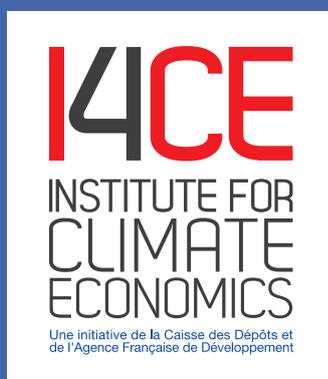


Avril 2024

# ADAPTATION



# Anticiper les effets d'un réchauffement de +4°C : quels coûts de l'adaptation ?

Auteurs : **Vivian Dépoues, Guillaume Dolques**  
et **Morgane Nicol**

Soutenu par

Commissariat  
général au  
développement  
durable (CGDD)



MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE  
ET DE LA COHÉSION  
DES TERRITOIRES

Liberté  
Égalité  
Fraternité

Direction générale  
de l'énergie  
et du climat (DGEC)



MINISTÈRE  
DE LA TRANSITION  
ÉCOLOGIQUE  
ET DE LA COHÉSION  
DES TERRITOIRES

Liberté  
Égalité  
Fraternité



RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE

Liberté  
Égalité  
Fraternité



---

**I4CE** est un institut de recherche à but non lucratif qui contribue par ses analyses au débat sur les politiques publiques d'atténuation et d'adaptation au changement climatique. Nous promovons des politiques efficaces, efficientes et justes.



Nos 40 experts collaborent avec les gouvernements, les collectivités locales, l'Union européenne, les institutions financières internationales, les organisations de la société civile et les médias.

Nos travaux couvrent trois transitions – énergie, agriculture, forêt – et six défis économiques : investissement, financement public, financement du développement, réglementation financière, tarification carbone et certification carbone.

[www.i4ce.org](http://www.i4ce.org)

---

## REMERCIEMENTS

Cette publication propose une synthèse des éléments rassemblés dans le cadre d'une analyse des implications économiques des trajectoires d'adaptation menée par I4CE et ses partenaires entre février 2023 et mars 2024. Elle prend appui sur l'ensemble des éléments de coût de l'adaptation déjà disponibles ou possibles à estimer pour trois secteurs particulièrement affectés par les changements climatiques en France métropolitaine : les infrastructures de transport terrestre, le bâtiment et les productions agricoles végétales.

Plusieurs partenaires techniques ont directement participé à la production des analyses : l'Observatoire de l'immobilier durable sur le volet « bâtiments » ; SETEC et Callendar sur le volet « transports » et FINRES sur le volet « agriculture ».



setec



---

Un panel plus large de partie-prenantes a été associé aux discussions sous la forme de réunions de comités techniques sectoriels. Les auteurs tiennent à remercier l'ensemble des participantes et participants à ces échanges pour leurs remarques et leurs apports.

Ces travaux ont été conduits avec le soutien financier du Bureau de l'Adaptation au Changement Climatique du ministère de la Transition Écologique et de la Cohésion des Territoires, de l'Ademe et du CGDD.

Ce rapport final ne reflète que la vision d'I4CE. Les partenaires et contributeurs ne peuvent être tenus responsables de l'utilisation des informations qu'il contient.

# RÉSUMÉ

**Évaluer les implications économiques des politiques climatiques est essentiel pour piloter l'action publique.** D'importants progrès ont été faits sur l'évaluation des coûts de l'atténuation avec notamment la publication en 2023 du rapport sur les incidences économiques de l'action pour le climat. Mais comme le souligne la Cour des Comptes dans son rapport public annuel 2024, les questions restent beaucoup plus émergentes pour l'adaptation. Nos travaux récents nous permettent néanmoins de dégager **5 premières conclusions** sur ce sujet :

**1 Des éléments de chiffrage mais pas de coût unique de l'adaptation en France.** Nous avons pu réunir des premiers éléments de chiffrage de ces coûts pour trois secteurs importants : le bâtiment, les infrastructures de transport terrestre et les productions agricoles végétales. Ils sont présentés en détails au fil des sections thématiques de ce document. Ce tableau composite, plus ou moins mature selon les domaines d'action, permet de voir émerger de premiers ordres de grandeurs des montants en jeu pour l'ensemble des acteurs de l'économie. En revanche il ne faut pas en déduire trop vite un coût unique de l'adaptation en France. S'il est difficile d'estimer un tel coût c'est parce que celui dépend à la fois du niveau de réchauffement que l'on souhaite considérer (et beaucoup des analyses restent encore à conduire pour quantifier l'ampleur des vulnérabilités pour chaque niveau de réchauffement) et de la manière dont on choisit collectivement de se préparer (et beaucoup de ces choix restent à faire, les visions stratégiques de l'adaptation restent à définir). Chercher à rendre une route insubmersible peut par exemple nécessiter plusieurs millions d'euros de travaux alors qu'organiser des fermetures temporaires de la circulation lors d'épisodes de crue demande d'accepter un moindre niveau de service, mais est aussi moins coûteux.

**2 Sans politique d'adaptation plus ambitieuse, les réactions spontanées qui sont observées se révèlent souvent les plus coûteuses pour les finances publiques et représentent déjà plusieurs milliards d'euros par an.** Il s'agit du coût de la prise en charge publique de dommages, des coûts des réparations des infrastructures essentielles ou encore d'aides de crise. Si réagir et réparer peut parfois paraître plus simple qu'anticiper et abordable à court terme, il est

important de garder en tête que sans adaptation structurelle, ces dépenses subies ne vont cesser d'augmenter et perdre leur caractère exceptionnel. Par ailleurs, aux coûts directs s'ajoutent des conséquences socio-économiques élargies (impacts sur le système de santé, la productivité du travail, l'efficacité des réseaux de transport, la balance commerciale, etc.) qui pèsent sur toute l'économie et renforcent les inégalités territoriales et sociales.

**3 Des options d'anticipation sont bien identifiées et pourraient être mieux déployées.** Il s'agit par exemple de privilégier des modes de construction sobres et des choix architecturaux adaptés pour des bâtiments confortables l'été même sans climatisation ; de renforcer certains ouvrages ou d'organiser autrement la maintenance pour améliorer la robustesse et la résilience des infrastructures ; d'ajuster certaines pratiques culturelles ou de généraliser des mesures agroécologiques pour limiter l'effet de la variabilité climatique sur les productions agricoles. Ces options peuvent parfois être mises en œuvre avec des coûts limités – notamment en intégrant l'adaptation dans les cahiers des charges des investissements déjà prévus. Parfois elles représentent un surcoût voire demanderont la mobilisation de moyens dédiés additionnels. On commence tout juste à avoir un ordre de grandeur des coûts associés à différents leviers d'anticipation qui pourraient être actionnés de façon plus ou moins ambitieuse. Les coûts de certaines formes d'adaptation plus transformationnelles sont en revanche difficiles à isoler.

## RÉSUMÉ (SUITE)

### DE PREMIERS ORDRES DE GRANDEUR DE COÛTS ASSOCIÉS À DES LEVIERS D'ANTICIPATION QUI POURRAIENT ÊTRE ACTIONNÉS DE FAÇON PLUS OU MOINS AMBITIEUSE



#### BÂTIMENTS

- Tenir systématiquement compte de l'évolution du risque de vague de chaleur pourrait représenter des coûts additionnels (tous acteurs confondus) aux investissements déjà prévus compris entre **1 et 2,5 milliards d'euros par an** pour la construction neuve et jusqu'à **plusieurs milliards d'euros par an** pour le parc existant une fois que les investissements en matière de rénovation énergétique auront atteint leur rythme de croisière.
- Un rehaussement de l'ambition des politiques de prévention des risques inondation et de retrait-gonflement des argiles représenterait au moins **quelques centaines de millions d'euros**.



#### TRANSPORTS

- Engager des travaux pour l'adaptation des réseaux routiers et ferré pourrait nécessiter de **quelques centaines de millions à quelques milliards d'euros par an** d'investissements additionnels dans les prochaines décennies (s'il était par exemple décidé de renforcer la robustesse de tous les ouvrages hydrauliques), mais il s'agira surtout de se donner les moyens de bien prendre en compte les changements climatiques dans les investissements déjà prévus et d'établir des priorités au sein des stratégies de gestion du patrimoine.



#### AGRICULTURE

- De l'ordre de **1,5 milliard d'euros par an** pourrait être nécessaire dans la prochaine décennie pour déployer à grande échelle des mesures techniques permettant de maintenir les rendements des principales cultures végétales françaises, malgré une variabilité climatique renforcée.
- Les coûts des transformations plus structurelles des modèles agricoles restent quant à eux difficiles à évaluer.

@I4CE\_

**4 Parmi les options d'anticipation, certaines produisent suffisamment de cobénéfices économiques pour être intrinsèquement rentables mais ce n'est pas le cas de toutes. Ce constat invite à ouvrir un débat sur l'internalisation du risque climatique dans les modèles économiques et la prise en charge des coûts de l'adaptation.** L'importance des impacts socio-économiques justifie souvent une intervention publique proactive mais qui peut prendre différentes formes ; la prise en charge directe de certaines dépenses d'adaptation n'étant qu'une option possible parmi d'autres.

**5 Dans tous les cas, pour s'assurer de la meilleure efficacité et distribution possible des dépenses, l'adaptation doit être intégrée aux démarches existantes de planification.** Le défi est de toujours prendre en compte le bon niveau de réchauffement aux bons moments dans les cycles de décision et d'investissements

manière à ne plus uniquement subir les impacts du changement climatique sans pour autant surinvestir dans des mesures d'adaptation très coûteuses qui ne seraient in fine jamais justifiées économiquement. Cela requiert une mise en œuvre séquencée de l'adaptation qui tienne compte de la durée de vie des investissements et de la réversibilité des décisions ainsi qu'une répartition visible et stable des responsabilités, de façon à clarifier les incitations à agir des différents acteurs de l'économie.

# **SOMMAIRE**

<b>_ RÉSUMÉ</b>	<b><u>3</u></b>
<b>_ INTRODUCTION : LES COÛTS DE L'ADAPTATION, UNE QUESTION ÉMERGENTE MAIS DÉJÀ CRUCIALE</b>	<b><u>6</u></b>
<b>I. DEUX DÉTERMINANTS CLÉS POUR ÉVALUER LES COÛTS DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE</b>	<b><u>7</u></b>
1. Le coût de l'adaptation dépend avant tout de la manière dont on choisit de se préparer	<b><u>7</u></b>
2. Le niveau de réchauffement compte aussi	<b><u>10</u></b>
<b>II. POSER LA QUESTION DÈS MAINTENANT C'EST POUVOIR MIEUX ANTICIPER ET AUSSI MIEUX RÉPARTIR LES COÛTS</b>	<b><u>11</u></b>
1. Sans anticipation supplémentaire : une adaptation réactive et coûteuse, notamment pour les finances publiques	<b><u>11</u></b>
2. Pourtant, des options d'anticipation sont bien identifiées et pourraient être mieux déployées	<b><u>12</u></b>
<b>_ PRINCIPALES RÉFÉRENCES SUR LES COÛTS DE L'ADAPTATION</b>	<b><u>16</u></b>
<b>_ CHAPITRES SECTORIELS</b>	<b><u>17</u></b>
<b>→ BÂTIMENTS</b>	<b><u>18</u></b>
<b>→ INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT TERRESTRE</b>	<b><u>25</u></b>
<b>→ PRODUCTIONS AGRICOLES VÉGÉTALES</b>	<b><u>31</u></b>

# INTRODUCTION

## LES COÛTS DE L'ADAPTATION, UNE QUESTION ÉMERGENTE MAIS DÉJÀ CRUCIALE

La mise en œuvre de la transition vers une économie neutre en carbone au niveau mondial n'ayant pas été aussi rapide qu'espéré, il est désormais incontournable d'agir à la fois pour réduire les émissions de gaz à effet de serre - l'atténuation pour « éviter l'ingérable » - et pour se préparer aux impacts déjà là du changement climatique - l'adaptation pour « gérer l'inévitable » (*Délégation sénatoriale à la prospective 2019; Haut Conseil pour le Climat 2021*). Évaluer les implications économiques des deux dimensions de ces politiques est essentiel pour piloter l'action. D'importants progrès ont été faits sur la compréhension du volet atténuation avec notamment la publication en 2023 du rapport coordonné par Jean Pisani-Ferry et Selma Mahfouz sur les incidences économiques de l'action pour le

climat. Les questions restent beaucoup plus émergentes pour le volet adaptation (*IGEDD 2022; Pisani-Ferry et Mahfouz 2023*)<sup>1</sup>.

Ce travail mené par I4CE et ses partenaires a cherché à avancer dans l'estimation des coûts à considérer pour la construction d'une politique d'adaptation, notamment dans la dynamique de préparation du 3<sup>e</sup> Plan national d'adaptation (PNACC3). L'analyse présentée ci-dessous rend compte de ce qu'il est possible de dire à date des implications économiques correspondant aux différents niveaux de réchauffement qui constituent la Trajectoire de réchauffement de référence et des besoins de moyens à mobiliser pour différents niveaux de préparation aux impacts de ces changements climatiques.

### PÉRIMÈTRE DE L'ANALYSE



#### > SCÉNARIO DE RÉCHAUFFEMENT<sup>2</sup>

Hypothèses définies dans la Trajectoire de Réchauffement de Référence (TRACC)<sup>3</sup> :

- +2°C pour la France en 2030
- +2,7°C en 2050
- +4°C en 2100



#### > SECTEURS

- **Le bâtiment**
- **Les infrastructures de transport terrestre :**  
réseaux routiers nationaux et départementaux ;  
réseau ferré national
- **Les productions agricoles végétales**  
(hors productions fourragères)



#### > RISQUES

Vagues de chaleurs, précipitations & inondations, feux de forêts, sécheresses & RGA<sup>4</sup>



#### > PÉRIMÈTRE GÉOGRAPHIQUE

France hexagonale

L'état de maturité de ce sujet – en termes de données disponibles sur les vulnérabilités et les options d'adaptation mais aussi d'avancement des débats sur les réponses à apporter – ne permet pas de conclure sur un coût total de l'adaptation pour la France (*Cour des Comptes 2024*).

Nous sommes en revanche en mesure de **proposer un cadre commun pour aborder cette question** ; de **dégager des messages clés robustes** et d'**apporter de premiers ordres de grandeur** sur les trois secteurs étudiés.

1. Les contributeurs du rapport Pisani-Ferry-Mahfouz notent dans le volet thématique *Dommages et adaptation* que « l'inventaire des dommages engendrés est complexe : si l'analyse qualitative des risques associés est aujourd'hui très avancée, leur quantification demande encore à être affinée. »
2. Cf. <https://www.ecologie.gouv.fr/trajectoire-rechauffement-reference-ladaptation-au-changement-climatique-tracc>
3. Les données (ex. chiffres sur l'exposition, coûts des impacts ou de l'adaptation) présentées dans cette étude proviennent en partie d'études scientifiques et techniques exprimant leurs résultats selon différents scénarios d'émissions (ex. SSP-RCP) ou en niveaux de réchauffement global. Par simplicité, nous présentons ces données en utilisant le niveau le plus proche de réchauffement pour la France défini dans la TRACC. Par exemple, des résultats RCP8.5 à horizon 2050 seront retenus pour le niveau de réchauffement France +2,7°C. Cette simplification peut amener une légère sous (ou sur) estimation des impacts réels.
4. Les risques littoraux (érosion, submersion marine) n'ont pas été intégrés à l'analyse dans l'attente de la publication de travaux en cours dans le cadre notamment du Comité national du trait de côte.

# I. DEUX DÉTERMINANTS CLÉS POUR ÉVALUER LES COÛTS DE L'ADAPTATION AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Les coûts de l'adaptation dépendent principalement de deux facteurs. Le plus évident est le niveau de réchauffement que l'on souhaite considérer : plus il est important, et plus les

besoins d'adaptation sont élevés. Mais le plus déterminant est le choix du type et du niveau de réponse aux risques qui seront privilégiés.

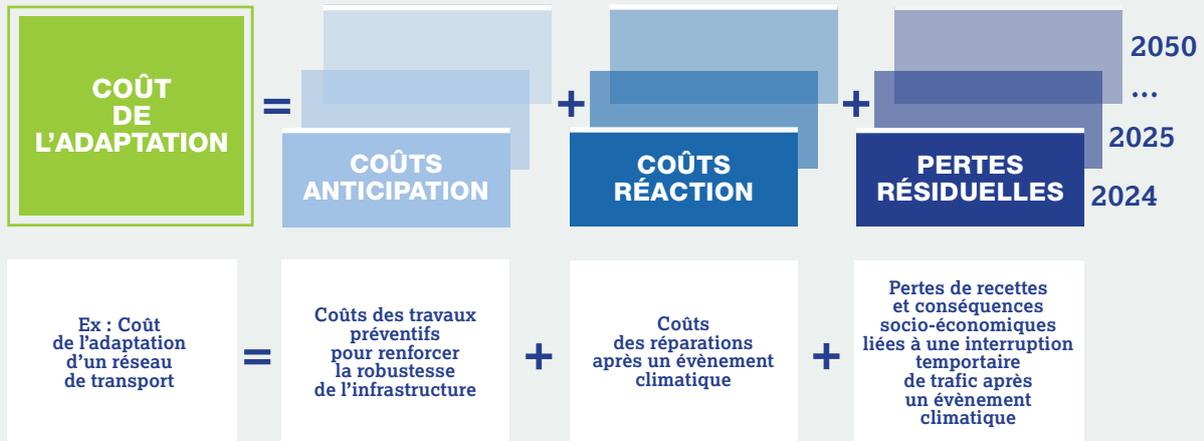
## 1. Le coût de l'adaptation dépend avant tout de la manière dont on choisit de se préparer

S'il est difficile d'estimer aujourd'hui les coûts de l'adaptation, c'est d'abord parce que ces coûts dépendent de la manière dont on choisit collectivement de se préparer aux impacts du changement climatique. Lorsque l'on constate qu'une section de route devient inondable à partir d'un certain niveau de réchauffement, il est possible d'engager d'importants travaux pour la rendre insubmersible, mais il est également envisageable d'organiser des fermetures temporaires de la circulation lors d'épisodes de crue ; la première option étant très probablement plus coûteuse que la deuxième. Cet exemple simple illustre en quoi disposer d'une trajectoire de réchauffement de référence ne suffit pas à calculer un coût unique de l'adaptation. Envisager une France à +4°C en 2100 c'est ouvrir plutôt que fermer les débats sur le niveau que l'on vise et le type d'adaptation que l'on privilégie : Quel niveau de service souhaite-t-on garantir pour un certain niveau de réchauffement ? Quelles formes d'adaptation souhaite-t-on privilégier – par exemple une adaptation à l'échelle des bâtiments individuels ou des transformations plus concertées à l'échelle des espaces publics urbains ?

**Estimer les coûts de l'adaptation, c'est considérer un certain niveau d'effort pour anticiper les changements climatiques et réduire la vulnérabilité en amont d'une part et pour réagir aux impacts d'autre part.** Ce niveau d'effort doit être calibré en fonction des pertes qu'il permet de minimiser à différents horizons de temps, mais aussi d'autres priorités et d'autres contraintes, par exemple politiques ou budgétaires. Tous les facteurs de cette équation ne sont pas simples à évaluer ni toujours faciles à comparer (Delahais et Robinet 2021; Timbeau et al. 2023).

**Les coûts et les bénéfices de l'adaptation seront distribués très différemment au sein de l'économie selon les choix qui seront faits** – directement portés par les ménages, relevant de quelques grands acteurs ou bien pris en charge par la puissance publique – laissant donc une part importante dans la décision aux arbitrages stratégiques et politiques. Des normes de construction plus exigeantes permettent par exemple de répartir les coûts d'adaptation des bâtiments au risque de retrait-gonflement des argiles entre tous ceux qui font construire alors que des réponses réactives reposent le plus souvent sur une prise en charge assurantielle privée bénéficiant d'une réassurance publique.

## L'ADDITION DE L'ADAPTATION : UNE SOMME DANS LE TEMPS DE TROIS TYPES DE COÛT



@I4CE

## ENCADRÉ : POURQUOI NE PARLE-T-ON PAS DES COÛTS DE L'INACTION ?

Une grande partie de la littérature économique sur les coûts du changement climatique a historiquement cherché à évaluer les coûts des impacts des aléas climatiques sur l'économie. Ces coûts assimilés à des « coûts de l'inaction » y sont mis en perspective de ceux de l'action en faveur de l'atténuation du changement climatique et de l'adaptation. Ces analyses dont le principe a été résumé dans plusieurs rapports récents s'appuient le plus souvent sur l'établissement de fonctions de dommages liant température et pertes économiques (Timbeau et al. 2023; Direction générale du Trésor 2020; ADEME 2023). Des analyses sectorielles existent également à l'échelle européenne, par exemple sur les coûts des impacts sur les infrastructures de transport et l'agriculture (COACCH 2020; JRC 2022).

Des revues de littérature ont cherché à résumer les conclusions qu'il était possible d'en tirer pour la France (Direction générale du Trésor 2020; 2023; Delahais et Robinet 2021; Banque de France 2022). Dans le rapport thématique « dommages et adaptation » de l'évaluation des incidences économiques de l'action pour le climat, on retrouve notamment les éléments de synthèse suivants :

« Si on exclut les effets sur la vie humaine, sur la contrainte d'émissions carbone en cas de relâchement de CO<sub>2</sub> par les puits de carbone naturels et sur la productivité, le total des dommages s'évaluerait à moins de **5 milliards d'euros par an** à l'horizon 2050 d'après les principales études sectorielles disponibles. [...] Pour les effets sur la vie

humaine, des dommages importants sont à anticiper, pouvant être évalués à plus de **20 milliards d'euros par an** » (Timbeau et al. 2023)

Nous ne reprenons pas directement à notre compte ces formulations en termes de coûts de l'action et de l'inaction car ce qui nous intéresse ici n'est pas d'évaluer l'opportunité de l'action, mais bien de définir précisément le type de dépenses d'adaptation sur un continuum allant de l'anticipation forte aux dommages résiduels en passant par des formes plus réactives d'adaptation ou de réparation des dommages. Un scénario de pure inaction est en réalité très virtuel ; même si c'est de manière trop réactive chaque secteur répond déjà au moins en partie aux conséquences matérielles du changement climatique.

**La principale question pour déterminer les coûts de l'adaptation est : que souhaite-t-on à tout prix conserver ?** Question qui peut se décliner : qu'est-on prêt à transformer, à quoi est-on prêt à renoncer ? Tout anticiper – rendre 100 % robustes toutes les infrastructures et tous les bâtiments ; viser un système agricole insensible aux conditions météo – reviendrait à surinvestir et se ferait au détriment d'autres objectifs importants par exemple de maîtrise des prix (du transport, de l'alimentation, du

logement) ou d'autres investissements par exemple dans la décarbonation. À l'inverse ne pas anticiper du tout, ce serait se résigner à gérer en mode dégradé une succession d'incidents ou de crises et accepter une baisse progressive de niveau de production ou de service. Ce serait prendre des risques touchant à la sécurité des biens, des personnes et de l'économie qui deviendraient vite politiquement inacceptables. Ce serait aussi se priver d'opportunités de s'adapter à moindre coût.

## EXEMPLES DE FORMULATIONS POSSIBLES DES OBJECTIFS D'ADAPTATION À SE FIXER



- Nombre d'heures ne dépassant pas une certaine température dans les bâtiments – neufs ou rénovés – sans recours à la climatisation.
- Garantie de continuité d'ouverture des services publics en période de forte chaleur.
- Objectif cible à viser chaque année de montant en réassurance public (régime CatNat) pour assurer la pérennité du système dans un contexte d'augmentation des risques.



- Délais de rétablissement suite à une interruption de trafic (comme cela existe déjà sur le réseau électrique).
- Nombre de jours maximum où s'appliquent des mesures de réduction temporaire des vitesses sur une ligne.
- Cible de fiabilité des circulations (ex. nombre de minutes de retard pour causes climatiques).
- Niveau de disponibilité attendu d'au moins un itinéraire avec des conditions (ex. durée de trajet) raisonnables.



- Rendement moyen garanti sur une période.
- Objectifs de production annuels.
- Garantie d'un taux d'auto-provisionnement supérieur ou égal à 100 % sur la majorité des produits agricoles et alimentaires.

@I4CE\_

**Une nécessaire coordination des réponses.** Bien que les décisions doivent être prises en tenant au mieux compte de chaque contexte et peuvent varier selon les préférences des différents acteurs – un certain niveau de coordination est nécessaire. Cela afin de garantir la cohérence et donc une meilleure efficacité des décisions entre elles : si un bâtiment de bureaux est conçu pour rester confortable jusqu'à une certaine température, mais que les salariés ne peuvent pas venir travailler faute de transports fonctionnels, le bénéfice de la mesure d'adaptation disparaît. Cela également afin de rendre possible des transformations plus profondes qui ne pourront se produire qu'avec des stratégies partagées : un agriculteur ne peut pas choisir de cultiver du sorgho plutôt que du blé sans

que les industries de transformation en aval ni les marchés n'existent pour cette nouvelle production. Définir une trajectoire de réchauffement de référence a ainsi comme principal avantage de dessiner un cadre d'analyse cohérent entre plusieurs secteurs et acteurs.

**Le défi est de prendre chaque sujet avec méthode – chaque axe de transport, chaque typologie de bâtiments, chaque filière agricole – pour définir collectivement le niveau de production ou de service visé ; se donner les moyens d'atteindre le degré de robustesse ou de résilience socialement souhaitable puis concevoir et dimensionner le déploiement des options d'adaptation en fonction.**

## 2. Le niveau de réchauffement compte aussi

**Le choix du niveau de réchauffement affecte directement l'ampleur du problème à considérer** – plus il est élevé et plus le stock d'actifs exposés et vulnérables – les kilomètres de voies ou de routes, le nombre de ponts ou de bâtiments, le nombre d'hectares de cultures – s'avère important. Par exemple : alors que 48 % du parc de bâtiments en France hexagonale seraient exposés à un risque fort ou très fort avec un réchauffement de +2°C, la proportion passerait à 93 % à +4°C.

**Il est souvent impossible à date de qualifier précisément jusqu'à quel niveau de réchauffement les différentes options d'adaptation restent efficaces.** Certaines mesures d'optimisation de l'irrigation peuvent par exemple être efficaces dans un premier temps puis insuffisantes pour maintenir le rendement de cultures si la ressource disponible est trop faible. Au-delà de certains niveaux de réchauffement, il est même probable qu'aucune option d'adaptation efficace ne soit disponible (ou alors pour des coûts extrêmement élevés) et que l'on atteigne ce que le GIEC qualifie de « limites à l'adaptation<sup>5</sup> ».

**Décider en fonction de la durée de vie de chaque investissement permet de considérer le bon niveau de réchauffement au bon moment et de conserver ainsi des marges de manœuvre.** Pour certaines décisions facilement réversibles ou certains cycles d'investissement courts, il est possible de ré-évaluer périodiquement le niveau d'effort en fonction des niveaux de réchauffement réel. Une nouvelle occasion d'intervenir se présentera et il sera possible de ré-évaluer si nécessaire le besoin de robustesse à ce moment-là. Tenir compte de niveaux de réchauffement élevés qui ne seraient de toutes façons pas atteints avant plusieurs décennies présenterait peu d'intérêt. Les chaussées routières sont par exemple renouvelées tous les 15 à 20 ans, ce qui laisse plusieurs occasions pour élever progressivement les standards. Pour d'autres décisions, impliquant de fortes irréversibilités, il est largement plus robuste de tenir compte maintenant d'un réchauffement de +4°C en 2100. Il est par exemple fort peu probable qu'une deuxième campagne massive de rénovation des logements déjà construits soit menée d'ici la fin du siècle. Cela est d'autant plus important lorsque le risque de surinvestissement est bien inférieur aux conséquences d'un sous-investissement<sup>6</sup>.

### QUEL HORIZON PRENDRE EN COMPTE POUR QUELLE DÉCISION ?



5. « Point à partir duquel les objectifs d'un acteur (ou les besoins d'un système) ne peuvent se prémunir de risques intolérables par la prise de mesures d'adaptation ». GIEC, 2022. Annex II : Glossaire. Dans Changement Climatique 2022 : Impacts, adaptation et vulnérabilité. Contribution du Groupe de travail II au sixième Rapport d'évaluation du GIEC.

6. Par exemple dans le cas – qui sort du périmètre des thématiques abordées ici – des installations nucléaires : l'ampleur des conséquences potentielles d'un incident généré par un aléa climatique invite à prévoir même les situations les moins probables. Il peut même être pertinent dans ces cas-là de considérer dès maintenant des scénarios de réchauffement encore plus importants qui, s'ils sont aujourd'hui jugés moins probables restent possibles. Voir par exemple. Sénat. 2023. « Pour une approche systémique de l'adaptation des centrales nucléaires au changement climatique. »

→ Bien que ces questions restent aujourd’hui à peine émergentes – et que le premier objectif du PNACC3 doit être d’accélérer leur prise en charge – il est déjà possible de dégager des

constats robustes sur les coûts à attendre pour l’adaptation en France. Ces résultats sont les premières briques d’un travail qui devra être itératif.

## II. POSER LA QUESTION DÈS MAINTENANT C’EST POUVOIR MIEUX ANTICIPER ET MIEUX RÉPARTIR LES COÛTS

### 1. Sans anticipation supplémentaire : une adaptation réactive et couteuse, notamment pour les finances publiques

Dans chacun des trois secteurs étudiés la trajectoire tendancielle est souvent réactive et s’accom-

pagne de conséquences qui pèsent particulièrement sur les finances publiques et sur l’économie.

#### LES FORMES D’ADAPTATION SPONTANÉES LES PLUS SOUVENT OBSERVÉES



##### BÂTIMENTS

- Recours accru et non organisé à la climatisation dans les bâtiments, qui se répercute sur la facture énergétique et génère des externalités négatives (émissions de GES, renforcement de l’effet d’îlot de chaleur urbain) – **plusieurs milliards d’euros par an d’investissement** distribués dans l’économie.
- Travaux de réparation à la suite d’aléas climatiques – par exemple reprise des fondations de maisons fissurées par les phénomènes de retrait-gonflement des argiles. Déjà près de **2 milliards d’euros par an** en moyenne pour les dommages assurés pour les risques RGA et inondation.



##### TRANSPORTS

- Réparations - souvent à l’identique – à la suite d’évènements climatiques extrêmes – ex. **plusieurs centaines de millions d’euros** après le passage de la tempête Alex.
- Renforcement des activités de maintenance pour faire face à l’usure accélérée des équipements sous l’effet des stress climatiques : des durées de vie qui peuvent être réduites de plusieurs dizaines de pourcents.



##### AGRICULTURE

- Évolutions au fil de l’eau des pratiques culturales (ex. décalage des calendriers agricoles).
- Irrigation d’urgence.
- Recours contraint à l’importation.
- Prises en charge d’urgence des pertes pour garantir la survie des exploitations. Plus de **400 millions d’euros par an** de dépenses d’indemnisation et d’aides de crises agricoles liés aux aléas climatiques en 2021 et 2022.

@I4CE\_

Généralement, ces mesures réactives ne permettent pas complètement d’éliminer les pertes générées par les impacts climatiques. Les interventions sur les réseaux de transport ne sont par exemple pas toujours immédiates et génèrent une baisse du niveau de service en imposant des réductions temporaires de vitesse ou

des itinéraires de contournement plus longs en attendant que les travaux soient réalisés. La climatisation n’est pas accessible à tous et n’élimine pas le risque sanitaire entraînant une hausse des dépenses de santé lors des épisodes de forte chaleur ou encore des pertes de productivité dans différents secteurs de l’économie<sup>7</sup>.

7. Pour plus de détails sur ces sujets, voir l’avis du CESE « Travail et santé environnement : quels défis à relever face aux dérèglements climatiques ? » (2023).

**Ces pertes sont souvent en partie prises en charge par la puissance publique via des aides de crises ou des mécanismes d'assurance publics.** En effet, une fois que les dégâts se matérialisent, les attentes à l'égard des responsables publics – élus, services de l'Etat ou des collectivités – sont généralement pressantes. Il n'est donc pas rare que des décisions soient prises sur le mode de l'urgence, non seulement pour assurer la sécurité des personnes et des biens, mais aussi pour rétablir au plus vite un certain niveau de service et minimiser les conséquences sur l'économie et l'opinion. La prise en charge directe des coûts se révèle alors la solution la plus immédiate. Au lendemain de la tempête Alex dans les Alpes Maritimes le Président de la République annonçait par exemple le déblocage de **plusieurs centaines de millions d'euros pour la reconstruction** (CGEDD et IGA 2021).

→ **Dans un contexte d'intensification des impacts du changement climatique et sans anticipation supplémentaire, il faut donc s'attendre à une hausse continue des dépenses et des besoins d'intervention pour réparer ce que l'on n'aura pas anticipé. Ces besoins accentueront la pression sur les responsables et les budgets publics parfois au détriment d'autres priorités.** La hausse des dépenses de réparation des infrastructures de transport se fait par exemple souvent au détriment des investissements d'amélioration programmés<sup>8</sup> ; les réparations des bâtiments suites aux aléas climatiques pèsent sur les mécanismes d'assurance publics<sup>9</sup> ; les crises agricoles pèsent sur la trésorerie des exploitations ralentissant les investissements dans la transition<sup>10</sup>.

## 2. Pourtant, des options d'anticipation sont bien identifiées et pourraient être mieux déployées

Sans prétendre éliminer l'ensemble des coûts de réparation et des dommages résiduels, des options de réduction des vulnérabilités en amont sont disponibles pour minimiser les impacts des aléas climatiques sur les populations, les territoires et l'économie.

Il s'agit d'abord de **mesures organisationnelles** qui permettent de saisir au mieux les fenêtres d'opportunités pour tenir compte des évolutions du climat et d'optimiser la réaction. Mais il s'agit aussi **d'investissements additionnels** pour renforcer les niveaux de robustesse des travaux

déjà programmés (par exemple de rénovation des bâtiments ou de modernisation des infrastructures), pour traiter les points chauds de vulnérabilités, pour déployer des solutions de prévention voire pour préparer des transformations plus importantes (en investissant par exemple dans de nouvelles filières agricoles) (I4CE 2022).

Ces options peuvent parfois être déployées avec des coûts limités – notamment en intégrant l'adaptation dans les cahiers des charges des investissements déjà prévus.

8. « L'accroissement des risques naturels crée une concurrence dans l'attribution des crédits au détriment de l'entretien traditionnel » (Cour des comptes 2022, 42)

9. Voir par exemple CCR. 2023. « Conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050 » et Sénat. 2023. « La sécheresse ébranle les fondations du régime CatNat ».

10. I4CE. 2024. « Estimation des dépenses publiques liées aux crises agricoles en France entre 2013 et 2022 »

11. Voir pour plus de détails : Cour des Comptes. 2023. « La politique d'installation des nouveaux agriculteurs et de transmission des exploitations agricoles »

## ADAPTER LES PROJETS ET INVESTISSEMENTS DÉJÀ PRÉVUS



### BÂTIMENTS

- Révision des normes thermiques du bâtiment et des plans de prévention des risques pour prendre en compte le climat futur dans la construction neuve. (Ex. en construction neuve, un surcoût pour l'adaptation aux vagues de chaleurs estimé entre 2 et 5%).
- Intégration des objectifs d'adaptation dans les cahiers des charges des opérations de rénovation énergétique déjà prévues. Ex. pour le logement, les objectifs provisoires issus des travaux de révision de la SNBC aboutissent à un besoin de 900 000 rénovations d'ampleurs de logement par an : un surcoût de 10 % dans ces opérations pour l'adaptation aux vagues de chaleur.



### TRANSPORTS

- Actualisation des standards techniques pour garantir que tous les nouveaux développements de systèmes de transport soient adaptés par conception.
- Intégration des objectifs d'adaptation dans les cahiers des charges des opérations de renouvellement et modernisation pour ajuster les programmes de travaux en conséquence.
- Les travaux déjà programmés devraient déjà permettre d'intervenir sur une large part des réseaux en quelques années.
- Des surcoûts variables selon les opérations qui peuvent être quasi-insensibles ou représenter quelques pourcents ou dizaines de pourcents additionnels.



### AGRICULTURE

- Mise en œuvre de recommandations issues d'un diagnostic de résilience lors de la transmission d'une exploitation agricole – période qui s'accompagne souvent de nouveaux investissements dans l'outil de production.
- 43 % des exploitants agricoles ont aujourd'hui plus de 55 ans et pourraient partir à la retraite et céder leur exploitation d'ici 10 ans.

@I4CE\_

D'autres fois, des interventions *ad-hoc* sur l'existant peuvent aussi être nécessaires.

**Selon les situations, les marges de manœuvre sont plus ou moins grandes.** Par exemple, si l'on peut aisément concevoir une politique d'adaptation des bâtiments exis-

tants aux vagues de chaleur plus ou moins ambitieuse en piochant dans un panier de solutions bien connues, c'est moins le cas face au retrait-gonflement des argiles car le panel d'options est plus limité avec notamment très peu de solutions préventives qui ne restent pas expérimentales ou trop onéreuses au regard du volume de biens exposés.

## TOUTES LES OPTIONS D'ADAPTATION NE DISPOSENT PAS D'UN MODÈLE ÉCONOMIQUE ÉVIDENT

### CO-BÉNÉFICES ÉCONOMIQUES

Une partie d'entre elles (que l'on peut qualifier de « sans-regret ») génère des co-bénéfices économiques qui suffisent par eux-mêmes à justifier leur mise en place. C'est par exemple le cas de certaines mesures incrémentales d'adaptation de l'agriculture qui avant même de mettre à l'abri des événements climatiques améliorent les rendements nominaux.

### > LES MESURES PEUVENT ÊTRE DIRECTEMENT RENTABLES



### + BÉNÉFICES DE RÉDUCTION DES RISQUES

Une partie se justifie comme mesure de réduction des risques, quand il est évident que les coûts de l'anticipation sont inférieurs aux coûts des réparations pour le porteur du projet. C'est par exemple le cas d'une meilleure prise en compte du risque de retrait-gonflement des argiles pour les bâtiments neufs en zone à risque, là où il est beaucoup moins coûteux de renforcer les fondations lors de la construction que de devoir les reprendre une fois les dégâts constatés.

### > ELLES PEUVENT SE JUSTIFIER COMME MESURE DE RÉDUCTION DES RISQUES



### + + BÉNÉFICES SOCIO-ÉCONOMIQUES

Mais une partie également ne sera jamais rentable pour le propriétaire du bâtiment, le gestionnaire de l'infrastructure, l'agriculteur ou l'assureur privé qui, dans certains cas ne dépenseraient pas moins en anticipant plutôt qu'en attendant de constater et réparer les dégâts. Pour ces cas-là, cela ne signifie pas que ne rien anticiper est la meilleure option mais que le choix d'adaptation ne pourra pas être uniquement économique au sens strict et doit tenir compte des externalités socio-économiques, c'est-à-dire des coûts et des bénéfices plus largement distribués dans l'économie. Peut-être que les seuls coûts de réparation d'une voie ferrée à la suite d'une inondation ne justifieraient pas des travaux de renforcement en amont mais que les conséquences d'une interruption temporaire de la circulation seraient jugées inacceptables pour les usagers et l'économie locale. L'anticipation deviendrait alors un choix politique reflétant une préférence collective.

### > ELLES PEUVENT SE JUSTIFIER AU REGARD DES EXTERNALITÉS SOCIO-ÉCONOMIQUES



Enfin, certaines ne trouvent ni modèle économique ni justification socio-économique dans les conditions et le niveau de connaissance actuels. Pour celles-ci, il s'agit de réévaluer la pertinence des mesures d'adaptation à mesure que de nouvelles informations émergent. Pour le cas du retrait-gonflement des argiles, déployer les solutions existantes préventivement sur la totalité des maisons exposées reviendrait à un très fort surinvestissement (qui pourrait atteindre plusieurs dizaines de milliards d'euros). C'est bien au-delà des coûts que représente chaque année la prise en charge des dommages. Or, les informations disponibles permettent encore difficilement de cibler les maisons les plus vulnérables.

### > ELLES PEUVENT N'ÊTRE JAMAIS INTÉRESSANTES AU REGARD DES BÉNÉFICES QU'ELLES APPORTENT



→ La conclusion de ce travail est que sans action organisée volontariste, il est fort probable que les trajectoires d'adaptation qui seront suivies soient les plus coûteuses pour les finances publiques et les moins satisfaisantes d'un point de vue socio-économique. Anticiper plus permet parfois de réduire significativement les coûts totaux et surtout de mieux les répartir. De nombreuses options d'anticipation sont bien identifiées et commencent à être chiffrées, elles restent à combiner au sein de stratégies d'adaptation à construire sur la base d'analyses de vulnérabilité solides. La mise en œuvre de ces stratégies pourrait représenter **plusieurs milliards d'euros par an pour l'ensemble des acteurs**. Si certaines des options retenues seront intrinsèquement rentables, ce ne sera pas le cas de toutes ouvrant ainsi un débat sur le financement de l'adaptation en France.

## ENCADRÉ : DES BESOINS D'ÉTUDES COMPLÉMENTAIRES

Pour être en mesure de fournir des chiffres plus précis sur les besoins pour l'adaptation, deux types d'éléments manquent aujourd'hui et devraient faire l'objet de travaux sectoriels approfondis :

**1. Une meilleure objectivation des vulnérabilités pour différents niveaux de réchauffement.** Au-delà de l'identification des risques il est nécessaire de parvenir à mieux situer les seuils

limites de robustesse : quels événements (par exemple la survenue d'un gel tardif pour des récoltes de fruits), quelles situations (par exemple la successions de périodes sèches et humides pour les fondations des bâtiments) et à partir de quelles valeurs (par exemple au-delà de 35°C en journée pour une chaussée routière) les systèmes commencent à dysfonctionner, les modèles économiques à se déséquilibrer.

**2. Des analyses d'efficacité (préalables à des analyses coût-efficacité) des différentes options d'adaptation.** Il reste en effet difficile aujourd'hui de quantifier précisément ce que le déploiement de mesures d'adaptation permet comme gains en situation réelle (par exemple l'effet sur le besoin en climatisation lors des vagues de chaleur de l'ajout de brise-soleils sur un bâtiment<sup>12</sup>).

12. Des premiers éléments de ce type-là ont pu être objectivés pour le secteur agricole dans le cadre de ce projet.

## Principales références sur les coûts de l'adaptation

- ADEME. 2023. « **Modélisation macroéconomique des risques climatiques en France** ».
- Banque de France. 2022. « **L'adaptation des économies au changement climatique : les enseignements tirés de la recherche économique** ». Bulletin de la Banque de France. Recherche économique 239/5.
- CGDD. 2017. « **Thema - Indisponibilité d'une infrastructure de transports Mesurer et réduire les coûts** ».
- CGEDD, et IGA. 2021. « **Retour d'expérience des intempéries des 2 et 3 octobre 2020 dans les Alpes Maritimes** ».
- COACCH. 2020. « **The Economic Cost of Climate Change in Europe** ».
- Cour des Comptes. 2024. « **Rapport public annuel : l'action publique en faveur de l'adaptation au changement climatique** ».
- Delahais, Adrien, et Alice Robinet. 2021. « **Coût de l'inaction face au changement climatique en France : que sait-on ?** » Document de travail. France Stratégie.
- Délégation sénatoriale à la prospective. 2019. « **Adapter la France aux dérèglements climatiques à l'horizon 2050 : urgence déclarée** ».
- Direction générale du Trésor. 2020. « **Effets économiques du changement climatique** ». Trésor-Eco 262. Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique.
- Direction générale du Trésor. 2023. « **Les enjeux économiques de la transition vers la neutralité carbone** ». Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique.
- Haut Conseil pour le Climat. 2021. « **Rapport annuel 2021 : Renforcer l'atténuation, engager l'adaptation** ».
- I4CE. 2022. « **Se donner les moyens de s'adapter aux conséquences du changement climatique en France : De combien parle-t-on ?** » In .
- IGEDD. 2022. « **Mission de parangonnage sur les politiques d'adaptation au changement climatique** ».
- JRC. 2022. « **The JRC PESETA IV approach** ».
- Pisani-Ferry, Jean, et Selma Mahfouz. 2023. « **Les incidences économiques de l'action pour le climat** ». Rapport à la Première ministre. France Stratégie.
- Timbeau, Xavier, Aude Pommeret, Alice Robinet, Alice Viennot, Adrien Delahais, Vivian Dépoues, Morgane Nicol, Gaël Callonec, Logan Gourmand, et Félix Rannou. 2023. « **Domages et adaptation** ». Rapport thématique. Les incidences économiques de l'action pour le climat. France Stratégie, OFCE.

# CHAPITRES SECTORIELS



## → Bâtiments

Auteur : **Guillaume Dolques** (*I4CE*) avec la participation de **Cristhian Andres Molina Calderon**, **Sakina Pen Point** et **Morgane Moullié-Chauvet** de l'Observatoire de l'immobilier Durable (*OID*)



## → Infrastructures de transport terrestre

Auteurs : **Vivian Dépoues** (*I4CE*) avec la participation de **Marine Lericolais**, **Michael Gonzva**, **Sébastien Bucourt** (*SETEC*) et **Thibault Laconde** (*Callendar*)



## → Productions agricoles végétales

Auteurs : **Vivian Dépoues**, **Lucile Rogissart** et **Joséphine Despres-Diry** (*I4CE*) avec l'apport des travaux de modélisation réalisés par **Florent Baarsch**, **Camille Sansonnet**, **Issa Awal** et **Vhiny Mombo** (*FINRES*)



### Résumé

La majorité des bâtiments existants n'a pas été conçue pour faire face aux risques climatiques actuels et futurs. Les événements de ces dernières années ont donné une bonne image du niveau d'(in)adaptation du parc. En 2022 par exemple, **2,9 milliards d'euros** de dommages assurés ont été relevés en conséquence de la sécheresse (CCR 2023a). Ce montant n'était que de 466 millions d'euros par an en moyenne dans les années 2000. À mesure de l'évolution du climat, le niveau d'exposition du parc augmentera fortement et, si rien n'est fait pour s'adapter, les conséquences évolueront dans le même sens : **3,3 milliards d'euros par an** de dommages attendus à +2,7°C ; entre **7 et 12 milliards d'euros par an** d'impacts sanitaires lors des épisodes de vagues de chaleur dont une partie est imputable aux bâtiments pour ce même niveau de réchauffement.

Face à ces phénomènes, une forme d'adaptation réactive est déjà à l'œuvre. Elle se matérialise juste avant, pendant ou juste après les crises : face aux vagues de chaleur, les ménages s'équipent en climatisation, ce qui représente déjà des investissements non négligeables, de l'ordre de **3,5 milliards d'euros par an en moyenne** pour le logement ; après les inondations et les sécheresses, les assureurs prennent en charge les dommages et l'on reconstruit la plupart du temps à l'identique. Ces formes d'adaptation questionnent dans la mesure où elles sont pour certaines génératrices d'externalités négatives pour d'autres déjà proches de leurs limites comme c'est le cas avec le système de réassurance déjà sollicité au-delà de ses capacités.

Pour l'adaptation aux vagues de chaleur, des alternatives sont d'ores et déjà disponibles : les solutions autres que la

climatisation sont déjà connues. Surtout, des investissements déjà prévus par ailleurs (dans la rénovation énergétique globale, la construction neuve) présentent déjà des cobénéfices pour l'adaptation. Aller un cran plus loin entraîne des surcoûts et donc des investissements supplémentaires à anticiper – entre **+ 1 et + 2,5 milliards d'euros par an** pour la construction neuve et **+ 4,4 milliards d'euros par an** pour le parc existant une fois que les investissements en matière de rénovation énergétique auront atteint leur rythme de croisière – mais permettront de limiter les impacts sanitaires et le recours à la climatisation qui risque de devenir incontournable à + 4°C.

Pour le retrait-gonflement des argiles, un ciblage de la prévention et des recherches sur les solutions doivent être entrepris, car pour l'heure, les options disponibles pour les bâtiments existants, onéreuses ou expérimentales, ne permettent pas de conclure sur un meilleur scénario d'adaptation.

Enfin, pour les risques d'inondation et de feux de forêt, il s'agit avant tout de dynamiques de territoire : si des mesures peuvent être déployées à l'échelle des bâtiments, c'est d'abord au niveau des quartiers ou des villes que l'action collective gagne en cohérence et pourrait être renforcée.

Pour aller plus loin, un certain nombre de mesures organisationnelles pourrait être mis en œuvre sans attendre pour accompagner les filières, développer des solutions et animer les politiques d'adaptation. Certains de ces besoins avaient déjà été estimés et nous semblent toujours d'actualité : **31 millions d'euros par an** pour les vagues de chaleur, **100 millions d'euros par an** pour le RGA et **125 millions d'euros par an** pour les inondations.

## Les bâtiments n'ont pas été conçus pour faire face aux aléas climatiques : des conséquences économiques déjà visibles

La majorité des bâtiments a été construite à une période où il n'existait ni plan de prévention (pour les inondations ou les feux de forêt), ni dispositions constructives spécifiques pour se prémunir des fortes chaleurs, du risque d'inondation ou de retrait-gonflement des argiles. Si des dispositions existent désormais pour éviter de construire dans les zones les plus à risque, celles-ci ne prennent pas

encore en compte les évolutions futures du climat : **le zonage des risques est fait dans le climat actuel et la réglementation thermique prend comme valeur extrême la canicule de 2003<sup>1</sup>. Surtout, la question de l'adaptation du parc existant, reste encore très peu posée notamment lors des opérations de rénovation.**

1. Prendre en compte des données prospectives plutôt qu'historiques lors de l'élaboration et la mise à jour des plans de prévention des risques, normes de construction, plans d'urbanisme etc. est un des défis majeurs pour l'adaptation. La proposition de Trajectoire de réchauffement de référence (TRACC) permet aujourd'hui de donner un cadre homogène pour le faire. L'enjeu à présent est de s'assurer de la bonne utilisation de cette trajectoire dans l'ensemble de ces référentiels, normes, plans etc. Le Plan national d'adaptation au changement climatique (PNACC3) qui devrait être adopté en 2024 pourrait apporter des éléments de réponse en ce sens.



**On observe déjà des conséquences directes importantes et une tendance à la hausse des coûts subis ces dernières années.** Il s'agit notamment des dommages observés lors d'inondations et ou de sécheresses. Par exemple, le coût annuel moyen des conséquences des sécheresses est

actuellement estimé à **726 millions d'euros**, alors qu'il n'était que de **466 millions d'euros** dans les années 2000. Des impacts d'ordre socio-économique (dont une partie sont imputables aux bâtiments) sont également déjà relevés notamment lors des canicules : impacts sanitaires, baisse de productivité etc.

## Sans anticipation supplémentaire, il faut s'attendre à une hausse des coûts et des conséquences socio-économiques sur les bâtiments et les populations

Le changement climatique va mécaniquement faire augmenter l'exposition des bâtiments aux phénomènes climatiques extrêmes. D'abord en affectant plus longuement et plus intensément des zones déjà exposées et surtout en

affectant des nouvelles zones jusqu'à là épargnées. Des travaux menés en partenariat avec l'Observatoire de l'Immobilier Durable (OID) ont permis d'objectiver cette évolution à +2° C ; +2,7 et +4° C (OID 2024).

### ENCADRÉ : EXTRAIT DE L'ANALYSE MENÉE PAR L'OBSERVATOIRE DE L'IMMOBILIER DURABLE :

POURCENTAGE DU PARC DE BÂTIMENTS EXPOSÉS À UN RISQUE FORT ET TRÈS FORT	VAGUES DE CHALEUR	SÉCHERESSES RGA	FEUX DE FORÊT	INONDATIONS PLUVIALES
+ 2° C	48 %	35 %	30 %	31 %
+ 2,7° C	70 %	69 %	39 %	46 %
+ 4° C	93 %	78 %	43 %	48 %

#### > QUELLE EXPOSITION DES BÂTIMENTS DANS UNE FRANCE À +4° C ? (OID 2024)

##### VAGUES DE CHALEUR :

- La quasi-totalité (>90 %) du territoire sera fortement ou très fortement exposée. Les zones urbaines seront plus touchées (96 %).
- Des villes actuellement faiblement à moyennement exposées deviendront très fortement exposées (ex. Caen, Le Havre, Calais, Dunkerque etc.).

##### SÉCHERESSES ET RGA :

- Plus des 2/3 du territoire seront très fortement exposés (comparé à 12 % à +2° C) avec une forte disparité géographique.

##### FEUX DE FORÊT :

- Un risque actuellement concentré dans le sud de la France : 80 % des zones méditerranéennes exposées à un niveau très fort à exceptionnel.
- À +4° C près de la moitié du territoire sera fortement ou très fortement exposée.
- Les zones rurales et suburbaines seront particulièrement touchées.

##### INONDATIONS PLUVIALES :

- Les régions au nord et nord-est seront les plus fortement touchées : plus de la moitié des bâtiments sera très fortement exposée.
- En milieu urbain, plus de la moitié des surfaces seront très fortement exposées.

## Des actions déjà à l'œuvre mais insuffisantes face à l'évolution du climat

**On observe déjà une première forme d'adaptation, qualifiée de réactive** parce qu'elle se matérialise généralement juste avant, pendant ou juste après les phénomènes d'ampleur. Par exemple, lors des vagues de chaleur, les ménages et les entreprises investissent dans des équipements de climatisation (mais aussi dans des ventilateurs). Les coûts de ces adaptations sont souvent peu objectivés mais pourtant bien réels<sup>2</sup>. Ces équipements génèrent d'ores et déjà des impacts

importants (en termes de consommation énergétique, d'émissions de GES, d'augmentation de la chaleur en ville etc.) qui vont s'accroître à mesure de leur déploiement (ADEME et Coda Stratégie 2021). Au rythme actuel, la quasi-totalité du parc pourrait ainsi être équipée d'ici 2050<sup>3</sup>. Autre exemple de réaction, face aux inondations ou au phénomène de retrait-gonflement des argiles les assureurs indemnisent, puis les bâtiments sont réparés ou reconstruits le plus souvent à l'identique.

2. Une première estimation réalisée dans le cadre de ce projet a permis d'estimer autour de **3,5 milliards d'euros par an** le niveau d'investissement actuel dans les systèmes de climatisation et les appareils réversibles (qui permettent aussi de chauffer).

3. On estime qu'actuellement 1,3 millions d'appareils sont vendus chaque année (ADEME et Coda Stratégie 2021). Cela correspond globalement au nombre de logements qu'il faudrait équiper chaque année pour que 95% du parc soit équipé en 2050.



**Ces formes d'adaptation posent néanmoins question.**

Soit parce qu'elles sont génératrices d'externalités négatives, soit parce qu'elles sont déjà proches de leurs limites

comme c'est le cas pour le régime CatNat (qui réassure les dommages liés à la sécheresse et aux inondations) :

“ **Un cas type de mal-adaptation consisterait à déployer à large échelle la climatisation [...]. Cette solution aurait deux conséquences néfastes : d'une part, elle augmenterait les rejets de CO<sub>2</sub>, ce qui renforcerait les impacts du changement climatique ; d'autre part, elle accroîtrait la température à l'extérieur des bâtiments” (Cour des comptes 2024)**

“ **Il est estimé que le coût cumulé de la sinistralité sécheresse entre 2020 et 2050, représenterait un coût de 43 milliards d'euros, soit un triplement par rapport aux trois décennies précédentes. Le régime CatNat ne serait ainsi plus en mesure de dégager assez de réserves pour couvrir les sinistres à l'horizon 2040” (Sénat 2023)**

LES CONSÉQUENCES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES BÂTIMENTS...	... AUJOURD'HUI	... DEMAIN SI RIEN N'EST FAIT POUR MIEUX ANTICIPER
<b>CONSÉQUENCES DIRECTES SUR L'ÉCONOMIE DU BÂTIMENT</b>	<p>Déploiement de la climatisation : <b>3,5 milliards d'euros par an</b> pour le logement.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>726 millions d'euros par an</b> en moyenne pour le RGA (CCR 2023b) (<b>2,9 milliards d'euros en 2022</b>, CCR 2023a) + sinistralité non prise en charge (entre <b>630 et 840 millions d'euros par an</b>, Sénat 2023).</li> <li>• <b>979 millions d'euros par an</b> en moyenne pour les inondations (CCR 2023b).</li> </ul>	<p>Rythme tendanciel déjà élevé qui aboutirait à un parc en quasi-totalité équipé d'ici à 2050.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>2,1 milliards d'euros par an</b> en moyenne pour le RGA à 2,7°C.</li> <li>• <b>1,2 milliard d'euros par an</b> en moyenne pour les inondations à 2,7°C (CCR 2023b).</li> </ul>
<b>CONSÉQUENCES ÉLARGIES SUR L'ÉCONOMIE ET LES POPULATIONS</b>	<p>Impacts sanitaires des vagues de chaleur en France estimé entre <b>22 et 37 milliards d'euros</b> pour la période 2015/2020 (Santé publique France 2021).</p> <p>Perte de productivité relevé lors des vagues de chaleur : <b>0,2 %</b> sur la période 1981-2010 en Europe (García-León et al. 2021).</p> <p>Externalités négatives dues à la climatisation (ADEME et Coda Stratégie 2020) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15,5 TWh (2020) ;</li> <li>• 4,4 MteqCO<sub>2</sub> (2020) ;</li> <li>• Augmentation de 0,25 à 1°C de la température de la ville de Paris en période d'utilisation (Météo France 2010).</li> </ul>	<p>Doublement possible des conséquences sanitaires lors des vagues de chaleur : <b>7 à 12 milliards d'euros par an</b> en moyenne à 2,7°C (OID 2023).</p> <p><b>1,6 %</b> du PIB européen à 4°C avec une forte hétérogénéité : <b>3 %</b> en moyenne pour les régions méditerranéennes et jusqu'à 8 % pour les plus touchées (Szewczyk, Mongelli, et Ciscar 2021).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consommation électrique doublée dans un scénario tendanciel (ADEME et Coda Stratégie 2021) ;</li> <li>• Les émissions de GES devraient relativement peu augmenter car des évolutions réglementaires sur les gaz frigorigènes sont attendues (directive F-GAZ) ;</li> <li>• Augmentation de 0,5°C à 3°C de la ville de Paris si le nombre d'appareils était doublé.</li> </ul>



## Des investissements prévus qui présentent des cobénéfices pour l'adaptation surtout si le niveau de réchauffement reste limité (proche du climat actuel)

En pratique, on ne part pas de rien. Chaque année, des investissements publics et privés sont nécessaires pour rendre les bâtiments plus performants (9,1 milliards d'euros de besoins d'investissement annuels en moyenne d'ici 2030 pour la construction neuve<sup>4</sup> et 44 milliards d'euros annuels pour répondre aux objectifs de rénovation énergétique, *I4CE 2023*) et pour prévenir certains risques : autour de 200 millions

d'euros engagés chaque année pour les inondations<sup>5</sup>. Ces investissements, initialement prévus en dehors de tout contexte d'évolution climatique, présentent des cobénéfices souvent importants pour l'adaptation : les travaux de rénovation énergétique, tels que l'isolation ou la ventilation, améliorent le plus souvent le confort d'été (*Viguié et al. 2020; OID 2021*), la prévention permet de réduire la sinistralité (*CCR 2023c*) etc.



**Atténuation et adaptation peuvent aller de pair. La rénovation thermique des logements intégrant le confort d'été [...] permet à la fois de réduire les émissions et de mieux résister aux vagues de chaleur” (HCC 2021)**

### ENCADRÉ : UNE SITUATION DÉJÀ OPTIMISTE AVANT MÊME LA QUESTION DE L'ADAPTATION

Considérer les investissements prévus dans la rénovation énergétique comme acquis pour définir le besoin d'investissements additionnels pour l'adaptation des bâtiments c'est déjà se projeter dans une trajectoire optimiste. Pour

l'heure la France ne remplit pas ses objectifs en matière de rénovation énergétique : pour le logement, il faudrait réaliser 900 000 rénovations d'ampleur par an en 2030, un niveau bien supérieur au nombre de rénovations d'am-

pleur financées par MaPrimeRénov' qui est aujourd'hui de l'ordre de 66 000. Le besoin additionnel pour atteindre les 900 000 rénovations d'ampleur est estimé autour 27 milliards d'euros par an (*I4CE 2023*).

Cependant, ne pas poser la question de l'évolution du climat lors de ces investissements c'est prendre le risque de passer à côté d'actions qui auraient pu être réalisées en même temps ou dimensionnées différemment (ex. la mise en place de protections solaires ou un changement dans le type d'isolant). Cela peut engendrer des situations peu

performantes au regard du confort d'été voire contreproductives (ex. la réalisation d'une très bonne étanchéité à l'air sans possibilité de ventiler la nuit). Ce constat se renforce à mesure que l'on se projette dans des niveaux de réchauffement plus élevés.



**Même si ces réglementations d'atténuation du changement climatique contribuent concomitamment à l'objectif d'adaptation, il paraît nécessaire et urgent de les compléter par des mesures spécifiquement ciblées sur ce dernier enjeu” (Cour des Comptes 2024)**

4. Ce montant correspond aux investissements annuels dans les postes qui contribuent à la performance énergétique des bâtiments neufs : l'isolation, les menuiseries, la ventilation, le système de chauffage etc.

5. Tous ces investissements ne sont pas imputables aux bâtiments : la prévention des risques concerne également les opérations d'aménagement, les actions de sensibilisation etc.



## Des alternatives existent pour une adaptation plus proactive



**Pour l'adaptation aux vagues de chaleurs, un effort supplémentaire permettrait de garantir une meilleure adaptation du parc.**

Cela suppose d'intégrer le climat futur dans les politiques et investissements existants plutôt que de chercher à construire

une politique dédiée : il s'agit de poser la question de l'adaptation aux moments clés des investissements et peut entraîner un surcoût. Nous retenons une hypothèse de surcoût entre 2 et 5 % pour les constructions neuves et 10 % pour les rénovations énergétiques globales qui iraient au-delà de la réglementation actuelle sur la question du confort d'été<sup>6</sup>.

### POUR L'ADAPTATION AUX FORTES CHALEURS :

	DES CONSTRUCTIONS NEUVES QUI VONT AU-DELÀ DE LA RÉGLEMENTATION EN ACTIONNANT PLUS DE LEVIERS POUR LE CONFORT D'ÉTÉ	DES RÉNOVATIONS GLOBALES PLUS AMBITIEUSES SUR LA QUESTION DU CONFORT D'ÉTÉ
LOGEMENTS	+ 0,7 à + 1,8 milliard d'euros par an	+ 3,1 milliards d'euros par an
TERTIAIRES	+ 0,3 à +0,7 milliard d'euros par an	+ 1,3 milliard d'euros par an

Montants exprimés en besoins additionnels par rapport aux besoins d'investissements publics et privés nécessaires à l'atteinte des objectifs de neutralité carbone (I4CE 2023), moyenne sur la période 2024-2030.

@I4CE\_

### Cet effort supplémentaire bien que nécessaire pourrait s'avérer insuffisant, dans une France à +4°C.

Autrement dit, à partir d'un certain niveau de réchauffement, il devient difficile (voire impossible dans certaines régions climatiques) de se passer d'équipements de climatisation. Néanmoins, les éléments disponibles incitent à privilégier une approche séquencée pour conserver des marges de manœuvre : les mesures d'adaptation restent vraiment efficaces pour réduire l'inconfort dans les bâtiments, elles permettent de se passer de climatisation à court terme (et à long terme dans certaines zones climatiques) et surtout de limiter grandement son utilisation (ADEME et al. 2023; Vigié et al. 2020).



**Pour le retrait-gonflement des argiles, les solutions disponibles restent onéreuses ou encore expérimentales et ne permettent pas de conclure sur un meilleur scénario d'adaptation**

économiquement crédible : compte tenu de l'ampleur de l'exposition et du coût des options<sup>7</sup>, une politique très proactive



**Pour les risques d'inondation et de feux de forêt, il s'agit avant tout de dynamiques de territoire :** si des actions

peuvent être entreprises à l'échelle des bâtiments, c'est d'abord au niveau des quartiers, des villes et plus largement que l'action collective gagne en cohérence et pourrait être renforcée. C'est à ces échelles que doivent être discutées les politiques (et donc les coûts) d'adaptation à ces risques, le potentiel d'action au niveau des bâtiments reste limité.

6. Ces surcoûts peuvent correspondre à des travaux complémentaires réalisés au moment de l'opération (ex. en neuf : mise en place d'un puit climatique, en rénovation : mise en place de protections solaires) ou à des travaux réalisés différemment parce que l'on tient compte du changement climatique (ex. en neuf : réalisation de logements traversants, en rénovation : changement dans l'épaisseur ou le matériau isolant, dimensionnement différent du système de ventilation etc.). Ces hypothèses de surcoûts « génériques » peuvent cacher d'importantes disparités selon les projets. Elles nous semblent néanmoins utiles pour donner une première évaluation budgétaire de l'adaptation des bâtiments aux vagues de chaleur. Elles sont le fruit d'une analyse approfondie des éléments existants dans la littérature et de discussions en comité technique. Une publication I4CE dédiée aux coûts de l'adaptation des bâtiments aux vagues de chaleur est prévue courant 2024.

7. Le CEREMA (2022) estime à 10,4 millions le nombre de maisons actuellement exposées à un risque moyen à fort. Le coût des solutions préventives disponibles représentent souvent plusieurs dizaines de milliers d'euros par maison (Cour des Comptes 2024a).

8. Si on appliquait les coûts des solutions préventives à l'ensemble des maisons exposées.

9. Comme le permet par exemple l'appel à projet France 2030 « prévention et remédiation des désordres bâtimentaires dus au phénomène de retrait et gonflement des sols argileux (RGA) »



## Sortir de la trajectoire par défaut implique des mesures de court terme

Si des options d'adaptation plus proactives existent, sortir de la trajectoire par défaut ne se fera pas sans une action volontariste. Pour y parvenir un certain nombre de mesures est nécessaire. Il s'agit avant tout de mesures organisa-

tionnelles visant à accompagner la filière, à renforcer la connaissance des acteurs, à investir dans la recherche, l'expérimentation et à animer les politiques d'adaptation :

### PROPOSITION DE MESURES ORGANISATIONNELLES POUR ACCOMPAGNER LES CHANGEMENTS DE PRATIQUE<sup>10</sup>

#### VAGUES DE CHALEUR



- Un bouquet d'actions pour **31 millions d'euros par an** pour renforcer la connaissance et l'accompagnement des acteurs ; investir dans la recherche et expérimenter les solutions existantes etc. (I4CE 2022a)

#### RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES



- Création d'une instance de pilotage et de coordination : **0,5 million d'euros par an** ;
- Une première enveloppe d'engagement en faveur de la prévention **100 millions d'euros par an** (Ledoux 2023).

#### INONDATIONS



- Des ETP pour animer la politique de prévention des risques inondations : 2 ETP supplémentaires par programme d'actions de prévention des inondations (PAPI) **12 millions d'euros par an**.
- Un niveau de prévention qui accompagne l'évolution des risques attendue : **113 millions d'euros par an** (I4CE 2022b).

@I4CE\_

À moyen terme, les dispositifs législatifs et incitatifs (les plans de préventions des risques, la réglementation environnementale ou encore les aides à la rénovation énergétique) devront également être requestionnés pour tenir

compte de l'évolution du climat. Sans attendre, le levier de la commande publique pourrait être actionné pour préfigurer ces évolutions.

10. Une partie de ces mesures a été chiffrée dans un précédent projet dont un des objectifs était d'identifier les mesures budgétaires à prendre pour préparer, renforcer ou opérationnaliser des actions d'adaptation déjà prêtes (I4CE 2022b)



## Sources et références

- ADEME, et Coda Stratégie. 2020. « **La climatisation de confort dans les bâtiments résidentiels et tertiaires** ».
- ADEME. 2021. « **La climatisation dans le bâtiment : état des lieux et prospective 2050** ».
- ADEME. 2023. « **Résilience – Rapport final, résultats** ».
- CCR. 2023a. « **Chiffres clés: les catastrophes naturelles en France** ».
- CCR. 2023b. « **Conséquences du changement climatique sur le coût des catastrophes naturelles en France à horizon 2050** ».
- CCR. 2023c. « **Efficacité des plans de prévention des risques d'inondation sur le coût des dommages assurés: estimation des impacts passés, présents et futurs** ».
- Cour des Comptes. 2024a. « **Chapitre 1 - L'adaptation des logements au changement climatique** ». In Rapport public annuel : l'action publique en faveur de l'adaptation au changement climatique. Vol. 1.
- Cour des Comptes. 2024b. « **Chapitre 6 - La prise en compte de l'adaptation au changement climatique dans la politique immobilière de l'État** ». In Rapport public annuel : l'action publique en faveur de l'adaptation au changement climatique. Vol. 1.
- García-León, David, Ana Casanueva, Gabriele Standardi, Annkatrin Burgstall, Andreas D. Flouris, et Lars Nybo. 2021. « **Current and Projected Regional Economic Impacts of Heatwaves in Europe** ». Nature Communications 12 (1): 5807.
- HCC. 2021. « **Renforcer l'atténuation, engager l'adaptation** ».
- I4CE. 2022a. « **Les bâtiments face aux nouvelles vagues de chaleur : investir aujourd'hui pour limiter la facture demain** ».
- I4CE. 2022b. « **Se donner les moyens de s'adapter aux conséquences du changement climatique en France : De combien parle-t-on ?** ».
- I4CE. 2023. « **Panorama des financements climat - édition 2023** ».
- Ledoux. 2023. « **RGA : N'attendons pas que ce soit la cata** ».
- Météo France. 2010. « **Projet CLIM2 : Climat urbain et climatisation** ».
- OID. 2021. « **Guide des actions adaptatives au changement climatique** ».
- OID. 2023. « **Comment calculer les coûts de l'action et de l'inaction pour le secteur immobilier ?** » OID (blog). 10 janvier 2023.
- OID. 2024. « **Évaluation de l'exposition aux aléas climatiques du parc de bâtiments en France hexagonale** ».
- Santé publique France. 2021. « **Évaluation monétaire des effets sanitaires des canicules en France métropolitaine entre 2015 et 2020** ».
- Sénat. 2023. « **La sécheresse ébranle les fondations du régime CatNat** ». Rapport d'information 354.
- Szewczyk, Wojciech, Ignazio Mongelli, et Juan-Carlos Ciscar. 2021. « **Heat Stress, Labour Productivity and Adaptation in Europe—a Regional and Occupational Analysis** ». Environmental Research Letters 16 (10): 105002.
- Vigié, Vincent, Aude Lemonsu, Stéphane Hallegatte, Anne-Lise Beaulant, Colette Marchadier, Valéry Masson, Grégoire Pigeon, et Jean-Luc Salagnac. 2020. « **Early Adaptation to Heat Waves and Future Reduction of Air-Conditioning Energy Use in Paris** ». Environmental Research Letters 15 (7): 075006.



# INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT TERRESTRE : RÉSEAUX ROUTIERS NATIONAUX ET DÉPARTEMENTAUX ; RÉSEAU FERRÉ NATIONAL

## Résumé

Le réseau ferroviaire et les routes françaises sont des infrastructures stratégiques dont la fiabilité est à la fois un enjeu de cohésion territoriale et de vitalité économique. Le niveau d'adaptation de ces infrastructures au changement climatique est aussi une condition de résilience de l'économie en général.

Les investissements déjà envisagés pour entretenir et rénover ces réseaux contribuent à les rendre plus adaptés notamment en résorbant des retards de maintenance. Cependant ces améliorations se révéleront insuffisantes au-delà de certains niveaux de réchauffement malheureusement plausibles.

Ne pas plus anticiper ce serait se résoudre à voir grossir la facture annuelle de réparation des dommages causés par les aléas climatiques (reconstruction post aléa ou réduction de la durée de vie des équipements) et à voir se dégrader le niveau de service. La tempête Alex en 2020 ou les canicules des étés 2019 ou 2022 donnent un aperçu de la réalité de ces coûts – en **centaines de millions d'euros annuels** – qui augmenteraient.

Il existe pourtant des solutions de réduction des vulnérabilités en amont pour anticiper la plupart des risques liés au changement climatique. Une partie de ces solutions peut être déployée en même temps – et pour un surcoût modéré – que d'autres travaux déjà prévus, par exemple de modernisation. D'autres options nécessitent des investissements additionnels qui pourraient représenter des **centaines de millions voire des milliards d'euros** qui devraient s'inscrire dans des stratégies d'interventions qui restent à construire, sur la base d'études de vulnérabilité plus précises.

Dans tous les cas, des mesures d'adaptation organisationnelles sont à mettre en œuvre pour s'assurer que les gestionnaires, les opérateurs et les autorités organisatrices soient les mieux armés possibles pour faire face aux évolutions du climat. Ces mesures de développement des connaissances, de planification, de capacité de surveillance, d'intervention et de coordination représentent quelques **dizaines de millions d'euros par an** de dépenses additionnelles mais permettront de garantir la bonne utilisation des milliards d'investissements dans les infrastructures de transport.

## Une robustesse des réseaux qui s'améliore mais ne suffira probablement pas au regard des niveaux de changement climatique attendus

**L'entretien régulier de réseaux en bon état de fonctionnement est la première condition de leur adaptation.** La montée en charge récente des programmes d'investissement – par exemple dans la régénération ferroviaire – génère donc un important cobénéfice en matière d'adaptation. En effet, les travaux réalisés permettent à la fois de résorber des vulnérabilités liées à l'ancienneté et de déployer des équipements conçus selon des standards plus exigeants. Au contraire, les risques liés aux impacts du changement climatique accentuent les vulnérabilités partout où les retards de maintenance, d'entretien ou de rénovation s'accumulent.

**Les programmes de modernisation et de renouvellement actuels ne permettront cependant pas de garantir une adaptation suffisante – notamment pour des niveaux de réchauffement plus forts.** D'une part

ces programmes ne concernent pas tous les composants vulnérables des réseaux (le renouvellement routier ne prévoit par exemple pas la reprise des ouvrages d'assainissement). D'autre part si les référentiels et niveaux de standards aujourd'hui utilisés prennent mieux en compte le climat actuel<sup>1</sup>, ils n'intègrent pas systématiquement les projections climatiques futures et pourraient donc mener à des sous-dimensionnements ou à des choix techniques non adaptés. Le risque est que les gestionnaires de réseau aient en permanence « un temps de retard » (*Cour des Comptes. 2024*).

1. L'amplitude thermique prise en compte lors de la pose de nouveaux rails a par exemple déjà été adaptée suite à la canicule de 2003.



## Sans anticipation supplémentaire on doit donc s'attendre à une hausse continue des coûts subis

DEUX TYPES DE COÛTS DÉJÀ IMPORTANTS AUJOURD'HUI ET UNE TENDANCE DÉJÀ À LA HAUSSE<sup>2</sup>

### COÛTS D'ADAPTATION RÉACTIVE POUR LES GESTIONNAIRES D'INFRASTRUCTURES

### PERTES ÉCONOMIQUES ET SOCIO-ÉCONOMIQUES

**Coûts de réparations suite à des événements climatiques** - des épisodes récents montrent que les sommes peuvent vite être importantes

Ex. La tempête Alex en octobre 2020 a ainsi fortement endommagé plus de **70 km de route** - **500 M€** ont été nécessaires pour les réparations (CGEDD et IGA 2021)

Entre 2009 et 2021, SNCF Réseau a connu cinq événements climatiques majeurs pour un montant total de **38 M€** dont **25 M€** suite à la tempête Alex (Cour des Comptes 2024)

**Coûts d'entretien et de maintenance** - les conditions climatiques peuvent affecter l'infrastructure de manière plus progressive

Sur les réseaux routiers départementaux, de premières conséquences ont été observées mais non chiffrées lors des canicules de 2019 (CGEDD 2020)

Ex. Une baisse de 30 à 50% de la durée de vie des infrastructures est déjà observée en montagne du fait des conditions climatiques (Cour des comptes 2022)

Ex. 608 439 minutes perdues et 3 478 trains supprimés en 2022 pour cause réseau intempéries soit **plusieurs millions d'euros** de pertes de péages (SNCF Réseau 2023)

Ex. **17,5 M€** de pertes d'exploitation pour SNCF lors des 3 mois de fermeture de la voie Montpellier-Béziers à la suite des inondations de 2019 (Cour des Comptes 2024)

Ex. 149 100 minutes de retard cumulées lors des 2 épisodes de canicule de 2019 soit **plusieurs centaines de milliers d'euros** par jour (CGEDD 2020)

**Pertes de recettes** - les alés climatiques affectent le niveau de service et donc les recettes des gestionnaires

**Pertes socio-économiques :** la diminution du niveau de service et de la qualité de l'offre se répercute sur toute l'économie

Ex. 10 jours d'interruption sur l'A10 en 2016 pour cause d'inondation ont coûté **4,9 M€** à Cofiroute en pertes de péage (CGEDD 2016)

13 M€ de pertes socio-économiques par an en moyenne sur la période 2018 à 2021 pour les usagers du réseau ferré du fait des intempéries dans une estimation basse (Cour des comptes 2024)

Ex. Le CGDD évaluait en 2017 à **2M€** les pertes socio-économiques associées une rupture de deux mois du trafic sur une ligne ferroviaire secondaire et à **40M€/an** les pertes socio-économiques qui seraient associés à la rupture d'un pont routier comme le Viaduc du Var (CGDD 2017)

@I4CE\_

2. À ce jour, il n'existe pas de modélisation prospective de l'évolution des coûts des impacts des aléas climatiques pour les infrastructures de transport en France du même type que celles conduites par la CCR sur le parc de bâtiments ou le réseau électrique. Une telle modélisation – mobilisant par exemple la simulation à climat constant serait très utile à développer.

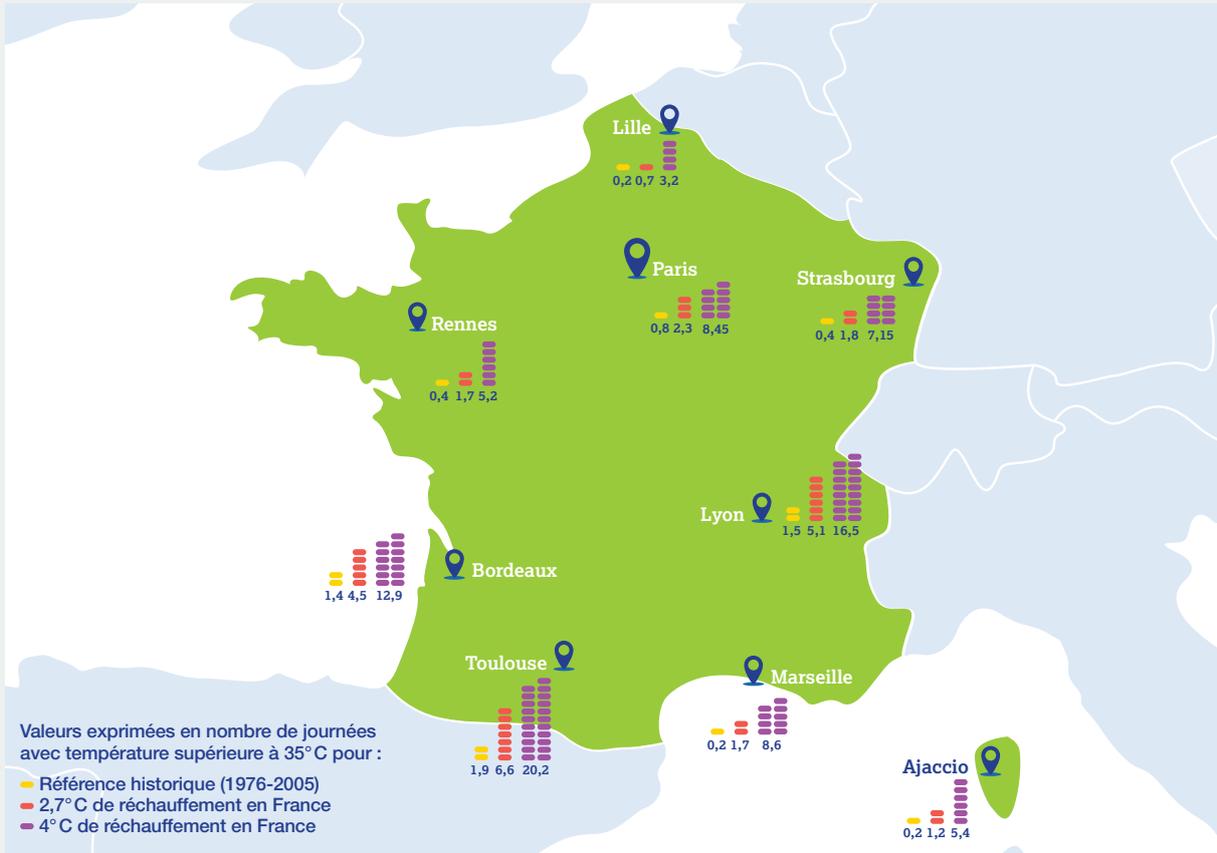


## Les facteurs qui génèrent ces coûts se renforcent avec le changement climatique



### EX. NOMBRE DE JOURS AVEC TEMPÉRATURE SUPÉRIEURE À 35°C SELON LE NIVEAU DE RÉCHAUFFEMENT

(TEMPÉRATURE AU-DELÀ DE LAQUELLE CERTAINS COMPOSANTS DES SYSTÈMES DE MOBILITÉ PEUVENT SE DÉFORMER OU MOINS BIEN FONCTIONNER)



Source : I4CE à partir de <https://pnacc3.climint.com/> (Callendar)

©I4CE\_



“ Le changement climatique se traduit également par une augmentation de la fréquence et de l’ampleur des inondations.” (GIEC 2022)

“ À + 3 °C de réchauffement mondial, l’intensité des pluies extrêmes quotidiennes fortes pourrait augmenter en France, notamment sur une large moitié Nord tandis que les incertitudes sont plus importantes sur la moitié Sud.” (Haut Conseil pour le Climat 2024)



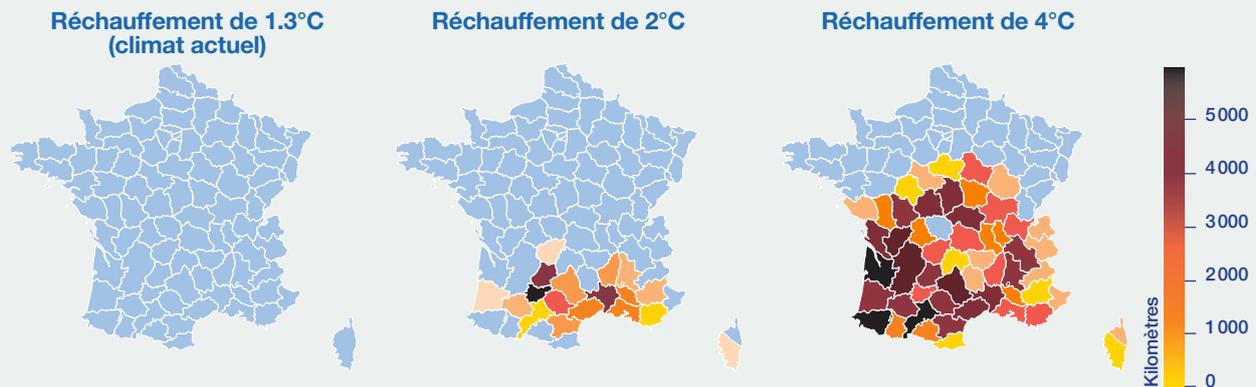
Ce qui va mécaniquement augmenter la part des réseaux exposée et donc les besoins de réparation, d'entretien ainsi que les risques de pertes si rien n'est

fait pour réduire la vulnérabilité des infrastructures en amont.

#### EX. PROPORTIONS DES RÉSEAUX EXPOSÉS À UN RISQUE FORT OU TRÈS FORT DU FAIT DES FORTES CHALEURS

	CLIMAT ACTUEL	FRANCE À 2°C	FRANCE À 4°C
RÉSEAU FERRÉ	1 %	2 %	46 %
RÉSEAUX ROUTIERS	2 %	11 %	75 %

Exemple : routes départementales exposées à des températures >35°C plus de 10 jours par an en moyenne



Source : analyse Callendar<sup>3</sup>

La chaleur et l'inondation sont actuellement les risques les plus coûteux pour les systèmes de transport. Ces derniers seront néanmoins aussi affectés par l'augmentation d'autres risques (feux de forêt, retrait-gonflement des

argiles, mouvements de terrain, érosion en zone côtière, etc.). Des démarches plus détaillées d'analyse des vulnérabilités seront nécessaires pour qualifier plus finement ces évolutions en tenant compte des contextes locaux<sup>4</sup>.

## Des options existent pour mieux anticiper

Sans forcément réduire à zéro le niveau de risque, différentes options d'anticipation sont déjà disponibles pour minimiser les impacts subis et garder la maîtrise des coûts.

Ces options peuvent être déployées dans le temps de façon organisée et mieux répartie entre les acteurs :

3. Callendar est une startup française spécialisée dans l'évaluation des risques climatiques qui a réalisé dans le cadre de cette étude des analyses géographiques de l'exposition des réseaux de transport à différents aléas climatiques. <http://calendar.tech/>

4. SNCF Réseau a déjà conduit de premières études sur son réseau concluant, en l'absence d'adaptation, à une multiplication significative des irrégularités (avec une fourchette allant de x2 en 2050 à x11 en 2100 selon le scénario de réchauffement (*Cour des Comptes 2024*)). Des études plus précises sur la base des hypothèses de la Trajectoire de réchauffement de référence sont prévues. Pour le réseau routier national, une étude de vulnérabilité nationale a été initiée et devrait aboutir en 2025.



### DES SURCOÛTS RELATIVEMENT LIMITÉS DANS DES PROGRAMMES EXISTANTS

- **Des nouvelles infrastructures adaptées par conception.**
- **Intégrer l'adaptation aux programmes de régénération et de modernisation<sup>5</sup>.**

Peu de retours d'expérience précis sur les surcoûts associés à des exigences plus fortes intégrées dès la conception dans les programmes de construction/ rénovation. La Stratégie Européenne d'Adaptation évoque un surcoût de 3%<sup>6</sup> qui pourrait masquer des situations très hétérogènes. Avec des surcoûts parfois nuls et localement plus significatifs – de l'ordre de 15 à 20% par exemple pour des enrobés routiers plus robustes voire ponctuellement beaucoup plus, s'il s'agit par exemple de retenir l'option d'un viaduc au lieu de buses d'évacuation des eaux.

À titre illustratif 1% de l'investissement annuel dans les infrastructures ferroviaires représentent environ 50 millions d'euros par an ; 1% dans les dépenses de voirie des administrations publiques 90 millions d'euros par an.

### DES COÛTS ORGANISATIONNELS FAIBLES MAIS CRITIQUES

Les mesures d'adaptation « en dur » ne pourront être bien déployées que si elles sont précédées et complétées par des mesures plus organisationnelles. Ces dernières, souvent peu onéreuses, sont des actions à « faible regret ». Il s'agit par exemple :

- De se doter d'outils de pilotage pour mieux tenir compte des paramètres climatiques dans la planification, l'exploitation et la maintenance (ex. services climatiques, monitoring, maintenance prédictive) ;
- De renforcer les capacités organisationnelles de chaque gestionnaire à faire face (ex. diversification des compétences, renforcement des capacités de réponse).

➔ Ces efforts organisationnels représentent quelques **dizaines de millions d'euros annuels**<sup>7</sup>.

### DE POTENTIELS BESOINS DE PROGRAMMES D'INVESTISSEMENT DÉDIÉS

Sur la base des résultats d'étude de vulnérabilité, des enjeux particuliers pourraient être identifiés. Selon les choix stratégiques de réponse qui seront apportés, des investissements additionnels pourraient être nécessaires. Par exemple :

- Travaux ciblés sur des points chauds des réseaux (ex. isolation de postes électriques) ;
- Reprises d'ouvrages d'assainissement routier :
  - Des travaux qui peuvent aller de **2 millions d'euros** (pour des buses simples) à **40 millions d'euros** pour des ouvrages d'art complexes ;
  - De très nombreux ouvrages de nature diverse possiblement concernés : ex. plus de 2 500 buses connues sur le Réseau routier national.

@I4CE\_

➔ **Le défi actuel va être de bien dimensionner en fonction du niveau de service jugé socialement souhaitable :**

#### **Par exemple :**

redimensionner tous les ouvrages hydrauliques qui préservent les infrastructures des inondations pourrait représenter des centaines de millions voire des milliards d'euros et des travaux très impactants. Mais ce n'est pas la seule stratégie envisageable – au cas par cas il est possible de combiner différents niveaux de réponse :

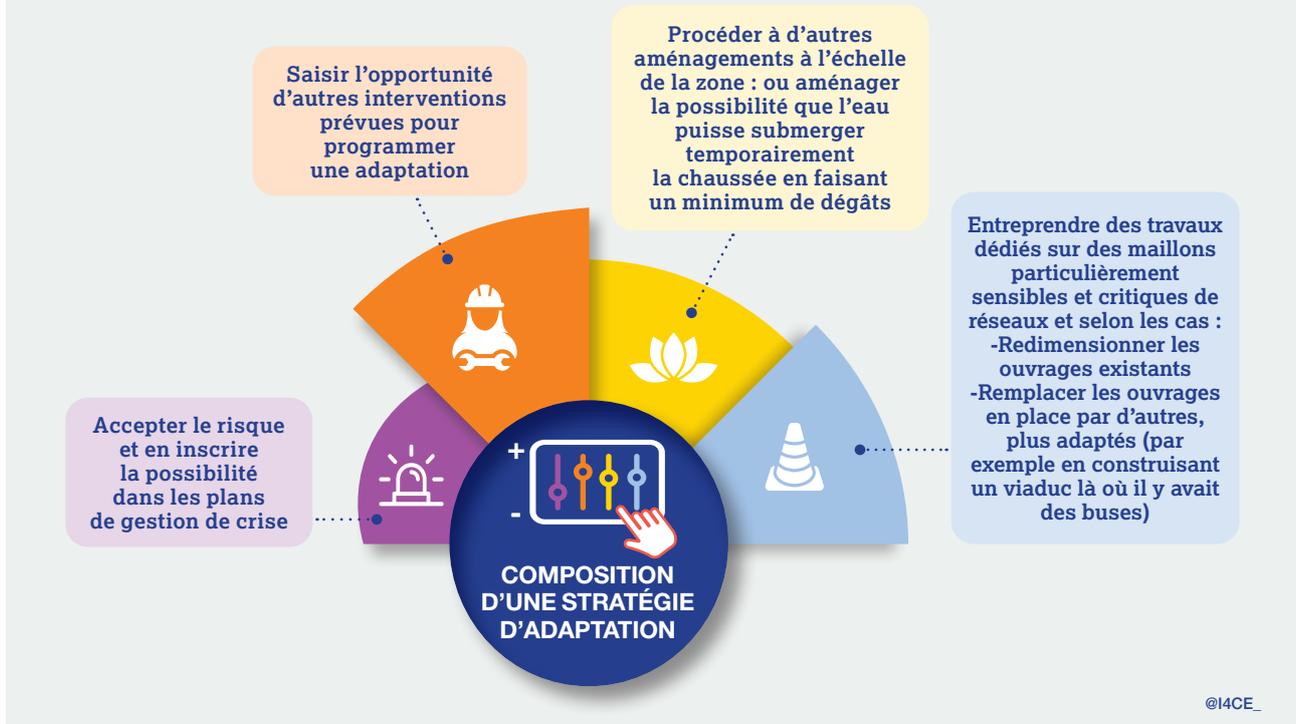
5. La Cour des Comptes donne l'exemple de « la température de libération des rails, établie de manière standard à 25°C sur l'ensemble du réseau ferroviaire [qui] pourrait être relevée lors de toutes les opérations de renouvellement des voies dans les régions les plus exposées aux grandes chaleurs » (Cour des Comptes 2024).

6. L'hypothèse de 3% de surcoût est celle retenue par la Stratégie Européenne (2021) à partir de références internationales. Cette valeur indicative ne doit pas être surinterprétée. Des retours d'expérience plus spécifiques au contexte français seraient utiles – nous n'avons pas été en mesure d'en documenter précisément, les exemples de projets prenant en compte l'adaptation en conception ne faisant généralement pas le travail comparatif de leurs coûts avec ou sans prise en compte du changement climatique.

7. Cette estimation a été réalisée dans le cadre de ce projet à partir des coûts d'actions individuelles que nous avons pu réunir lors d'entretiens ou déduire de la littérature. À titre d'exemple nous retenons qu'une augmentation de 20% des dépenses de gestion de la végétation (correspondant au type d'hypothèses basses d'extension du risque que nous avons pu formuler par ailleurs, QuantiAdapt 2022) représenterait plus de **30 millions d'euros par an** pour un gestionnaire comme SNCF Réseau. Elle sera à préciser en fonction des stratégies propres à chaque gestionnaire.



## COMPOSER UNE STRATÉGIE D'ADAPTATION : UN MIX DE PLUSIEURS OPTIONS



Jusqu'à aujourd'hui ni les exigences réglementaires ni les incitations économiques n'ont été suffisantes pour faire émerger des stratégies globales d'adaptation. Compte-tenu de l'importance des réseaux routiers et du réseau ferré pour l'économie nationale et la cohésion des territoires, des politiques publiques plus volontaristes sont donc nécessaires pour structurer ces débats et formuler les arbitrages (*Cour*

*des Comptes. 2024*). Ces politiques devront reposer sur des analyses de vulnérabilité précises et réellement appropriées par les gestionnaires et les opérateurs. Mobiliser les **quelques millions d'euros** nécessaires à la conduite de ces analyses<sup>8</sup> est la toute première étape pour construire des programmes d'adaptation à la hauteur des changements climatiques en cours qui pourront et devront alors être budgétés.

## Sources et références

- ART. 2023. « *Scénarios de long terme pour le réseau ferroviaire français (2022-2042)* ».
- Banque Mondiale. 2019. « *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity* ».
- CEREMA. 2021. « *Impact du changement climatique sur les ouvrages d'art en France : conseils aux gestionnaires et concepteurs* ».
- CGDD. 2017. « *Thema - Indisponibilité d'une infrastructure de transports Mesurer et réduire les coûts* »
- COI. 2023. « *Investir plus et mieux dans les mobilités pour réussir leur transition* ».
- CGEDD. 2016. « *Coupure de l'autoroute A10 et autres infrastructures lors des inondations de fin mai 2016* ».
- CGEDD. 2020. « *Retour d'expérience sur l'épisode caniculaire et la sécheresse 2019* ».
- CGEDD, et IGA. 2021. « *Retour d'expérience des intempéries des 2 et 3 octobre 2020 dans les Alpes Maritimes* ».
- Cour des comptes. 2021. « *Le réseau ferroviaire français : des évolutions significatives mais des choix nécessaires à venir* ».
- Cour des comptes. 2022. « *Entretien routes nationales et départementales* ».
- Cour des Comptes. 2024. « *Chapitre 5 - L'adaptation du réseau ferroviaire national au changement climatique* ». In Rapport public annuel : l'action publique en faveur de l'adaptation au changement climatique.
- ONR. 2023. « *Rapport 2023 de l'Observatoire National de la Route* ».

8. Il faut compter quelques centaines de milliers euros pour une étude de vulnérabilité générale à l'échelle d'un réseau régional ; des montants de l'ordre de 3 à 5000 €/km pour des analyses plus précises (ex. études hydrologiques à hauts-rendements).



# PRODUCTIONS AGRICOLES VÉGÉTALES

## Résumé

L'impact du changement climatique sur l'agriculture française est déjà manifeste et se traduit par des pertes de rendements, des dommages matériels et des pertes de revenus. En réponse, des dispositifs publics sont mobilisés pour atténuer une partie de ces coûts. Les très récentes inondations dans le nord de la France, les périodes de sécheresse prolongée ou encore les épisodes de gel tardif de ces dernières années donnent un aperçu des montants en jeu qui se chiffrent déjà en **milliards d'euros par an**.

La tendance globale est bien celle d'un effet de plus en plus négatif du changement climatique sur la production. Face à cette réalité, le secteur s'adapte progressivement, privilégiant des évolutions incrémentales. Différentes politiques publiques participent également à cette adaptation spontanée, notamment en soutenant des actions comme les mesures agroécologiques ou les efforts de R&D qui présentent des cobénéfices en matière d'adaptation ou via des plans visant à mieux répondre aux crises. Ces politiques mobilisent des budgets **de la dizaine à la centaine de millions d'euros par an**.

Cependant, ces mesures d'adaptation restent insuffisantes, et un consensus émerge en faveur d'une approche plus proactive. Les leviers d'une telle action sont identifiés mais les coûts de leur déploiement sont mal appréhendés. Une analyse originale réalisée dans le cadre de ce projet par FINRES a permis d'identifier des combinaisons de mesures parmi un panier de solutions technologiques qui permettraient des bénéfices nets sur la production pour des niveaux de réchauffement jusqu'à +4°C en France. Les coûts totaux de ces mesures (qui ne recouvrent qu'une partie des leviers d'adaptation disponibles), si toutes étaient déployées à l'échelle de la ferme France et à assollement constant, avoisinerait les **1,5 milliard d'euros par an** au cours de la prochaine décennie.

Pour des niveaux de réchauffement limités les adaptations incrémentales pourraient être suffisantes, mais au-delà, des transformations seront à engager. Évaluer les investissements nécessaires pour ces transformations est complexe, car elles impliquent un changement systémique de modèle agricole.

## Des effets du changement climatique sur l'agriculture française déjà avérés

Plusieurs rapports de référence concluent sans ambiguïté que les impacts du changement climatique sur l'agriculture française sont déjà là :



***Des impacts déjà clairement perceptibles, avec une tendance à l'accélération.***  
(CGAAER 2023)



***En France, les conséquences du changement climatique sur les rendements des cultures et de l'élevage sont déjà visibles, et vont continuer à s'amplifier.***  
(HCC 2024)

**Ces impacts s'accompagnent de coûts importants pour le secteur.** Ces coûts affectent à la fois le revenu des agriculteurs ; la souveraineté alimentaire française ; les capacités d'exportation et les prix de l'alimentation. Ils se maté-

rialisent sous forme de pertes de rendements occasionnant des pertes de revenus et de dégâts matériels – notamment sur les cultures pérennes et le matériel – et se chiffrent déjà en **milliards d'euros par an**.



Dans son rapport de 2024, le Haut conseil pour le climat dresse un panorama des coûts répertoriés ces dernières années :

## PANORAMA DES COÛTS DES IMPACTS RÉPERTORIÉS PAR LE HAUT CONSEIL POUR LE CLIMAT (2024)

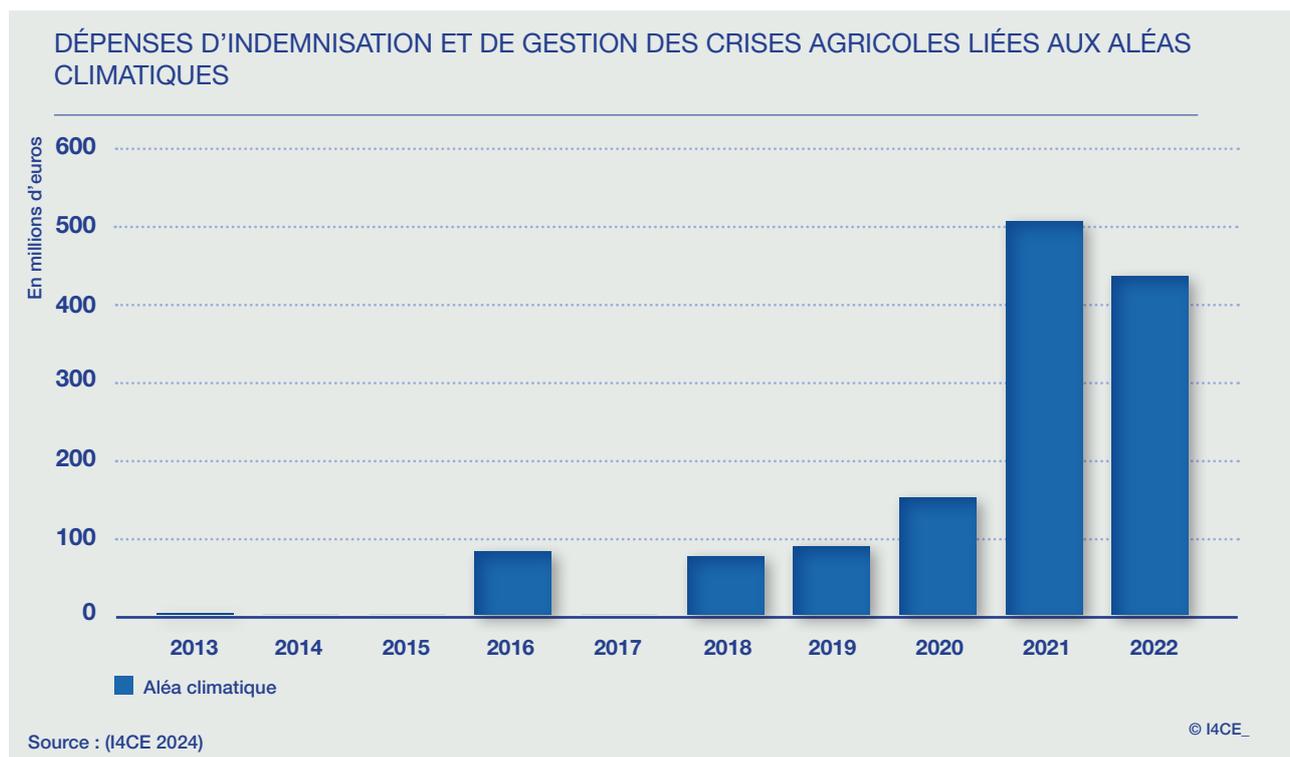


@I4CE\_



Compte tenu de l'importance économique, commerciale et politique du secteur agricole en France, différents dispositifs publics sont régulièrement mobilisés pour prendre en charge une partie de ces coûts. Cette socialisation des risques prend par exemple la forme de subventions publiques

au régime d'assurance récolte – jusqu'à **600 millions d'euros par an** – ou d'aides ponctuelles par exemple sous forme d'exonération de cotisations sociales. Comme le relève une étude d'I4CE, les dépenses publiques liées aux aléas climatiques ont fortement augmenté ces cinq dernières années<sup>1</sup> :



L'augmentation observée est « essentiellement liée à des épisodes récurrents de sécheresse généralisée dans de nombreuses régions de France. Certains montants pon-

ctuellement élevés sont liés à des interventions publiques importantes suite à des épisodes de gel (**410 millions d'euros** en 2021 par exemple) » (I4CE 2024).

## Une tendance globalement à la hausse

Bien que des incertitudes demeurent sur les conséquences précises du changement climatique sur l'agriculture française<sup>2</sup> – qui peuvent être très différentes d'une produc-

tion à l'autre et d'une région à l'autre – la tendance globale est bien celle d'un effet de plus en plus négatif sur la production :



***Avec un réchauffement planétaire de l'ordre de +2 °C à horizon 2050, sans adaptation supplémentaire, les cultures seraient exposées en France à des pertes de rendement additionnelles, particulièrement pour des cultures d'été comme le maïs .» (HCC 2024)***

1. Les montants indiqués sur cette figure sont un minimum : une part non négligeable des dépenses n'étant pas directement identifiable comme « liées aux aléas climatiques ».

2. Parmi les principaux facteurs d'incertitude on peut noter la disponibilité en eau ou la part de l'effet fertilisation du CO<sub>2</sub>. Les réponses peuvent également varier en fonction des indicateurs considérés : parle-t-on des effets sur les rendements moyens, sur la fréquences et l'intensité des extrêmes climatiques, sur la variabilité autour de la moyenne ?



## Les adaptations déjà à l'œuvre

**Face à des impacts déjà constatés des changements climatiques, le secteur s'adapte de façon spontanée – jusqu'ici en privilégiant des évolutions incrémentales, sans rupture fondamentale des modèles de production (HCC 2024; CGAAER 2023).** Ces adaptations prennent par exemple la forme de décalages des calendriers agricoles (plan-

ter ou récolter plus tôt par exemple), de choix de variétés plus résistantes à la sécheresse, de premiers efforts de diversification ou de changements de pratiques – par exemple de taille des vignes ou des arbres face au risque de gel. Il est très difficile d'évaluer les coûts pour les agriculteurs de ces mesures d'adaptation mises en œuvre au fil de l'eau et de nature très diverse.

### DES POLITIQUES PUBLIQUES CONTRIBUENT ÉGALEMENT À L'ADAPTATION INCRÉMENTALE DE L'AGRICULTURE

#### DES POLITIQUES AVEC DES CO-BÉNÉFICES ADAPTATION

Certaines dynamiques déjà à l'œuvre et soutenues dans la poursuite d'autres objectifs (par exemple de décarbonation du secteur) ont des cobénéfices avérés en matière d'adaptation. Il s'agit notamment :

- **Des investissements dans le développement économique des filières :**
  - > Ex. Appels à projets France 2030 pour le financement des agroéquipements : **212 millions d'euros** (Cour des Comptes 2024).
- **Des soutiens aux mesures agroécologiques** par les Régions, les Agences de l'eau, les « éco-régimes » de la PAC ou des programmes dédiés (CGAAER 2022) :
  - > Ex. « Pacte en faveur de la haie » **110 millions d'euros par an**.
- **Des efforts de Recherche et Développement** et notamment des travaux d'amélioration génétique.

#### DES MESURES POUR MIEUX GÉRER LES URGENCES

Face aux conséquences déjà subies du changement climatique, plusieurs plans assortis de budgets significatifs ont été établis ces dernières années, notamment<sup>3</sup> :

- **Plan eau, irriguer plus de surfaces sans utiliser plus d'eau :**
  - > **30 millions d'euros par an** consacrés au soutien des pratiques agricoles économes en eau (émergence de filières peu consommatrices d'eau, irrigation au gouttes à gouttes, etc.).
  - > Constitution d'un fonds d'investissement hydraulique agricole doté de **30 millions d'euros par an** pour soutenir la rénovation du patrimoine hydraulique d'irrigation, des projets de retenues de substitution ou d'économies d'eau, ou l'utilisation d'eaux usées traitées.
- **Réforme de l'assurance agricole :**
  - > Doublement de la subvention à l'assurance et à l'indemnisation des pertes de récolte : **de 300 à 600 millions d'euros par an**.

Comme le note le CGAAER (2022) « **consolider et renforcer le soutien à ces dynamiques constitue un premier type d'adaptation « incontournable »** notamment dans certaines filières qui font encore face à des besoins « considérables » – par exemple des besoins de recherche pour l'arboriculture.

**Cette forme d'adaptation semble néanmoins insuffisante et un consensus de plus en plus fort émerge en faveur d'une action plus proactive :**



**Force est cependant de constater que, malgré une réelle prise de conscience, la réponse du secteur agricole n'est pas encore suffisante.** (CGAAER 2023)



**L'adaptation des activités agricoles aux effets négatifs observés du changement climatique est réactive, mais pas suffisamment transformatrice pour assurer leur résilience face aux multiples facteurs générateurs d'impacts qui vont continuer à s'intensifier.** (HCC 2024)

3. Cette liste ne prétend pas être exhaustive, d'autres dispositifs pourraient y être cités, par exemple d'autres appels à projets du programme France 2030 comme celui en faveur de la protection contre les aléas climatiques (**175 millions d'euros**) ou certaines actions financées via le compte d'affectation spéciale développement agricole et rural dans le cadre du plan d'adaptation présenté par les Chambres d'agriculture.



## Les options d'adaptation bien connues

**Les leviers d'une action d'adaptation plus ambitieuse sont bien identifiés.** Il n'y aura pas de réponse unique mais bien des paniers de solutions - « des changements de cultures, de pratiques culturales, de systèmes culturaux, des améliorations génétiques, un couvert végétal permanent des sols, et de l'irrigation là où la ressource le permet » (CGAAER 2023) - propre à chaque contexte territorial.

Dans le cadre du Varenne de l'eau et de l'adaptation au changement climatique, un travail collectif a ainsi permis de dresser un inventaire de 100 leviers techniques, déclinés à trois échelles - de l'exploitation, de la parcelle et de l'animal (dimension non abordée ici). Outre les efforts de recherche et innovation, trois principaux domaines d'action sont identifiés (i) Les actions relatives à la ressource en eau ; (ii) la sélection génétique et (iii) l'évolution des pratiques agricoles.

### LES LEVIERS D'ADAPTATION À L'ÉCHELLE DE L'EXPLOITATION ET DE LA PARCELLE

#### AGIR À L'ÉCHELLE DE L'EXPLOITATION

##### ADAPTER L'ASSOLEMENT

- Diversifier les espèces et les variétés cultivées,
- Adopter une stratégie d'esquive des stress
- Choisir des espèces ou des variétés adaptées
- Adapter la taille et la forme des parcelles



##### PILOTER LA RESSOURCE EN EAU

- Mobiliser des ressources en eau renouvelables
- Assurer une bonne répartition des apports et limiter les pertes
- Piloter l'irrigation

#### AGIR À L'ÉCHELLE DE LA PARCELLE

##### AMÉLIORER LES PROPRIÉTÉS DU SOL

- Adapter le travail du sol
- Apporter de la matière organique dans le sol
- Limiter le tassement

##### OPTIMISER LA CONDUITE DES CULTURES PÉRENNES

- Réduire l'échauffement au soleil
- Optimiser les techniques de greffe
- Optimiser l'implantation



##### CULTIVER SOUS ABRIS

- Cultiver à l'ombre
- Contrôler le climat sous serre

##### ASSURER UNE COUVERTURE RÉGULIÈRE DU SOL

- Favoriser la présence de couverts
- Pailler ou mulcher

##### METTRE EN PLACE DES INFRASTRUCTURES AGROÉCOLOGIQUES

- Maintenir les talus et les entretenir
- Favoriser la présence d'arbres

À partir de l'infographie « Quels leviers d'adaptation au changement climatique ? Gérer les stress hydrique et thermique » Varenne agricole Eau et Changement Climatique<sup>4</sup>

@I4CE\_

4. Infographie réalisée par la cellule de coordination nationale ACTA, APCA et INRAE de Recherche Innovation Transfert dédiée à accélérer la diffusion et le transfert de solutions au bénéfice de la transition agroécologique, en collaboration avec le RMT ClimA. Plus d'informations [www.geco.ecophytopic.fr](http://www.geco.ecophytopic.fr). (2022).



**Estimer les coûts de déploiement à l'échelle de mix de solutions mobilisant au mieux ces différents leviers reste un défi. Néanmoins de premières évaluations permettent de préciser les ordres de grandeur dont il est question.**

Une analyse originale réalisée dans le cadre de ce projet par la start-up FINRES<sup>5</sup> a permis d'identifier des combinaisons de mesures parmi un panier de solutions technologiques (cf. encadré) qui permettraient des bénéfices nets sur la produc-

tion, quel que soit le niveau de réchauffement, jusqu'à +4°C. Les coûts totaux de ces mesures, si toutes étaient déployées à l'échelle de la ferme France et à assolement constant, avoisineraient les **1,5 milliard d'euros par an** au cours de la prochaine décennie. Ces résultats font aussi apparaître que des formes d'adaptation fondées sur l'irrigation sont loin d'être toujours les plus intéressantes, notamment du fait des coûts de l'énergie et de l'entretien qu'elles impliquent<sup>6</sup>.

## ENCADRÉ : L'ANALYSE MENÉE PAR FINRES<sup>7</sup>

L'analyse menée par FINRES s'est appuyée sur un processus d'apprentissage automatique pour établir, par culture, un modèle statistique liant les rendements à un ensemble de variables climatiques. Ce modèle a été utilisé pour établir des projections de rendement pour différents niveaux de réchauffement à partir des projections climatiques régionalisées les plus récentes, d'abord sans mesures d'adaptation puis en testant différentes mesures et combinaisons de mesures pour retenir les plus efficaces pour augmenter le rendement et préserver des pertes liées aux aléas climatiques. L'analyse a été effectuée sur 9 cultures – soja ; blé d'hiver ; maïs irrigué et non irrigué ; vigne ; tournesol ; sorgho ; pois

secs et betterave sucrière – se voulant représentatives des types de productions en France<sup>8</sup>. Le travail a été effectué par « clusters géographiques » (i.e. zones partageant des caractéristiques climatiques et physiques : ex. grandes plaines, collines, montagnes) et couvre 86 % de la surface agricole française. Les technologies d'adaptation testées ont été les suivantes : irrigation ; brise-vent (artificiel ou naturel avec de l'agroforesterie) ; ombrage (artificiel ou naturel avec de l'agroforesterie) ; serres agricoles. Les coûts de l'ensemble des combinaisons de mesures – résolues à une échelle fine – permettant d'obtenir des bénéfices nets en matière d'adaptation sur une période de 10 ans ont été agrégés à l'échelle nationale.

Une des conclusions de l'analyse est que seules certaines mesures d'adaptation présentent des bénéfices pour l'exploitation à même de compenser leurs coûts. Cela n'implique pas forcément que les autres ne puissent pas être pertinentes mais que le choix de les mettre en œuvre ou pas dépasse la logique uniquement économique. Ce constat permet d'introduire les discussions nécessaires sur la distribution des coûts de l'adaptation et les modalités de son financement. D'autres paramètres non intégrés à cette analyse comme les effets sur la balance commerciale ou l'importance sociale et environnementale de l'agriculture doivent alors être pris en considération.

Les technologies étudiées par cette analyse ne recouvrent qu'une partie des leviers d'adaptation disponibles. Des études complémentaires seraient nécessaires pour évaluer par exemple si une évolution des assolements ou des subs-

titutions de cultures (en remplaçant par exemple le maïs par des cultures moins exigeantes en eau dans certaines régions) pourraient permettre de maintenir des niveaux de production à moindre coût (DIVAE 2023).

5. FINRES est une entreprise spécialiste de la modélisation des coûts de l'adaptation du secteur agricole <https://finres.org/about-us/>

6. Sans comptabiliser les coûts des infrastructures collectives qui seraient nécessaires pour capter, stocker et acheminer la ressource. En tout premier ordre de grandeur, le CGAAER donnait l'estimation suivante en 2022 « Actuellement 3 milliards de mètres cubes d'eau sont prélevés, la mission part de l'hypothèse de doubler ce volume par du stockage supplémentaire (retenir l'eau d'hiver pour l'été) au prix moyen de 6 euros par mètre cube soit la somme de **18 milliards d'euros** d'investissement ».

7. Les résultats détaillés par région et par culture feront l'objet d'une publication dédiée courant 2024.

8. Pour des raisons de disponibilité des données et de contraintes de temps liées à l'étude, les productions fourragères essentielles pour l'agriculture française n'ont pas pu être traitées mais pourraient faire l'objet de développements ultérieurs.



## Une absence de consensus sur le niveau et le rythme de transformation nécessaires

Ces premières évaluations renseignent sur les actions envisageables mais ne dessinent pas une seule trajectoire d'adaptation possible. Face à l'évolution des risques climatiques plusieurs attitudes peuvent en effet être privilégiées

en fonction de l'objectif poursuivi. Deux voies principales sont fréquemment opposées (CGAAER 2023). À chacune de ces voies correspond une logique d'adaptation particulière :

**VOIE 1 :**  
**LA POURSUITE D'UN NIVEAU ÉLEVÉ DE RENDEMENTS EN ACCEPTANT LE RISQUE D'UNE PLUS GRANDE EXPOSITION AUX ALÉAS CLIMATIQUES ET ÉCONOMIQUES.**

**Adaptation incrémentale du modèle actuel.** Une combinaison de mesures incrémentales et de progrès qui permettent de compenser les effets négatifs du changement climatique pour préserver un niveau de rendement élevé le plus longtemps possible.

**VOIE 2 :**  
**LE CHOIX D'UNE PRODUCTION PLUS RÉSILIENTE OU PLUS CONSTANTE MAIS AU PRIX DE RENDEMENTS MOYENS PLUS MODESTES.**

**Besoin d'une trajectoire plus transformative.** Certains acteurs considèrent que préserver le modèle actuel n'est pas une option satisfaisante car trop coûteuse, trop optimiste sur l'efficacité des mesures d'adaptation ou leurs conditions de mise en œuvre (ex. disponibilité en eau), ne tenant pas suffisamment compte des autres enjeux environnementaux (ex. effets sur la biodiversité, les paysages, la qualité de l'eau ou les émissions de GES).

Ils défendent donc une transformation plus systémique du modèle agricole quitte à remettre en question certains fondamentaux, par exemple en agissant sur la demande de certains produits (consommer moins, exporter moins) : « produire de façon stable, consommer de façon sobre ».

Dans cette vision, l'adaptation passe par une diversification des variétés et des pratiques et une réduction des objectifs de rendement en conditions optimales au profit de rendements moindres mais plus stables sur une longue période malgré des perturbations importantes.

La Stratégie Nationale Bas Carbone qui fixe un cap d'évolution du système agricole pour les prochaines années prévoit des évolutions à l'échelle des exploitations mais reste optimiste sur les rendements de l'agriculture considérés constants pour tous les modes de production jusqu'en

2050. Cette hypothèse mise donc, pour compenser les effets du changement climatique, sur des évolutions techniques, génétiques et de pratiques dans des proportions qui ne sont pas détaillées (INRAE2023; Schaubberger et al. 2018).

### Est-ce que cela est satisfaisant à terme ?

Les différents rapports de référence déjà cités invitent plutôt à en douter :



**Le secteur agricole « ne pourra cependant pas se contenter de demi-mesures, [et] devra s'engager dans des modifications réellement structurantes. Les améliorations génétiques et les progrès techniques et technologiques à eux seuls ne suffiront pas.»**  
(CGAAER 2023)



**Au-delà de 2,5 °C de réchauffement planétaire, une adaptation transformationnelle est nécessaire pour abaisser les niveaux de risque et peut aider à surmonter des limites souples à l'adaptation.” (HCC 2024)**



**Selon INRAE, face aux évolutions du climat prévues pour la seconde moitié du XXI<sup>e</sup> siècle, les adaptations incrémentales ne seront probablement pas suffisantes. Il sera nécessaire de renforcer la résilience des systèmes de production, à l'aide de transformations de plus grande ampleur.”**

**(Cour des Comptes. 2024)**

### **Pour des niveaux de réchauffement limités les adaptations incrémentales pourraient être suffisantes mais au-delà des transformations seront à engager.**

Même si les horizons de décision dans le secteur agricole sont souvent inférieurs à 10 ans, certains choix engagent à plus long terme et concernent des périodes où le niveau de réchauffement pourrait être plus fort. Lorsqu'un jeune agriculteur reprend une exploitation et oriente son activité il le fait par exemple en pensant à l'échelle d'une carrière qui l'amènera au-delà de 2050. De même, une filière agro-alimentaire ne s'organise pas en quelques mois : l'expérimentation de nouvelles cultures, le développement des industries de transformation, l'ouverture de débouchés demandent la création de relations au long cours entre de multiples acteurs et façonnent des marchés pour des années. Les cycles de R&D s'étalent également sur des périodes longues : le HCC indique par exemple que « le développement de nouvelles espèces ou variétés nécessitant en moyenne de sept à dix ans ». Ces décisions-là doivent donc considérer dès maintenant la possibilité de niveau de réchauffement d'au moins +3°C en France et donc des mesures d'adaptation plus transformatives que celles déployées jusqu'ici.

**Évaluer les investissements nécessaires pour faire advenir de telles transformations est particulièrement délicat car il ne s'agit plus de connaître les coûts d'actions ponctuelles mais bien les « coûts complets d'un changement de système rendant par nature nos références caduques » (CGAAER 2023).** Il devient dès lors quasi-impossible d'isoler des coûts de l'adaptation de coûts plus systémiques liés à la réorientation de toute l'économie d'un secteur vers de nouveaux modèles.

### **Certains coûts spécifiques peuvent être identifiés mais ne sont que la face visible d'une recomposition**

**complète du modèle économique des filières.** Il s'agit par exemple des coûts d'accompagnement à l'évolution des pratiques de type diagnostics ou conseil agricole que le CGAAER estimait en 2022 à **150 millions d'euros par an sur 4 ans** (CGAAER 2022).

Parmi les coûts qui restent à évaluer, figurent par exemple les investissements dans des nouvelles capacités de production<sup>9</sup>, de transformation et de distribution ; les dépenses liées à la formation ou à des mesures de compensation pour les perdants de la transition. Les coûts de telles transformations devront être mis en perspective des coûts récurrents du maintien d'un modèle actuel.

9. À titre uniquement illustratif le CGAAER chiffrait en 2022 à **600 millions d'euros** les seuls investissements en replantation pour déplacer 10 % du verger français (CGAAER 2022).



## Sources et références

- GAAER, et CGDD. 2020. « *Changement climatique, eau et agriculture d'ici 2050* ».
- CGAAER. 2022. « *Évaluation du coût du changement climatique pour les filières agricoles et alimentaires.* »
- CGAAER. 2023. « *Appui au Délégué interministériel pour le Varenne agricole de l'eau et de l'adaptation au changement climatique - Appui à des travaux prospectifs d'identification de productions agricoles à forte résilience climatique dans les territoires.* »
- Cour des Comptes. 2024. « *Chapitre 5 - L'adaptation des cultures céréalières au changement climatique* ». In Rapport public annuel : l'action publique en faveur de l'adaptation au changement climatique. Vol. 2.
- Descrozaile, Frédéric. 2023. « *Rapport sur la gestion des risques en agriculture* ». Assemblée nationale.
- DIVAE. 2023. « *Étude Des cultures qui migrent et qui se développent à la faveur du changement climatique* ».
- Haut Conseil pour le Climat. 2024. « *Accélérer la transition climatique avec un système alimentaire bas carbone, résilient et juste.* »
- I4CE. 2024. « *Estimation des dépenses publiques liées aux crises agricoles en France entre 2013 et 2022*».
- IDDRI. 20218. « *Une Europe agroécologique en 2050 : une agriculture multifonctionnelle pour une alimentation saine* »
- Inrae. 2020. « *Place des agricultures européennes dans le monde à l'horizon 2050. Entre enjeux climatiques et défis de la sécurité alimentaire mondiale.* » Rapport de synthèse.
- Inrae. 2023. « *Propositions d'hypothèses pour le scénario AMS de la SNBC 3 pour le secteur Agriculture* »
- Schaubberger, Bernhard, Tamara Ben-Ari, David Makowski, Tomomichi Kato, Hiromi Kato, et Philippe Ciais. 2018. « *Yield Trends, Variability and Stagnation Analysis of Major Crops in France over More than a Century* ». Scientific Reports 8 (1): 16865.
- Solagro. 2016. « *Afterres 2050.* »

**I4CE**

INSTITUTE FOR  
CLIMATE  
ECONOMICS

Une initiative de la Caisse des Dépôts et  
de l'Agence Française de Développement

**[www.i4ce.org](http://www.i4ce.org)**

**INSTITUTE FOR CLIMATE ECONOMICS**  
30 rue de Fleurus - 75006 Paris

**[www.i4ce.org](http://www.i4ce.org)**  
Contact : [contact@i4ce.org](mailto:contact@i4ce.org)

Suivez-nous sur

