptation et atténuation ?

La première partie de l'ouvrage aborde les questions qui se posent à différentes activités, évoque les réponses possibles et identifie les choix de politiques publiques qui vont orienter les acteurs vers les solutions les plus appropriées.

La première question porte sur la climatisation ; est-ce une bonne idée ? Elle refroidit l'atmosphère intérieure des logements et bureaux, améliorant la productivité et le confort de vie, mais elle est très consommatrice d'électricité donc émettrice tant que l'ensemble de la production n'est pas décarbonée ; néanmoins elle sera inévitable pour de nombreux habitants des zones tropicales – la productivité baisse vite dans un lieu de travail à plus de 30°C. Les « morts de chaud » sont-ils plus ou moins nombreux que les « morts de froid » ? Cela dépend des pays. Peut-on vraiment la qualifier de mal-adaptation ? Cela dépend de la température, de l'écart choisi entre température extérieure et intérieure et des choix du mix énergétique, et c'est là que l'intervention publique peut être utile pour éviter que l'adaptation ne fasse oublier la réduction des émissions ; cela dépend aussi des autres solutions mises en place en parallèle, végétalisation des villes, architecture climatique permettant la circulation de l'air...

Quelle attitude ensuite face aux mégafeux qui s'accroissent déjà et que les auteurs considèrent comme la principale menace sur les forêts et leur biodiversité ? Ils menacent aussi la santé des populations par les particules de suie qu'ils diffusent dans l'atmosphère et qui font sans doute plus de morts, loin des feux, que les incendies eux-mêmes. Ils représentent plus de 5 % des émissions mondiales et font que la forêt n'est déjà plus un puits de carbone, mais une source nette d'émissions. Faut-il lutter contre eux, ou tenter de les prévenir, dans quels cas ? L'ouvrage donne des clés pour aborder ces questions.

Le devenir des stations de ski et la montée des eaux dans les villes (un milliard de gens seront exposés au risque d'inondation vers 2050) occupent les deux chapitres suivants. Dans les deux cas, le choix à faire est entre des solutions technologiques de prolongement, souvent coûteuses pour l'atténuation, canons à neige dans un cas et construction de digues dans l'autre, et des transformations plus profondes, changement d'activité des stations ou déménagement des villes – qui a commencé, en Indonésie ou ailleurs. Que doivent encourager les pouvoirs publics, avec quel rythme ? Les auteurs proposent des méthodes d'évaluation et de comparaison de ces voies de solutions, particulièrement ardues quand il s'agit d'évaluer le nombre de morts, le coût des migrations climatiques et celui des nouvelles infrastructures.

Quelle agriculture dans un nouveau climat ? L'agriculture mondiale se heurte au double défi de nourrir une population mondiale qui s'enrichit donc souhaite et peut s'offrir plus de viande et de réduire ses émissions dans des conditions climatiques instables : le changement climatique réduit les rendements mais il est plus que compensé dans certains pays du Sud par l'intensification agricole. À l'inverse, il rend cultivables des terres boréales jusqu'ici trop froides. Faut-il irriguer, changer les systèmes culturaux, augmenter les surfaces cultivées, changer les régimes alimentaires, passer à une agroécologie plus résiliente que l'agriculture intensive conventionnelle ? Les auteurs se prononcent sur ces solutions pour certains cas, sous certaines conditions, font le point des tendances, des débats et des expériences actuelles.

La seconde partie du livre porte sur des débats plus transverses sur les politiques climatiques et de développement. Faut-il choisir entre adaptation et atténuation, laquelle devrait avoir la priorité ? Ou les deux sont-elles en synergie ? Quel va être le coût du changement climatique en termes de perte de PIB, pour quels pays, et peut-on rétablir une situation plus équitable entre les différents pays du monde, certains étant plus vulnérables que d'autres, et certains ayant eu une plus grande contribution au réchauffement ?

Le regard des économistes est ici très utile pour donner des ordres de grandeur, comparer les coûts et les bénéfices des différentes options, prendre de la hauteur par rapport à des décisions que chacun perçoit aujourd'hui comme individuelles. En revanche, les incertitudes restent trop fortes pour faire mieux que donner des ordres de grandeur des coûts et bénéfices de l'une et de l'autre... mais ces ordres de grandeur sont utiles pour comprendre l'intérêt de solutions collectives par rapport à des décisions purement individuelles.

Atténuation et adaptation sont fortement liées par la question : « à quoi faut-il s'adapter ? », à laquelle on ne peut répondre qu'en faisant des hypothèses sur les politiques d'atténuation et l'évolution des émissions et absorptions mondiales... La conclusion est claire : on ne peut faire l'impasse d'actions fortes d'adaptation, en essayant au mieux d'éviter les actions qui vont faire augmenter les émissions. L'adaptation rend plus urgentes les politiques d'atténuation. L'économie

apporte quelques réponses, mais aide surtout à poser les questions.

Le dernier chapitre aborde l'adaptation sous l'angle des relations internationales, à partir de la question des relations entre climat et développement : le climat influence-t-il davantage la croissance que les politiques publiques ? Le débat est ancien, mais toujours vivace. Partant de là, les auteurs interrogent sur l'équité du fardeau, et la solidarité possible et souhaitable à travers nos politiques publiques et l'aide au développement, sujet sur lequel plusieurs logiques s'opposent. Les dépenses d'adaptation actuelles dans les pays en développement sont d'environ un dixième de ce qu'elles devraient être ; même s'il y aurait en effet un double dividende à accroître l'aide à l'adaptation des pays les plus vulnérables, les financements internationaux sont fléchés surtout sur l'atténuation.

Au total les auteurs nous mettent en face d'une réalité, plus incontournable encore avec le ralentissement de la dynamique internationale auquel nous assistons actuellement : nous devons nous adapter, renforcer les politiques d'adaptation. Avec des raisonnements économiques accessibles, ils ancrent le sujet de l'adaptation dans l'ensemble des décisions économiques, individuelles ou collectives, à tous les niveaux – une réponse utile au nouveau plan national d'adaptation, élargie au monde. L'ouvrage, même s'il montre bien les limites de l'économie dans le contexte d'incertitude actuel, et n'approfondit guère les solutions fondées sur la nature ni les solutions d'adaptation pour la biodiversité, laisse le lecteur avec une conviction : on ne peut plus éviter l'adaptation, et plus on l'anticipe, meilleure et moins coûteuse elle sera.



# Adapting industry to climate change

## Preface

**Grégoire Postel-Vinay**, Editor-in-Chief of *Annales des Mines*

## Introduction

**Claire Tutenuit**, Managing Director of Entreprises pour l'Environnement (EpE), **and Michel Pascal**, Permanent member of the General Economic Council and the General Inspectorate for the Environment and Sustainable Development

## The current situation

### What future climate should economic activity in France adapt to?

**Jean-Michel Soubeyroux**, Deputy Scientific Director of Climatology and Climate Services at Météo-France

In 2023, France adopted a Reference Warming Trajectory for Adaptation to Climate Change (the TRACC in French), setting a common adaptation target for all stakeholders and all regions. The purpose of the TRACC is to specify what we need to adapt to in terms of climate in different timeframes over the 21<sup>st</sup> century.

For mainland France, the TRACC envisages end-of-century warming of +4°C compared with the pre-industrial era, resulting in profound changes to the current climate both in terms of average values and extreme values, such as heat waves or extreme rainfall. In this warmer climate, water resources will also be severely affected, with less useful water, more soil drought and a greater risk of forest fires. These elements are now made available through a range of climate services, which also include other useful information for the overall consideration of adaptation issues, such as the rise in sea levels.

### Adapting France to a temperature rise of 4°C by 2100: a collective project for a more resilient society

**Marie Carrega**, Head of the Climate Change Adaptation Office at the Directorate-General for Energy and Climate (DGEC), **and Sophie Murlon**, Director General of the DGEC

According to IPCC scientists, the current trend in global greenhouse gas emissions and the commitments made by governments to reduce them will lead to global warming of 3°C compared with the pre-industrial era by

the end of the century, or 4°C in France. To anticipate the consequences of such warming, the government is finalising the third national plan for adaptation to climate change, the aim of which is to plan the actions to be taken between now and 2030 to adapt gradually to the global warming expected by 2100. To meet these challenges, the draft PNACC comprises 51 measures, broken down into more than 200 actions, divided into 5 areas aimed at protecting the population from the effects of climate change: adapting our territories; ensuring the resilience of essential services and infrastructures; adapting our economy; protecting our natural and cultural heritage; and mobilising all stakeholders.

### A global sobriety approach for industrial companies

**Michel Pascal**, Permanent member of the General Economic Council and the General Inspectorate for the Environment and Sustainable Development, **and Philippe Kahn**, Chairman of the "Regulation and Resources" section of the General Economic Council

This article is based on the 2024 report of a mission on water sobriety in industry, commissioned by the Minister for the Environment from the General Inspectorate for the Environment and Sustainable Development and the General Economic Council. The aim was to put forward proposals to deal with the consequences of the exceptional drought in 2022, which caused a number of companies to cease operations. The scope covered facilities classified for environmental protection (ICPE), excluding energy production facilities.

How can this be avoided in the future? Through anticipation, knowledge and support for businesses, brought together by a single approach: sobriety.

Firstly, the mission has drawn up a guide to good practice in water efficiency, which can be used by any industry to develop its own strategy.

Secondly, it has proposed that tools be put in place to prioritise efforts to reduce water consumption, not across the board, but in areas under pressure, i.e. areas in imbalance, where water consumption exceeds available resources.

To go further, it proposed that the reindustrialisation of France should take water resources into account, i.e. that new factories should be set up in areas where the necessary water is available.

Finally, it proposed that public aid (water agencies) should be targeted at areas under pressure and encourage technologies that consume less water.

## Consequences for the economy and industry

### Adaptation and innovation, the two legs of industrial resilience

**Christian de Perthuis**, Economist, founder of the Climate Economics Chair at the University of Paris Dauphine-PSL

The era when adaptation and mitigation of climate change were seen as competing is over. In a world where the thermometer is set to regularly rise above the +1.5°C observed in 2024, the resilience of economies requires a combination of adaptation and mitigation. Industry is the first to be affected. To strengthen its resilience, it must combine its decarbonisation efforts with adaptation strategies to protect the operation of networks, ensure the resilience of supply chains and cope with disruptions to the water cycle. Over the coming decades, adaptation will be a major requirement, but also a new source of innovation.

### Adapting to climate change from a health perspective

**Yves Lévi**, Académie nationale de médecine, Académie nationale de pharmacie, Académie des technologies, Honorary Professor of Public Health-Environmental Health, Université Paris Saclay

Climate change impacts on a wide range of interacting areas, all of which have an impact on human health, animal health and the environment as part of the "One Health" concept. Health is non-negotiable. The urgent need is to anticipate worsening risks through collective, concerted and informed decisions, above all preventive but also curative. The fields concerned include architecture and urban planning, agriculture and food, water use, the consequences of demographic change, the healthcare system... Mental well-being and social inequalities must be taken into account. Decision-making systems must integrate the "One Health" parameter at a high level into all management actions in the face of this major crisis, with a global vision that avoids compartmentalization.

### The technological challenges of adapting industry to climate change

**Antoine Belleguie, Olivier Appert, Denis Randet, and Richard Lavergne**, ANRT Energy Transition Working Group

Faced with accelerating climate change, France must adapt its infrastructure and economic sectors to strengthen their resilience against emerging challenges. In 2024, under the leadership of Olivier Appert, Denis Randet and Richard Lavergne, with Antoine Belleguie as coordinator, the ANRT's Energy Transition Working Group conducted an in-depth analysis of the adaptation technologies necessary to secure key sectors: water, energy, agriculture, urban planning, industry, transportation, health, defense, and space. This article identifies major strategic pathways – such as optimized water resource management, the strengthening of energy infra-

structure, and process digitalization – to support the transition towards a sustainable and resilient economy. By integrating a systemic approach, these initiatives aim to enhance sector interconnectivity and encourage shared governance to better address future climate impacts.

### The social challenges of adaptation

**Jean-François Naton**, Former vice-president and advisor to the Economic, Social and Environmental Council (CESE)

For many years now, the Economic, Social and Environmental Council (CESE) has been helping to raise awareness of ecological issues through its opinions. Several opinions have given food for thought and produced recommendations for changing our individual and collective behaviour.

In 2023 and 2024, two opinions were issued to stimulate debate on the climate challenge and the urgent need to make the ecological transition. These two opinions are consistent in their analysis and dare to tackle the challenge of working differently, as part of an adaptation and mitigation strategy. This challenge can only be met by mobilising everyone in the world of work and renewing social dialogue, which means bringing the company into the democratic mainstream by giving priority to the duty to listen to the men and women who make it up, in the principles of prevention set out in the Labour Code.

### The challenges facing the automotive industry in the face of climate change

**Marc Mortureux**, Ingénieur Général des Mines, Managing Director of the Automotive Platform (PFA)

To decarbonise road transport, France's biggest emitter of greenhouse gases, the automotive industry has embarked on an unprecedented transformation to develop zero-emission vehicles, i.e. battery-electric vehicles or, for certain heavy-duty vehicles, hydrogen-powered vehicles. This electrification, which is already well under way with a 17% market share by 2024, nevertheless represents a considerable challenge for the European industry, which is seeing strong competition from new entrants from China and the United States: an issue of sovereignty, particularly for batteries; an industrial and social challenge, for the retraining of sites and employees affected; consumer acceptability, depending on how the vehicle is used, etc. To meet these immense challenges, it is urgent for the European Union to finally adopt a strategic vision for its automotive industry and move away from a purely regulatory approach.

## Industrial approaches

### Adapting to climate hazards: a major challenge for industry

**Emmanuelle Bromet**, Arkema Sustainable Development Director

Climate change represents a major global challenge for businesses, particularly industrial companies. They

have to adapt to extreme weather events, rising temperatures and dwindling natural resources. While many companies are working on reducing greenhouse gas emissions (mitigation), it is just as crucial to adapt to the consequences of climate change (adaptation). Companies must now take preventive measures to reduce their risks, particularly industrial safety and business continuity risks.

At Arkema, we have been taking steps for years to reduce the vulnerability of our assets and increase the resilience of our sites. This includes adapting existing facilities to make them less vulnerable to extreme weather events. Alternative production is put in place to ensure continuity of service for customers. Preventive measures, such as strengthening the crisis management organisation and training teams, are being deployed.

### **Saint-Gobain's approach to adapting to climate change**

**Emmanuel Normant**, Director of Sustainable Development, Saint-Gobain Group

The consequences of climate change for a group the size of Saint-Gobain can be manifold: multiple risks for assets, the supply chain and working conditions, whether as a result of extreme events, heatwaves, changes in water regimes, etc. But there are also future developments in the markets served by Saint-Gobain which will require us to rethink the solutions we propose. Awareness of the effects of climate change is spreading throughout the Group's various functions, and existing management tools are increasingly systematically incorporating these consequences.

### **Industry's adaptation to climate change, the example of Michelin**

**Antoine Sautenet and Francis Renault**, Michelin

In view of the accelerated warming of the climate, adapting to physical climatic risks is an imperative for every organisation. This is naturally the case for Michelin. As a global industrial player, the Group is affected by numerous physical risks that are both systemic and multidimensional. That's why Michelin has tried to anticipate these challenges through an extensive risk exposure study, which has been accompanied by the formalisation of an ambitious adaptation policy, structured around principles. The major actions are currently being planned.

### **Supporting employees exposed to extreme heat: a key issue**

**Laure Girodet**, Health and Safety Director, Veolia Group

How to adapt working conditions to improve employee protection against the effects of climate change? Beyond the management of heat and intense waves, Veolia is committed to a proactive approach to heat-related risks, based on three pillars:

**Protect:** the group has defined a mandatory "basic kit" to be adapted according to the level of exposure in order to allow employees to better hydrate, protect themselves from radiation and recover. It relies on a sharing of internal best practices, based on its presence in areas historically exposed to high heat.

**Prevent:** in a bottom-up and active listening approach, teams are mobilized to assess the specific risks on each site and implement appropriate prevention measures to strengthen long-term resilience.

**Co-construct:** through consultations with various stakeholders, Veolia is committed to a collaborative approach to reinvent the quality of life at work facing these growing risks.

### **Adapting airports to climate change**

**François-Xavier Chopin**, Assistant to the Deputy Director for Sustainable Development at the Directorate-General for Civil Aviation (DGAC)

As essential infrastructure for growth and for social and economic cohesion, airports are exposed to the vagaries of the weather and the effects of climate change. As part of the third National Climate Change Adaptation Plan, work by the French Civil Aviation Authority (DGAC) and airports has helped to define the content of studies to assess the vulnerability of airports. The results of these studies will be used to determine the costs of adaptation and strategic investment choices.

## **Other sectors of the economy**

### **Agriculture**

**Thierry Caquet**, Scientific Director for the Environment at the French National Research Institute for Agriculture, Food and the Environment (INRAE)

The impacts of climate change are already visible in most areas of agricultural production, including in France, with consequences not only for producers but for all players in the sector, right through to consumers. Faced with climate trends and the increased variability of weather conditions, incremental adaptation is insufficient. Through a systemic approach, it is essential to change practices, sometimes drastically, throughout the value chains in order to increase their resilience. While many adaptation levers exist, none of them is totally effective, and it is the transformative combination of partial-effect levers that needs to be elaborated and implemented. In an increasingly uncertain context, and faced with the risk of maladaptation, inaction is not an option and the mobilisation of all players is essential, well beyond the local level.

### **The quality of construction in the face of climate change**

**Philippe Estingoy**, Former Director General of the Agence Qualité Construction

As John Ruskin (1819-1900) said, "Quality is never an accident; it is always the result of intelligent effort".

When construction experts analyse the causes of accidents, they often blame faulty workmanship, or sometimes faulty design, but do not investigate further. And yet we need to be aware that the lack of time or funding to carry out studies can lead to major claims.

Faced with the challenges of global warming and the need to improve the energy and environmental performance of buildings, we need to make an intelligent effort to bring about major, high-quality technical and technological developments. However, many people are not sufficiently convinced that the first energy and carbon savings could come from a reduction in claims linked to insufficient knowledge of building physics and construction techniques!

We need to have a much better grasp of many subjects that are potentially pathogenic, such as the migration of water vapour in walls, the sustainable performance of insulating materials, new materials, re-use, indoor air quality, new energies, etc. In addition, we need to take a holistic approach to building, examining its short-, medium- and long-term impacts.

### RTE's operational strategy to transform the electricity transmission network by 2040

**Xavier Piechaczyk**, Chairman of the Executive Board of RTE

France's electricity transmission network is an essential infrastructure for the country, which must both guarantee its attractiveness and support the switch from fossil oil and gas to electricity. Its transformation therefore represents a challenge not only in terms of decarbonisation, but also in terms of sovereignty.

Through its strategic plan up to 2040, RTE is planning the continuation of the 3<sup>rd</sup> era of network development based on three pillars: renewing the network and adapting it to climate change to maintain quality of service, connecting new electricity consumers and producers to successfully electrify the country and reindustrialise the regions, and strengthening the backbone of the network to enable these new electricity flows to be transported.

As well as being a plan to develop and equip the country, this plan also represents an industrial and sovereign act, which should be synonymous with growth and jobs in France and Europe.

### SNCF Réseau mobilised to adapt to climate change – a profession of faith

**Matthieu Chabanel**, Chairman and CEO of SNCF Réseau, **Benoit Chevalier**, Director of SNCF Réseau's Adaptation to Climate Change programme, and **Mathilde Koscielny**, Programme Manager, SNCF Réseau

All major infrastructure managers are facing the prospect of climate change, with already visible consequences. SNCF Réseau is already committed to meet the challenge, adjust its surveillance and maintenance principles, develop its knowledge, and adapt its assets

in the medium and long term, focusing on actions with the best cost/efficiency ratio.

### Nuclear power generation sites, climate change and the habitability of territories

**Catherine Halbwachs**, Director of CSR and the Adapt project in EDF's Nuclear and Thermal Generation division, and **Edouard Dequeker**, Professor at the Chair of Urban Economics at Essec Business School

EDF's nuclear power plants have historically been major economic players in their locations, while being highly dependent on local resources and amenities, whether natural or from territorial investments. In the face of climate change, EDF has been developing the Adapt program since 2020 to prepare its nuclear fleet for 2050.

Led with the Essec Chair of Urban Economics, this program proposes a systemic approach based on seven "habitability levers" (demography, waste, biodiversity, economy, water, land, landscapes) and two cross-cutting dimensions (infrastructure and governance). This approach is part of a "Corporate Territorial Responsibility" approach, reinforced by the climate emergency. It responds to the need to actively contribute to the preservation of long-term habitability conditions.

### Climate change: understanding the impact on the energy system

**Julia Maris**, ENGIE Group

Climate change is now a reality all over the world, with numerous and multifaceted impacts for businesses. The energy sector has not been spared, with impacts on asset integrity, energy production and demand, employees health and safety, and global supply chains for goods and services. The players involved will have to learn to cope with this new paradigm, which will present them with new challenges in terms of anticipation and collaboration, as well as financing the adaptation to climate change.

### Business, water and climate change

**Christian Lecussan** and **Albin Pinaudeau**, President and General Delegate of the National Federation of Associations of Local Residents and Industrial Water Users (Fenarive)

For many years now, manufacturers have been carefully managing their water to save money and/or reduce pollution. Climate change means that we need to step up the efforts we have already made, and to do so we need to think differently in order to combine economic development with water savings. The parameter m<sup>3</sup> of water per unit produced is becoming essential. Determining the price of the m<sup>3</sup> of water lacking must replace the simple price of the water used. Regulatory adaptations and technical progress must be made to

implement new technologies that will make it possible to respond to water stress.

A systemic and partnership-based approach must be taken when dealing with water issues, because everything is linked: from upstream to downstream, from summer to winter, and including cross-cutting synergies between users.

## Local and regional initiatives

### The difficulty of financing energy efficiency in industry

**Alain Rousset**, Chairman of the Regional Council of Nouvelle-Aquitaine

In Nouvelle-Aquitaine, the ecological transition has been anticipated, initiated and accelerated for years, in particular through the Néo Terra regional roadmap. In terms of industry, this translates into a controlled energy transition, notably limiting greenhouse gases. But how can we make this transition affordable and effective for companies that must face sometimes formidable economic, commercial and technical challenges?

This is the whole challenge of the industrial policy of New Aquitaine that this article proposes to study, through the identification of energy-intensive industrialists, targeted and tailor-made support, effective action and full consultation with partners in the value chain. All this, against a backdrop of growth in renewable energies, particularly solar and photovoltaic, with an increasing preference for over-the-counter contracts.

### Caen la mer in transition: T-Time, knowing how to give up and redirect

**Nicolas Joyau**, Chairman of the Urban Community of Caen la mer, **and Emmanuel Renard**, Vice-Chairman of the Caen la mer Urban Community in charge of Urban Development

For over 25 years, the city of Caen and Caen la mer have been working on the urban renewal of the « Presqu'île » industrial port wasteland. With a master plan adopted in 2015, regulatory studies and a preliminary project completed, the operational phase is set to begin in 2023.

This major project (45 hectares in the urban centre, 2,500 houses) is intended to be a demonstrator district for the sustainable city. The traditional urban planning cursors are being shaken up to imagine models that can be replicated.

In March 2023, an IPCC report revised upwards the rise in sea levels to between +0.63 and +1.01 m by 2100, corresponding to the temperature assumption confirmed by the French High Council for the Climate.

A hydraulic study estimates that under these assumptions, 30% of the days of the year will be covered by water.

The project as conceived will not see the light of day. Between giving up and redirecting, new models need to be studied that take into account the variable of time.

### Adaptation or ecological transition?

**Claire Tutenuit**, Managing Director of Entreprises pour l'Environnement (EpE), **and Ken Guiltaux**, Head of EpE's Climate Change and Purchasing divisions

At a time when climate projections for 2050 have a high degree of certainty, adaptation to climate change is no longer so much a new challenge as a complex one with many facets and ramifications. As it becomes an integral part of business activity and transformation, adaptation will be more efficient if it is managed in an integrated way with climate change mitigation, and also with biodiversity issues. In this context, companies are increasingly aware of the need to cooperate with their financiers, their territories and their value chain in order to achieve an overall objective of business resilience.

## Reading notes

### Strengthening adaptation policies

#### On the book

**by Matthieu Glachant and François Lévêque,**  
**« Survivre à la chaleur – Adaptions-nous »,**  
**Odile Jacob**

**Claire Tutenuit**, Managing Director of Entreprises pour l'Environnement (EpE)

Issue editors:

**Michel Pascal and Claire Tutenuit**

# Ont contribué à ce numéro



D.R.

**Olivier APPERT** a été président-directeur général d'IFP Énergies nouvelles de 2003 à 2015 et du Conseil français de l'énergie, le comité français du Conseil mondial de l'énergie de 2010 à 2018. Il est membre de l'Académie des technologies et conseiller du Centre Énergie de l'IFRI. Ancien élève de l'École polytechnique, Ingénieur général des Mines, il a

commencé sa carrière au service des Mines de Lyon, puis a occupé différents postes au ministère de l'Industrie et au cabinet du Premier ministre.

En 1987, il a pris la responsabilité de l'activité Radiocommunication mobile au sein de la société Télécommunications radioélectriques et téléphoniques (TRT). Nommé en 1989 directeur des hydrocarbures au ministère de l'Industrie, il a rejoint en 1994 la direction de l'IFP, où il a été en charge notamment de la Recherche & Développement et de sa filiale, une *holding* technologique cotée en Bourse. Il a été nommé en octobre 1999 directeur de la coopération long terme et de l'analyse des politiques énergétiques au sein de l'Agence internationale de l'Énergie (AIE).



D.R.

**Antoine BELLEGUIE** est ingénieur de recherche en traction verte à Alstom et doctorant en économie des transports à l'Université Gustave Eiffel. Il étudie la transition énergétique du transport ferroviaire mondial d'ici 2050. Son travail vise à comparer la compétitivité des solutions décarbonées – électrique, hydrogène, batteries, biocarburants – selon

leur faisabilité technique, impact environnemental et viabilité économique.

De 2019 à 2021, il a été ingénieur innovation sur le développement d'une solution hydrogène pour le fret ferroviaire. Il a été le rapporteur pour l'année 2024 du groupe de travail sur la transition énergétique de l'Association nationale de la recherche et de la technologie (ANRT). Depuis 2024, il intervient également à l'IFP School dans le cadre d'un master spécialisé sur l'hydrogène.

**Emmanuelle BROMET** est diplômée de Chimie ParisTech et de l'École nationale supérieure du Pétrole et des Moteurs. Elle a exercé pendant 25 ans des postes de direction dans les domaines industriels et ingénierie chez Axens puis chez Air Liquide. Elle a rejoint Arkema en 2019 en tant que directrice industrielle de l'activité PMMA Europe, puis en 2021 elle devient la directrice industrielle Europe pour le segment *coating solutions*.



D.R.

En 2022, elle est nommée directrice du Développement durable d'Arkema.

Elle a notamment pour mission d'orienter de manière toujours plus active l'offre produits du groupe vers des solutions respectueuses de l'environnement, de positionner l'économie circulaire et la gestion des ressources comme un axe prioritaire, et de

participer à la lutte contre le réchauffement climatique, notamment en menant à bien le plan climat d'Arkema.



© Inrae / Bertrand Nicolas

**Thierry CAQUET**, après une première partie de carrière comme enseignant-chercheur à l'Université de Paris-Sud, a rejoint l'Inra de Rennes en 2001. De 2013 à 2017, il a été chef du département d'écologie des forêts, prairies et milieux aquatiques et directeur du métaprogramme sur l'adaptation au changement climatique de l'agriculture et de la forêt de

l'Inra. De juin 2017 à décembre 2024, il a été directeur scientifique Environnement et membre du collège de direction de l'Inra, devenu Inrae en 2020. À ce titre, il a coordonné les activités de l'Institut dans les domaines du changement climatique (atténuation et adaptation), de la biodiversité, de la gestion durable des ressources naturelles et des risques naturels et environnementaux.

Depuis janvier 2025, il est vice-président en charge de la politique internationale et membre du collège de direction d'Inrae. Il est par ailleurs *chair* du réseau PEER (Partnership for European Environmental Research), membre du conseil d'administration de la Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité (FRB), du conseil du réseau européen AlterNet, ainsi que du Conseil scientifique et technique de l'Institut national de l'information géographique et forestière (IGN) et du Comité National de la Biodiversité (CNB).



D.R.

**Marie CARREGA**, Ingénieur environnement diplômée de l'Institut national polytechnique de Grenoble en 1999 et de The University of Texas at Austin en 2001, a occupé plusieurs postes aux États-Unis et dans le secteur privé dans le domaine de l'eau, de l'air et des sols pollués avant de rejoindre le ministère chargé de l'Environnement en 2005. Elle y a

travaillé sur le sujet des installations classées pour la protection de l'environnement et sur le deuxième plan

national santé environnement, avec un focus particulier sur les questions de qualité de l'air intérieur.

Depuis 2013, elle travaille au sein de la direction générale de l'Énergie et du Climat où elle a notamment mis en place les plans climat-air-énergie territoriaux et les territoires à énergie positive pour la croissance verte. Cheffe du bureau de l'adaptation au changement climatique, elle coordonne la mise en œuvre du plan national d'adaptation au changement climatique.



© Matthieu Raffard

**Matthieu CHABANEL**, polytechnicien et Ingénieur des ponts, des eaux et des forêts, a commencé sa carrière comme haut fonctionnaire puis a rejoint le cabinet du Premier ministre, avant de s'investir pleinement dans le secteur ferroviaire à RFF, ensuite regroupé pour former SNCF Réseau.

Il a été successivement directeur général adjoint pour la maintenance et les travaux, directeur général délégué chargé d'abord de la performance industrielle et technique puis de l'ensemble des projets, de la maintenance et de l'exploitation, avant de devenir président-directeur général en 2022.



D.R.

**Benoit CHEVALIER**, agrégé de mathématiques et Ingénieur des ponts, des eaux et des forêts, a eu un parcours de haut fonctionnaire aux ministères des Transports et des Finances avant de rejoindre en 2017 SNCF Réseau.

Dans cette entreprise, il a été successivement directeur de la LGV Nord, directeur délégué à la stratégie du réseau et directeur délégué aux grands projets amont avant de se concentrer, à partir de début 2024, sur le programme Adaptation au changement climatique.



D.R.

**François-Xavier CHOPIN** est adjoint au sous-directeur du développement durable à la direction générale de l'Aviation civile au sein du ministère des Transports. La sous-direction du développement durable porte les politiques de décarbonation de l'aviation civile, de maîtrise des nuisances sonores, de biodiversité, de performance environnementale des

aéronefs et d'observatoire de l'aviation durable, en France et à l'international.

Son parcours professionnel s'inscrit dans deux domaines de politiques publiques : les transports et le logement. Dans le domaine des transports, il a notam-

ment œuvré au pilotage de projets de lignes à grande vitesse et de contrats de concessions autoroutières.

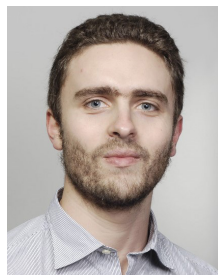


D.R.

**Christian de PERTHUIS** est économiste. Il a travaillé pendant 10 ans sur les questions de développement agricole, en Algérie (Institut de Technologie Agricole) puis en France (chambres d'agriculture). Il a ensuite rejoint des instituts de recherche macroéconomique : Rexecode puis le BIPE. Il a été nommé professeur associé à l'Université Paris-Dauphine en 1999.

À partir de 2003, il a réorienté son activité sur les questions climatiques : à la Caisse des Dépôts où il a dirigé la Mission Climat et à l'Université Paris Dauphine-PSL où il a fondé la Chaire Économie du Climat en 2009. Ses travaux sur la tarification carbone font référence. Il a conduit différentes missions pour les pouvoirs publics dont la Présidence du Comité pour la Fiscalité écologique. Il est engagé dans deux ONG : Agrisud, développement agricole dans les pays moins avancés ; Langage & Intégration, inclusion des enfants souffrant de handicaps auditifs et/ou de troubles sévères du langage.

Christian de Perthuis a publié 12 livres, dont 3 en français et en anglais. Ses 3 derniers ouvrages sont : *Carbone fossile-carbone vivant, Vers une nouvelle économie du climat* (Gallimard, 2023) ; *Climat, 30 mots pour comprendre et agir* (De Boeck, 2022) ; *Ils voulaient refroidir la Terre*, roman (Librinova, 2021).



D.R.

**Edouard DEQUEKER**, diplômé de l'École normale supérieure de Paris-Saclay, de l'Université d'Oxford et de l'Essec, a un doctorat en géographie et en sociologie économique de l'Institut d'Études Politiques de Paris en coopération avec la London School of Economics, portant sur la comparaison des dynamiques métropolitaines du Grand Paris et du Grand Londres.

Après des activités au sein de cabinets de conseil en développement local, à la Ville de Paris et au Conseil départemental des Yvelines, il a été nommé directeur académique du Mastère Spécialisé Management Urbain et Immobilier de l'Essec, puis Professeur à la Chaire d'Économie urbaine de l'Essec. Ses domaines de recherche portent sur les moteurs de la dynamique économique des villes et des territoires et sur leurs équilibres sociaux et environnementaux.

**Philippe ESTINGOY**, Ingénieur général CE des ponts, des eaux et des forêts, était directeur général de l'Agence Qualité Construction de juin 2013 à juin 2024. Il exerçait aussi d'autres fonctions, en particulier,



D.R.

président du COS Construction et Urbanisme au sein de l'Afnor et était administrateur de nombreux organismes se préoccupant de qualité dans la construction.

Il était auparavant directeur départemental des territoires dans la Loire (2007-2013) et avait la même fonction en Saône-et-Loire de 2002 à 2007. À ce titre il exerçait aussi les fonctions de délégué territorial de l'ANRU et de l'ANAH et de VNF.

Précédemment, il avait exercé de multiples fonctions au sein du ministère de l'Équipement dont plusieurs dans le domaine du bâtiment, comme responsable d'une cellule Constructions Publiques en DDE ou du groupe Méthodes au sein du département Constructions Publiques du CERTU. Il est également auteur d'ouvrages techniques publiés aux éditions du Moniteur.



D.R.

**Laure GIRODET** est directrice Santé et Sécurité du groupe Veolia pour le périmètre mondial (218 000 collaborateurs dans 44 pays). Elle est Ingénieur des ponts et chaussées en filière génie civil et dispose d'un master RH et transformation des organisations réalisé à Science Po. Elle intervient dans le secteur de l'eau, déchets et énergie depuis plus de

25 ans. Elle a d'abord managé différentes entités opérationnelles en France et à l'international (Argentine, Maroc...) pour le groupe Suez puis y est devenue DRH pour la zone Afrique Moyen-Orient et Inde.

À partir de 2019, elle est devenue la directrice Santé Sécurité et Crisis Process Owner du groupe Suez, thèmes sur lesquels elle a assuré des cours (en particulier à Science Po, la Sorbonne et l'ENA). Elle a été notamment coordinatrice de la crise Covid pour près de 60 pays. Après la fusion de Suez et Veolia, elle a intégré le *board* de Suez SA et Water Technology Solutions pour gérer la transition, puis est devenue directrice Santé Sécurité du groupe Veolia, contribuant ainsi à une bonne intégration des équipes et aux synergies sur ces domaines.



D.R.

**Ken GUILTAUX**, diplômé de l'École polytechnique, universitaire de Grenoble-Alpes et de Grenoble École de Management, a passé 5 ans dans le conseil en stratégie d'innovation pour accompagner *start-up*, petites et grandes entreprises ainsi qu'organismes publics (Ademe, CCI, universités) avant de rejoindre EpE. Depuis 2022, il pilote les travaux

de l'association en matière de changement climatique et d'achats responsables.



D.R.

**Catherine HALBWACHS** est ingénieur agronome et titulaire d'un DEA de physique nucléaire appliquée sur l'impact des grands ouvrages énergétiques sur la faune et la flore. L'environnement et l'énergie constitue le fil directeur de son engagement professionnel. Elle a fondé et dirigé le centre régional d'innovation et de transfert de technologie AERIAL,

un bureau d'études spécialisé dans l'environnement, avant de travailler pour la communauté urbaine de Strasbourg et à la Caisse des dépôts en qualité de directeur interrégional adjoint Est en charge du développement durable et de l'énergie.

Au sein du groupe EDF, elle a d'abord en charge le suivi de TIRU, la filiale spécialisée dans le traitement des déchets, puis est nommée directrice du Pôle Affaires Institutionnelles et Concessions d'ERDF, membre du COMEX et conseiller du président avant de devenir directrice de la RSE et du projet ADAPT de la direction de la Production nucléaire et thermique EDF.

Catherine Halbwachs a également été secrétaire adjointe du Comité d'entreprise européen du groupe EDF en charge de la stratégie et de la prospective, vice-présidente de Action Logement Immobilier et administratrice du *think tank* Agridées.



© Solveig De La Hougue

**Nicolas JOYAU** est ingénieur hydraulique diplômé de l'ENGES (École Nationale du génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg) en 2007.

Ingénieur en bureau d'études techniques (SOGREAH devenu ARTELIA, 2007-2014), il mène des études de schéma directeur d'eau potable, d'assainissement

ou de gestion des eaux pluviales ainsi que des missions de maîtrise d'œuvre.

Intéressé par l'aménagement du territoire et la politique, il s'engage en 2014 sur une liste aux élections municipales à Caen et devient adjoint au maire de Caen en charge du développement durable entre 2014 et 2020 lors du 1<sup>er</sup> mandat du maire Joël Bruneau.

Réflexion en coût global, accélération de la politique cyclable, impulsion du schéma directeur de l'énergie à l'échelle de Caen la mer et accompagnement de la stratégie biodiversité sont des politiques publiques sur lesquelles il s'engage particulièrement.

Joël Bruneau réélu en 2020, Nicolas Joyau devient alors adjoint au maire en charge de l'urbanisme, également vice-président de la communauté urbaine Caen la mer en charge des Mobilités et Infrastructures et prend la



présidence du syndicat d'eau potable « Eau du Bassin caennais » qui couvre plus de 300 000 habitants.

Il s'engage notamment sur le Schéma Directeur d'Eau Potable intégrant l'impact du changement climatique sur la ressource en eau, le renouvellement de la délégation de services publics de Mobilités, le projet d'extension du réseau de tramway (+ 10 Km), le développement de solutions de mobilités dans les territoires périurbains ou encore l'élaboration du PLUi-HM.

En juillet 2024, suite à l'élection de Joël Bruneau comme député, il est élu président de la communauté urbaine Caen la mer.



© Celia Bonnin

**Philippe KAHN** est Ingénieur général des Mines, diplômé de l'École polytechnique et de l'École nationale des Mines de Paris.

Il préside la section « Régulation et ressources » du Conseil général de l'Économie et est haut fonctionnaire au développement durable au ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique.

Il a dirigé pendant 5 ans la direction départementale des territoires de Haute-Garonne après avoir créé puis dirigé celle de la Marne.

Auparavant, il a exercé des fonctions dirigeantes dans de grandes collectivités locales, a été responsable des affaires nucléaires à la direction générale de l'Énergie ou du Développement économique et de la Planification territoriale dans plusieurs préfetures de région.



D.R.

**Mathilde KOSCIELNY**, Docteur en géologie de l'ingénieur, spécialiste des risques naturels, débute sa carrière à la Chaire de Géotechnique du Cnam. Elle rejoint ensuite la direction générale industrielle et ingénierie de SNCF Réseau dans le domaine des ouvrages en terre tout en s'investissant dans le pilotage de la recherche et de l'innovation.

Après avoir été responsable de l'innovation collaborative, elle est aujourd'hui pilote du Programme d'adaptation au changement climatique de SNCF Réseau.

**Richard LAVERGNE** est ingénieur général honoraire du corps des Mines, diplômé de l'École polytechnique (promotion 1975), de l'École supérieure de métrologie et de Télécom Paris. Il est à la retraite depuis janvier 2021.

Il a été membre permanent du Conseil général de l'Économie (ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance) de janvier 2017 à janvier 2021, où il était notamment référent « Énergie et climat ». Il a été également chef de projet du jumelage UE-Maroc « Appui



D.R.

au renforcement du secteur de l'énergie » de 2018 à 2020.

De 2008 à 2016, il a été conseiller à la fois auprès du directeur général de l'Énergie et du Climat (DGEC) et de la Commissaire générale au Développement durable (CGDD), au sein du ministère chargé de l'Environnement et de l'Énergie. À ce titre, il a assuré notamment les missions de vice-président du Comité permanent pour la coopération à long terme de l'Agence internationale de l'énergie, de président pour l'UE du groupe thématique sur les marchés et les stratégies énergétiques dans le cadre du Dialogue énergétique UE-Russie, de secrétaire général du Comité pour l'économie verte et de secrétaire général du Comité d'experts pour la transition énergétique.

En 2011 et 2012, il a été rapporteur général de la Commission Énergies 2050 créée par le ministre Éric Besson, chargé de l'Industrie et de l'Énergie, et, en 2012 et 2013, il a été fortement impliqué à différents titres dans l'organisation du Débat national pour la transition énergétique. De 2008 à 2017, il a été membre du comité directeur de l'Association française des économistes de l'énergie.

De 1995 à 2008, il a été directeur de l'Observatoire de l'énergie et des matières premières au sein du ministère chargé de l'Énergie et, de 1990 à 1995, il a été directeur du Réseau national d'essais (RNE, actuellement Cofrac).

Richard Lavergne est aussi l'auteur de nombreuses publications. Il est chevalier de la Légion d'Honneur et Officier dans l'ordre du Ouissam Alaouite (Maroc).



D.R.

**Christian LECUSSAN** est titulaire d'un doctorat en Biochimie moléculaire et Génétique cellulaire. Il a effectué sa carrière professionnelle au sein de la branche santé du groupe Rhône-Poulenc devenu Aventis puis Sanofi. D'abord en recherche, puis en production sur différents sites et enfin dans le domaine de l'environnement, de la sécurité et de

l'hygiène industrielle pendant près de 20 ans dont 3 en tant qu'auditeur international dans ce domaine. Détaché à l'union des industries chimiques d'Île-de-France, il a pris la direction du département HSE et de l'association Afinege (Association Francilienne des Industriels pour la gestion de l'environnement et de la sécurité).

Il est président de la Fenarive (Fédération nationale des industriels usagers de l'eau) depuis 2006, membre du comité de bassin Seine Normandie depuis 1993, membre du conseil d'administration de l'agence depuis 2004 et vice-président du comité de bassin depuis 2014.

Vice-président du Comité National de l'eau depuis 2006, il assure aussi la vice-présidence du conseil d'administration de l'Onema de 2010 à 2016.



D.R.

Le **Pr Yves LÉVI**, pharmacien, professeur honoraire de santé publique - santé environnementale à l'Université Paris Saclay, est membre de l'Académie nationale de Médecine, de l'Académie nationale de Pharmacie et de l'Académie des technologies. Un premier parcours industriel, au sein des centres de recherche de Veolia et Suez, le conduit à animer des

groupes de recherche notamment en chimie analytique, en écologie microbienne, en toxicologie et en technologies de production et de distribution des eaux potables.

Professeur agrégé en Pharmacie, il crée à partir de 1997 un laboratoire de recherche à la Faculté de Pharmacie de l'Université Paris-Sud (devenue Université Paris-Saclay) qui se spécialise sur les risques sanitaires liés aux micropolluants organiques dans les eaux (perturbateurs endocriniens, résidus de médicaments, drogues illicites...). Il a présidé la section des eaux du Conseil supérieur d'hygiène publique de France puis le comité d'experts « eaux » de l'agence de sécurité sanitaire Anses. Il a été membre du Haut Conseil de la Santé Publique auprès duquel il co-anime un groupe spécialisé sur l'eau.



D.R.

**Julia MARIS**, ancienne élève de l'Institut d'études politiques de Grenoble et de l'École nationale d'administration (Ena, Romain Gary), a commencé sa carrière dans l'administration française en se consacrant à la coopération internationale et européenne dans le domaine de la sécurité et du développement.

En 2007, elle rejoint la présidence de la République pour rédiger le Livre blanc sur la sécurité nationale. Elle est ensuite nommée directrice du *marketing* et du développement commercial de DCI.

En mai 2012, elle est nommée conseillère pour les affaires européennes au cabinet du ministre Jean-Yves Le Drian, puis rejoint Thales Alenia Space avant d'être rappelée à DCI en 2014 en tant que directrice générale déléguée. En 2019, elle rejoint le groupe Engie.

Julia Maris est également coprésidente de la commission énergie du Medef (Confédération nationale des entreprises de France) et vice-présidente de la commission environnement et énergie de la Chambre de commerce internationale (CCI).

**Marc MORTUREUX** est directeur général de PFA (Filière Automobile & Mobilités). Diplômé de l'École polytechnique, Ingénieur des Mines, il commence sa



D.R.

carrière à la direction régionale de l'Industrie et de la Recherche d'Île-de-France avant de rejoindre, de 1989 à 1995, le ministère de l'Industrie où il occupe notamment les fonctions de délégué interministériel aux normes, ce qui le conduit à participer, à Bruxelles, aux négociations du marché unique européen. De 2008 à 2009, il est le directeur de cabinet

de Luc Chatel alors en charge, au Gouvernement, de l'Industrie, de la Consommation et du Porte-parolat. À ce titre, il pilote les états généraux de l'Automobile et prépare, dans le contexte d'un secteur touché de plein fouet par la crise, le Pacte automobile signé le 9 février 2009 par le président de la République.

Marc Mortureux a été successivement directeur de la R&D Europe – États-Unis de la Compagnie Générale de géophysique, groupe mondial spécialisé dans l'exploitation des sous-sols, puis directeur général de la filiale Petrosystems (1995-1999) ; directeur général adjoint de l'Institut Pasteur, de 2005 à 2008 ; directeur général de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments (AFSSA) dont il pilote, de 2009 à 2010 la fusion avec l'Afsset (sécurité sanitaire de l'environnement et du travail), présidant à la création de l'Anses, un établissement public de 1 350 personnes et doté d'un budget de 135 millions d'euros, dont il devient le directeur général de 2010 à 2015.

Avant de rejoindre la PFA le 1<sup>er</sup> mars 2018, il était, depuis 2015, le directeur général de la Prévention des risques au ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.



D.R.

**Sophie MOURLON** est directrice générale de l'Énergie et du Climat au ministère de la Transition écologique depuis juillet 2023. Diplômée de l'École polytechnique et Ingénieure générale des Mines, elle a exercé différentes fonctions au ministère chargé de l'Environnement et dans des institutions indépendantes (Autorité de Sûreté nucléaire, Cour des comptes), à Paris et en province (en Bourgogne et en Champagne-Ardenne).

Après un premier passage à l'Autorité de sûreté Nucléaire en début de carrière, elle en a notamment été directrice générale adjointe, en charge de la sûreté des réacteurs nucléaires. Avant de rejoindre la direction générale de l'Énergie et du Climat en septembre 2019 en tant que directrice de l'Énergie, elle était adjointe au directeur général de l'Aménagement, du Logement et de la Nature des ministères chargés de l'Environnement et du Logement.

**Jean-François NATON**, militant syndical, a dirigé le pôle Travail/Santé/Protection Sociale de la CGT. Vice-

président et conseiller du Conseil Économique, Social et Environnemental (CESE) de 2014 à 2024.

Il est l'auteur de « À la reconquête du travail » 2008, édition Indigène, du livre collectif « Pour quoi nous travaillons », 2013, éditions de l'Atelier et auteur de « Pour d'autres jours heureux, la sécurité sociale de demain », 2019, éditions de l'Atelier.



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 été en 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, il a été en 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.

**Michel PASCAL** est Ingénieur général des Mines, diplômé de l'École polytechnique, de l'École supérieure de métrologie et de l'École nationale des télécommunications.

Il est membre permanent du Conseil général de l'économie (ministère de l'Économie, des Finances et de la Relance) et du Conseil général de l'Environnement et du Développement

durable et de l'Autorité environnementale (ministère de la Transition écologique).

Il a dirigé pendant 6 ans l'Agence nationale pour la garantie des droits des mineurs, laquelle est chargée de verser aux anciens mineurs des prestations sociales en compensation de la fermeture des mines en France. Il a coordonné la rédaction du premier livre sur l'histoire de la mine en France, du début de l'ère industrielle jusqu'aux opérations de conversion et de fermeture. Il a beaucoup œuvré pour montrer combien l'exemple de la transition énergétique (abandon de la production de charbon) et son accompagnement social pourraient servir de repères pour les transitions que nous vivons actuellement.

Il a créé la direction régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement du Nord-Pas-de-

Calais, qu'il a dirigée pendant 5 ans. Il s'est beaucoup impliqué dans la déclinaison locale du Grenelle de l'environnement et a créé l'Observatoire du changement climatique dans le Nord-Pas-de-Calais.

Il a auparavant occupé des fonctions de directeur régional de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement, ainsi que de directeur régional de l'Environnement, dans plusieurs régions. Il est le co-auteur en 2003 d'un rapport sur « Les Drire et l'effet de serre ».

Il est Officier dans l'Ordre national du Mérite.



D.R.

**Xavier PIECHACZYK**, président du directoire de Réseau de Transport d'Électricité (RTE) depuis septembre 2020, était, depuis octobre 2015, membre du directoire de RTE, en charge des fonctions opérationnelles de gestion des actifs du réseau de transport d'électricité, des clients de RTE et des relations de l'entreprise avec les territoires.

Avant de rejoindre RTE, il a servi comme conseiller du Premier ministre puis du président de la République entre 2012 et 2015, en charge de l'énergie, des transports, du logement et de l'environnement. Auparavant, en tant que directeur-adjoint des services de transport, il a été en charge de questions de réglementation, de sécurité, de sûreté ainsi que des aspects sociaux des transports terrestres (ferroviaire, transports urbains, transports routiers de marchandises et de voyageurs, grands ports maritimes).

Il a également occupé, à plusieurs reprises dans sa carrière, des fonctions de maître d'ouvrage d'infrastructures linéaires, à la direction des Routes du ministère de l'Équipement ainsi qu'à la direction des Infrastructures du ministère de l'Écologie.

Depuis 2000, l'ensemble de son parcours professionnel lui a donné l'occasion de travailler en étroite collaboration avec les industriels des secteurs de l'énergie, du transport ou de la construction, mais aussi avec l'État, les collectivités territoriales, les acteurs de la protection de l'environnement ainsi que les organisations syndicales des secteurs dans lesquels il est intervenu.

Ingénieur en chef des Ponts, des Eaux et des Forêts, Xavier Piechaczyk est diplômé de l'École nationale des travaux publics de l'État, titulaire d'un master de l'École nationale des ponts et chaussées et Docteur en sciences politiques.

**Albin PINAUDEAU** est diplômé de l'École Nationale Supérieure de Géologie de Nancy, au sein du cursus Eau et Environnement. Il est également titulaire d'une maîtrise en économie de l'entreprise et des marchés, spécialisé en économie de la transition énergétique et environnementale. Il complète son cursus scolaire à l'École polytechnique de Montréal où il étudie notamment la gestion des ressources en eau et l'analyse de cycle de vie.



D.R.

Après un premier stage en recherche et développement chez Suez sur la prévision de la disponibilité de la ressource en eau en 2023, il effectue son stage de fin d'étude en 2024 chez TotalEnergies au sein de l'équipe environnement où il travaille sur les objectifs de gestion de l'eau de la compagnie.

Il est délégué général de la Fenarive depuis décembre 2024.



D.R.

**Denis RANDET** a fait la plus grande partie de sa carrière au Commissariat à l'Énergie atomique et aux Énergies alternatives (CEA), où il a dirigé le Laboratoire d'électronique et de technologie de l'information (LETI), un des principaux laboratoires mondiaux de micro-électronique et micro-technologies, puis créé CEA Valorisation.

Ensuite, il a dirigé l'Association nationale de la Recherche et de la Technologie (ANRT), où il a lancé l'opération FutuRIS, afin de rassembler recherche publique et entreprises dans la construction de visions prospectives communes. Il est Ingénieur général de l'armement et docteur ès sciences.



D.R.

**Emmanuel RENARD**, après l'obtention d'un DES de Droit et de Sciences Politiques à l'Université de Caen, exerce différentes fonctions au sein de collectivités locales entre 1984 et 1990 (assistant d'un groupe d'élus à la région Basse-Normandie, directeur de cabinet à la mairie d'Hérouville Saint-Clair), il devient ensuite chargé de mission au cabinet du

ministre en charge de la Consommation, de l'Artisanat et du Commerce (1991-1992) puis il commence une carrière de consultant, auprès du secteur public et plus particulièrement des collectivités locales, qu'il poursuit encore à ce jour (consultant chez Points clefs management, chez EDATER, co-fondateur d'ETHEIS Conseil et depuis 2018 fondateur de Transverse Conseil).

Il intervient dans plusieurs Masters au Campus de Caen de Sciences Po Rennes, à l'Université de Caen (à l'UFR de Sociologie, à l'UFR Sciences économiques, gestion, géographie et aménagement des territoires) à l'IAE de Caen. Il y enseigne les stratégies territoriales durables, la conduite de projet et l'évaluation des politiques publiques.

Enfin, il a occupé et occupe plusieurs mandats électifs : conseiller général d'Hérouville Saint Clair entre 2004 et 2011 ; conseiller municipal à Hérouville Saint Clair entre 2008 et 2014 ; conseiller municipal à

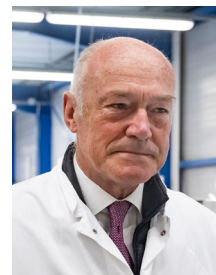
Caen depuis 2020 et vice-président à la communauté urbaine de Caen la mer, en charge de l'Aménagement et du Foncier ; et enfin, depuis le 20 septembre 2024 il est le président du pôle métropolitain « Caen Normandie Métropole ».



D.R.

**Francis RENAULT** est, depuis mi-2023, responsable de l'adaptation de la chaîne de valeur du groupe Michelin aux risques climatiques physiques.

Il a 6 ans d'expérience dans des laboratoires de recherche privés (chimie fine, pharmacie, matériaux élastomères) et 25 ans d'expérience en entreprise dans la gestion opérationnelle, tactique et stratégique des risques liés à l'environnement, à la santé, à la sécurité et à la sûreté, couvrant les personnes, les processus, les infrastructures et les produits.



© CRNA\_OO\_Landes

**Alain ROUSSET** décide d'étudier le droit et l'économie, puis intègre Sciences Po Paris au début des années 1970.

Sa carrière professionnelle démarre au moment de la naissance des régions, comme directeur de cabinet d'André Labarrère puis de Philippe Madrelle, présidents du conseil régional d'Aquitaine de 1980 à 1985. Puis, il travaille au sein de l'entreprise Elf-Aquitaine, accompagnant avec succès la reconversion industrielle du bassin de Lacq.

Des amis le poussent alors à s'engager dans l'action publique. Ainsi, il est successivement élu conseiller général (1988-1998), maire de Pessac (1989-2001), président du conseil régional d'Aquitaine (1998-2015), président de la CUB (2004-2007), président de l'Association des régions de France (2004-2016) et député de la Gironde (2007-2017). Élu président du conseil régional de Nouvelle-Aquitaine en 2016, après une fusion historique de trois régions, il est réélu en 2021 pour un nouveau mandat.

Passionné par l'innovation, l'industrie, l'agriculture ou encore l'histoire, entre autres, Alain Rousset a contribué à faire de la Nouvelle-Aquitaine l'une des régions les plus attractives, dynamiques, solidaires et durables de France – érigeant, depuis 2019, à travers la feuille de route « Néo Terra » la transition énergétique, agricole et écologique en véritable système, ainsi qu'en plaçant sa région en première ligne du combat face à la pandémie de la Covid-19 et ses conséquences.

Il est lauréat du prix international « Optica Advocate of Optics 2021 » pour son engagement en faveur du laser et de l'optique.



D.R.

**Antoine SAUTENET**, Docteur en droit international et titulaire d'un Master en économie à l'École Normale Supérieure de Rennes, est actuellement directeur du développement durable du groupe Michelin. Il est en charge de l'orchestration de la performance RSE du groupe dans ses dimensions sociales et environnementales. Au sein du groupe

Michelin, il a précédemment occupé divers postes de responsable des affaires publiques et du commerce international en Amérique du Nord, Asie et Europe.

Il a également été chargé de mission sur les sujets de diplomatie économique au ministère des Affaires étrangères, enseignant-chercheur dans de multiples universités et chercheur associé au Centre Asie de l'Institut Français des Relations internationales (IFRI). Dans le cadre de ses fonctions sur le développement durable, Antoine Sautenet est également membre de plusieurs organisations, notamment président de la Commission énergie et climat de la Chambre de commerce internationale (France), et membre du Conseil national pour le développement et la solidarité internationale (CNDSI).



D.R.

**Jean-Michel SOUBEYROUX** est directeur adjoint scientifique de la direction de la Climatologie et des Services climatiques de Météo-France depuis 2015.

Ingénieur en chef des ponts, eaux et forêts, il est en charge du transfert opérationnel des résultats de la recherche sur le climat à Météo-France et a assuré la production des jeux de données sur la Tracc et l'appui à la

préparation du Pnacc-3. Il participe régulièrement aux projets nationaux ou européens sur l'adaptation et les impacts du changement climatique sur les extrêmes et la ressource en eau (PEPR Traccs, Life Eau et Climat, Explore2, Life Pyrenees4Clima). Il soutient le développement des services climatiques au niveau national (Drias, Drias-Eau, Climadiag Communes, Climadiag Agriculture ...).

Il a coordonné le récent rapport sur la Tracc et contribue à porter la parole de Météo-France sur le climat et la ressource en eau auprès des médias et à représenter l'établissement auprès des organismes scientifiques et institutionnels.

Spécialiste des questions d'adaptation au changement climatique, il participe aux travaux des réseaux régionaux d'expertise sur le changement climatique de plusieurs régions.

**Claire TUTENUIT**, ancienne élève de l'École Normale Supérieure, est agrégée de mathématiques, lauréate de l'IEP-Paris et Ingénieur au corps des Mines.



D.R.

Depuis 2006, elle dirige Entreprises pour l'Environnement (EpE), association de grandes entreprises qui partagent la vision de l'environnement comme source de progrès et d'opportunités et travaillent ensemble à mieux le prendre en compte dans leurs stratégies et leur gestion courante ([www.epe-asso.org](http://www.epe-asso.org)). EpE est le partenaire en France du

World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

Elle est membre du Conseil Économique, Social et Environnemental depuis 2021.