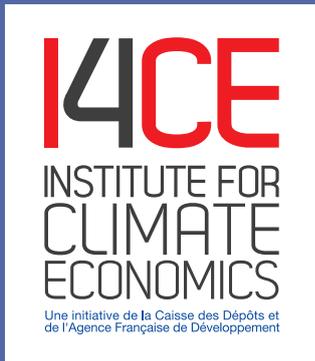


ADAPTATION



Paris,
Juin 2024

Vagues de chaleur : ce que l'on peut dire des coûts de l'adaptation des bâtiments

Auteurs : Guillaume **Dolques** | Vivian **Dépoues**

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*



CONTEXTE

Ce rapport a été réalisé dans le cadre d'un projet visant à analyser les **implications économiques des trajectoires d'adaptation** mené par I4CE et ses partenaires entre février 2023 et mars 2024 et dont la synthèse «**Anticiper les effets d'un réchauffement de +4°C : quels coûts de l'adaptation ?**» a été publiée en avril 2024. Il propose une vision à date de ce que l'on peut dire sur les coûts de l'adaptation aux vagues de chaleur pour le secteur du bâtiment en France hexagonale et identifie les manques et besoins d'études complémentaires pour pouvoir aller plus loin.

Cette étude a été réalisée avec la participation de **Cristhian Andres Molina Calderon, Morgane Moullie, Marie Andrieux, Pauline Vilain** et **Sakina Pen Point** (Observatoire de l'Immobilier Durable) qui ont conduit l'analyse de l'exposition du parc de bâtiments et dont **une synthèse** a été publiée en mars 2024.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient toutes celles et tous ceux qui ont alimenté ce travail en leur accordant des entretiens et en participant aux différents groupes de travail et en particulier : **Margot Duvivier** (Plan Bâtiment Durable) ; **Albane Gaspard** (ADEME) ; **Frédéric Corset** (EnvirobatBDM) ; **Henri Casella** (CSTB) ; **Thomas Lemerle** et **Tom Sarrebourg** (Pouget Consultants) ; **Marine Tranchant** et **Julie Pouëssel** (CEREMA), **Justine Bichon** et **Frédéric Delhommeau** (Agence Parisienne du Climat) ; **Aymeric Novel** (Terao) ; **Magali Saint-Donat** (Association des directeurs immobiliers) ; **Adrien Delahais** (CIRED / école des Ponts ParisTech) ; **Eduardo Serodio** (Izuba Energies) ; **Joseph Hajjar, Sylvain Cazaux** et **Jean-Marie Quemener** (SGPE) ; **Romain Gorges** et **Cécile Thévenin** (Direction Immobilière de l'État).

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.

SOMMAIRE

RÉSUMÉ POUR DÉCIDEURS	2		
1. INTRODUCTION : L'ADAPTATION, LE NOUVEAU DÉFI CLIMAT DU SECTEUR DU BÂTIMENT	4		
2. LES VAGUES DE CHALEUR ENTRAÎNENT DES CONSÉQUENCES SUR LES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES ET LES POPULATIONS	5		
Conséquences économiques indirectes	5		
Conséquences sanitaires et sociales	7		
3. LA RÉPONSE TENDANCIELLE FACE AUX VAGUES DE CHALEUR : S'ÉQUIPER EN SYSTÈMES DE CLIMATISATION	8		
S'équiper en climatisation loin devant les autres options d'adaptation	8		
Les investissements associés à cette forme d'adaptation, peu consolidés, sont pourtant bien réels	9		
4. D'AUTRES LEVIERS DISPONIBLES POUR ADAPTER LES BÂTIMENTS AUX VAGUES DE CHALEUR	10		
5. DES INVESTISSEMENTS CLÉS IDENTIFIÉS POUR EMBARQUER L'ADAPTATION DANS LES PROJETS DÉJÀ PRÉVUS	12		
En construction neuve : aller au-delà de la réglementation	12		
Pour le parc existant : sanctuariser les rénovations globales et intégrer l'adaptation	12		
MÉTHODE	14		
Quel surcoût retenir pour l'adaptation ?	14		
Les besoins additionnels pour l'adaptation dans les investissements identifiés	16		
Un processus d'opérationnalisation qui reste à bâtir	18		
6. SE PRÉPARER À FAIRE FACE AUX VAGUES DE CHALEUR : UN ENJEU TERRITORIAL ET SOCIAL PLUS QU'UNE SOMME D'AJUSTEMENTS TECHNIQUES À L'ÉCHELLE DES BÂTIMENTS	19		
Aux abords du bâtiment, de nombreuses solutions contribuent à limiter la surchauffe	19		
À plus large échelle, la morphologie urbaine, la présence d'eau et de végétalisation jouent également un rôle	19		
Limiter les conséquences sanitaires passe aussi par un système de santé robuste et des services de secours efficaces	20		
Pour les activités économiques, la réponse ne se trouve pas nécessairement dans la réalisation de travaux	20		
Le niveau de préparation de la population : un facteur clé	20		
ANNEXES	23		
Annexe 1. Exemples de leviers d'amélioration du confort d'été et surcoût associé en construction neuve	23		
Annexe 2. Exemples de leviers d'amélioration du confort d'été et surcoût associé en rénovation	23		
RÉFÉRENCES	24		

RÉSUMÉ POUR DÉCIDEURS

Face aux conséquences grandissantes des vagues de chaleur sur les activités économiques et les populations, l'adaptation du secteur du bâtiment apparait désormais comme un nouvel impératif. Si la question du « comment » a déjà fait l'objet de nombreux travaux, la question du « combien » reste pour le moment peu traitée. Pour avancer en ce sens, nous présentons dans ce rapport :

- **un premier état des lieux** de ce que l'on sait dire à date des coûts de l'adaptation aux vagues de chaleur pour le secteur du bâtiment ;
- **la méthodologie que nous avons utilisée pour chiffrer les surcoûts de l'adaptation aux vagues de chaleur**, construite à partir des éléments disponibles et de discussions avec des experts.

Ce travail d'analyse nous permet de tirer sept leçons et une recommandation :

- 1 L'absence d'un cadre commun partagé et consensuel est un des principaux freins évoqués par les acteurs de la filière qui souhaitent se lancer dans une démarche d'adaptation.** S'ils sont de plus en plus nombreux à identifier le confort d'été comme un enjeu majeur, les acteurs du secteur ne disposent pour le moment ni des fichiers météos standardisés et alignés avec la Trajectoire de Réchauffement de Référence pour l'Adaptation au Changement Climatique (TRACC) ni de référentiel technique, cahier des charges ou processus de labellisation pour l'adaptation.

RECOMMANDATION

Mettre en place et animer des groupes de travail pour élaborer un cadre commun de référence pour l'adaptation au changement climatique des bâtiments existants. À l'image des travaux CAP2030 en cours qui préfigurent la prochaine réglementation de la construction neuve.

→ **Construire ce cadre commun de référence apparait comme la prochaine étape clé pour l'adaptation des bâtiments aux vagues de chaleur.**

- 2 Les épisodes récents montrent que les bâtiments se révèlent peu adaptés ce qui entraîne déjà des conséquences élevées et amenées à croître si rien n'est fait.** Les vagues de chaleur n'endommagent

pas directement le bâtiment, elles ont en revanche un impact sur les activités économiques et la santé des personnes qui vivent, étudient ou travaillent en intérieur. Ces conséquences sont déjà élevées : à l'échelle européenne, on enregistre des pertes de productivité comprises entre 0,3 et 0,5 % du PIB les années de fortes chaleurs, bien que l'on ne sache pas déterminer précisément la part de ces conséquences attribuable aux bâtiments. En France, entre 2015 et 2020, les impacts sanitaires ont été estimés entre 22 et 37 milliards d'euros. **À mesure que le climat va se réchauffer, l'exposition du parc de bâtiments va s'accroître.** Dès 2°C de réchauffement (2030 selon la TRACC) près de la moitié des bâtiments sera déjà fortement ou très fortement exposée, cette proportion atteindra la quasi-totalité du parc à +4°C. Les zones urbaines denses seront particulièrement touchées et des villes encore peu exposées aujourd'hui risquent de le devenir très fortement. **Si rien n'est fait pour s'y adapter, les conséquences économiques et sanitaires des vagues de chaleur augmenteront aussi.** À l'échelle européenne, elles pourraient atteindre plusieurs points de PIB en fin de siècle dans les pays les plus exposés et engendrer 30 fois plus de décès qu'actuellement.

- 3 La réponse tendancielle face à l'évolution de ce phénomène :** s'équiper en climatisation. C'est le geste réactif que l'on retrouve dans la plupart des cas et qui représente déjà des investissements que nous estimons autour de 3,5 milliards d'euros chaque année pour le logement. Si ce rythme se maintient, la quasi-totalité du parc pourrait être équipée d'ici 2050. Souvent qualifié de maladaptation, le déploiement massif de la climatisation questionne au regard des externalités générées : consommation électrique accrue, émissions de gaz à effet de serre et surtout une augmentation de la température extérieure en zone urbaine qui pourrait atteindre plusieurs degrés.

- 4 D'autres solutions d'adaptation sont disponibles et peuvent s'intégrer dans les dynamiques de planification existantes.** Ces solutions sont bien documentées et pour la plupart mutualisables avec les opérations prévues. **En construction neuve, il s'agit d'aller au-delà de la réglementation** car celle-ci ne tient pas encore compte des projections climatiques. Pour le parc existant, **il s'agit d'intégrer l'adaptation dans la politique de rénovation énergétique** qui prévoit de rénover la grande majorité du parc à horizon 2050 (SNBC). En commençant par réorienter les investissements vers les rénovations globales, les plus efficaces pour le confort d'été et pour lesquelles il manque

encore près de 27 milliards d'euros par an pour atteindre les objectifs. Cet effort pour l'adaptation représente un surcoût, que nous avons estimé dans cette étude entre 2 et 5 % pour la construction neuve et 10 % pour la rénovation par rapport à des opérations sans adaptation. Cela représenterait

des besoins additionnels par rapport aux besoins d'investissement publics et privés nécessaires à l'atteinte des objectifs de neutralité carbone de 1 à 2,5 milliards pour la construction neuve et 4,8 milliards d'euros pour la rénovation.

	Des constructions neuves qui vont au-delà de la réglementation pour le confort d'été	Des rénovations globales qui intègrent l'enjeu d'adaptation aux vagues de chaleur
Logements	+0,7 à +1,8 milliard d'euros par an	+3,1 milliards d'euros par an
Bâtiment tertiaires	+0,3 à +0,7 milliard d'euros par an	+1,7 milliard d'euros par an

Moyenne sur la période 2024-2030.

- 5 **Ces investissements additionnels pourraient se révéler insuffisants à partir d'un certain niveau de réchauffement climatique.** Peu d'études prospectives existent à ce jour. Néanmoins les premiers éléments disponibles montrent que pour certaines zones climatiques (notamment le pourtour méditerranéen), il va devenir de plus en plus difficile de se passer de la climatisation à partir de la moitié du siècle (+2,7°C). En revanche, ces études s'accordent sur l'efficacité des solutions d'adaptation et invitent à adopter une approche séquencée, c'est-à-dire en agissant d'abord sur les autres leviers avant de se poser la question de la climatisation.
- 6 **L'adaptation aux vagues de chaleur ne se limitera pas à une somme de travaux réalisés sur les bâtiments,** car les solutions d'adaptation ne sont efficaces que si elles sont utilisées correctement. À ce titre, le niveau de sensibilisation et le comportement des usagers sont fondamentaux. Plus largement, c'est bien une approche systémique et intégrée qui permettra de garantir la résilience des activités économiques et des populations face aux vagues de chaleur. À l'échelle de la ville, la politique territoriale

doit être cohérente avec les enjeux d'adaptation et accorder de l'importance à la qualité du tissu social qui permet d'éviter les situations d'isolement. Elle doit également s'assurer de la robustesse du système de santé et des services de secours qui contribuent à limiter les conséquences sanitaires des canicules. Enfin, pour les acteurs économiques et les services publics, d'autres initiatives peuvent être entreprises face aux fortes chaleurs comme la mise en place de points d'eau ou d'horaires de travail décalés.

- 7 **Des travaux de recherche complémentaires sont nécessaires pour affiner la compréhension des besoins économiques pour l'adaptation des bâtiments.** Il s'agit par exemple d'améliorer la connaissance sur les conséquences d'une perturbation ou de la fermeture d'un service public essentiel en période de fortes chaleurs ; de mieux déterminer l'efficacité et les limites des solutions d'adaptation à l'échelle du parc et d'affiner les connaissances relatives à leur coût. Des exercices de ce type ont été réalisés à l'étranger et pourraient être reproduits en France par les experts de la filière.

1. INTRODUCTION : L'ADAPTATION, LE NOUVEAU DÉFI CLIMAT DU SECTEUR DU BÂTIMENT

Avec 64 MtCO₂e émis en 2022, le secteur du bâtiment est actuellement le troisième secteur émetteur de gaz à effet de serre en France. **Les objectifs de neutralité carbone de la France appellent ce secteur à relever un défi de taille : celui de réduire drastiquement ses émissions d'ici à la moitié du siècle.** Pour y parvenir, d'importants efforts de planification (s'articulant autour de la Stratégie Nationale Bas-Carbone) ont été menés et se sont traduits par la mise en œuvre concrète d'outils pour inciter (ex. MaPrimeRénov', CEE) et contraindre (ex. décret tertiaire, révision des normes de construction) les acteurs du bâtiment à s'engager dans cette voie.

Mais force est de constater qu'au niveau mondial, la mise en œuvre de la transition vers une économie neutre en carbone n'a pas été aussi rapide qu'espérée. Le climat s'est déjà réchauffé et les impacts de ce réchauffement se font sentir dans tous les secteurs. Sur les bâtiments, cela se traduit déjà très concrètement par des coûts assurantiels en hausse et une contribution de leur part aux conséquences économiques, sociales et sanitaires relevées lors des phénomènes météorologiques extrêmes. Ainsi, les effets du changement climatique conduisent le secteur du bâtiment vers un nouveau défi : celui de son adaptation au changement climatique.

Ce défi de l'adaptation soulève de nouvelles questions techniques pour les ingénieurs et les architectes, mais également des questions économiques pour tous les acteurs du secteur. En effet, comme le soulevait la Cour des comptes dans son rapport public annuel 2024 consacré à l'adaptation « *la vérité des prix constitue un élément d'arbitrage essentiel pour définir et mettre en œuvre des solutions financièrement soutenables* » (Cour des comptes 2024b). Si d'importants progrès ont été réalisés dans l'évaluation économique des politiques de neutralité carbone, la question des coûts de l'adaptation reste beaucoup plus émergente. Pour avancer dans cette estimation, I4CE et ses partenaires ont conduit, entre février 2023 et mars 2024, un projet visant à analyser les [implications économiques des trajectoires d'adaptation](#), dont la synthèse « [Anticiper les effets d'un réchauffement de +4°C : quels coûts de l'adaptation ?](#) » a été publiée en avril 2024.

Cette étude complémentaire s'adresse principalement aux acteurs du secteur du bâtiment et propose de donner une vision plus détaillée à date de ce que l'on sait dire ou non des coûts de l'adaptation aux vagues de chaleur pour ce secteur.

Notre démarche s'appuie sur une analyse de la littérature scientifique et de la documentation produite par l'administration, les filières et la société civile existante à l'échelle française et européenne sur le coût des impacts et des solutions d'adaptation au changement climatique en lien avec le secteur du bâtiment. Elle s'appuie également sur les travaux d'un comité technique réunissant une quinzaine d'acteurs comprenant des experts du secteur (bureaux d'études, gestionnaires immobiliers, membres du Réseau Bâtiment Durable, etc.) et des opérateurs de l'état (ADEME, CEREMA, CSTB).

Nos travaux ont également conduit à élaborer une méthodologie, qui est présentée dans cette étude, visant à réaliser une première estimation des coûts de l'adaptation pour le bâtiment. Finalement, le rapport identifie les besoins d'études complémentaires mises en avant au fil de l'analyse et qui seraient utiles pour une meilleure compréhension des enjeux économiques de l'adaptation des bâtiments aux vagues de chaleurs.

2. LES VAGUES DE CHALEUR ENTRAÎNENT DES CONSÉQUENCES SUR LES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES ET LES POPULATIONS

Contrairement aux inondations ou au phénomène de retrait-gonflement des argiles (RGA), les vagues de chaleur n'ont pas d'impact direct majeur sur le bâtiment¹. Elles n'endommagent ni la structure, à l'image des fissurations relatives au RGA, ni les autres éléments constitutifs des bâtiments, comme l'isolation ou les réseaux endommagés par les inondations.

En revanche, elles ont un impact sur les conditions de confort à l'intérieur des bâtiments, ce que l'on appelle couramment le « confort d'été ». Cette notion n'est apparue que très récemment dans la réglementation. Ainsi, pour la grande majorité du parc de bâtiments les conditions de confort en été n'ont pas été prises en compte au moment de leur conception et de leur construction. Cette omission se traduit déjà par des perturbations importantes relevées lors des épisodes

de fortes chaleurs. Il peut s'agir de la perturbation de certains services essentiels (ex. hôpitaux, établissements scolaires, commissariats, casernes), de certaines activités productives (ex. locaux industriels, bureaux) ou directement de la santé des populations (ex. EHPAD, logements sociaux).

Les évènements climatiques récents montrent que ces perturbations entraînent déjà des conséquences économiques et sanitaires qui pèsent lourd sur l'économie française. À mesure que le climat se réchauffe, il faut s'attendre à une exposition croissante des bâtiments face aux vagues de chaleur (cf. encadré 1). Mécaniquement, si rien n'est fait pour s'y adapter, ces conséquences seront donc également amenées à croître dans les décennies à venir.

Conséquences économiques indirectes

Plusieurs études récentes ont cherché à estimer l'impact de l'évolution des températures sur la productivité au travail. À l'échelle mondiale, Orlov *et al.* (2020) montrent que celle-ci pourrait atteindre 1,4 % d'ici la fin du siècle (RCP 8.5, soit proche du +4°C en France). Au niveau Européen, les vagues de chaleur engendrent déjà des pertes de productivité importantes : en 2003, 2010, 2015 et 2018 elles ont représenté entre 0,3 % et 0,5 % du PIB européen (García-León *et al.* 2021). En comparaison, la période de référence (1981-2010) enregistre une perte moyenne de 0,21 %. En l'absence de mesures d'adaptation, ces pertes pourraient augmenter à 0,77 % entre 2035 et 2045 et atteindre 1,14 % à partir de 2060 (RCP8.5). Néanmoins, une forte disparité géographique est observée : elles atteignent 1,8 % en France d'ici 2060, tandis qu'elles pourraient se situer autour de 3 % pour le Portugal ou l'Espagne et rester quasiment nulles pour le Royaume-Uni et l'Irlande. Toujours au niveau européen, Szweczyk, Mongelli, et Ciscar (2021) estiment à 1,6 point la baisse

de productivité à horizon 2080 (RCP8.5) due à une baisse de productivité au travail en période de forte chaleur. Là encore, la répartition spatiale est très hétérogène : les régions méditerranéennes seraient les plus touchées avec une baisse de 3 % en moyenne et pourrait atteindre 8 % à horizon 2080 (RCP8.5). Costa *et al.* (2016) estiment que lors d'une année chaude (dans la période 2080-2100), la perte de productivité pourrait atteindre 0,4 % à Londres (soit 1,9 milliard d'euros²), 2,1 % pour Anvers (670 millions d'euros) et 9,5 % pour Bilbao (2,5 milliards d'euros).

Pour certains types de bâtiments, il faut également s'attendre à une baisse voire un arrêt d'exploitation en cas de forte chaleur. Ainsi, une étude de WWF (2021) observe que sur les 60 344 salles de sports collectifs en France, la moitié a été construite avant 1987. En région Île-de-France, 23 % des salles n'ont jamais bénéficié de rénovation. En conséquence, les activités sportives pratiquées en salle, qui sont déjà impactées, deviendront de plus en plus difficilement praticables lors des épisodes caniculaires.

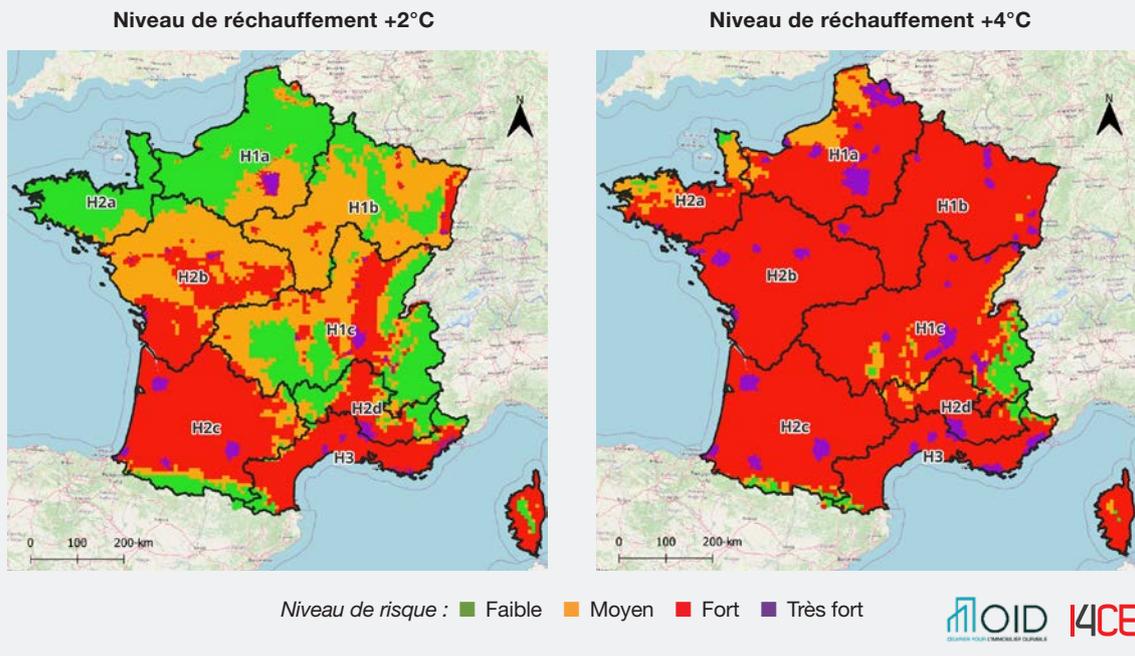
1 Ou alors très marginalement. Par exemple, le rayonnement solaire (généralement associé aux périodes de fortes chaleurs) peut accélérer l'altération des réseaux d'eau pluviale aériens en PVC par exemple.

2 Les coûts sont exprimés en euros constants de 2005.

ENCADRÉ 1 : DES BÂTIMENTS DE PLUS EN PLUS EXPOSÉS AUX VAGUES DE CHALEUR

Dans le cadre de ce projet, l’Observatoire de l’Immobilier Durable (OID 2024a) a mené une évaluation du nombre de bâtiments exposés aux vagues de chaleur pour plusieurs niveaux de réchauffement en France³. Les résultats montrent que dès 2°C de réchauffement (2030 selon la TRACC) près de la moitié des bâtiments serait déjà exposée à un risque fort et très fort⁴. Pour 4°C de réchauffement (2100 selon la TRACC) la quasi-totalité du territoire serait à minima fortement exposée avec de très nombreuses zones urbaines denses très fortement exposées.

EXPOSITION DU PARC DE BÂTIMENTS AUX VAGUES DE CHALEUR SELON LE NIVEAU DE RÉCHAUFFEMENT EN FRANCE



Source : (OID 2024a)



BESOIN D'ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE IDENTIFIÉ N°1 : QUEL COÛT ASSOCIER À LA FERMETURE D'UN SERVICE PUBLIC ESSENTIEL ?

Les périodes de fortes chaleurs sont propices à la perturbation des services publics. Plages horaires décalées, services interrompus : des centaines d'établissements scolaires ont déjà connu des périodes de fermeture lors d'épisodes caniculaires. En France, ces perturbations restent contenues à l'heure actuelle. En revanche, elles pourraient s'aggraver à l'avenir, par exemple si elles conduisaient à l'interruption de certains services essentiels hébergés dans des bâtiments exposés comme les casernes, les hôpitaux, les commissariats ou les prisons⁵. Ces perturbations entraînent des coûts socio-économiques qui pourraient s'avérer majeurs, mais qui n'ont pas fait l'objet de travaux consolidés à ce jour⁶.

3 Ce travail s'est limité à objectiver l'exposition du parc de bâtiments et n'a pas cherché à déterminer sa vulnérabilité.
 4 Le niveau de risque est déterminé par le croisement du nombre de jours de climatisation (cooling degree days - CDD) avec la présence d'un phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU). La méthodologie détaillée est disponible dans la publication dédiée (OID 2024a).
 5 Des exemples étrangers permettent de situer l'ampleur que pourraient prendre ces perturbations : en 2022, l'Angleterre a connu une vague de chaleur qui a entraîné un arrêt complet du système informatique des deux plus grands hôpitaux du Royaume-Uni. Cet arrêt a conduit à des annulations de rendez-vous, d'interventions et des transferts de patients gravement malades.
 6 Ce type de chiffrage est déjà réalisé dans d'autres secteurs. Par exemple, la SNCF monétise les minutes de retard cumulées lors des épisodes de canicule (qui ont pu atteindre plusieurs centaines de milliers d'euros par jour lors de la canicule de 2019, I4CE 2024).

Conséquences sanitaires et sociales

Au niveau européen, le programme de recherche Peseta IV (JRC 2020) évalue à 2 700 le nombre actuel de décès attribuables chaque année uniquement aux vagues de chaleur intenses (de temps de retour cinquantennal). Sans mesure d'adaptation supplémentaire, l'étude estime que le nombre de décès pourrait atteindre 28 800 à +2°C (en 2030 selon la TRACC) et 89 000 à +4°C (en 2100 selon la TRACC), soit 30 fois plus qu'actuellement. Parmi les populations les plus à risque, l'étude mentionne notamment les habitants des zones urbaines denses.

À l'échelle de la France, en regardant à la fois les vagues de chaleur et les épisodes de chaleurs modérés, le programme de recherche COACCH (2020) estime autour de 10 800 le nombre de décès annuels à un horizon proche (2030-2039, RCP8.5). Ce chiffre pourrait quadrupler pour dépasser les 46 000 décès annuels en France à la fin du siècle. Une autre étude (Gasparrini et al. 2017) a cherché à estimer la mortalité en excès en considérant à la fois l'effet de la chaleur et la baisse de mortalité due aux moindres épisodes de froid. Celle-ci serait de 1% à l'horizon de la moitié du siècle et pourrait atteindre 4% à la fin du siècle (RCP 8.5).

En termes de coût, sur l'année 2022, le seul nombre de passages aux urgences attribuable aux vagues de chaleur a représenté un coût supplémentaire pour l'assurance-maladie évalué à 54 M€ (Cour des comptes 2024a). Plus largement, Santé publique France (2021) a réalisé une première quantification des impacts sanitaires recensés lors des épisodes de fortes chaleurs en France. L'étude conclut qu'entre 2015 et 2020, les impacts étudiés⁷ représentent au total entre 22 et 37 milliards d'euros (selon la méthode de valorisation monétaire de la surmortalité retenue) sur la période. La mortalité en excès est majoritaire (entre 16 et 30 milliards), la restriction d'activité est évaluée à environ 6 milliards d'euros. En observant que le nombre de nuits anormalement chaudes attendu d'ici 2050 devrait globalement doubler (RCP8.5) et si rien n'est fait pour s'y adapter, l'Observatoire de l'immobilier durable (OID 2023) propose de retenir en première approximation un doublement de ces coûts soit entre 44 et 74 milliards d'euros sur la période 2045-2050.



COMPOSER AVEC L'INCERTITUDE : LA PART DE RESPONSABILITÉ INDÉTERMINÉE ATTRIBUABLE AUX BÂTIMENTS DANS LES CONSÉQUENCES ÉCONOMIQUES ET SANITAIRES

Peu de doutes subsistent sur la contribution effective des bâtiments aux conséquences économiques et sanitaires relevées lors des canicules. En ce sens, le rapport de la commission d'enquête sur les conséquences de la canicule de 2003 concluait que « l'architecture, surtout dans la région du nord, n'est pas pensée en fonction d'une vague de chaleur » et que « les larges baies vitrées dépourvues de volets ou stores ont contribué aux effets dévastateurs de la canicule » (Assemblée Nationale 2004). En revanche, la part de responsabilité précise des bâtiments dans ces coûts demeure inconnue.

Tous les coûts ne sont pas être imputables aux seuls bâtiments. En cas de surmortalité observée lors des canicules par exemple, il faudrait connaître avec précision le partage des responsabilités entre : les conditions à l'intérieur du bâtiment (ex. température, hygrométrie), le niveau de vulnérabilité de la personne (âge, facteur de comorbidité), d'autres facteurs sociaux (comme l'isolation, l'inscription ou non sur le registre communal des personnes vulnérables) ou encore le temps d'intervention des secours. En pratique, la cause du décès (ou dans d'autres cas le passage aux urgences, le rendez-vous chez SOS médecin) est due à un mix inextricable de ces facteurs. **Il s'agit donc de composer avec cette incertitude.**

Le constat est similaire pour la perte de productivité au travail. Celle-ci est principalement due aux travaux en extérieur (BTP, secteur agricole), c'est-à-dire non relative aux bâtiments en premier ordre. Les études disponibles restent néanmoins parcellaires, elles se sont plutôt attachées à différencier les formes de travail (difficulté de l'effort) et leur exposition au soleil. Ainsi, le travail à l'ombre en extérieur et le travail à l'intérieur sont souvent confondus. Le projet de recherche Européen PESETA III (JRC 2018) a tenté de faire la différence entre travail en intérieur et en extérieur. L'étude évalue entre -0,5 % et -4 % la perte de productivité en intérieur à la fin du siècle (RCP8.5, soit proche de 4°C France). À titre de comparaison elle serait comprise entre -2 % et -11 % pour le travail en extérieur au même horizon. Autre exemple, en considérant une baisse de productivité au-delà de 25°C, une étude néerlandaise (Daanen 2020) estime à près de 400 millions d'euros par an la perte de productivité au travail dans les bureaux non climatisés en 2050.

⁷ La surmortalité, les passages aux urgences, les consultations de médecins et la perte de bien-être.

3. LA RÉPONSE TENDANCIELLE FACE AUX VAGUES DE CHALEUR : S'ÉQUIPER EN SYSTÈMES DE CLIMATISATION

Face aux vagues de chaleurs, ceux qui habitent, gèrent et exploitent les bâtiments, ne demeurent pas passifs. Ils s'engagent déjà dans une forme d'adaptation réactive : le plus souvent en s'équipant de systèmes de climatisation.

S'équiper en climatisation loin devant les autres options d'adaptation

Pour le logement, l'enquête ménages réalisée par l'ONRE (2022) montre que la mise en place d'un équipement de climatisation représente plus de 90 % des gestes d'adaptation (hors ventilation⁸) réalisés pour rafraîchir un logement, loin devant les autres options d'adaptation (comme l'installation de brise-soleils ou de brasseurs d'air). Depuis une dizaine d'années, on observe une rupture de tendance sur les ventes de climatiseurs : après une période de relative stabilité jusqu'en 2015, les ventes ont progressé constamment pour atteindre puis dépasser les 800 000 unités vendues chaque année⁹ (Coda Stratégies 2020¹⁰). Ainsi, en 2020, le taux d'équipement des logements en climatisation était estimé à 25 % (ibid) alors qu'il n'était que de 11 % en 2017 (INSEE 2017).

S'agissant des bâtiments tertiaires, Coda Stratégies estime autour de 40 % le taux de pénétration de la climatisation (soit 370 millions de m² climatisés). Ce chiffre cache de fortes disparités selon le type de bâtiments : les centres commerciaux étant climatisés dans leur quasi-totalité alors que les bâtiments d'enseignement présentent le taux le plus faible (de l'ordre de 7 %). Les systèmes de climatisation de type DRV (comparable aux pompes à chaleur air-air) concentrent la grande majorité du marché avec 84 % des installations en 2021 (contre 50 % seulement en 2010).

Vers un parc entièrement équipé en 2050 ?

Dans certains pays (Japon, États-Unis) plus de 9 logements sur 10 sont équipés de systèmes de climatisation. À l'échelle de la France, RTE (2021) prévoit qu'un foyer sur deux sera équipé d'ici à 2050. Cette évolution serait davantage tirée par la tendance à s'équiper (à climat actuel) plutôt que le fruit de l'évolution attendue du climat. Les scénarios Transition(s) 2050 (ADEME) intègrent des taux d'équipement plus élevés (entre 80 et 95 %), avec

une utilisation des équipements installés plus ou moins importante selon les scénarios. Si l'on considère le rythme actuel de déploiement (1,3 million de systèmes vendus en 2020¹¹), la quasi-totalité du parc devrait être équipée en climatisation d'ici à 2050¹².

Une réponse d'adaptation qui pose néanmoins question

Cette forme d'adaptation est dite « réactive » car si dans certains cas, l'acte de s'équiper est accompagné d'une réflexion globale de rénovation, il intervient souvent juste avant ou en réponse à une crise. Mis en œuvre dans l'urgence, le recours massif à ce type de réponse interroge notamment au regard des externalités qu'elle génère¹³.

Une augmentation des températures recensée en zone urbaine et une question d'égalité sociale

S'équiper en système de climatisation performant (comme les pompes à chaleur) est onéreux et les ménages les plus modestes n'en ont pas nécessairement les moyens. Ainsi, ce sont plutôt les propriétaires de maisons individuelles dans le sud-est de la France qui sont équipés (Coda Stratégies 2020). Paradoxalement, c'est le profil inverse des personnes majoritairement impactées par les canicules qui sont plutôt recensées en zones urbaines denses (Assemblée Nationale 2004) et parmi les catégories sociales ayant un revenu faible (Institut de veille sanitaire 2003; Fondation Abbé Pierre 2023). Ces populations sont également plus souvent confrontées à des problématiques de surpeuplement ou de mal logement (Fondation Abbé Pierre 2023). Ainsi 70 % des habitants des Quartier Prioritaire de la politique de la Ville (QPV) estiment que la température est trop élevée dans leur logement pendant l'été (contre 56 % pour le reste de la population française, Harris Interactive 2022).

8 Qui est dans la plupart des cas associé à une volonté de réduire les consommations énergétiques.

9 Hors appareils de climatisation mobile dont les ventes atteignent désormais les 400 000 unités chaque année.

10 L'étude de Coda Stratégies, beaucoup citée par la suite, est une des seules études disponibles permettant de situer les dynamiques actuelles et prospectives associées à la climatisation. Elle a été réalisée pour le compte de l'ADEME et a fait l'objet d'une méthodologie robuste fruit de discussions avec de nombreux experts du secteur.

11 Incluant les appareils fixes (PAC air-air, multisplit et monosplit) et mobiles.

12 En considérant qu'un foyer ne s'équipe que d'un système (qui peut comporter plusieurs unités).

13 Pour aller plus loin sur ce sujet, voir <https://politiquedulogement.com/2022/10/lentree-de-la-climatization-dans-les-foyers-francais-1-2-etat-des-lieux/>

En rejetant de l'air chaud à l'extérieur, les systèmes de climatisation exacerbent encore ces situations inégalitaires et peuvent aller jusqu'à affecter l'attractivité des centres villes. À Paris, Météo France (2010) estime que le recours à la climatisation augmente de 0,25 à 1°C la température de la ville (en période d'utilisation). Cette valeur pourrait atteindre de 0,5°C à 3°C si le nombre d'appareils était doublé.

Des émissions de gaz à effet de serre qui devraient néanmoins rester contenues

En moyenne, les fluides frigorigènes présent dans ces systèmes possèdent un pouvoir de réchauffement global (PRG)¹⁴ pouvant aller jusqu'à 2 038 fois celui du CO₂. En 2020, ils ont été responsables d'émissions de gaz à effet de serre de l'ordre de 3,5 MteqCO₂ (sur les 4,4 MteqCO₂ d'émissions totales associées à la climatisation, Coda Stratégies 2020). À l'avenir, la nouvelle réglementation européenne F-Gaz III adoptée en février 2024¹⁵ devrait permettre de contenir les émissions associées aux nouveaux équipements. En se basant sur les travaux préparatoires relatifs à cette réglementation Coda Stratégies (2021) estime qu'en 2050, 70 % des fluides frigorigènes utilisés auront un PRG réduit à 3. Ainsi, malgré le déploiement des systèmes, les émissions associées aux équipements de climatisation pourraient s'abaisser entre 0,2 et 0,4 MteqCO₂ d'ici à la moitié du siècle.

Une consommation électrique très dépendante de l'utilisation des systèmes

Les consommations électriques générées sont importantes, déjà de l'ordre de 11,5 TWh pour les bâtiments tertiaires et 5,1 TWh pour le logement (Coda Stratégies 2020). Pour les ménages, l'ADEME (2022) estime que cela peut se traduire dans certains cas par des factures mensuelles pouvant

dépasser les 130 euros par mois en période d'utilisation. D'ici à 2050, les consommations électriques anticipées sont très dépendantes des exercices prospectifs. En effet, la température et la durée d'utilisation ont un impact majeur sur la consommation. Par exemple, dans les scénarios « sobres » de l'ADEME (S1 et S2), la consommation est divisée par 3,5 pour le logement alors qu'elle est multipliée par deux pour les autres scénarios (S3 et S4) et atteindrait 10TWh. RTE (2021) estime de son côté que la consommation devrait plus que doubler pour atteindre 14 TWh à l'horizon 2050. Néanmoins, cette consommation électrique reste relativement faible par rapport à la consommation énergétique (toutes énergies confondues) des bâtiments résidentiels actuellement de l'ordre de 500 TWh avec pour objectif d'atteindre 300 TWh en 2050 (Pouget consultants 2020). Ainsi RTE conclut que « cette trajectoire haussière ne conduit pas à faire de la climatisation une composante essentielle de la consommation des ménages en 2050 ». Concernant la pointe électrique estivale (c'est-à-dire le pic de consommation électrique en période de fortes chaleurs tirée par l'utilisation de la climatisation), le gestionnaire anticipe une pointe (dont la probabilité serait d'un pour dix à horizon 2050) de l'ordre de 35 GW sur des épisodes de très fortes chaleurs (contre 20 GW aujourd'hui). Cela reste très inférieur à la pointe électrique hivernale (de l'ordre de 80 à 100 GW actuellement) qui dimensionne le système électrique français¹⁶. Néanmoins, la période estivale est généralement celle des maintenances courantes (sur les centrales nucléaires par exemple) et certaines sources d'approvisionnement sont moins disponibles (ex. l'hydroélectrique), des arbitrages pourraient donc s'avérer nécessaires à mesure de l'augmentation des consommations électriques à cette période.

Les investissements associés à cette forme d'adaptation, peu consolidés, sont pourtant bien réels

À ce jour, il n'existe pas d'évaluation consolidée des coûts associés à cette forme d'adaptation¹⁷. Les syndicats professionnels fournissent des estimations en termes de chiffre d'affaires pour le secteur mais ils ne permettent pas de distinguer les appareils de chauffage de ceux de climatisation. S'ils sont peu documentés, c'est notamment parce qu'ils sont très distribués et absorbés par des ménages et des acteurs privés souvent directement avant ou après la survenue d'un phénomène climatique d'ampleur.

En se basant sur les prix et les parts de marché actuels des systèmes de climatisation, nous estimons à près de 3,5 milliards d'euros par an les investissements réalisés chaque année dans ces systèmes pour le logement. Ce

niveau d'investissement (s'il est maintenu) conduirait à un parc de logements quasi-totalement équipé d'ici à 2050 : c'est largement supérieur à la proportion du parc exposée à ce même horizon selon la TRACC¹⁸. Si ce niveau d'investissement était limité à la proportion du parc exposée, cela représenterait des investissements de l'ordre de 2,3 milliards d'euros par an (soit 1,2 milliard de moins qu'actuellement) et reviendrait à équiper 900 000 logements chaque année (contre 1,3 million actuellement). S'agissant du parc de bâtiments tertiaires, les investissements actuels réalisés chaque année demeurent inconnus. Au prix actuel des systèmes, il faudrait investir 800 millions d'euros chaque année pour climatiser le parc tertiaire à risque fort et très fort d'ici 2050.

14 Forçage radiatif cumulé sur une durée de 100 ans exprimé relativement à celui du CO₂.

15 Voir https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=OJ:L_202400573

16 Dans certains pays en revanche, l'utilisation des systèmes de climatisation met déjà en tension le système électrique. En 2022 en Californie, le gouverneur a demandé aux habitants de réduire leur utilisation d'électricité et de ne plus recharger leur voiture électrique pour éviter l'écroulement du réseau, alors que la climatisation représentait près de 70 % de la consommation.

17 Contrairement à d'autres aléas qui impactent le bâtiment. Par exemple pour le risque de RGA ou d'inondation, la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) réalise une estimation du coût de prise en charge des catastrophes naturelles aujourd'hui et à horizon 2050. Voir par exemple <https://www.ccr.fr/-/ccr-rapport-climat-2023>

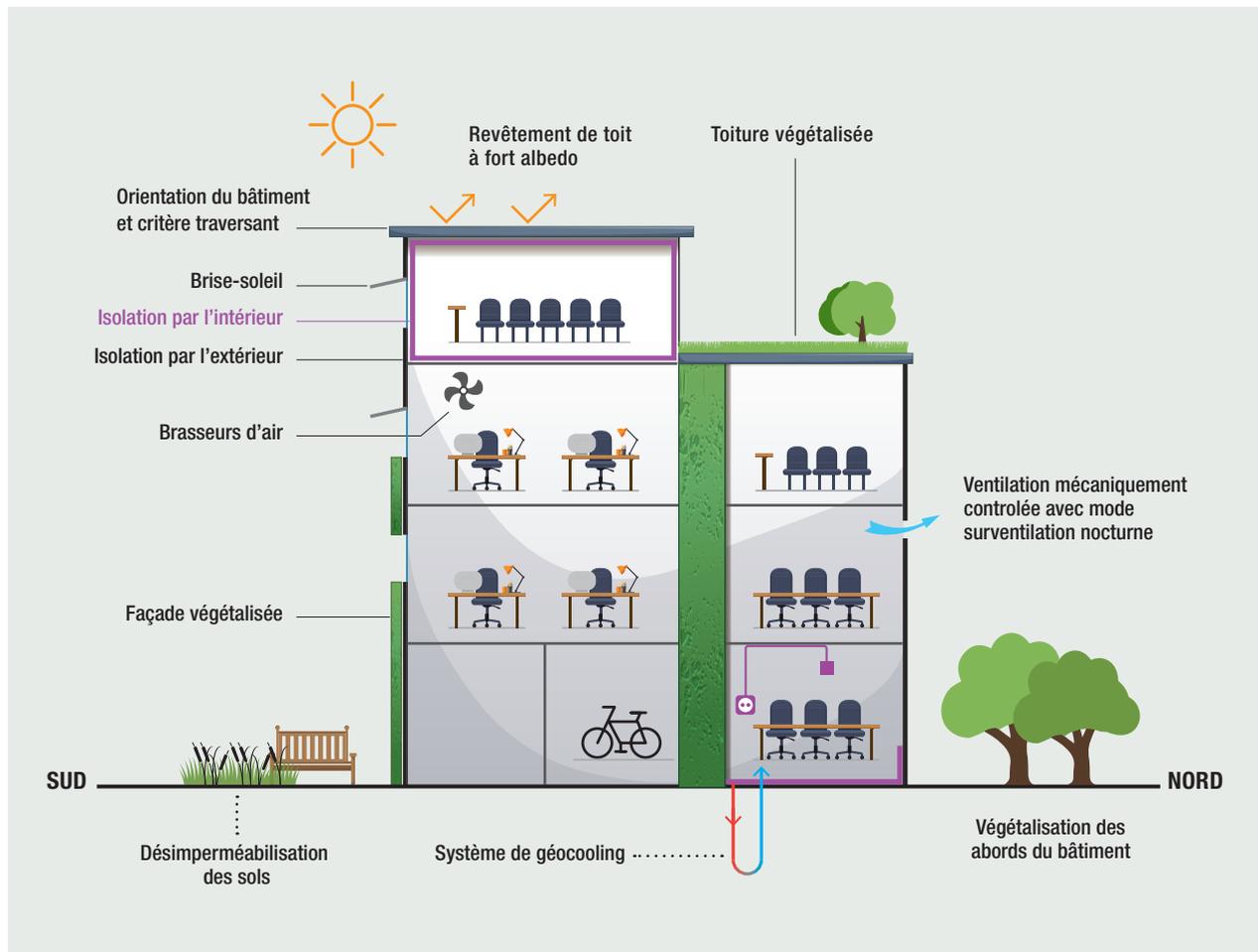
18 Estimée à 70 % en 2050 (2,7°C) dans les travaux réalisés par l'Observatoire de l'Immobilier Durable (OID 2024a).

4. D'AUTRES LEVIERS DISPONIBLES POUR ADAPTER LES BÂTIMENTS AUX VAGUES DE CHALEUR

Adapter un bâtiment aux vagues de chaleur signifie agir pour maintenir une température intérieure compatible avec l'habitabilité ou l'exploitabilité en période de fortes chaleurs. Si s'équiper en climatisation est souvent la première réponse identifiée, d'autres solutions existent, celles-ci sont connues et bien documentées. Il s'agit par exemple de travailler sur la forme, l'orientation et la traversabilité du bâtiment

lorsque c'est possible. Il s'agit aussi de limiter les apports solaires en évitant les surfaces vitrées sur les façades exposées ou en installant des dispositifs de protection solaire (casquette, brise-soleil, store...) ; de végétaliser les toitures et les murs extérieurs ou d'utiliser des systèmes de ventilation (VMC, puits climatique) pendant les heures les plus fraîches (OID 2024b; ADI 2018; Cercle Promodul / INEF4 2020) :

PANORAMA DES SOLUTIONS D'ADAPTATION DES BÂTIMENTS AUX VAGUES DE CHALEUR



Source : auteurs à partir de (OID 2024b).

Ces solutions présentent des coûts très variables. Par exemple, pour un bâtiment d'enseignement neuf (445 m²) de plain-pied en zone climatique H2b, le groupe de travail préparatoire à la RE2020¹⁹ mentionne les coûts suivants :

EXEMPLES DE COÛT DE SOLUTIONS D'ADAPTATION POUR UN BÂTIMENT TERTIAIRE

Rafraîchissement adiabatique	Brise soleil	Brasseur d'air	Bardage ventilé	Puits climatique
10 €/m ²	14 €/m ²	13 €/m ²	58 €/m ²	40 €/m ²

Source : Groupe de travail préparatoire à la RE2020

Mais l'adaptation d'un bâtiment (et donc les coûts associés) ne se limite pas à ces actions spécifiques : lorsque l'on construit ou l'on rénove des bâtiments une partie des travaux contribuent par nature à l'adaptation. Il s'agit par exemple de l'isolation ou de la ventilation qui, bien que mis en œuvre pour réduire

les consommations énergétiques participent à améliorer le confort d'été. Dans ce cas, les coûts à considérer peuvent être nuls (si les travaux auraient été réalisés dans tous les cas et de la même manière) ou peuvent représenter un surcoût (si les travaux doivent être entrepris ou dimensionnés différemment).

LES DIFFÉRENTS TYPES DE COÛTS DE L'ADAPTATION D'UN BÂTIMENT

1
Des surcoûts nuls pour l'adaptation

Lorsque certains travaux contribuent par nature au confort d'été mais que prendre en compte ou non cet aspect ne modifie pas les dispositions techniques. Par exemple le remplacement des menuiseries ou l'isolation des combles.

2
Des coûts à mutualiser

Ils correspondent aux surcoûts associés à la prise en compte de l'adaptation dans les postes de travaux. Il peut s'agir par exemple d'une isolation des murs plus épaisse ou avec un matériau isolant différent ; d'un dimensionnement de ventilation différent etc. Ils doivent être absolument mutualisés lorsque l'on construit ou rénove un bâtiment.

3
Des coûts d'actions spécifiques

Ils correspondent aux coûts des actions qui peuvent être mises en place de manière relativement autonome : brasseurs d'air, protections solaires etc. Ils restent néanmoins souvent intéressants de les mutualiser (optimisation des coûts, dérangement, interface etc.).

¹⁹ Les résultats complets sont disponibles ici : http://www.batiment-energiecarbone.fr/IMG/pdf/20200722_reunion_de_concertation_no4_confort_d_ete.pdf

5. DES INVESTISSEMENTS CLÉS IDENTIFIÉS POUR EMBARQUER L'ADAPTATION DANS LES PROJETS DÉJÀ PRÉVUS

En construction neuve : aller au-delà de la réglementation

91 milliards d'euros ont été investis dans la construction neuve de logements et de bâtiments tertiaires en 2022 (I4CE 2023c), dont 23,7 milliards dans la performance énergétique. Cette tendance devrait néanmoins ralentir après 2024 notamment pour répondre aux exigences de la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) qui prévoit de moins en moins de bâtiments mis en chantier chaque année. Ces bâtiments neufs sont construits selon la réglementation environnementale RE2020. Celle-ci tient compte d'un événement particulier dans son moteur de calcul : la canicule de 2003. Si ce choix permet de simuler le climat moyen à horizon de quelques décennies (proche de la TRACC à 2,7°C à la moitié du siècle), celui-ci ne permet ni de simuler les événements climatiques extrêmes à cette même échéance, ni le climat moyen au-delà de 2050 alors même que les bâtiments seront

encore habités et exploités à cette échéance. **Tenir compte des scénarios prospectifs conduit à une vraie différence dans les valeurs retenues pour les calculs thermiques.** Par exemple, le nombre d'heures où la température est supérieure à 35°C lors d'une année « extrême » à Nîmes en milieu urbain serait de 457 heures (à +4°C) alors qu'il n'est que de 39 heures actuellement (Peuportier *et al.* 2023). **À terme, cela fait courir le risque de devoir réintervenir sur les bâtiments spécifiquement pour les adapter ou plus probablement de devoir recourir à un système de climatisation.** Sans attendre une éventuelle mise à jour de la réglementation²⁰, il est déjà possible d'aller plus loin : en utilisant des données climatiques prospectives qui viendront mécaniquement contraindre les exigences en termes de confort d'été.

Pour le parc existant : sanctuariser les rénovations globales et intégrer l'adaptation

S'agissant du parc existant, des investissements importants sont prévus pour réduire les émissions de gaz à effet de serre du secteur du bâtiment. Pour le logement, le scénario provisoire de la SNBC3 prévoit d'augmenter rapidement le rythme et la qualité des rénovations, et vise notamment à éliminer toutes les « passoires thermiques », logements mal isolés et chauffés au gaz ou au fioul, peu après 2030. Pour y parvenir, I4CE (2023c) estime les besoins d'investissement dans la rénovation de l'ordre de 31 milliards d'euros par an en moyenne entre 2024 et 2030. Mais alors que les investissements actuels s'étalent sur de nombreuses opérations comprenant un seul geste, les besoins se concentrent sur des rénovations globales, où plusieurs postes d'un même bâtiment sont traités simultanément. D'après les objectifs formulés par le Secrétariat général à la planification écologique, il faudrait ainsi réaliser jusqu'à 900 000 rénovations globales par an en 2030 pour le

logement, en visant le niveau « basse consommation », un rythme bien supérieur au nombre de rénovations globales financées par MaPrimeRénov' aujourd'hui, de l'ordre de 66 000 par an (I4CE 2023c).

La plupart des gestes de rénovation énergétique sont bénéfiques pour le confort d'été. Néanmoins, il est nécessaire de mener une réflexion globale en tenant compte des paramètres estivaux lors de l'opération pour :

- 1. S'assurer de l'adéquation entre les solutions retenues et le confort d'été :** en se posant des questions comme : *le matériau isolant permet-il un bon déphasage ? Le débit de ventilation nocturne est-il suffisant pour évacuer la chaleur emmagasinée la journée ?*
- 2. En profiter pour embarquer des solutions complémentaires,** comme les protections solaires au moment du remplacement des menuiseries ;

²⁰ La RE2020 est une réglementation évolutive, les exigences en matière de consommation énergétique et d'émissions de gaz à effet de serre sont revues dans le temps selon un calendrier déjà défini (2025, 2028, 2031). À ce jour, le critère de confort d'été ne fait pas l'objet de clause de revoyure. I4CE a déjà pu formuler des recommandations pour que ce sujet fasse l'objet de travaux dédiés lors des prochains cycles de renouvellement (I4CE 2022).

3. Éviter les situations contre-productives, par exemple si l'on isole fortement pour l'hiver sans pouvoir ventiler correctement l'été²¹.

À ce jour, ce type de réflexions reste encore peu développé.

Pour l'adaptation du parc existant, le défi repose donc avant tout sur la consolidation de la politique de rénovation globale embarquant la question du confort d'été plutôt qu'une action isolée spécifique à l'adaptation.

Et si la planification écologique n'était pas mise en œuvre ?

La rénovation énergétique globale est la première manière de s'adapter et un objectif majeur de la planification écologique. Avec un parc d'ores et déjà peu

adapté face aux vagues de chaleur, ne pas agir en faveur de la rénovation des bâtiments, c'est prendre le risque de subir plus fortement les conséquences sanitaires, économiques et sociales des vagues de chaleur pour lesquelles la réponse la plus probable sera le recours à la climatisation. Cependant, considérer qu'il n'y aurait qu'à embarquer l'adaptation dans les dynamiques de rénovation pour estimer les besoins additionnels, c'est déjà se placer dans une situation optimiste. Pour l'heure la France ne remplit pas ses objectifs en matière de rénovation énergétique globale. Pour les atteindre, il faudrait investir 15,2 milliards d'euros de plus chaque année par rapport à 2022 pour le logement et 12,5 milliards d'euros pour le tertiaire (I4CE 2023c).



BESOIN D'ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE IDENTIFIÉ N°2 : DÉTERMINER LES VALEURS SEUILS : JUSQU'À QUAND POURRA-T-ON SE PASSER DE LA CLIMATISATION ?

Si le constat est partagé quant à l'efficacité des solutions autres que la climatisation pour améliorer le confort à l'intérieur des bâtiments dans le climat actuel, il existe peu de travaux prospectifs permettant de garantir cette efficacité à terme. Les premiers travaux disponibles montrent au contraire que plus le climat va se réchauffer plus il sera difficile de se passer de rafraîchissement actif.

Les simulations réalisées dans le cadre du projet *Résilience* de l'ADEME (Peuportier *et al.* 2023) dans différents climats (Nîmes, Paris) et sur plusieurs typologies de bâtiments neufs et existants montrent que les conditions de confort sont nettement améliorées par une stratégie d'adaptation forte (qui combine un grand nombre de leviers) mais que celle-ci s'avère néanmoins insuffisante à terme. L'étude conclue ainsi que « *les actions d'adaptation sur le bâti seules ne sont pas suffisantes pour garantir des conditions de confort pour les climats projetés en fin de siècle [...] :*

- *en bâtiments tertiaires, le confort n'est assuré que pour les climats projetés en 2050 (soit jusqu'à +2,7°C en France) ;*
- *en logement, le confort n'est assuré que pour les climats projetés 2050 les moins critiques. »*

Et que « *pour assurer un confort sur la totalité des climats projetés d'ici la fin du siècle, en plus d'une action d'adaptation du bâti indispensable et à faire en priorité, la mise en place de dispositifs de rafraîchissement actifs sera nécessaire à terme pour écrêter les vagues de chaleur les plus importantes. »*

À l'échelle de la ville de Paris, Viguié *et al.* (2020) montrent que même une politique d'adaptation vraiment ambitieuse (mêlant politique de rénovation énergétique, matériaux réfléchissants, végétalisation et sobriété) ne permet pas de se passer entièrement de climatisation en période de fortes chaleurs d'ici à la fin du siècle. Au mieux, la mise en œuvre de ces actions permet d'abaisser de 60 % la consommation journalière de climatisation mais pas de la supprimer entièrement. La sobriété d'usage reste le levier le plus efficace devant la politique d'isolation et de matériaux réfléchissants et celle de végétalisation.

²¹ Ce phénomène a été mentionné à plusieurs reprises à l'occasion d'échanges avec des experts du secteur sans que l'on sache néanmoins en qualifier l'ampleur exact.

Quel surcoût retenir pour l'adaptation ?

Les hypothèses de surcoût de l'adaptation des bâtiments présentées ici sont le fruit de travaux de revue de littérature des éléments de coûts disponibles complétés par plusieurs échanges avec des bureaux d'études. Elles ont été présentées et discutées dans le cadre d'un groupe de travail réunissant des experts du secteur et des opérateurs de l'État.

En construction neuve

Dans la nouvelle réglementation, la RE2020, bien que plusieurs indicateurs entrent en jeu dans la modélisation du confort d'été et du calcul des besoins et consommations énergétiques liés au refroidissement, c'est surtout l'indicateur DH (degrés-heures) qui dimensionne le bâtiment sur l'aspect estival. Cet indicateur évalue la

durée et l'intensité des périodes d'inconfort dans le bâtiment cumulées sur une année en se basant sur un scénario climatique calibré sur la canicule de 2003. Pour être réglementaire, l'indicateur DH ne doit pas dépasser un certain seuil. Dans la zone réglementaire, si la valeur est trop haute, une pénalité est appliquée au bâtiment entraînant des besoins énergétiques plus importants (simulant l'utilisation de climatisation) et rapprochant ainsi le bâtiment des limites autorisées.

Lors de la phase de conception de cette réglementation, des simulations ont été réalisées pour tester la sensibilité des nouveaux indicateurs²². Les résultats montrent que la nouvelle réglementation n'est généralement pas plus contraignante que l'ancienne hormis dans la zone méditerranéenne (zone climatique H3). Pour cette zone, des leviers supplémentaires pour le confort d'été doivent être actionnés pour que le bâtiment soit conforme. Pour les autres, un bâtiment conçu selon l'ancienne norme suffit généralement à respecter les seuils.

Se conformer à la réglementation...	... dans le climat actuel	... si on tenait compte du climat futur
Zone méditerranéenne (H3)	Demande d'ores et déjà un travail important sur la performance estivale pour être réglementaire vis-à-vis de l'ensemble des indicateurs.	Impliquerait principalement une augmentation des consommations ? Car peu de leviers disponibles selon les bureaux d'étude interrogés.
Autres zones climatiques	Est peu contraignante et n'impose pas de travailler avec ambition sur la performance estivale.	Demanderait d'exploiter le gisement de leviers actuellement inexploités.

Surperformance pour l'adaptation au changement climatique

Pour les bâtiments neufs, prendre en compte la trajectoire de réchauffement de référence (TRACC) impliquerait donc d'aller volontairement au-delà de la réglementation. Pour déterminer le surcoût relatif à cet « effort volontaire », on se base sur le type (et le coût) des solutions qui sont déjà nécessaires dans la zone méditerranéenne. Les simulations réalisées lors de la phase d'élaboration de la nouvelle réglementation sont accompagnées d'estimations de coût produites par un groupe d'économistes de la construction. Les résultats montrent que le coût des solutions est très variable (cf. annexe). Pour un bâtiment de logements collectifs elles sont comprises entre 25 et 65 €/m² (ordre

de grandeur similaire pour les autres typologies de bâtiments). En rapportant ces bornes hautes et basses aux coûts moyens de construction²³ nous proposons de retenir une fourchette de surcoût comprise entre 2 % et 5 % (en cumulant une ou plusieurs solutions) pour des bâtiments allant au-delà de réglementation sur le confort d'été.

22 Voir par exemple les travaux du « GT Modélisateur » disponibles ici : <http://www.batiment-energiecarbone.fr/outils-re2020-et-resultats-de-simulation-r76.html> ou les études de sensibilité sur le moteur de calcul réglementaire RE 2020 réalisées par les bureaux d'étude thermique Bastide Bondoux, Pouget Consultants et Tribu Energie http://www.batiment-energiecarbone.fr/IMG/pdf/20210604_rapport_final_consorium_cim_beton_cilt_ignes_edf_filmm_tuiles_briques_uni clima.pdf

23 Sur la base d'un coût de construction moyen pour la période 2024/230 de 2 500 €/m² exprimé en € 2022 constant mais qui tient compte d'une part endogène d'inflation du secteur du bâtiment (hypothèse de hausse annuelle de 1 % des coûts de la construction).

L'EXEMPLE DES LOGEMENTS SOCIAUX RÉALISÉS PAR LE FOYER STÉPHANOIS

Pour répondre aux exigences du label *Mon Logement Santé* porté par le groupe Arcade VYV. Le bailleur social *Le Foyer Stéphanois* a réalisé, pour deux projets de construction neuve de logements locatifs et en accession sociale, des simulations thermiques dynamiques selon deux variantes. La variante de base visait un niveau de performance « RT2012-20 % » (globalement proche de la RE2020 actuelle) et une seconde variante visait une même performance énergétique mais en utilisant des données météorologiques prospectives (RCP8.5 à horizon 2050, donc proche +2,7 °C en France). Dans la seconde variante, les concepteurs ont dû travailler sur des leviers d'adaptation (inertie, volets roulants automatiques, brise-soleil, ventilateur, zone refuge climatisée), pour maintenir des conditions de confort satisfaisantes lors des périodes estivales. Au global, le surcoût spécifique au confort d'été a été estimé pour les projets à 2,7 % et 3,8 %. Cet exemple pratique – comme les quelques autres dont nous avons pu avoir connaissance – semble cohérent avec les estimations de surcoûts retenues dans cette étude.

Pour le parc existant

Une démarche similaire a été réalisée pour déterminer le surcoût pour l'adaptation dans les opérations de rénovation. Ce surcoût représente la différence de

coût entre une opération de rénovation énergétique globale et la même opération qui aurait tenu compte du confort d'été. Il correspond à la mise en place de différentes actions générant une « surperformance » pour l'adaptation :

EXEMPLES D' ACTIONS D'ADAPTATION ASSOCIÉES À LA RÉNOVATION ÉNERGÉTIQUE

Actions prévues pour la rénovation énergétique	Gestes réalisés ou dimensionnés différemment	Nouveaux gestes
Remplacement des menuiseries		Mise en place de protections solaires automatiques / brise-soleil...
Mise en place d'une ventilation mécanique double-flux	Mise en place d'un mode « surventilation » pour la ventilation nocturne.	Mise en œuvre d'un puits climatique.
Isolation des parois	Choix d'un isolant à fort déphasage, augmentation de l'épaisseur.	



De la même manière qu'en construction neuve, les solutions d'adaptation présentent des coûts très variés, allant de quelques dizaines à une centaine d'euros par m² (cf. annexe). Compte tenu des coûts de la rénovation énergétique globale²⁴ et en conservant les mêmes

précautions d'utilisation que pour le surcoût relatif à la construction neuve, nous proposons de retenir un surcoût moyen pour l'adaptation de 10 % par rapport à un projet de rénovation énergétique globale sans prise en compte du confort d'été.



BESOIN D'ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE IDENTIFIÉ N°3 : AFFINER LES CONNAISSANCES SUR LE COÛT DES SOLUTIONS D'ADAPTATION INTÉGRÉES DANS LES OPÉRATIONS DE CONSTRUCTION NEUVE ET DE RÉNOVATION.

Les hypothèses de surcoût que nous présentons dans cette étude doivent être utilisées avec précaution. Elles ont été construites dans l'objectif de réaliser une toute première estimation du niveau d'investissement nécessaire pour l'adaptation des bâtiments à large échelle. En revanche, elles n'ont pas vocation à représenter un « surcoût générique » de l'adaptation qui serait applicable à chaque projet. Elles masquent en réalité une grande disparité de situations propres à chaque projet pour lesquelles les coûts de l'adaptation peuvent s'avérer très hétérogènes. Des travaux complémentaires, à l'image des premiers chiffres réalisés par des économistes de la construction lors de l'élaboration de la RE2020, seraient nécessaires (en particulier en rénovation), pour mieux objectiver ces coûts selon différentes typologies de bâtiment, de zones climatiques etc.

²⁴ Une étude d'I4CE (I4CE 2023b) retient des coûts de rénovation énergétique globale pour un panel de bâtiments en partie représentatif du parc de logements compris entre 330 et 826/m² avec une moyenne à 586 €/m².

Les besoins additionnels pour l'adaptation dans les investissements identifiés

Appliquer ces surcoûts pour l'adaptation aux investissements identifiés dans la construction neuve et la rénovation permet de donner un premier ordre de grandeur de l'effort nécessaire additionnel à consentir pour l'adaptation des bâtiments faces aux vagues de chaleur :

En construction neuve

Cet effort est globalement compris entre 1 et 2,5 milliards d'euros par an en moyenne entre 2024 et 2030 :

Milliards d'euros par an	Besoins d'investissement pour atteindre les objectifs provisoires de la SNBC3*	Investissement additionnel pour l'adaptation aux vagues de chaleur	
		Fourchette basse	Fourchette haute
Logement	36,2	0,7	1,8
Tertiaire	14,9	0,3	0,7

* Ces besoins représentent l'ensemble des investissements dans la construction neuve nécessaires pour atteindre les objectifs provisoires de la SNBC3, ils sont décroissants dans le temps (I4CE 2023c). Valeurs exprimées en milliards d'euros 2022 constants.

Pour le parc existant / en rénovation

Le niveau d'effort additionnel est estimé à près de 5 milliards d'euros par an par an à ajouter aux besoins pour la rénovation énergétique globale qui ne sont pas encore couverts :

Milliards d'euros par an	Besoins d'investissement pour atteindre les objectifs provisoires de la SNBC3*	Investissement additionnel pour l'adaptation aux vagues de chaleur
Logement	31,4	3,1
Tertiaire	16,7**	1,7

* Ces besoins représentent l'ensemble des investissements dans la rénovation énergétique du parc pour atteindre les objectifs provisoires de la SNBC (I4CE 2023c). Valeurs exprimées en milliards d'euros 2022 constants.

**Ce montant a été légèrement revu à la hausse entre la publication de la synthèse en avril 2024 et cette étude, ce qui entraîne des besoins pour l'adaptation légèrement supérieurs.

▲ Ces montants représentent les investissements qu'il faudrait consentir chaque année pour aller un cran plus loin dans l'adaptation des bâtiments sans que l'on sache parfaitement déterminer le niveau d'adaptation effectivement atteint (cf. besoins d'études complémentaires n°3 et 4). Ainsi, ils ne sont pas directement comparables aux investissements dans les systèmes de climatisation.

Ils visent à adapter l'ensemble du flux de constructions neuves et de projets de rénovation énergétique nécessaire à l'atteinte des objectifs de neutralité carbone. Ainsi, ils sont exprimés tous acteurs confondus : privés (ménages, entreprises) et publics (État, collectivités). Or, toutes les options d'adaptation ne disposent pas d'un modèle économique évident (I4CE 2024) ouvrant ainsi les questions de répartition de l'effort entre public et privé. Dans un contexte de budget public contraint, une première piste pourrait être, au moins dans un premier temps, la priorisation des dépenses vers les populations les plus vulnérables aux fortes chaleurs. Ces questions de financement n'ont pas été approfondies dans le cadre de cette étude. ▼



BESOIN D'ÉTUDE COMPLÉMENTAIRE IDENTIFIÉ N°4 : DÉTERMINER LES BÉNÉFICES ASSOCIÉS À UNE POLITIQUE D'ADAPTATION AMBITIEUSE

D'un point de vue économique, investir ces montants dans l'adaptation des bâtiments ne présente d'intérêt que s'ils permettent de faire baisser de manière au moins équivalente les coûts associés à la climatisation (achat, exploitation, externalités) et les effets socio-économiques des vagues de chaleur.

À ces effets, nous pourrions ajouter les pertes de bien-être et de confort en intérieur, mais la monétisation de ces derniers restent peu documentée à ce jour. Or, pour réaliser cette comparaison, il est nécessaire de connaître le rapport coût-efficacité des options disponibles. Si ce type de travaux existe à l'échelle d'un (ou de quelques) bâtiment(s), il n'a en revanche pas été réalisé à l'échelle du parc de bâtiments en France.

Plusieurs travaux étrangers permettent de donner des premiers points de repère et pistes pour avancer en ce sens. Par exemple, une étude canadienne (Boyd *et al.* 2022) a cherché à estimer les effets de deux mesures d'adaptation sur la mortalité et sur la productivité au travail. La première consiste à mettre en place des dispositifs de protections solaires dans la moitié des logements privés d'ici 2085. La seconde vise la création de toitures végétalisées sur la totalité des bâtiments résidentiels et tertiaires en zone urbaine en 2085. Pour les dispositifs de protections solaires, l'étude estime le nombre de décès évités chaque année à 21 sur un total de plusieurs centaines. Surtout, elle estime les économies d'énergie à 58 millions de dollars par an. L'investissement (estimé à 199 millions de dollars par an) n'est rentabilisé qu'en tenant compte des économies d'énergie. Suivant la même logique pour les toitures végétalisées, l'investissement annuel est estimé à 6,9 milliards de dollars et permet d'éviter 46 décès chaque année. Les économies d'énergie sont estimées à 9,7 milliards de dollars par an.

En Angleterre, une étude du *Climate Change Committee* (CCC 2023), l'équivalent anglais du Haut Conseil pour le Climat, propose de retenir une enveloppe d'un milliard de livres sterling par an sur une première décennie pour initier une politique d'adaptation à la surchauffe des logements privés. Cette estimation se base sur plusieurs travaux récents, dont une étude réalisée par le *Department for Business, Energy & Industrial Strategy* (2021). Dans cette étude, les auteurs modélisent les gains énergétiques selon trois scénarios d'adaptation : le scénario « sans intervention » où la plupart des ménages s'équipent en systèmes de climatisation peu efficaces et où quelques-uns réalisent des mesures passives ; le scénario de « technologies efficaces » qui reprend la même logique mais avec des systèmes plus efficaces ; et à l'opposé le scénario d'approche passive qui privilégie dans un premier temps les mesures passives. Les auteurs estiment que les scénarios d'efficacité et d'approche passive permettent de réduire la consommation électrique de climatisation respectivement de 21 et 34 % par rapport à la situation sans intervention. Surtout, les investissements associés sont moindres pour l'approche passive. Le coût total cumulé d'investissement pour les scénarios sans intervention et d'efficacité se situe autour de 60 à 70 milliards de livres (entre 2020 et 2050). Ce même coût se situe entre 20 et 30 milliards de livres pour le scénario d'approche passive. Les auteurs soulignent néanmoins que le niveau de confort atteint par les différents scénarios n'est pas le même.

S'agissant des pertes de productivité associées aux vagues de chaleur, Szewczyk, Mongelli, et Ciscar (2021) estiment que 30 à 40 % de celles-ci pourraient être réduites par une combinaison de mesures d'adaptation dont la diffusion de la climatisation. Autre exemple, Costa *et al.* (2016) estiment qu'à Londres, Anvers et Bilbao, la climatisation permettrait de réduire la perte de productivité en intérieur entre 80 et 95 %. Les volets sont également très efficaces et permettraient d'éviter 55 et 80 % des pertes.

Un processus d'opérationnalisation qui reste à bâtir

Un nombre croissant d'acteurs identifie désormais le confort d'été comme un enjeu majeur pour leurs bâtiments. Les bailleurs sociaux par exemple, ont été parmi les premiers à engager des démarches en ce sens²⁵. Au niveau de l'État, le ministre de l'économie a explicitement demandé en février 2024 à ce qu'il n'y ait plus aucun « *investissement dans l'immobilier qui ne réponde pas au changement climatique pour ce qui concerne l'immobilier public* »²⁶. Autre exemple, le programme EduRénov porté par la Banque des Territoires vise la réalisation de 10 000 opérations sur les bâtiments scolaires dans un objectif de « rénovation énergétique et d'adaptation au changement climatique ».

Identifier le sujet n'est qu'une première étape et bien que les solutions soient connues, le processus de mise en œuvre concrète de l'adaptation dans les opérations de construction neuve et de rénovation reste entièrement à bâtir.

En premier lieu, il s'agit de s'accorder sur les données climatiques de référence à utiliser dans les outils de simulation thermique dynamique (STD). Faute de référence commune, les exercices récents ont systématiquement réalisé leur propre jeu de données en choisissant eux-mêmes les hypothèses (scénario de

réchauffement climatique, horizon temporel etc.). En ce sens, la mise à disposition d'une trajectoire de référence (2,7°C en 2050, 4°C en 2100) permet aux acteurs de s'accorder sur un scénario climatique commun, mais **les données prospectives directement utilisables par les logiciels de STD ne sont toujours pas disponibles à ce jour.**

Au-delà de l'indisponibilité des données météorologiques, **les acteurs souhaitant se lancer dans l'adaptation de leurs bâtiments ne disposent pas non plus d'un cadre commun de référence pour le faire.** À ce jour, il n'existe ni Documents techniques Unifiés (DTU), ni cahiers des charges, ni processus de labellisation en matière d'adaptation. Bien que des initiatives existent comme la démarche Bâtiment Durable Méditerranéen²⁷ ou le guide des actions adaptatives (OID 2024b), celles-ci restent isolées et ne constituent pas le socle de référence demandé par les professionnels du secteur. Cette absence de cadre est actuellement un des freins majeurs au lancement des démarches d'adaptation pour le secteur du bâtiment : de nombreux acteurs hésitent face à la multitude de réponses possibles, ne sachant vers quel niveau d'adaptation converger ni quelles solutions privilégier.

▲ À l'image des groupes de travail CAP2030 en cours dont l'objectif consiste, à travers une démarche souple et progressive, à construire un cadre commun de référence afin de préfigurer l'évolution de la future réglementation de la construction neuve²⁸, un processus similaire pourrait être imaginé pour l'adaptation au changement climatique du parc existant. Cette démarche pourrait être portée par le Plan Bâtiment Durable et devrait réunir l'ensemble des acteurs de la profession. ▼

25 Par exemple, le groupe CDC Habitat a réalisé son propre outil de diagnostic de vulnérabilité et vise son déploiement dans les 500 sites les plus à risque d'ici 2027 afin de réaliser un programme de travaux d'adaptation prioritaires.

26 <https://www.vie-publique.fr/discours/292962-bruno-le-maire-08022024-rechauffement-climatique>

27 Cette démarche volontaire est portée par l'association EnvirobatBDM membre du Réseau Bâtiment Durable : <https://www.envirobatbdm.eu/la-demarche-bdm>

28 Parmi les groupes de travail, un groupe (le GT8) est dédié aux questions d'adaptation au changement climatique. Voir <https://www.planbatimentdurable.developpement-durable.gouv.fr/presentation-generale-a1641.html>

6. SE PRÉPARER À FAIRE FACE AUX VAGUES DE CHALEUR : UN ENJEU TERRITORIAL ET SOCIAL PLUS QU'UNE SOMME D'AJUSTEMENTS TECHNIQUES À L'ÉCHELLE DES BÂTIMENTS

Cette étude se limite à l'analyse des coûts de l'adaptation à l'échelle du cadre bâti²⁹. Néanmoins, d'autres leviers existent et doivent être mobilisés pour une approche intégrée et vraiment efficace de réduction des conséquences sanitaires, économiques et sociales.

Aux abords du bâtiment, de nombreuses solutions contribuent à limiter la surchauffe

La végétalisation permet par exemple de créer de l'ombrage et participe activement à l'évapotranspiration (processus qui permet d'abaisser localement la température en relâchant de l'eau sous forme de vapeur dans l'atmosphère). Ces effets contribuent à maintenir une ambiance rafraîchie aux abords (et donc à l'intérieur)

des bâtiments. Le choix des matériaux extérieurs joue aussi, par exemple choisir des matériaux à fort pouvoir réfléchissant (albédo) permet d'éviter d'emmagasiner des calories en journée et contribue à atténuer l'effet d'îlot de chaleur urbain (OID 2024b).

À plus large échelle, la morphologie urbaine, la présence d'eau et de végétalisation jouent également un rôle

En dessinant une politique d'aménagement cohérente avec les enjeux d'adaptation, les collectivités territoriales ont aussi un rôle à jouer. Il s'agit d'intégrer des exigences en matière de végétalisation, de présence d'eau en ville, de réflexion autour des couloirs de ventilation urbains notamment dans les plan climat-air-énergie territorial (PCAET) et dans les documents d'urbanisme (PLU, PLUi, PPR). Surtout, il s'agit de profiter de chaque opération d'aménagement ou de renouvellement urbain pour s'assurer de la cohérence des solutions

techniques retenues avec l'évolution des conditions climatiques (I4CE 2023a). Vouloir intégrer l'adaptation peut parfois à aller à l'encontre d'autres objectifs de politique publique. Par exemple, lorsque la mise en place de fontaines à eau complexifie les objectifs de baisse des consommations en eau ou lorsque la création d'un parc impacte les objectifs de production de logements. Dès lors, il s'agit de composer avec cette multitude de paramètres et de réaliser des arbitrages qui sont forcément dépendants de chaque situation et de chaque projet.

²⁹ C'est-à-dire sur les éléments qui constituent le bâtiment : les murs, le toit, les menuiseries, les équipements, les systèmes, etc.

limiter les conséquences sanitaires passe aussi par un système de santé robuste et des services de secours efficaces

Si les conséquences sanitaires observées lors des canicules peuvent être déclenchées par des bâtiments non adaptés, la tenue d'un système d'alerte précoce, la robustesse du système de santé et la réactivité des services de secours ont un rôle majeur afin de les limiter. En ce sens, le rapport parlementaire sur les conséquences de la canicule de 2003 soulignait justement que «le système français de veille et d'alerte sanitaire s'est relevé inefficace face à la canicule» et que «l'absence d'anticipation, le caractère très imparfait des systèmes d'information, de veille et d'alerte, le cloisonnement des

administrations et des structures n'ont pas facilité la compréhension de l'ampleur du phénomène» (Assemblée Nationale 2004). De nombreuses améliorations ont été réalisées depuis notamment avec la mise en place d'un registre des personnes vulnérables, du système d'alerte canicule et santé (SACS) ou encore de l'activation chaque année d'un plan national canicule³⁰. Mais force est de constater que des marges de progression subsistent que ce soit dans le renforcement de l'utilisation du registre municipal ou dans la réponse opérationnelle aux situations de crise (Cour des comptes 2024a).

Pour les activités économiques, la réponse ne se trouve pas nécessairement dans la réalisation de travaux

Pour une entreprise ou un service public, les vagues de chaleur peuvent se traduire par des baisses voire des arrêts complets d'activité. Par exemple lorsqu'il fait trop chaud dans une usine ou dans un établissement recevant du public pour garantir la sécurité des ouvriers ou celle des visiteurs. La réponse face à ces perturbations peut résider dans la mise en œuvre de travaux d'adaptation directement sur le bâtiment. Mais

d'autres types de réponse sont possibles. Par exemple, l'entreprise peut décider d'allonger les durées de pause pour ses ouvriers et de leur mettre à disposition des points d'eau ; la collectivité peut décider de modifier les horaires d'ouverture de son établissement pour éviter les heures les plus chaudes³¹. Ces dispositions peuvent se substituer aux actions directement réalisées sur le bâti ou bien s'ajouter si celles-ci ne sont pas suffisantes.

Le niveau de préparation de la population : un facteur clé

Pour maintenir une température confortable à l'intérieur des bâtiments en période de forte chaleur, le comportement des usagers est un facteur déterminant. Par exemple, l'efficacité des dispositifs de protection solaire est conditionnée à leur bonne utilisation : s'ils ne sont pas fermés aux moments où le rayonnement solaire est le plus fort sur les parois vitrées, le bénéfice de la mesure d'adaptation disparaît. De la même manière, l'ajout d'isolation sur les parois opaques permet d'accroître le déphasage, mais elle n'est efficace que si la chaleur est évacuée pendant les heures fraîches : en ouvrant les fenêtres la nuit lorsque cela est possible. Ainsi, un travail de recherche financé par l'ADEME (Peuportier *et al.* 2023) a réalisé plusieurs simulations de confort d'été sur une maison ancienne rénovée en fonction du comportement des usagers. Les résultats montrent que la durée d'inconfort passe de 52 heures lorsque les habitants ouvrent les fenêtres et utilisent les dispositifs de protections solaires à 405 heures sans comportement

adéquat. En outre, la température maximale relevée passe de 31,5°C à 40,2°C à l'intérieur du bâtiment.

S'agissant de la climatisation, les consommations électriques peuvent être largement limitées par une plus faible durée d'utilisation et une température de consigne plus élevée. Ainsi, Coda Stratégies (2021) estime que les consommations électriques seraient 4 fois supérieures en 2050 dans un scénario misant sur les technologies (S4 ADEME) par rapport à un scénario misant sur la sobriété (S1 ADEME) : la moitié de cette augmentation provient d'une durée d'utilisation plus longue et d'une température de consigne plus faible³². Ces paramètres sont directement pilotables par les usagers. Les normes socio-culturelles comme les codes vestimentaires au bureau jouent également un rôle puisqu'elles ont un impact direct sur le niveau de confort. Depuis quelques années, plusieurs campagnes de communication ont été lancées pour sensibiliser les usagers aux bons gestes à mettre en œuvre lors des périodes de fortes chaleurs³³.

30 Voir <https://www.ecologie.gouv.fr/vagues-chaleur-plan-national-anticiper>

31 Comme l'expérimente par exemple la ville de Montélimar qui a modifié les horaires d'ouverture de ses établissements scolaires, une première en France.

32 Entre le scénario sobre et technologique, la durée d'utilisation moyenne passe de 8h à 12h et la température de consigne de 22°C à 26°C. Parmi les facteurs qui ont le moins d'influence on trouve la croissance du nombre d'équipements (le taux d'équipement passe de 80 % à 95 %) derrière la dynamique d'évolution du parc de bâtiments et l'efficacité des systèmes.

33 Voir par exemple la campagne de communication de l'ADEME : <https://librairie.ademe.fr/7208-comment-garder-son-logement-frais-tout-l-ete-.html>

Mais le rôle des populations ne se limite pas aux bons comportements à l'intérieur de leur habitation. En période de canicule, le tissu social qui maille les quartiers contribue à améliorer la résilience des populations. Il permet par exemple de mutualiser les zones de rafraîchissement ou d'éviter les situations d'isolement des personnes âgées ou vulnérables. À titre d'exemple, lors de la vague de chaleur de 1995 qui a sévi à Chicago (États-Unis), deux quartiers pourtant voisins ont connu des taux de mortalité très différents

alors que les situations sociales (taux de pauvreté, niveau de vulnérabilité de la population) étaient comparables. Cependant, le quartier le moins impacté jouissait d'une « infrastructure sociale » (par les commerces, les services publics, les organisations communautaires) beaucoup plus développée en comparaison avec le quartier plus touché qui était en situation de déprise démographique. Une analyse américaine du phénomène (Klinenberg 2022) montre que cette situation a contribué à la surmortalité en excès recensée dans ce quartier.

LES COÛTS DE L'ADAPTATION DES BÂTIMENTS: PLUS QU'UNE SOMME D'AJUSTEMENTS TECHNIQUES À L'ÉCHELLE DU CADRE BÂTI



Agir directement sur le bâtiment

Des surcoûts nuls pour l'adaptation	Des coûts à mutualiser	Des coûts d'intervention spécifique pour l'adaptation
<p>Lorsque certains travaux contribuent par nature au confort d'été mais que prendre en compte ou non cet aspect ne modifie pas les dispositions techniques.</p> <p><i>Ex. : isolation des murs et de la toiture, menuiseries, ventilation.</i></p>	<p>Ils correspondent aux surcoûts associés à la prise en compte de l'adaptation dans les postes de travaux.</p> <p><i>Ex. : surépaisseur et matériaux d'isolant, surventilation nocturne.</i></p>	<p>Ils correspondent aux coûts des actions qui peuvent être mises en place de manière relativement autonome.</p> <p><i>Ex. : brasseurs d'air, protections solaires.</i></p>



Agir à l'échelle de la ville

En dessinant une politique d'aménagement cohérente avec les enjeux d'adaptation par :

- la présence de végétation, la désimperméabilisation
- un travail sur la présence de l'eau et des morphologies urbaines



Agir via d'autres politiques publiques

En garantissant :

- des services de secours réactifs
- un système de santé robuste
- une infrastructure sociale développée



Agir grâce à un environnement adapté

En déployant des moyens organisationnels et d'accompagnement pour :

- animer des groupes de travail pour définir un cadre commun
- avancer dans la connaissance des solutions via des programmes de recherche
- mobiliser autour de la formation et de la sensibilisation

@I4CE_

▲ **La conclusion de ce travail** est que, face à l'évolution du climat, le secteur du bâtiment doit désormais répondre à un nouveau défi : celui de son adaptation au changement climatique. Pour l'heure, le parc de bâtiments s'avère peu adapté ce qui engendre déjà des coûts élevés qui sont amenés à croître à mesure que le climat se réchauffe. La réponse tendancielle observée, à savoir le recours massif à la climatisation représente déjà des investissements importants, ce qui questionne au regard des externalités qu'elle génère. Alternativement, l'adaptation pourrait mieux s'intégrer dans les politiques de planification existantes, dans la construction neuve ou lors des opérations de rénovation énergétique. Cet effort supplémentaire pour l'adaptation représenterait néanmoins plusieurs milliards d'euros par an sans que l'on sache déterminer avec précision les bénéfices économiques d'une telle politique. Sans attendre, un nombre croissant d'acteurs souhaite désormais se lancer dans une démarche d'adaptation de leurs bâtiments. Bien que des progrès aient été faits dans la documentation des solutions d'adaptation disponibles, ces acteurs ne disposent pour l'heure ni d'accompagnement ni de cadre commun de référence pour s'accorder sur la marche à suivre. ▼

ANNEXES

Annexe 1. Exemples de leviers d'amélioration du confort d'été et surcoût associé en construction neuve

Logement collectif Zone H2b 3669 m ² SHAB - 60 logements	Indicateur DH		Surcoût total	Surcoût au m ²
	Logement non traversant	Logement traversant		
Simulation de base (RT2012)	790	500		
Double flux (DF) + puits climatique	Non disponible	Non disponible	237 781 €	64 €/m ²
BSO + gestion auto	346	269	229 681 €	62 €/m ²
Volets roulants + gestion auto	621	452	161 556 €	44 €/m ²
Brasseurs d'air	703	457	93 181 €	25 €/m ²
DF + rafraîchissement adiabatique	699	451	234 181 €	63 €/m ²
Bardage avec lame d'air	791	494	146 621 €	40 €/m ²

Source : extrait simulation LC77 – GT Modélisateur RE2020.

Bâtiment tertiaire – Zone H2b – 413m ² SU – R+1	Indicateur DH	Surcoût total	Surcoût au m ² (par rapport au standard 2019)
Simulation RT2012	386		
Simulation standard 2019 (avec BSO manuel motorisé)	236	80 258	
BSO + Puits climatique	42	87 758	18 €/m ²
BSO + Brasseurs d'air	48	86 858	16 €/m ²
BSO + rafraîchissement adiabatique	703,1	84 758	11 €/m ²
BSO + bardage ventilé	100	99 599	47 €/m ²

Source : extrait simulation BB26 – GT Modélisateur RE2020.

Annexe 2. Exemples de leviers d'amélioration du confort d'été et surcoût associé en rénovation

Solutions d'adaptation	Coût total
Passage d'une isolation traditionnelle à biosourcée	~30 % sur le coût de l'isolation qui lui-même représente ~30% du coût du projet de rénovation (surcoût global 10%)
Store extérieure motorisé	130 €/m ² de surface vitrée
Brise-soleil orientable	300 €/m ² de surface vitrée
Brasseur d'air	19 €/m ²

Source : diverses sources ont été mobilisées (entretiens, retours d'expérience etc.).

RÉFÉRENCES

- ADEME. 2022. «**En période de canicule, comment garder son logement au frais cet été ?**»
- ADI. 2018. «**La résilience des bâtiments tertiaires face au changement climatique**».
- Assemblée Nationale. 2004. «**Rapport les conséquences sanitaires et sociales de la canicule**».
- Boyd, R., F. Poulsen, et J. Eyzaguirre. 2022. «**Costing Climate Change Impacts on Human Health Across Canada. Prepared by ESSA Technologies Ltd. For the Canadian Institute for Climate Choices.**»
- CCC. 2023. «**Investment for a well adapted UK**».
- Cercle Promodul / INEF4. 2020. «**Rafraîchissement passif et confort d'été : panorama de solutions pour l'adaptation du bâtiment au changement climatique**».
- COACCH. 2020. «**Non-Market Impacts - Health**».
- Coda Stratégies. 2020. «**La climatisation de confort dans les bâtiments résidentiels et tertiaires**». In , 13.
- — —. 2021 «**La climatisation dans le bâtiment : état des lieux et prospective 2050**».
- Costa, Héliia. 2016. «**Climate Change, Heat Stress and Labour Productivity: A Cost Methodology for City Economies**».
- Cour des comptes. 2024a. «**Chapitre 4 - La protection de la santé des personnes vulnérables face aux vagues de chaleur**». In Rapport annuel : L'action publique en faveur de l'adaptation au changement climatique.
- — —. 2024b. «**Rapport annuel : L'action publique en faveur de l'adaptation au changement climatique**». In .
- Daanen, H. A. M. 2020. «**The Effect of Global Warming and Urban Heat Islands on Mortality, Morbidity and Productivity in The Netherlands**».
- Department for Business Energy and Industrial Strategy. 2021. «**Cooling the UK**». 2021.
- Fondation Abbé Pierre. 2023. «**Précarité énergétique d'été une nouvelle forme de mal-logement**».
- 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.
- Gasparrini, Antonio, Yuming Guo, Francesco Sera, Ana Maria Vicedo-Cabrera, Veronika Huber, Shilu Tong, Micheline De Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, et al. 2017. «**Projections of Temperature-Related Excess Mortality under Climate Change Scenarios**». The Lancet Planetary Health 1 (9): e360-67.
- Harris Interactive. 2022. «**Les Français dans leur quartier Baromètre**».
- I4CE. 2022. «**Les bâtiments face aux nouvelles vagues de chaleur : investir aujourd'hui pour limiter la facture demain**».
- — —. 2023a. «**Adaptation : ce que peuvent (et doivent) faire les collectivités**».
- — —. 2023b. «**La transition est-elle accessible à tous les ménages ?**»
- — —. 2023c. «**Panorama des financements climat - édition 2023**».
- — —. 2024. «**Anticiper les effets d'un réchauffement de +4°C : quels coûts de l'adaptation ?**»
- INSEE. 2017. «**Enquête Budget de famille**».
- JRC. 2018. **PESETA III: Climate Change Impacts on Labour Productivity**. LU: Publications Office.
- JRC. 2020. **Global Warming and Human Impacts of Heat and Cold Extremes in the EU: JRC PESETA IV Project : Task 11**. LU: Publications Office.
- Institut de veille sanitaire. 2003. «**Rapport annuel**».
- Klinenberg, Eric. 2022. **Canicule**. Chicago, été 1995 : **Autopsie sociale d'une catastrophe**. École urbaine de Lyon et Éditions deux-Cent-Cinq.
- Météo France. 2010. «**Projet CLIM2 : Climat urbain et climatisation**», 85.
- OID. 2023. «**Comment calculer les coûts de l'action et de l'inaction pour le secteur immobilier ?**» OID (blog). 10 janvier 2023.
- — —. 2024a. «**Evaluation de l'exposition aux aleas climatiques du parc de batiments en france hexagonale**».
- — —. 2024b. «**Guide des actions adaptatives au changement climatique**».
- ONRE. 2022. «**La rénovation énergétique des maisons individuelles : Résultats de l'enquête Tremi 2020**». 2022.
- Orlov, Anton, Jana Sillmann, Kristin Aunan, Tord Kjellstrom, et Asbjørn Aaheim. 2020. «**Economic Costs of Heat-Induced Reductions in Worker Productivity Due to Global Warming**». Global Environmental Change 63 (juillet):102087.
- Peuportier, Bruno, Robin Monnier, Patrick Schalbart, IZUBA, ADEME, FRANÇOIS Eric, et SERODIO Eduardo. 2023. «**Résilience – Rapport final, résultats**». In.
- Pouget consultant. 2020. «**À quelles conditions le secteur résidentiel peut-il atteindre la neutralité carbone telle que définie dans la SNBC ?**»
- RTE. 2021. «**Futurs énergétiques 2050. Chapitre 3 : la consommation**».
- Santé publique France. 2021. «**Évaluation monétaire des effets sanitaires des canicules en France métropolitaine entre 2015 et 2020**».
- 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.
- Vigüé, 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.
- WWF. 2021. «**Dérèglement climatique : le monde du sport à +2°C et +4°C**».

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

INSTITUTE FOR CLIMATE ECONOMICS
30 rue de Fleurus - 75006 Paris

www.i4ce.org
Contact : contact@i4ce.org

Suivez-nous sur

