



RÉPUBLIQUE
FRANÇAISE

*Liberté
Égalité
Fraternité*

ADEME



AGENCE DE LA
TRANSITION
ÉCOLOGIQUE

HORIZONS
4

TRANSITION(S) 2050

CHOISIR MAINTENANT
AGIR POUR LE CLIMAT

Les enjeux de l'adaptation
au changement climatique
du secteur immobilier
dans les scénarios
Transition(s) 2050

Rapport de synthèse



SOMMAIRE

3

ÉDITO

4

RÉSUMÉ
EXÉCUTIF

5

INTRODUCTION

- 05 Changement climatique :
le double défi de l'atténuation
et de l'adaptation
- 06 Contexte de l'étude :
les scénarios Transition(s) 2050
- 07 Objectif de l'étude
- 07 Méthodologie

8

I. EXPOSITION DU
PARC IMMOBILIER
AUX ALÉAS
CLIMATIQUES
À 2050

- 08 Vagues de chaleur et îlots de
chaleur urbains
- 10 Sécheresses et retraits-
gonflements des argiles
- 12 Précipitations intenses et
inondations
- 14 Montée du niveau de la mer et
submersions marines

16

II. DES ACTIONS
ADAPTATIVES
POUR LE SECTEUR
DE L'IMMOBILIER

- 16 Quelles actions adaptatives
dans quel scénario ?
- 16 Scénario 1 :
Génération frugale
L'adaptation précoce et sobre
- 16 Scénario 2 :
Coopérations territoriales
L'adaptation des cohérences
territoriales
- 17 Scénario 3 :
Technologies vertes
L'adaptation des solutions
vertes
- 17 Scénario 4 :
Pari réparateur
L'adaptation du pari technique
- 18 Empreinte carbone des actions
adaptatives

20

III. LIMITES ET
PERSPECTIVES

Allier adaptation et atténuation du changement climatique dans le secteur du bâtiment



Albane Gaspard
Animatrice de secteur
Prospective du bâtiment
et de l'immobilier, ADEME



Sakina Pen Point
Responsable de programme
Adaptation au changement
climatique, OID



Morgane Moulié
Cheffe de projet
Adaptation au changement
climatique et Énergie Climat, OID

Le changement climatique oppose à notre société, et à tous les secteurs économiques confondus, un double défi : mener de front les transformations attendantes à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et des vulnérabilités climatiques.

Afin de relever ce défi, l'ADEME a souhaité réaliser un travail de prospective de conduite de la France vers la neutralité carbone dans le but d'éclairer les débats pour accélérer les prises de décisions. Quatre scénarios Transition(s) 2050 ont pu être étudiés avec pour objectif l'évaluation de leur empreinte et faisabilité.

Le rapport du GIEC paru en février 2022 révèle la nécessité absolue des efforts relatifs à la réduction de la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique. Le siècle sera marqué par l'augmentation en fréquences, durées et intensités des vagues de chaleur, exacerbées par les phénomènes d'îlots de chaleur urbain, rendant ainsi les bâtiments inconfortables, voire inexploitable. Les périodes de sécheresses deviendront plus intenses, longues et fréquentes. Couplées à des natures de sols argileuses, elles étaient déjà à l'origine de 10 milliards d'euros de coûts cumulés associés aux sinistralités entre 1990 et 2004. Des précipitations plus intenses, sur des

zones très artificialisées, mèneront à davantage d'inondations. Les dynamiques littorales tempêteuses et la montée du niveau de la mer annoncent, elles, des submersions marines périodiques régulières avant érosion et perte des bâtiments.

Le secteur du bâtiment est particulièrement à risque, d'autant plus que l'inertie de renouvellement du parc immobilier diminue les marges de manœuvre tardives. La projection et la gestion prévisionnelle à long terme sont donc impératives pour le secteur.

C'est pourquoi l'OID a participé à l'étude Transition(s) 2050 sur le volet adaptation des bâtiments au changement climatique en répondant aux questions suivantes : A quels risques climatiques les bâtiments seront-ils confrontés ? Quels sont les choix à effectuer pour diminuer leur vulnérabilité ? Quelle sera l'empreinte carbone de ces choix ?

RESUME

exécutif

Le secteur de l'immobilier est déjà très exposé aux aléas climatiques. Comment cette exposition évoluera-t-elle à 2050 ? Quelles pourraient être les solutions d'adaptation mises en œuvre selon et quel serait leur empreinte carbone ?

Cette étude explore l'exposition à quatre aléas climatiques (vague de chaleur/flot de chaleur urbain, sécheresse/retrait-gonflement des argiles, inondation et submersion marine) du parc immobilier en France métropolitaine dans les scénarios Transition(s) 2050 de l'ADEME.

Transition(s) 2050 dessine quatre voies d'atteinte de la neutralité carbone pour la France à 2050, avec des philosophies (plus ou moins de sobriété, plus ou moins de recours à des technologies nouvelles...) et des choix pour le parc immobilier (localisation, volume, rénovation, modes constructifs...) différents. Quelles conséquences en termes d'exposition au risque climatique ?

- **L'exposition aux vagues de chaleur augmente d'ici à 2050 quel que soit le scénario climatique.** Dans le scénario RCP 8.5, l'augmentation de la proportion surfaces exposées est bien plus importante, et ce, quel que soit le scénario Transition(s) 2050 considéré. L'exposition dépend également des choix sur le volume et la localisation de la construction neuve. La quantité de surfaces exposées à un « risque très important » progresse de façon croissante du S1 au S4. De 61% à 65% du parc est exposé à un risque très important en 2050 dans un scénario RCP 8.5, contre 26% à 27% dans un scénario de respect des engagements climatiques (RCP4.5) (et 0% en 2020).
- **La proportion du parc concerné par le « risque très important » de sécheresses & retrait-gonflement des argiles varie beaucoup selon le scénario climatique choisi.** Estimée à 11% en 2030, elle se situe à 16% (selon le scénario ADEME) en 2050 pour le scénario RCP 4.5, et monte à 47% dans le scénario RCP 8.5. Entre les scénarios Transition(s) 2050, la différence dans les niveaux de risque est imputable à des coefficients d'artificialisation différents.

- **Les risques de submersions marines sont similaires dans les scénarios RCP 4.5 et 8.5.** Cette absence de différenciation provient du fait de l'inertie du phénomène de montée du niveau de la mer à 2050. Dans ces deux scénarios, l'ensemble des surfaces des bâtiments à « risque passable » en 2020 devient à « risque très important » en 2050 (sans inclure les nouvelles zones à risques).

Ainsi, les risques climatiques sont déjà tangibles, et ils s'accroîtront d'ici à 2050, en **surface de bâtiments** impactés, mais aussi en **intensité**.

Les mesures d'adaptation qui peuvent être mises en place sont variables selon les scénarios, en fonction de leur propension à privilégier la sobriété ou la généralisation de l'utilisation de la technologie. De la même façon, l'impact carbone des actions d'adaptation peut varier grandement entre scénarios, et notamment en fonction d'un recours plus ou moins marqué à des solutions fondées sur la nature. Dans S1 et S2, où ces solutions sont fortement développées, l'adaptation des bâtiments au changement climatique est neutre en carbone. En revanche, les stratégies d'adaptation dans S3 et S4, qui s'appuient sur le développement technologique et les capacités de la technologie à préserver les systèmes écologiques, sont fortement carbonés (digues...).

Les seules stratégies d'adaptation des bâtiments au changement climatique neutres en carbone sont donc celles qui s'appuient sur les solutions d'adaptation fondées sur la nature. Ces solutions restent ainsi incontournables pour atteindre la neutralité carbone à 2050.

Ces résultats appellent à **anticiper dès maintenant** l'impact du changement climatique sur le parc immobilier, et à adopter, autant que possible, des **solutions d'adaptation du bâti** qui contribuent à la neutralité carbone.

INTRODUCTION



« Le changement climatique provoque des perturbations dangereuses et généralisées dans la nature et affecte la vie de milliards de personnes dans le monde. » Communiqué de presse du GIEC, février 2022

Changement climatique : le double défi de l'atténuation et de l'adaptation

L'Accord de Paris, adopté en 2015 au cours de la COP21, vise à contenir le réchauffement climatique global en dessous de 2°C par rapport à l'ère préindustrielle. Les engagements de la France sont précisés en plans d'action concrets qui répondent aux objectifs de neutralité carbone à horizon 2050. Le Plan Climat, proposé en 2018, décrit les politiques et mesures climatiques pour réduire les émissions et s'adapter aux changements climatiques dans de nombreux secteurs.

Dans son rapport publié le 28 février 2022, le GIEC alerte sur les vulnérabilités des infrastructures et sur l'urgence de s'adapter. Les questions d'adaptation et

d'atténuation au changement climatique nécessitent d'être conjointement prises en compte dans chacune des décisions prises dans le secteur du bâtiment.

Le secteur de l'immobilier, lui, est déjà très impacté. Sur la période 1989-2019, ces derniers représentaient une charge de 47 milliards d'euros (à euros constants 2020) pour le secteur de l'assurance, le premier poste étant les tempêtes (43 %), suivi des inondations (19 %) et des sécheresses (18 %). Les dommages liés aux catastrophes naturelles pourraient augmenter de 93% en euros constants d'ici 2050, le climat représentant le second facteur contributif après l'augmentation de la richesse globale du pays¹.

¹ Impact du changement climatique sur le secteur de l'assurance à 2050, France Assureurs, 2021

Contexte de l'étude : les scénarios Transition(s) 2050

Cette étude s'inscrit dans le travail de prospective énergie ressources « Transition(s) 2050 de l'ADEME. Choisir maintenant. Agir pour le climat » présenté le 30 novembre 2021 qui comprend les travaux initiaux et 14 feuillets dont la publication s'étend de Janvier à Mai 2022. L'ensemble des documents publiés est disponible sur www.transitions2050.ademe.fr.

Pour rappel, « Transition(s) 2050 » est un travail prospectif qui dessine quatre chemins « types » cohérents et contrastés pour conduire la France vers la neutralité carbone tout en intégrant une large palette d'enjeux environnementaux, tels que les différents usages de la biomasse, l'eau d'irrigation, la qualité de l'air, la gestion des déchets, la quantité de matériaux pour la rénovation ou construction, souvent peu représentés dans les travaux prospectifs. Ces scénarios ont pour ambition d'éclairer les débats pour accélérer les prises de décisions, en particulier celles sur la prochaine Stratégie Française Energie – Climat.

Les quatre scénarios aboutissent tous à la neutralité carbone mais avec des voies différentes. Avant tout, ils ont pour objectifs de faire prendre conscience à tout un

chacun, quel que soit son niveau de responsabilité et d'implication dans la construction de ce cheminement, de la nature des transformations et des choix à faire. Ils sont le résultat de plus de 2 ans de travaux mobilisant plus d'une centaine d'experts de l'ADEME ainsi que des partenaires extérieurs de différents milieux professionnels et académiques, mais également un comité scientifique, constitué de membres du conseil scientifique de l'Agence et complété de personnalités qualifiées.

Pour chaque scénario, l'ADEME a construit un récit cohérent, décliné dans chaque secteur technique, économique et social, au travers de variables structurantes. La description des scénarios couvre les secteurs du bâtiment, de la mobilité des voyageurs et du transport de marchandises, de l'alimentation, de l'agriculture, des forêts, de l'industrie, des déchets et des services énergétiques (fossiles, biocarburants, gaz, hydrogène, chaleur/froid et électricité).

Les 4 scénarios et les mots clefs qui les caractérisent sont les suivants :

 <p>S1 GÉNÉRATION FRUGALE</p>	 <p>S2 COOPÉRATIONS TERRITORIALES</p>	 <p>S3 TECHNOLOGIES VERTES</p>	 <p>S4 PARI RÉPARATEUR</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Frugalité contrainte • Villes moyennes et zones rurales • Low-Tech • Rénovation massive • Nouveaux indicateurs de prospérité • Localisme • Moins de viande 	<ul style="list-style-type: none"> • Modes de vie soutenables • Économie du partage • Gouvernance ouverte • Mobilité maîtrisée • Fiscalité environnementale • Coopérations entre territoires • Réindustrialisation ciblée 	<ul style="list-style-type: none"> • Technologies de décarbonation • Biomasse exploitée • Hydrogène • Consumérisme vert • Régulation minimale • Métropoles • Déconstruction / Reconstruction 	<ul style="list-style-type: none"> • Consommation de masse • Étalement urbain • Technologies incertaines • Économie mondialisée • Intelligence artificielle • Captage du CO2 dans l'air • Agriculture intensive

Objectif de l'étude

Cette étude analyse, pour les bâtiments, les conséquences associées au changement climatique dans les scénarios Transition(s) 2050. Son objectif est donc de décliner en termes d'adaptation, pour le secteur de l'immobilier, les quatre scénarios Transition(s) 2050 et le scénario Tendancier.

Elle s'organise autour des questions clés suivantes :

- Comment l'exposition aux aléas climatiques du parc bâti de la France métropolitaine évoluera-t-elle à 2050 dans le scénario Tendancier et dans les scénarios Transition(s) 2050 ? Quel serait l'impact d'une non-atteinte des objectifs de limitation de changement climatique par la communauté internationale, i.e. comment cette exposition varie-t-elle selon le scénario climatique considéré (RCP 4.5 ou 8.5) ?
- Quelles pourraient être les solutions d'adaptation mises en œuvre selon les scénarios ? Quel serait leur empreinte carbone ?

Méthodologie

L'étude s'est organisée en 4 phases :

Phase 1 : Projeter le parc immobilier français à 2050 selon les différents scénarios de neutralité ;

Phase 2 : Analyser l'exposition aux aléas climatiques du parc immobilier dans chacune des configurations possibles (les 4 scénarios de l'ADEME au RCP 4.5 et RCP 8.5 et le scénario tendancier au RCP 8.5) à 3 horizons temporels (2030, 2040, 2050) avec l'aide des projections climatiques du GIEC sur 4 aléas (les vagues de chaleur, les inondations, les submersions marines et les sécheresses) ;

LE CALCUL DU RISQUE CLIMATIQUE

Le risque climatique auquel est soumis un bâtiment dépend de l'exposition aux différents aléas climatiques qui vont l'affecter et de la vulnérabilité du bâtiment face à cet aléa. Pour un aléa climatique défini, l'exposition climatique se mesure par la nature, l'intensité et la fréquence de l'aléa ainsi que par des facteurs environnementaux qui vont l'aggraver ou l'atténuer. La vulnérabilité du bâtiment est, elle, dépendante de la sensibilité du bâtiment (composantes techniques tels que les choix de construction) et de ses enjeux d'usage, qui incluent les mesures d'adaptation, les processus de gestion de crise et les paramètres économiques et sociaux qui impactent les processus de gestion post-crise. Le risque de l'aléa climatique peut dès lors être évalué à partir d'une analyse croisée de l'exposition et de la vulnérabilité.

RISQUE
DE L'ALÉA
CLIMATIQUE

=

EXPOSITION	
Aléa climatique	Autres facteurs environnementaux
Nature de l'aléa climatique, intensité, lieu et fréquence (probabilité et durée)	Facteurs aggravant et atténuant liés à l'environnement

X

VULNÉRABILITÉ	
Sensibilité	Enjeux d'usage
Critères techniques tels que les choix de construction, la fiabilité des réseaux et les mesures d'amélioration de la résilience	Capacités de gestion de crise et difficultés à faire face en raison de facteurs économiques sociaux ou démographiques

Phase 3 : Imaginer les actions adaptatives pour chacun des scénarios ;

Phase 4 : Etablir le bilan GES des émissions associées aux différentes configurations.

Toutes les analyses et les méthodologies de calcul sont présentées dans le rapport de méthodologie².

² OïD, 2022b, Les enjeux de l'adaptation au changement climatique du secteur immobilier dans les scénarios Transition(s) 2050, Rapport technique

I. Exposition du parc immobilier aux aléas climatiques à 2050

1. Vagues de chaleur et îlots de chaleur urbains

Les [vagues de chaleur](#) correspondent à des températures moyennes de jour et de nuit anormalement élevées par rapport aux moyennes de saison, observées sur plusieurs jours consécutifs. Du fait du changement climatique, elles deviennent déjà de plus en plus intenses et fréquentes. Ces événements impliquent une dégradation du confort thermique, une baisse de la qualité de l'air et des impacts sanitaires tels que des déshydratations. Par ailleurs, une augmentation des températures amène également une augmentation des besoins en énergie, notamment du fait du recours accru à la climatisation. Ces pics d'utilisation dans des proportions non envisagées entraînent parfois des dysfonctionnements des équipements.

Les [îlots de chaleur urbain](#) se caractérisent par un écart de température, en particulier la nuit, entre la ville et la campagne environnante. Ce microclimat urbain, a pour origine :

- Une densité de construction élevée qui empêche l'air de ventiler correctement la ville ;
- Des surfaces à fort albedo qui provoquent une accumulation de chaleur dans les matériaux ;
- Un dégagement de chaleur anthropique important notamment via le trafic automobile qui réchauffe les milieux urbains.

Ce phénomène a des conséquences importantes sur le confort thermique des citoyens. Par exemple, lors de la canicule en 2003, une différence de **+10°C** entre Paris et ses alentours a été observée.

Afin de calculer l'évolution de l'exposition du parc immobilier à l'aléa vagues de chaleur, l'indice climatique retenu est le degré-jour de climatisation (CDD³). Cet indice est projeté temporellement à 2030, 2040 et 2050. Concernant les îlots de chaleur urbain, les données de différences de température entre zones rurales et urbaines sont issues du projet MaPuce coordonné par le CNRM⁴. Ces données ne sont pas projetées dans le futur. Cela signifie que le risque de chaleur évalué tient compte des évolutions climatiques, mais pas des évolutions urbaines.

Le couplage entre ces informations a été effectué selon la matrice suivante :

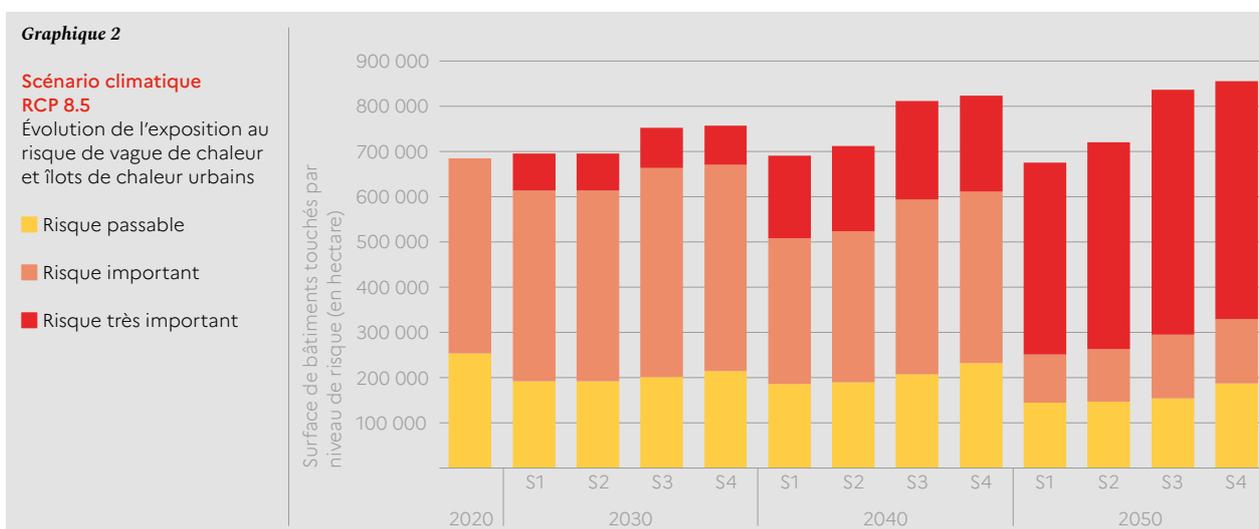
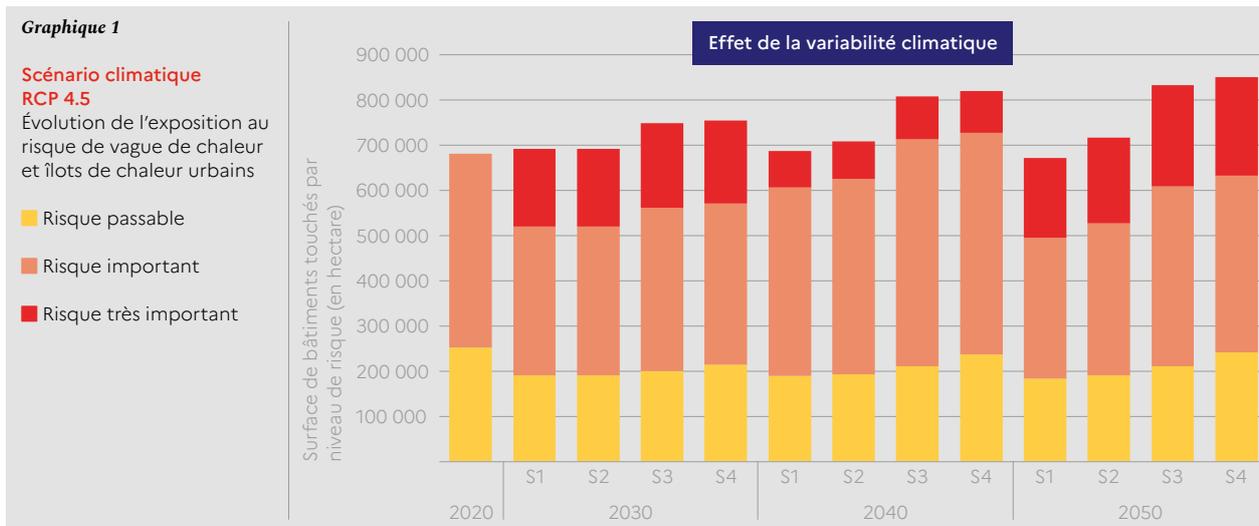
	ICU-NUL	ICU MOYEN	ICU FORT
CDD - Risque Faible	Risque passable	Risque passable	Risque important
CDD - Risque Moyen	Risque passable	Risque important	Risque très important
CDD - Risque Fort	Risque important	Risque très important	Risque très important

³ Données téléchargées sur la plateforme Drias, Producteur : CNRM, Expérience CNRM2014, Modèle Aladin

⁴ Les informations complètes concernant ce modèle sont disponibles dans le document suivant : http://www.umr-cnrm.fr/ville.climat/IMG/pdf/rapport_scientifique_mapuce_v1.2.pdf

Les surfaces de bâtiments en France ont été réparties, selon leur emplacement, dans les différentes catégories de risques : passable, important, très important. Les Graphiques 1 et 2

montrent l'évolution de l'exposition à l'aléa vague de chaleur et îlots de chaleur urbain pour le parc bâti entre 2020 et 2050 pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5.



BILAN DU RISQUE FACE AUX VAGUES DE CHALEUR ET ICU

L'exposition aux vagues de chaleur augmente d'ici à 2050 quel que soit le scénario climatique⁵. Alors qu'en 2020, aucune surface n'était considérée comme à risque très important, dès 2030, une partie du parc bascule dans cette catégorie, en scénario RCP 4.5 comme en 8.5. A l'opposé, la proportion de surfaces entrant dans la catégorie « risque passable » recule à 2050.

Dans le scénario climatique RCP 8.5, l'augmentation de la proportion de surfaces exposées est bien plus importante, et ce, quel que soit le scénario de neutralité considéré. De 61% à 65% du parc est exposé à un risque très important en 2050 dans un scénario RCP 8.5, contre 26% à 27% dans un scénario de respect des engagements climatiques (RCP4.5) (et 0% en 2020).

L'exposition aux vagues et îlots de chaleur dépend également des choix sur le volume et la localisation de la construction neuve. S3 et S4 sont plus impactés par les risques de vagues de chaleur. Ils y sont d'autant plus soumis que les taux de construction y sont forts. La quantité de surfaces exposées à un « risque très important » progresse de façon croissante du scénario 1 au scénario 4. Ceci est principalement dû à un volume du parc bâti plus important, à une concentration de l'activité en ville, et donc plus de bâtiments exposés.

5 L'année 2040 présente une anomalie expliquée dans le rapport technique, en lien avec la variabilité climatique.

2. Sécheresses et retraits-gonflements des argiles

Les [sécheresses](#) sont des déficits anormaux d'au moins une composante du cycle hydrologique terrestre sur une période prolongée. La sécheresse impactant les bâtiments est la sécheresse agricole (ou édaphique), qui concerne l'humidité des sols. Celle-ci n'est pas forcément liée à un épisode de fortes chaleurs.

Lorsque les sols sont argileux, ils se rétractent durant les périodes sèches, et se gonflent en périodes humides. Ce phénomène appelé [retrait et gonflement des argiles](#), est à l'origine de dégâts tels que des fissures dans les bâtiments qui se situent dans ces zones argileuses. Avec le changement climatique, les sols font face à de plus longues périodes sans pluie, suivies de précipitations intenses. L'eau ne peut y être absorbée, car la terre est trop sèche. L'eau ruisselle alors et les sols restent secs. Les sécheresses deviennent ainsi de plus en plus sévères et les risques de retrait et gonflement des argiles s'intensifient. Les éléments jointifs et façades sont les plus touchés par les fissures, allant parfois jusqu'à menacer la sécurité des usagers, mais les réseaux enterrés peuvent également subir des ruptures ou des fuites. Une augmentation

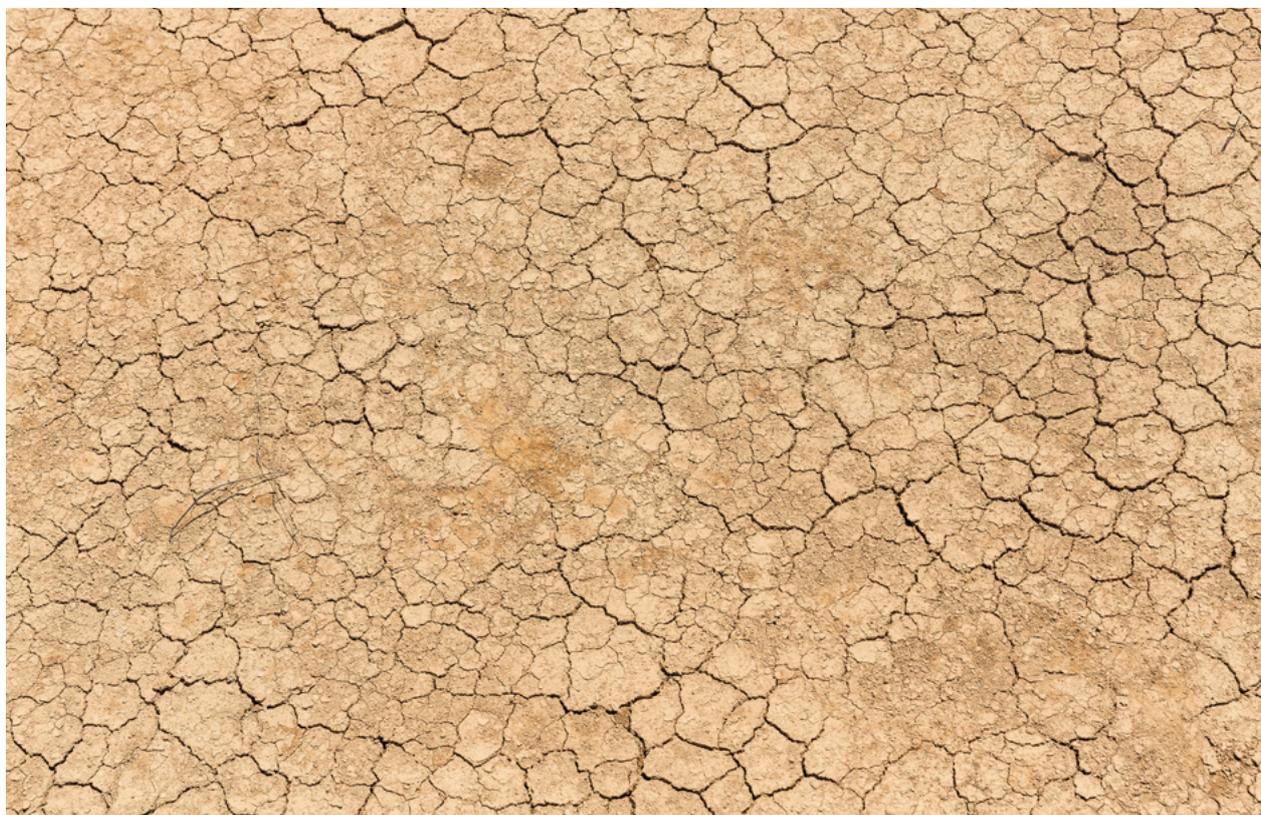
des primes d'assurance liée aux retraits et gonflements des argiles peut également présenter un risque pour le secteur. Par ailleurs, les limitations des réserves en eau sont à l'origine de risques indirects, comme la dégradation de la biodiversité et des espaces verts, ou liés la dépendance à divers réseaux qui ont un fonctionnement reposant sur l'utilisation de la ressource en eau.

Ce phénomène concerne actuellement plus de la moitié du parc de maisons individuelles⁶.

Afin de calculer le risque climatique face aux sécheresses, l'indice climatique retenu est l'index d'humidité du sol (SSWI⁷). Cet indice est projeté temporellement à 2030, 2040 et 2050. Concernant les retraits et gonflements des argiles, les données de risques de RGA sont issues des travaux du BRGM et disponibles sur la plateforme Géorisques⁸.

Le couplage entre ces informations a été effectué selon la matrice suivante :

	Risque RGA faible	Risque RGA moyen	Risque RGA fort
SSWI - Sécheresses modérées	Risque passable	Risque passable	Risque important
SSWI - Sécheresses sévères	Risque passable	Risque important	Risque très important
SSWI - Sécheresses extrêmes	Risque important	Risque très important	Risque très important



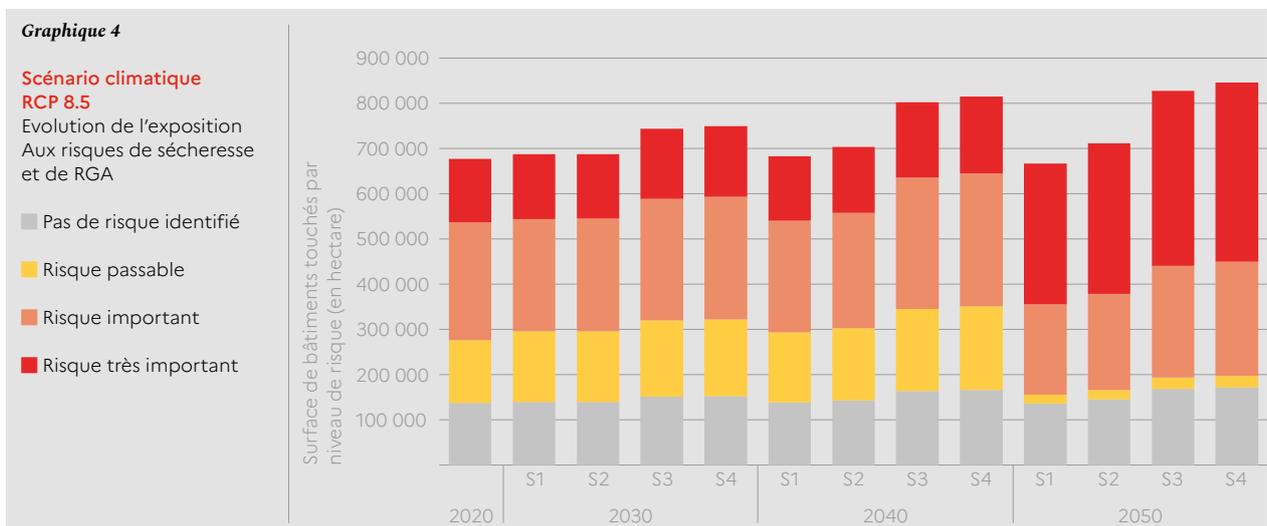
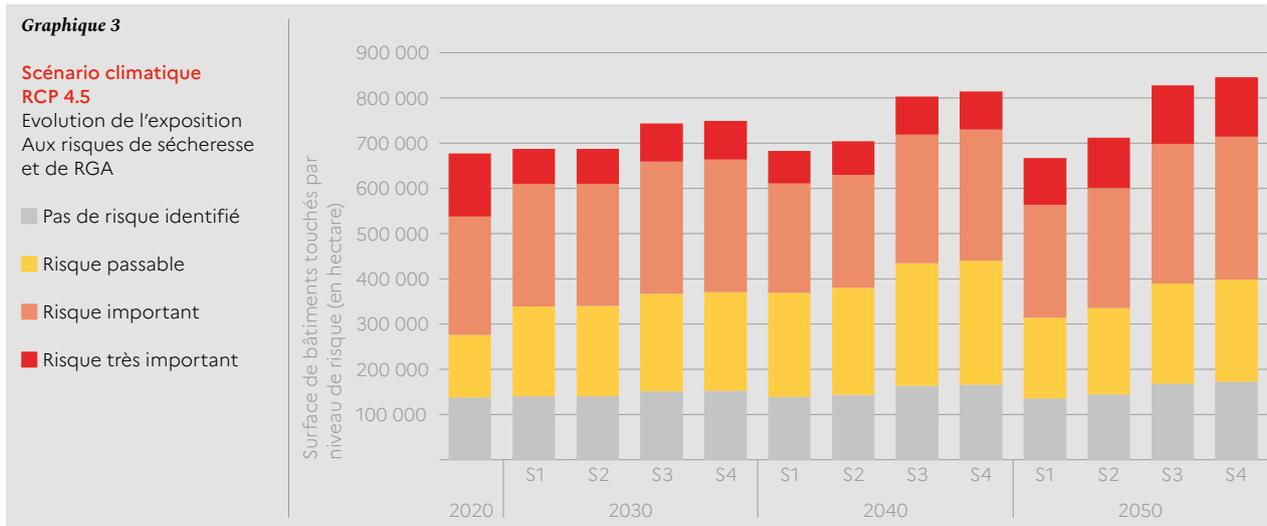
⁶ D'après une étude de la cour des comptes accessible [ici](#).

⁷ Données téléchargées sur la plateforme Drias, Producteur : DCLIM, Expérience CLIMSEC, Modèle ARPEGE_RETIC

⁸ Données téléchargées sur la plateforme Géorisques, [georisques.gouv.fr](#)

Les surfaces de bâtiments en France ont été réparties, selon leur emplacement, dans les différentes catégories de risques : passable, important, très important. Les Graphiques 3 et 4

montrent l'évolution de l'exposition à l'aléa sécheresses et retrait-gonflement des argiles pour le parc bâti entre 2020 et 2050 pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5.



BILAN DU RISQUE FACE AUX SÉCHERESSES ET RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES

La proportion du parc concerné par le « risque très important » de sécheresses & retrait-gonflement des argiles varie beaucoup selon le scénario climatique choisi. Elle se situe à 16% (selon le scénario ADEME) pour le scénario RCP 4.5, et monte à 47% dans le scénario RCP 8.5.

Entre les scénarios Transition(s) 2050, la différence dans les volumes de surfaces à risque est imputable à des coefficients d'artificialisation différents. Les coefficients d'artificialisation et volumes de construction progressant de façon croissante du S1 au S4 et sans différenciation de choix de localisation de construction au regard des risques, le volume de surfaces à « risque très important » est à son maximum dans le S4.

3. Précipitations intenses et inondations

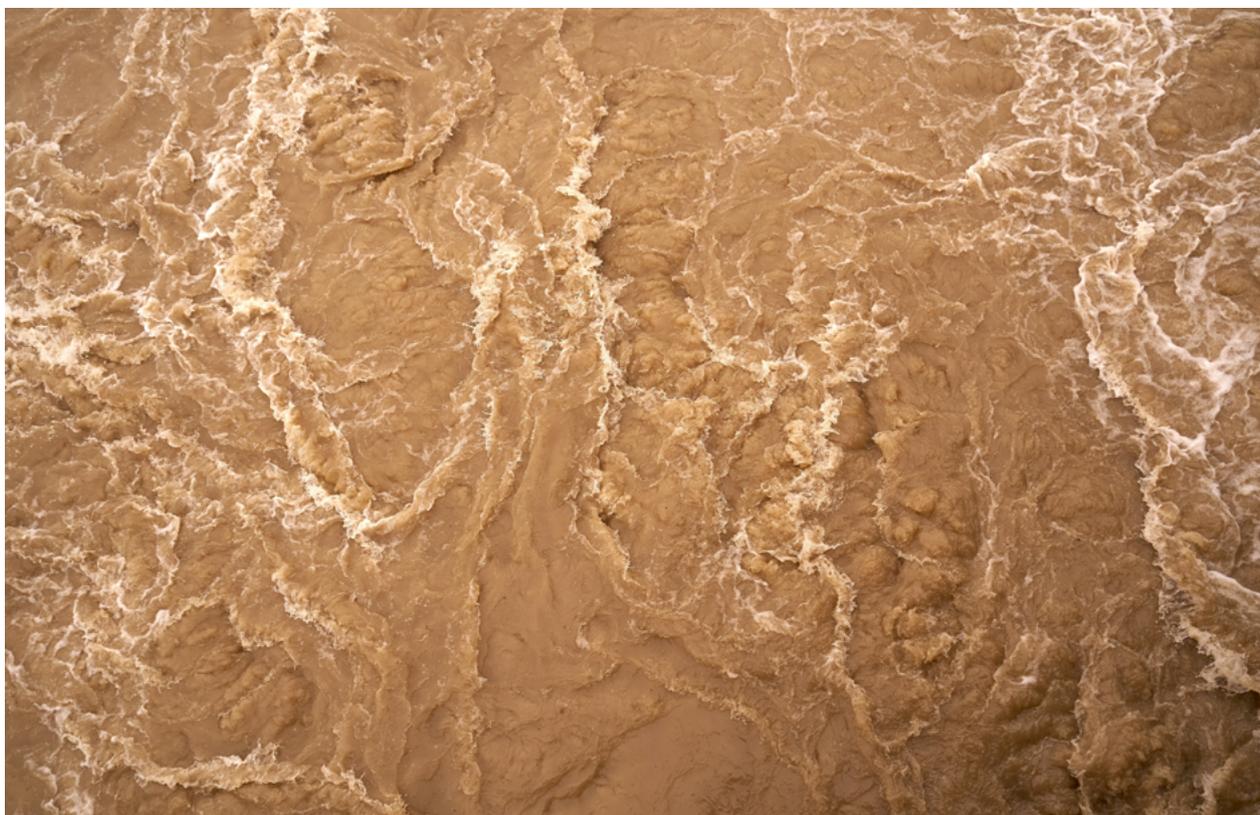
Des épisodes pluvieux qui s'intensifient, associés à un usage des sols qui ne permet pas l'absorption dans la terre dont notamment l'imperméabilisation, sont à l'origine d'inondations ayant des conséquences de plus en plus délétères. Ces [inondations](#) peuvent se produire par débordement de cours d'eau, par remontée des nappes phréatiques ou par ruissèlement des pluies sur les surfaces imperméabilisées. L'incursion d'eau dans les bâtiments cause de nombreux dommages : détérioration des isolants, enduits et revêtements, humidité et rétention d'eau, endommagement des réseaux électriques et des équipements intérieurs, fissuration voire effondrement des bâtiments et mise en flottaison pour certaines habitations légères.

Ces évènements peuvent porter atteinte à la sécurité des personnes. Les perturbations ou arrêts de l'utilisation du bâtiment peuvent engendrer un effet domino avec d'autres répercussions économiques et sociales.

Afin de calculer l'exposition à l'aléa climatique inondations, on considère d'une part l'indice climatique 'fraction de précipitations intenses' (PFL90), qui permet d'observer l'évolution des précipitations intenses au cours du temps, et d'autre part, les zones sujettes à inondation par remontées de nappes (disponibles sur Géorisques⁹). L'indice fraction de précipitations intenses est projeté temporellement à 2030, 2040 et 2050.

Le couplage entre ces informations a été effectué selon la matrice suivante :

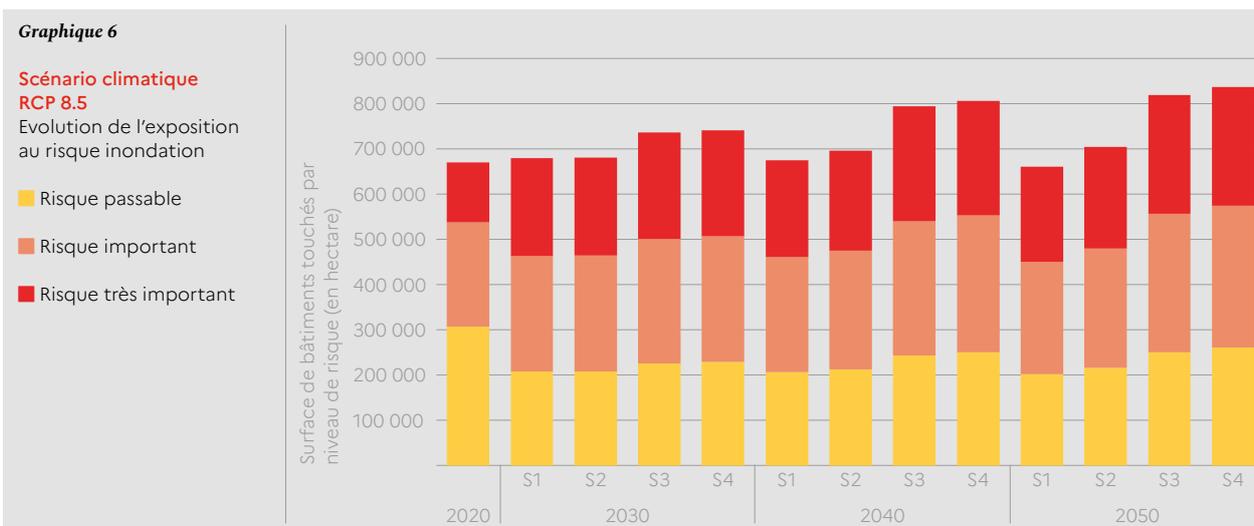
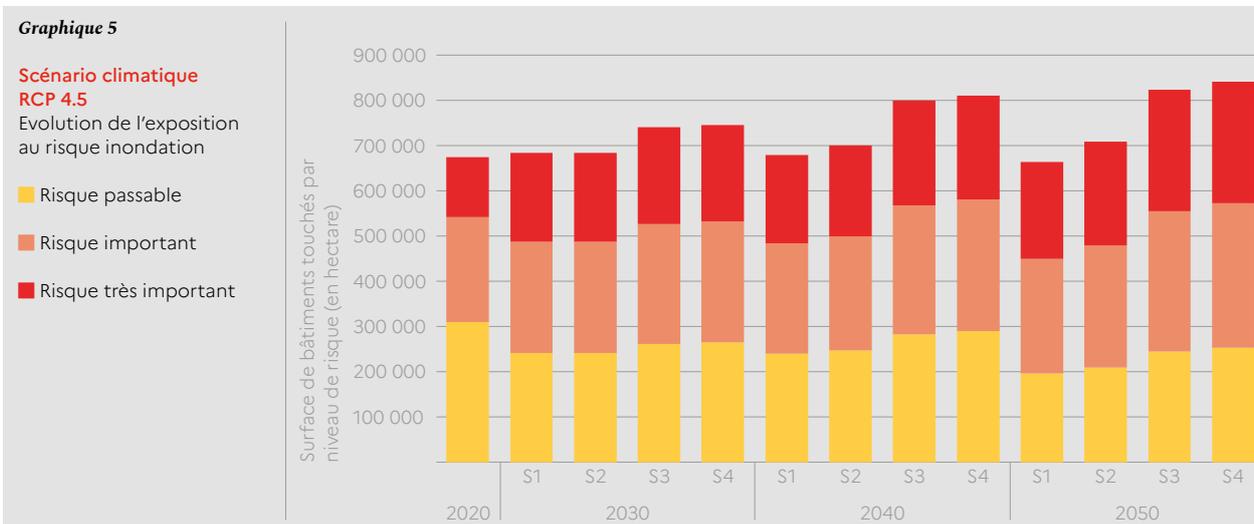
	Risque 0 : Pas de débordement	Risque 1 : Débordement de cave	Risque 2 : Débordement de RDC
PFL90 - Risque Faible	Risque passable	Risque passable	Risque important
PFL90 - Risque Moyen	Risque passable	Risque important	Risque très important
PFL90 - Risque Fort	Risque important	Risque très important	Risque très important



⁹ Données téléchargées sur la plateforme Géorisques, georisques.gouv.fr

Par ailleurs, la sensibilité aux précipitations intenses de la zone d'implantation du bâtiment se verra augmentée dans le cas d'une forte artificialisation des sols (dans le cas des milieux urbains par exemple). En effet, le ruissellement augmente sur les sols artificialisés, ce qui augmente le niveau de risque face à l'aléa inondation.

Les surfaces de bâtiments en France ont été réparties, selon leur emplacement, dans les différentes catégories de risques : passable, important, très important. Les Graphiques 5 et 6 montrent les résultats des calculs d'évolution du risque précipitations intenses et inondations, basé sur l'indice PFL90, pour le parc bâti entre 2020 et 2050 pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5.



BILAN DU RISQUE FACE AUX INONDATIONS

L'indice fraction des précipitations journalières intenses retenu pour cette étude ne permet pas de rendre compte d'une évolution importante du risque. Cet indice rend compte d'une stabilité en durée des périodes de précipitation journalières. Cependant, l'augmentation du risque d'inondation lié au changement climatique ne dépend pas de la durée des périodes pluvieuses mais de l'intensité de celles-ci.

La différence entre les scénarios est uniquement due à des coefficients d'artificialisation plus ou moins importants.

4. Montée du niveau de la mer et submersions marines

Les [submersions marines](#) sont des inondations temporaires de la zone côtière par la mer, associées à une conjonction de condition de marées et de surélévation du niveau de la mer lors d'événements climatiques ponctuels, tels que les tempêtes, cyclones ou tsunamis. Elles peuvent durer de quelques heures à quelques jours.

En zones littorales, les inondations salines, provoquées lors d'épisodes climatiques intenses, engendrent une érosion des matériaux et causent d'importants dégâts sur le bâti. Sur un temps plus ou moins long, ces inondations vont devenir permanentes et donc rendre les bâtiments concernés inutilisables. La montée des eaux implique également, sur un temps long, une érosion côtière. Si certaines zones pourront être protégées

durant quelques années supplémentaires, les mesures de protection restent localisées et la montée des eaux finira par gagner du terrain, en érodant des zones où se situent certains bâtiments. Des étapes intermédiaires de fissuration et risques de chutes de pierre peuvent être observés avant effondrement.

Afin de calculer le risque climatique face aux submersions marines, on considère d'une part les zones de hauteurs d'eau centennales, et d'autres part les projections d'élévation du niveau marin à 2030, 2040 et 2050.

Le couplage entre ces informations a été effectué selon la matrice suivante :

	Niveaux d'élévation du niveau marin (en mètres)						
	0,07	0,08	0,12	0,13	0,18	0,22	0,26
Pas de risque	0	0	0	0	0	0	0
Inférieur à 1m	1	1	2	2	2	3	3
1-2m	1	1	2	2	2	3	3
2-3m	2	2	3	3	3	3	3
3-4m	3	3	3	3	3	3	3
4-5m	3	3	3	3	3	3	3
5-6m	3	3	3	3	3	3	3
6-7m	3	3	3	3	3	3	3
7-8m	3	3	3	3	3	3	3
8-9m	3	3	3	3	3	3	3

0 : Pas de risque identifié

1 : Risque passable

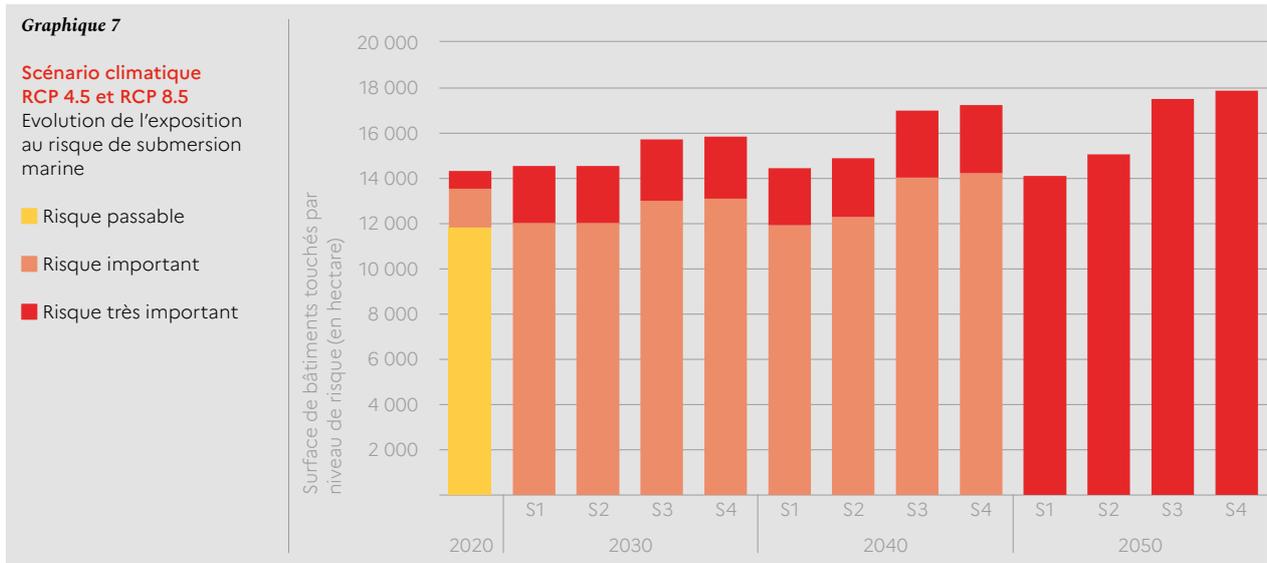
2 : Risque important

3 : Risque très important



Les surfaces de bâtiments en France ont été réparties, selon leur emplacement, dans les différentes catégories de risques : passable, important, très important. Le Graphique 7 montre

l'évolution du risque submersion marine pour le parc bâti entre 2020 et 2050 pour les scénarios RCP4.5 et RCP8.5. Scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5



BILAN DU RISQUE FACE AUX SUBMERSIONS MARINES

Les risques de submersions marines sont similaires dans les scénarios RCP 4.5 et RCP 8.5 : les élévations du niveau de la mer évaluées dans le scénario RCP 4.5 et 8.5 ne présentent pas de différences importantes d'ici à 2050. Cette absence de différence provient du fait de l'inertie du phénomène de montée du niveau de la mer.

L'ensemble des surfaces des bâtiments à « risque passable » en 2020 devient à « risque très important » en 2050.

L'analyse est limitée pour cet aléa : elle n'inclut pas les nouvelles zones à risques, et la surface concernée par cet aléa n'augmente donc pas. Or le changement climatique mènera à exposer davantage de surface à l'avenir.

II. Des actions adaptatives pour le secteur de l'immobilier

1. Quelles actions adaptatives dans quel scénario ?

Les actions adaptatives proposées ont été définies dans une démarche respectant la philosophie des scénarios Transition(s) 2050 proposée par l'ADEME. Les mesures d'adaptation qui peuvent être mises en place sont variables selon les scénarios, en fonction de leur propension à privilégier la sobriété ou la généralisation de l'utilisation de la technologie. Ainsi, l'adaptation peut prendre une forme très différente selon les valeurs à l'œuvre dans une société donnée.

Scénario 1 : Génération frugale L'adaptation précoce et sobre

Philosophie du scénario :

Des transformations importantes dans les façons de se déplacer, de se chauffer, de s'alimenter, d'acheter et d'utiliser des équipements, permettent d'atteindre la neutralité carbone sans impliquer de technologies de captage et stockage de carbone, non éprouvées et incertaines à grande échelle. De nouvelles attentes des consommateurs, mais surtout de nouvelles pratiques s'expriment rapidement dans les modes de consommation. La croissance de la demande énergétique qui épuise les ressources et dégrade l'environnement s'interrompt, grâce à des innovations comportementales, organisationnelles et technologiques. La transition est conduite principalement grâce à la frugalité par la contrainte et par la sobriété.

Adaptation du bâti :

en termes de stratégie d'adaptation au changement climatique, ce scénario se base au maximum sur les sobriétés d'usage, les solutions fondées sur la nature, les low-tech ou les techniques de constructions traditionnelles (brasseurs d'air, végétalisation, logements traversants dans le neuf...). L'anticipation du risque climatique est précoce et s'inscrit rapidement dans les politiques d'aménagement et de rénovation. Les actions d'adaptation aux retrait-gonflement des argiles sont mises en œuvre lors de rénovations : les actions majoritaires sont portées sur l'environnement des bâtiments pour éviter leur déstabilisation. La maîtrise d'ouvrage s'appuie le plus possible sur les fonctionnalités des sols et des écosystèmes pour prévenir les inondations ou les submersions marines, notamment via la renaturation de certaines zones qui assurent l'infiltration de l'eau.

Scénario 2 : Coopérations territoriales L'adaptation des cohérences territoriales

Philosophie du scénario :

la société se transforme dans le cadre d'une gouvernance partagée et de coopérations territoriales. Organisations non gouvernementales, institutions publiques, secteur privé et société civile trouvent des voies de coopération pragmatique qui permettent de maintenir la cohésion sociale. Pour atteindre la neutralité carbone, la société mise sur une évolution progressive mais à un rythme soutenu du système économique vers une voie durable alliant sobriété et efficacité. La consommation de biens devient mesurée et responsable, le partage se généralise.

Adaptation du bâti :

la stratégie d'adaptation s'appuie à la fois sur une anticipation collective des risques et la généralisation des solutions fondées sur la nature (désimperméabilisation, murs et toitures végétales, végétation pour limiter la puissance du vent aux abords du bâtiment, jardins de pluie, etc.). Les collectivités mettent en place des campagnes de sensibilisation pour l'amélioration du lien social et de la résilience collective. En plus de solutions fondées sur la nature communes au S1, des techniques bas-carbone et intégrant le risque à de plus grandes échelles peuvent être utilisées.

Scénario 3 : Technologies vertes L'adaptation des solutions vertes

Philosophie du scénario :

C'est le développement technologique qui permet de répondre aux défis environnementaux plutôt que les changements de comportements vers plus de sobriété. Les métropoles se développent. Les technologies et le numérique, qui permettent l'efficacité énergétique ou matière, sont dans tous les secteurs. Les meilleures technologies sont déployées largement et accessibles de manière généralisée aux populations solvables.

Adaptation du bâti :

pour ce scénario, la stratégie d'adaptation s'appuie davantage sur les technologies. Les programmes de déconstruction/reconstruction permettent de privilégier le bioclimatisme (logements traversants, etc.), les technologies d'inspiration biomimétique (reconstruction de bâtiments inspirés de la nature...) ou les matériaux et fondations les plus adaptés. Des solutions matérielles comme des batardeaux sont également mises en place.

Scénario 4 : Pari réparateur L'adaptation du pari technique

Philosophie du scénario :

les modes de vie du début du XXIe siècle sont sauvegardés. Mais le foisonnement de biens consomme beaucoup d'énergie et de matières avec des impacts potentiellement forts sur l'environnement. La société place sa confiance dans la capacité à gérer voire à réparer les systèmes sociaux et écologiques avec plus de ressources matérielles et financières pour conserver un monde viable. Cet appui exclusif sur les technologies est un pari dans la mesure où certaines d'entre elles ne sont pas matures.

Adaptation du bâti :

la stratégie d'adaptation repose sur une très forte technicisation (mode constructif adapté à la chaleur comme les matériaux à changement de phase, climatisation...). Une anticipation tardive de la gestion du risque pousse les acteurs à mettre en place des solutions palliatives fondées sur des technologies industrielles et des matériaux innovants (bétons renforcés, agents réparants). Pour faire face aux risques d'inondations et de submersions, des barrières structurelles et digues sont installées. De nouveaux espaces comme des îles artificielles sont expérimentés.



2. Empreinte carbone des actions adaptatives

La mise en place des actions adaptatives implique, à des degrés divers, des consommations d'énergie et donc des émissions de GES. Le tableau ci-après récapitule les principales actions d'adaptation retenues pour l'évaluation des émissions carbone choisies pour chacun des scénarios Transition(s) 2050.

A noter : la climatisation n'a pas été intégrée dans le périmètre, elle fait l'objet d'une étude spécifique¹⁰.

	S1	S2	S3	S4	TEND
VAGUES DE CHALEUR	<ul style="list-style-type: none"> • Végétalisation • Protections solaires • Brasseur d'air 	<ul style="list-style-type: none"> • Végétalisation • Protections solaires • Brasseur d'air 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositifs d'ombrage • Biomimétisme déconstruction / reconstruction 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositifs d'ombrage • Biomimétisme déconstruction / reconstruction • Brumisateurs 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositifs d'ombrage • Brumisateurs
INONDATIONS	<ul style="list-style-type: none"> • Renaturation • Clapets anti-retours • Jardins de pluie 	<ul style="list-style-type: none"> • Renaturation • Clapets anti-retours • Jardins de pluie • Reméandrer les cours d'eau 	<ul style="list-style-type: none"> • Clapets anti-retours • Batardeaux • Obstruction des fenêtres • Bâtiments flottants ou sur pilotis (déconstruction/ reconstruction) 	<ul style="list-style-type: none"> • Clapets anti-retours • Batardeaux • Obstruction des fenêtres • Bâtiments flottants ou sur pilotis (déconstruction/ reconstruction) • Dignes ou murets 	<ul style="list-style-type: none"> • Clapets anti-retours • Batardeaux • Obstruction des fenêtres • Bâtiments flottants ou sur pilotis (déconstruction/ reconstruction) • Dignes ou murets
SECHERESSES & RGA	<ul style="list-style-type: none"> • Eloignement des arbres • Renforcement des fondations 	<ul style="list-style-type: none"> • Eloignement des arbres • Renforcement des fondations • Solutions de drainage 	<ul style="list-style-type: none"> • Désolidarisation des éléments du bâtiment • Rigidification via ferrailage • Régulation de l'humidité du sol • Fondations plus profondes (déconstruction/ reconstruction) 	<ul style="list-style-type: none"> • Désolidarisation des éléments du bâtiment • Rigidification via béton • Fondations plus profondes (déconstruction/ reconstruction) 	<ul style="list-style-type: none"> • Désolidarisation des éléments du bâtiment • Rigidification via béton • Fondations plus profondes (déconstruction/ reconstruction)
SUBMERSIONS MARINES	<ul style="list-style-type: none"> • Renaturation • Relocalisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Renaturation • Relocalisation 	<ul style="list-style-type: none"> • Rechargement des dunes • Bâtiments sur pilotis ou flottants (déconstruction/ reconstruction) 	<ul style="list-style-type: none"> • Rechargement des dunes • Bâtiments sur pilotis ou flottants (déconstruction / reconstruction) • Dignes 	<ul style="list-style-type: none"> • Digue • Abandon

Graphique 8 : Récapitulatif des actions adaptatives par scénarios des Transition(s) 2050

Les actions retenues pour l'évaluation des émissions carbone ont été réparties selon des catégories créées à partir des niveaux d'exposition aux différents aléas et des sensibilités des bâtiments. A chaque région climatique et pour chaque catégorie correspondra une surface de bâtiment. Ces surfaces permettent d'évaluer le nombre d'actions adaptatives à mettre en place pour une stratégie d'adaptation à l'échelle de la France métropolitaine.

Les actions adaptatives ont d'abord été quantifiées pour les mettre en rapport avec les surfaces exposées aux différents niveaux de risque. Une évaluation des émissions de gaz à ef-

fet de serre de scope 3 a ensuite été effectué pour chacune d'entre elles en prenant en compte une période de 10 ans. Les évaluations des émissions de gaz à effet de serre des années 2020, 2030, 2040 et 2050 ont ensuite été sommés afin d'obtenir l'empreinte carbone de l'adaptation des bâtiments au changement climatique dans chaque scénario de l'ADEME et dans le scénario tendanciel pour les scénarios 4.5 et 8.5 du GIEC à 2050.

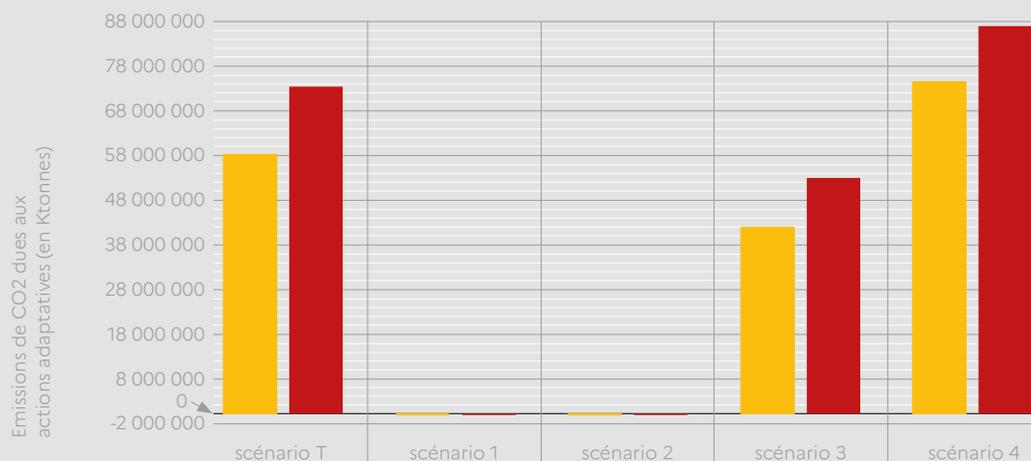
Le Graphique 8 représente les émissions carbone pour le scénario tendanciel et les quatre scénarios Transition(s) 2050, pour les scénarios climatiques RCP4.5 et RCP8.5.

10 CODA Stratégies et ADEME, La climatisation dans le bâtiment. État des lieux et prospective 2050, 2021.

Graphique 9

Évaluation des émissions de gaz à effet de serre à 2050 de l'adaptation des bâtiments au changement climatique

■ Scénario 4.5
■ Scénario 8.5



Plusieurs enseignements peuvent être tirés de ce graphique :

L'impact carbone des actions d'adaptation peut varier grandement entre scénarios, et notamment en fonction d'un recours plus ou moins marqué à des solutions fondées sur la nature :

Dans S1 et S2, qui sont des scénarios qui s'appuient majoritairement sur des solutions d'adaptation fondées sur la nature, l'adaptation des bâtiments au changement climatique peut-être un atout pour atteindre la neutralité carbone à 2050. Les émissions calculées sont négatives et mettent en évidence l'aspect puits carbone de l'adaptation. Cependant, en mettant en regard les proportions d'émissions absorbées par rapport aux émissions émises dans le secteur, il est clair que l'adaptation, même basée sur des solutions fondées sur la nature, ne peut pas compenser à elle seule des scénarios de transition(s) ayant une empreinte carbone élevée.

LES SOLUTIONS FONDÉES SUR LA NATURE : UN ATOU POUR L'ADAPTATION ET L'ATTÉNUATION

Les solutions fondées sur la nature sont des méthodes qui s'appuient sur les écosystèmes et leurs services pour aménager un espace afin de répondre aux enjeux du changement climatique. Si bien pensées, elles permettent d'aménager bâtiments et territoires en prenant en compte le changement climatique et les aléas naturels tout en protégeant la structure de ce dernier et le confort de vie des habitants.

Parmi les actions d'adaptation proposées dans le cadre des scénarios Transition(s) 2050, certaines solutions sont des solutions d'adaptation fondées sur la nature :

- La végétalisation
- La renaturation
- Les jardins de pluie

Ces solutions permettent d'absorber du carbone et d'ainsi agir en tant que puits de carbone.

Dans S3 et plus encore S4, l'adaptation au changement climatique a une empreinte carbone importante. Les actions de déconstruction-reconstruction prévues dans ces scénarios ont un impact carbone très important (bien qu'elles ne soient pas toutes attribuables à la stratégie d'adaptation au changement climatique, la déconstruction-reconstruction visant principalement à densifier les métropoles). En effet, la déconstruction d'un bâtiment de 100m² émet en moyenne 312 tonnes de CO₂, soit l'empreinte carbone annuel de près de 30 français. Dans S4, l'empreinte carbone est la plus élevée du fait d'une surface plus importante de bâtiments à risque mais également de la construction de digues en béton qui mettent à mal l'objectif d'atténuation du changement climatique.

L'impact carbone des actions d'adaptation dépend également :

De l'ampleur de leur mise en œuvre

Pour le scénario tendanciel, l'impact carbone se situe entre celui du S3 et du S4. Ceci est dû au fait que moins d'actions adaptatives ont été mises en place dans ce scénario. Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte d'autres formes de bilans, tels que les bilans humains, environnementaux ou économiques. En effet, les conséquences sociales de n'avoir pas mis d'action d'adaptation en place sont extrêmement délétères pour les populations vulnérables.

De l'ampleur du changement climatique

Les risques étant plus élevés dans le scénario RCP 8.5 que dans le RCP 4.5, davantage d'actions adaptatives sont mises en place. Les différences de risques des scénarios de projection climatique du GIEC RCP4.5 et RCP8.5 impliquent ainsi des différences d'empreinte carbone dans les scénarios 3 et 4 : la surface plus étendue de bâtiments à risque produit des empreintes carbone plus importantes dans le scénario RCP4.5 que dans le scénario RCP8.5.

III. Limites et Perspectives

L'identification des limites et perspectives de cette étude permet de mieux comprendre les biais et limitations de l'approfondissement de celle-ci, et de connaître les besoins en recherche de nouvelles connaissances et méthodes.

	Limites	Perspectives
Modèles climatiques	Le choix des indicateurs DRIAS est basé sur le modèle CNRM-2014. Ce modèle est daté : le risque sur l'ensemble des scénarios est minimisé. En effet, les prévisions climatiques actuelles sont moins optimistes que celles de 2014, car l'humanité a continué à évoluer sur une trajectoire similaire au RCP 8.5 jusqu'en 2020.	Une mise à jour de l'étude avec des données actualisées selon les derniers modèles permettrait une qualification des risques plus proche de la trajectoire climatique observée.
Indicateurs climatiques	Dans l'analyse de risque d'inondation, le choix de l'indicateur PFL90, pour observer l'évolution des précipitations intenses, est une limite car sa fluctuation ne permet pas de rendre compte d'une augmentation du risque en intensité de précipitation (on observe une stagnation en durée des périodes de pluie).	Une analyse des risques liés aux inondations avec un indicateur représentatif de l'intensité des précipitations est nécessaire sur ce risque. La récente publication de nouveaux indicateurs sur la plateforme DRIAS rend cette mise à jour techniquement possible. Par ailleurs, croiser ces indices au regard des potentialités d'artificialisation et renaturation dans les villes ou zones rurales permettrait de mieux modéliser les évolutions d'inondation à venir.
Données bâtiments	Les bâtiments résidentiels ou tertiaires ont été traités indifféremment. Les bâtiments industriels et agricoles ne sont pas étudiés.	Une étude différenciant les bâtiments résidentiels ou tertiaires permettrait de rendre compte des vulnérabilités associées aux enjeux d'usage. Le cas des bâtiments industriels pourrait aussi faire l'objet d'un complément d'étude.
Optimisation des calculs	Afin d'optimiser les temps de calculs, des optimisations ont été réalisées, impliquant des biais. L'hypothèse suivante a dû être posée : la surface moyenne d'un bâtiment est la même dans toutes les régions climatiques de France. Dans le cas où les surfaces moyennes seraient très différentes, le risque serait estimé à la hausse sur les régions aux surfaces moyennes plus faibles et minimisé dans le cas opposé.	Avec du matériel informatique plus robuste, un serveur à distance, ou plus de temps, la précision pourrait être améliorée.
Horizons temporels	L'horizon temporel à 2050 est un horizon à moyen terme. Celui-ci n'est pas adapté pour l'observation du risque lié à l'aléa submersions marines, du fait de l'inertie du phénomène de montée du niveau de la mer.	Une mise à jour de l'étude avec des projections long-terme, à 2100, est nécessaire pour observer une différence entre le scénario intermédiaire (RCP4.5) et business-as-usual (RCP8.5).

	Limites	Perspectives
Hypothèses des scénarios Transition(s)	<p>Les choix de localisation des constructions dans les années à venir sont déterminants : construisons-nous dans les zones exposées aux aléas climatiques ? L'absence de philosophie, pour chacun des scénarios Transition(s) 2050, déterminant la proportion de construction dans les zones à risque vs. hors risque, ne permet pas de projeter des évolutions de surface à risque. Or, il y a une dépendance directe entre proportion du risque et taux de construction définis dans les scénarios de neutralité.</p>	<p>Afin de réellement traduire les philosophies des différents scénarios de neutralité, il aurait fallu poser des hypothèses concernant les taux de construction en zones à risques, et les faire évoluer différemment selon les philosophies des scénarios Transition(s) 2050. Ceci aurait permis d'illustrer la prise en compte du changement climatique dans les diagnostics préalables et de faire varier les proportions de surfaces de bâtiments concernés par les risques climatiques. Une mise à jour de l'étude avec des hypothèses concernant les taux de construction neuves dans les zones à risques est incontournable pour réellement évaluer l'impact des stratégies d'adaptation françaises sur les risques auxquels les bâtiments seront soumis.</p>
Externalités environnementales, économiques et sociales	<p>Seule l'évaluation des émissions carbone est réalisée : les externalités négatives (pollution, conséquences sociales, conséquences sur la biodiversité, exploitation des ressources) n'ont pas été évaluées dans le cadre de ces travaux. Certaines conséquences n'ont donc pas été prises en compte et cela minimise donc les impacts des scénarios.</p>	<p>L'analyse devrait être complétée d'une évaluation des reports de vulnérabilités sur les autres systèmes, et d'une analyse quantifiant les externalités négatives potentielles des stratégies d'adaptation (pollution, conséquences sociales, conséquences sur la biodiversité, exploitation des ressources).</p>
Boucles de rétroaction	<p>Les effets rebonds liés à l'adaptation n'ont pas été pris en compte dans cette étude. Notamment, l'incapacité future à mettre en œuvre les solutions proposées dans un climat non identique à celui d'aujourd'hui n'a pas été modélisée.</p>	<p>Ces phénomènes pourraient faire l'objet d'un complément d'analyse.</p>
Analyse multi-risques	<p>Les analyses de risques ont été menées en silos, aléas par aléas. Sachant qu'un risque multi-aléas est amplificateur, les potentiels de risques sont, dans cette étude, minimisés.</p>	<p>Ces croisements pourraient faire l'objet d'un complément d'analyse.</p>
Efficacité des solutions adaptatives	<p>Les solutions adaptatives présentées ici suivent la philosophie des scénarios, mais l'analyse de leur impact en termes de réduction globale de la vulnérabilité du parc bâti n'a pas été faite. Par exemple, l'impact de la mise en œuvre de la végétalisation, de la protection solaire et des brasseurs d'air sur l'amélioration, au global, du confort d'été dans le bâtiment, n'a pas été étudiée.</p>	<p>Une analyse plus complète de l'efficacité cumulée des solutions adaptatives sur le parc bâti est nécessaire.</p>

