
ALERTE SURCHAUFFE POUR LES LOGEMENTS
COMMENT GARDER SON SANG-FROID ?*

Auteurs :

Jozefien Schoofs, Joost Declercq, Fien Serras, Inne Vanderkelen, Nicole PM van Lipzig

Contact:

Jozefien Schoofs :jozefien.schoofs@kuleuven.be
Prof Nicole van Lipzig :nicole.vanlipzig@kuleuven.be
Joost Declercq :jdeclercq@archipelago.be

Louvain, le 23 décembre 2025

Commandé par VEROZO - L'Association Belge des Professionnels de la Protection Solaire et des Volets Roulants

* La présente étude a été initialement rédigée en néerlandais. La version française constitue une traduction.
En cas de divergence d'interprétation, la version néerlandaise fait foi.

1 Introduction

En Europe, la chaleur est la principale cause de mortalité liée aux phénomènes météorologiques. Bien que les vagues de chaleur ne représentent que 5 % de l'ensemble des catastrophes naturelles, elles sont responsables de 89 % du nombre total de décès causés par les catastrophes naturelles [Département des soins, Gouvernement flamand, 2025]. L'un des événements les plus marquants est la vague de chaleur de 2003, qui a entraîné un changement radical dans la prise de conscience sociale et politique concernant la chaleur. Cette vague de chaleur, qui a touché une grande partie de l'Europe, a entraîné plus de 70 000 décès supplémentaires répartis sur seize pays européens [Robine et al., 2008]. En Belgique, une surmortalité de 6,6 % a été enregistrée [Agence flamande pour l'environnement (VMM), 2025a].

À la suite de cette vague de chaleur, Sciensano a mis en place en Belgique une surveillance hebdomadaire de la mortalité toutes causes confondues (Be-MOMO), qui, entre autres, suit et quantifie la mortalité liée aux périodes de chaleur extrême [Nganda et al., 2025]. Ainsi, durant l'été 2023, 274 décès par jour ont été enregistrés en moyenne, avec un pic total de 340 décès le 13 juin 2023, pendant la première phase d'alerte du plan canicule et ozone. Sur l'ensemble de la période d'alerte (du 8 au 21 juin 2023), cela s'est traduit par une surmortalité de +5,7 % par rapport au nombre attendu.

Selon Sciensano, l'été 2022 a été marqué par quatre phases d'alerte du plan Ozone et Chaleur, chacune s'accompagnant d'une surmortalité de 12,2 à 14,4 % en Belgique, la plus grande part étant observée chez les personnes âgées de 85 ans et plus. Une étude de Barnes et al. [2025] a quantifié à Bruxelles, durant l'été 2025, une surmortalité de 84 cas, dont 60 % peuvent être attribués au changement climatique.

Plusieurs études montrent que les vagues de chaleur et le stress thermique vont s'intensifier en Belgique et en Europe occidentale, notamment celles de Lorenz et al. [2019] et de Wouters et al. [2017]. La Belgique et le reste de l'Europe se réchauffent deux fois plus vite que la moyenne mondiale en raison de la plus grande capacité thermique de la terre par rapport à l'eau [Organisation météorologique mondiale (OMM) et Copernicus Climate Change Service, 2023]. De plus, la fréquence et l'intensité des températures extrêmes augmentent plus rapidement que la température moyenne [Lorenz et al., 2019]. Le Portail climatique de la Société flamande pour l'environnement (VMM) quantifie cette augmentation du stress thermique à l'aide de la température ressentie (Wet Bulb Globe Temperature, WBGT) comme indicateur, illustrée à la figure 1 [Société flamande pour l'environnement (VMM), 2025b].

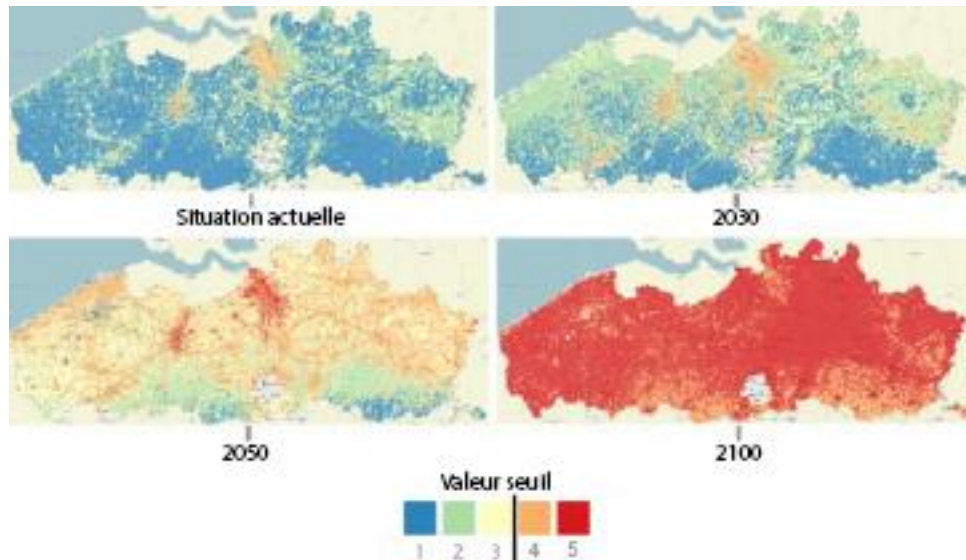


Figure 1 : Évolution des localités en Flandre dépassant les seuils de température ressentie (Wet Bulb Globe Temperature, WBGT) ayant un impact sanitaire important (niveaux 4 et 5), correspondant respectivement à un dépassement de la WBGT journalière minimale et maximale de 18 °C et 29,5 °C dans le climat actuel et dans un scénario climatique à fort impact jusqu'en 2100. Les zones urbaines (par exemple autour d'Anvers, de Bruxelles) affichent très tôt des valeurs plus élevées (2030), tandis que les zones rurales suivent plus tard [Agence flamande pour l'environnement (VMM), 2025b].

Ce réchauffement climatique se traduit directement par un risque accru de surchauffe dans les bâtiments. Parallèlement, de nombreuses études (par exemple Taylor et al., 2023) montrent qu'une conception réfléchie des bâtiments peut jouer un rôle crucial dans la limitation des impacts négatifs de la chaleur. Les choix de conception concernant l'orientation du bâtiment, la compacité, la masse thermique, l'isolation, le vitrage, la protection solaire, les stratégies de ventilation et l'utilisation des matériaux peuvent influencer considérablement les températures intérieures et ainsi améliorer le confort thermique, même dans des conditions climatiques plus chaudes. Des études montrent que la surchauffe dans les logements peut être considérablement réduite par l'utilisation de protections solaires et de la ventilation naturelle, par exemple comme cela a été mis en œuvre au Royaume-Uni par Wright et Venskunas [2022].

En outre, les auteurs constatent que les maisons individuelles ont tendance, en moyenne, à surchauffer moins vite que les maisons mitoyennes. De plus, il existe différentes méthodes d'isolation pour limiter les échanges thermiques, notamment l'isolation des murs creux, des toitures et des planchers [Haytink et al., 2025]. Malgré ces possibilités, il existe actuellement un besoin évident de normes réglementaires et de directives plus rigoureuses concernant la surchauffe dans les bâtiments. Ceci est mentionné dans plusieurs études, dont celle de Taylor et al. [2023].

Pour obtenir une image réaliste et solide des conditions climatiques futures et de leurs implications pour les bâtiments, il ne suffit pas de se baser uniquement sur la meilleure estimation. Il faut également prendre en compte des scénarios représentant les évolutions les plus favorables et les plus défavorables du réchauffement climatique. Ensemble, ces scénarios fournissent une fourchette d'incertitude sur le climat futur. En effet, les bâtiments doivent non seulement être adaptés au climat le plus probable, mais aussi être capables de protéger la population contre la surchauffe dans les scénarios les plus défavorables.

Cette analyse s'appuie donc sur l'ensemble de données EURO-CORDEX, qui constitue une base appropriée pour l'étude des effets climatiques régionaux en Belgique. Grâce à sa résolution spatiale d'environ 12,5 km, il est possible de distinguer d'importantes différences régionales au sein de la Belgique, comme entre la zone côtière, la Campine et les Ardennes. De plus, EURO-CORDEX comprend un large éventail de projections climatiques, avec une centaine de combinaisons possibles de modèles et de scénarios incluses dans cette étude, ce qui permet d'intégrer explicitement l'incertitude liée aux évolutions climatiques futures dans l'analyse. Ces résultats contribuent à cartographier la fourchette d'incertitude pour la Belgique, pour laquelle aucune estimation robuste n'est encore disponible à ce jour concernant les indicateurs climatiques pertinents pour le secteur du bâtiment. La création de cet ensemble de données nécessite des ressources informatiques considérables. Ces projections climatiques sont le résultat de simulations numériques de longue durée basées sur des descriptions physiques complexes des processus atmosphériques, terrestres et océaniques. Ces simulations sont exécutées par des supercalculateurs afin d'accomplir un travail qui prendrait des centaines d'années sur un ordinateur ordinaire.

Cette étude, réalisée à la demande de l'association sectorielle VEROZO, l'Association professionnelle belge de protection solaire et de volets roulants, s'inscrit dans le prolongement de l'étude existante et vise à sensibiliser davantage à l'impact du changement climatique, et en particulier à l'augmentation des vagues de chaleur estivales extrêmes sur le parc immobilier belge sous différents scénarios de réchauffement climatique. Le rapport s'inspire d'IGNES [2023], une étude du même nom réalisée pour la France. Ce rapport se concentre sur l'analyse du parc immobilier belge dans des conditions climatiques propices à la surchauffe des logements. Pour ce faire, il examine à la fois les conditions climatiques actuelles et celles d'un monde réchauffé de 2 °C et 3 °C. Sur la base d'une base de données existante sur les logements belges, il est ensuite possible de quantifier le nombre de logements exposés à ces conditions climatiques.

2 Données et méthode

2.1 Niveau et calendrier du réchauffement climatique

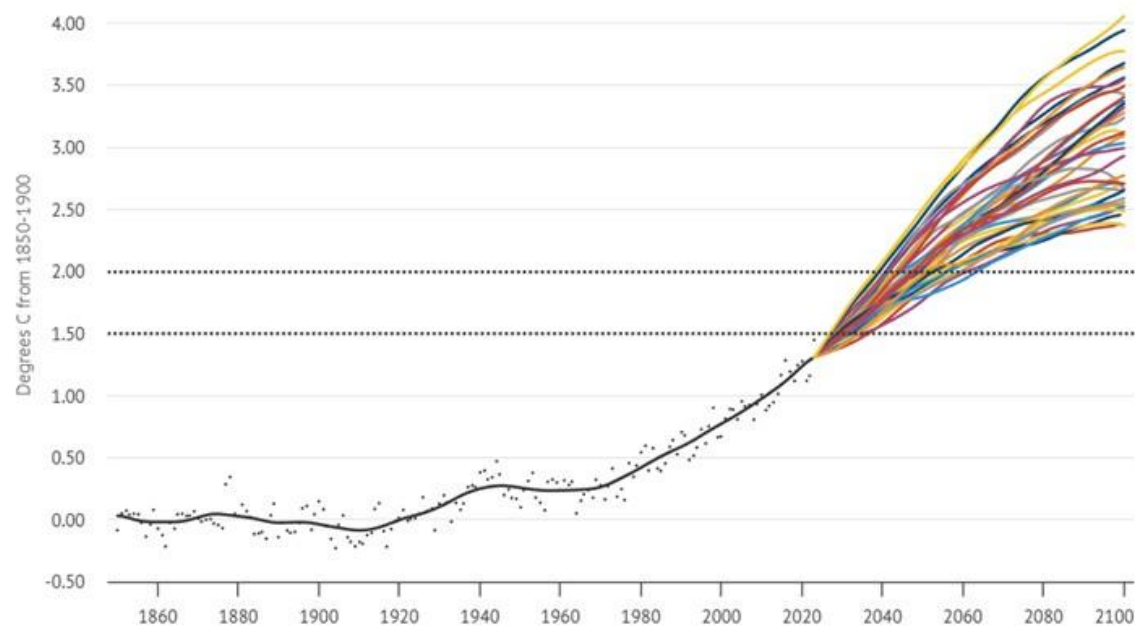
La température moyenne mondiale a connu un fort réchauffement depuis l'industrialisation, en particulier à partir des années 70 et 80 du siècle dernier (figure 1). Il existe toutefois d'importantes variations d'une année à l'autre, car divers facteurs naturels jouent un rôle, tels que le volcanisme et les phénomènes El Niño et La Niña. Les données annuelles peuvent donc donner une image faussée de la tendance à long terme, car une seule année exceptionnellement chaude n'est pas représentative de la moyenne. C'est pourquoi on utilise souvent des moyennes sur des périodes plus longues de 10, 20 ou 30 ans (moyenne

pluridécennale).

Le niveau de réchauffement climatique (global warming level) est défini comme une moyenne pluridécennale, généralement sur 20 ans, par rapport à la période préindustrielle 1850–1900. À l'heure actuelle, nous nous situons à un niveau de réchauffement global de 1,30 à 1,37 °C, ce chiffre incluant également les prévisions pour les dix prochaines années [Forster et al., 2024]. La meilleure estimation du niveau de réchauffement global historique le plus proche s'élève à 1,19 °C, sur la base des données couvrant la période. 2014 à 2023 [Forster et al., 2024]. Ce chiffre est arrondi à un niveau de réchauffement global de 1,2 °C, qui est utilisé dans cette étude pour désigner la période historique récente. Cette situation historique est comparée à des niveaux de réchauffement futurs de 2 °C et 3 °C. Les avantages de travailler avec des niveaux de réchauffement global sont décrits dans l'annexe A.

Combining observations and models to assess when the world will pass 1.5C and 2C

Observations from 1850-2023 and all CMIP6 SSP2-4.5 models after 2023



Sources: Berkeley Earth, GISTEMP, NOAA GlobalTemp, HadCRUT5, and CMIP6 models

CarbonBrief
CLEAR ON CLIMATE

Figure 2 : Réchauffement mondial par rapport à la période 1850-1900, avec les températures moyennes annuelles mondiales à la surface issues de la moyenne composite (points noirs) le long de l'ajustement LOWESS sur 30 ans (ligne noire), combinées à 37 modèles CMIP6 lissés à l'aide de ce même ajustement LOWESS sur 30 ans. Les modèles et les observations sont alignés sur les valeurs moyennes lissées pour 2023. Un ajustement LOWESS est une méthode permettant de tracer une « ligne lisse » à travers une série de points de données, afin de mieux visualiser la tendance sous-jacente. Voir Cleveland [1979] pour une description. Graphique réalisé par Carbon Brief. Carbon Brief [2023].

Une formulation en termes de niveaux de réchauffement climatique ne suffit toutefois pas. Les décideurs politiques ont également besoin de savoir à quel moment ces niveaux seront atteints, afin de pouvoir évaluer la rapidité d'adaptation nécessaire. Ce calendrier est incertain, tant en raison des incertitudes concernant la trajectoire future des émissions que des incertitudes quant à la réponse du système climatique à ce forçage. C'est pourquoi nous nous concentrons ici sur la détermination de la date la plus proche à laquelle un certain niveau de réchauffement global peut être atteint. Les estimations de la date la plus précoce à laquelle le niveau de réchauffement global de 2 °C pourrait être atteint indiquent 2039. Dans les scénarios prévoyant des mesures climatiques fortes, ce réchauffement de 2 °C n'est pas atteint, ce qui nous permet de conclure qu'un réchauffement de 2 °C est possible à partir de 2039. Pour un réchauffement climatique mondial de 3 °C, cette date est estimée au plus tôt à 2063 (figure 2). Une explication figure à l'annexe B.

2.2 Modèles climatiques EURO-CORDEX

Les modèles climatiques globaux (MCG) sont utilisés pour simuler le climat mondial. Ces modèles ne fournissent toutefois des informations qu'à une résolution d'environ 100 km sur 100 km. Cette résolution étant trop grossière pour fournir des informations climatiques détaillées pour la Belgique, on utilise des modèles climatiques régionaux (MCR). Pour le domaine européen, de tels modèles (MCR) sont disponibles avec une résolution d'environ 12,5 km sur 12,5 km, produits dans le cadre d'EURO-CORDEX, une initiative coordonnée de downscaling [Jacob et al., 2014]. Ces RCM sont basés sur la 5e génération de modèles climatiques globaux, à savoir les modèles du Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). Le tableau 9 de l'annexe C donne un aperçu complet de tous les modèles inclus dans l'étude. Les données utilisées ont été corrigées du biais selon la procédure standard de l'ISMIP3 [Lange, 2019]. La correction des biais a été effectuée sur la base de la période historique précoce (1976–2005). Cette méthode est actuellement considérée comme l'une des meilleures pour les études axées sur les parties prenantes et est largement utilisée dans la plupart des études menées avec EURO-CORDEX. Ces données corrigées du biais ont été fournies par Sylvain Marchi (IRM), pour lesquelles un article de validation est en cours de rédaction.

Sur la base de cet ensemble de données, trois scénarios ont été élaborés pour chaque niveau de réchauffement, à savoir le scénario optimiste, le scénario médian et le scénario pessimiste. Ceux-ci correspondent respectivement aux 10e, 50e et 90e percentiles des valeurs, calculés sur l'ensemble des modèles et déterminés pixel par pixel. Un scénario peut donc contenir des valeurs provenant de différents modèles.

2.3 Indicateurs climatiques

Afin d'illustrer les conditions climatiques susceptibles d'entraîner une gêne liée à la surchauffe des bâtiments et des personnes exposés, cinq indicateurs climatiques basés sur les températures de l'air extérieur sont examinés, sur la base d'une étude française similaire [IGNES, 2023]. Il s'agit des indicateurs suivants :

Indicateur 1 : Nombre annuel de jours où la température maximale dépasse 25 °C.

Le premier indicateur de cette étude évalue le nombre de jours par an où la température extérieure maximale est supérieure à 25 °C, calculé pour chaque pixel individuellement. Ces journées chaudes ne sont pas nécessairement consécutives. Ce seuil est utilisé pour le suivi de la mortalité en Belgique par Sciensano [Nganda et al., 2025].

Indicateur 2 : Nombre annuel de jours où la température maximale dépasse 30 °C

Idem que l'indicateur 1, mais avec un seuil de 30 °C. Le caractère extrême de cet indicateur conduit à des valeurs relativement faibles, ce qui rend son évolution moins déterminante, surtout dans les scénarios optimistes. Tout comme le seuil de 25 °C, cette valeur est également utilisée pour le suivi de la mortalité en Belgique par Sciensano [Nganda et al., 2025].

Indicateur 3 : Nombre annuel de jours de canicule

Le troisième indicateur comptabilise le nombre de jours faisant partie d'une canicule. Celle-ci est définie ici selon la définition de l'IRM [Institut royal de météorologie, 2025]. Une vague de chaleur comprend au moins 5 jours consécutifs où la température maximale atteint au moins 25 °C, dont au moins 3 jours où la température dépasse 30 °C. En utilisant la définition nationale de la vague de chaleur, nous garantissons la pertinence au sein du champ d'étude belge.

Indicateur 4 : Nombre annuel de jours où la température minimale dépasse 18 °C

Lorsqu'il ne fait pas moins de 18 °C la nuit, on parle d'une nuit chaude. On se base ici sur la température minimale journalière. Cet indicateur est étroitement lié aux problèmes de santé. Des températures nocturnes trop élevées perturbent le sommeil et la récupération après une journée chaude [Département des soins, gouvernement flamand, 2024]. Ce seuil est également utilisé pour le suivi de la mortalité en Belgique par Sciensano [Nganda et al., 2025].

Indicateur 5 : Nombre annuel de jours où la température dépasse de 18 °C la moyenne journalière lissée.

La température moyenne journalière lissée (T_{mjl}). Cet indicateur est proposé par la Commission européenne dans le cadre du modèle européen de confort [Commission européenne, 2025a] et utilisé dans le GRO belge [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025]. Il est calculé en faisant la moyenne du jour actuel et des sept jours précédents, en accordant une plus grande importance aux derniers jours (Éq. 1). T_{moy-i} pour la température moyenne journalière de l'air extérieur pour le i ème jour. Par exemple, T_{moy-1} est la température moyenne de

l'air extérieur de la veille et T_{moy-2} celles d'il y a deux jours. Les journées chaudes sont définies ici comme des journées où la température moyenne journalière lissée est supérieure à 18 °C, une valeur seuil utilisée notamment par Senel et Kruit [2023].

$$T_{mjl} = (T_{moy-1} + 0.8T_{moy-2} + 0.6T_{moy-3} + 0.5T_{moy-4} + 0.4T_{moy-5} + 0.3T_{moy-6} + 0.2T_{moy-7}) / 3.8$$

3 Inventaire Statbel des bâtiments résidentiels

Afin de caractériser le parc immobilier résidentiel de la Belgique, cette étude utilise l'ensemble de données Statbel au niveau communal [Statbel (Direction générale de la statistique - Statistics Belgium), 2025]. Le tableau 1 présente un aperçu du nombre total de logements pris en compte dans cette étude, comprenant les maisons et les appartements, ainsi que le nombre d'immeubles dans lesquels ces appartements se trouvent. Les données proviennent de l'Administration générale de la documentation patrimoniale du SPF Finances. Le nombre de logements est considéré comme constant dans le temps dans cette étude, fixé au parc immobilier de 2025.

Types de logements	Nombre de logements considérées
Maisons	3 615 271
Appartements	1 703 438
Immeubles d'appartements	252 582
Municipalités	563

Tableau 1 : Nombre de logements pris en compte dans Statbel au 1er janvier 2025 [Statbel (Direction générale de la statistique - Statistique Belgique), 2025]. Plus précisément, le nombre de maisons et d'appartements, et le nombre d'immeubles d'appartements dans lesquels ces appartements sont situés.

La combinaison de ce parc immobilier avec des données climatiques permet d'analyser les segments du parc immobilier qui seront confrontés aux changements climatiques à venir. Le choix de 5 indicateurs climatiques n'est toutefois pas suffisant pour caractériser l'exposition des logements. Pour cela, il convient d'utiliser un seuil afin de quantifier le nombre de logements dans une zone où le nombre de jours d'exposition à l'indicateur dépasse cette valeur (tableau 2). Le choix de chaque valeur est expliqué plus en détail dans la section des résultats de l'indicateur.

Indicateur	Valeur seuil
Tmax>25°C (jours par an)	40
Tmax>30 °C (jours par an)	10
Vague de chaleur (jours par an)	10
Tmin>18°C (jours par an)	10
Tmjl>18°C (jours par an)	60

Tableau 2 : Valeur seuil par indicateur utilisée pour quantifier le nombre de logements dans les zones où le nombre de jours d'exposition dépasse cette valeur.

4. Exposition des bâtiments résidentiels à la chaleur

En combinant les données climatiques de la base de données EURO-CORDEX relatives aux cinq indicateurs avec les données sur le parc de logements de StatBel, nous obtenons le nombre et la proportion de logements exposés par commune pour chaque scénario de réchauffement climatique. L'ensemble de ces résultats, y compris l'évolution des indicateurs selon les scénarios de réchauffement, sont présentés dans cette section sous forme de cartes et de tableaux récapitulatifs.

4.1 Indicateur 1: Nombre de jours avec une température maximale journalière supérieure à 25 °C

La figure 3 montre la répartition spatiale des journées chaudes ($T_{max} > 25\text{ °C}$) en Belgique pour des niveaux de réchauffement global de +1,2 °C, +2 °C et +3 °C. L'intérieur des terres connaît un nombre plus élevé de journées chaudes par rapport aux zones côtières. De même, les régions vallonnées du sud (Ardennes) connaissent moins de journées chaudes par rapport aux plaines du nord. Récemment, dans le nord du Limbourg, certaines localités ont déjà été exposées à plus de 40 journées chaudes.

Quel que soit le niveau de réchauffement, on observe une nette augmentation du nombre de journées de forte chaleur dans tout le pays. Les changements les plus marqués se produisent dans les régions qui, dans un monde réchauffé de +1,2 °C, connaissaient déjà un nombre élevé de journées de canicule. Dans ces régions, avec un réchauffement de +3 °C, on atteint même en moyenne jusqu'à 60 journées de canicule par an, ce qui correspond à deux mois complets par an. L'étude de l'IGNES [2023] montre que ce nombre de jours est déjà atteint, dans les conditions climatiques actuelles, dans de grandes parties du sud de la France.

La KU Leuven a réalisé des simulations à une résolution de 2,8 km avec une paramétrisation urbaine dans le modèle CCLM6 alimenté par des données GCM futures. Une analyse de ces données de modélisation montre un schéma similaire mais plus détaillé (annexe F). À cette résolution plus élevée, la vallée de la Meuse apparaît plus clairement comme une bande plus chaude par rapport aux zones environnantes. Les zones urbaines de Bruxelles, Malines et Anvers présentent également un signal de réchauffement plus prononcé. Ces détails font défaut dans l'ensemble EURO-CORDEX, ce qui souligne la valeur ajoutée des simulations CORDEX.be II pour des analyses climatiques détaillées.

Afin de quantifier l'évolution de l'exposition lors des journées chaudes ($>25\text{ °C}$), il a été décidé de prendre en compte le nombre de logements exposés à au moins 40 journées chaudes par an. Ce seuil permet d'identifier l'exposition dans les zones soumises à de forts changements. Ces résultats sont présentés dans le tableau 3. Dans l'annexe D, ils sont repris pour le scénario optimiste et le scénario pessimiste du tableau 11. Ces scénarios correspondent respectivement aux 10e et 90e percentiles des valeurs, calculées sur l'ensemble des modèles par commune (voir Méthodes 2.2).

Dans un monde réchauffé de +1,2 °C, ce seuil de 40 jours n'est dépassé que dans une seule commune. En cas de réchauffement de +2 °C, le nombre de communes dans lesquelles ce seuil est dépassé augmente rapidement, jusqu'à 22 % de l'ensemble des habitations en Belgique, le Limbourg dépassant entièrement ce seuil. Dans un monde réchauffé de +3 °C, ce seuil est dépassé pratiquement partout en Belgique, à l'exception des communes côtières et des cantons de l'Est.

Nombre annuel de jours avec un dépassement de la température maximale de 25 °C

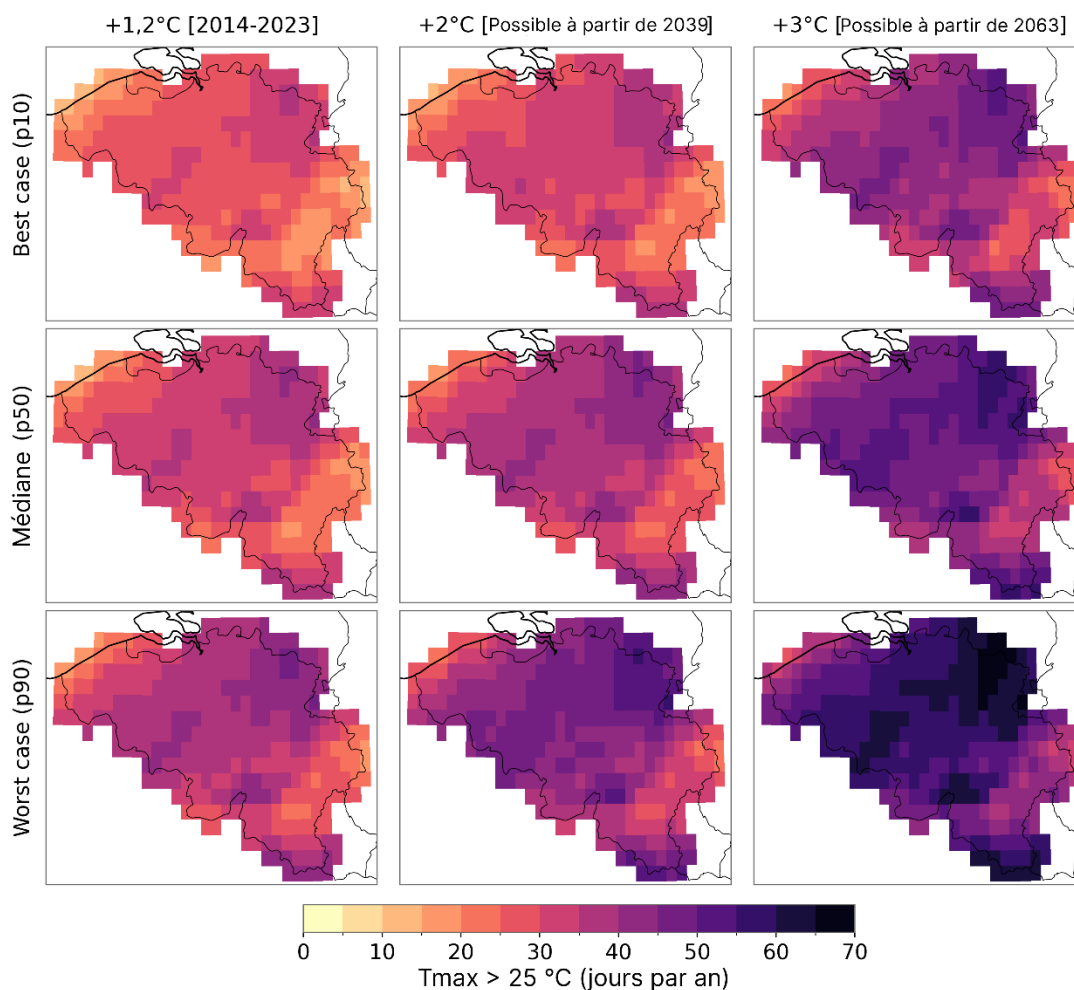


Figure 3 :Le nombre de jours où la température maximale extérieure (T_{max}) dépasse 25 °C est indiqué pour trois niveaux de réchauffement climatique. Chaque colonne représente un niveau de réchauffement : +1,2 °C, valeur de référence pour la période historique récente [Forster et al., 2024], et deux projections futures, +2 °C et +3 °C. La date la plus proche à laquelle ce niveau de réchauffement sera atteint est indiquée pour les projections futures (voir la section 2.1 pour plus d'explications). L'incertitude des projections climatiques est représentée par le nombre de lignes par pixel. Ainsi, le scénario le plus optimiste figure sur la première ligne, le scénario médian sur la deuxième et le scénario le plus pessimiste sur la dernière. Ces scénarios correspondent respectivement aux 10e, 50e et 90e percentiles des valeurs calculées pour l'ensemble des modèles par pixel (voir la section Méthodes 2.2).

Nombre de logements résidentiels avec au moins 40 jours de $T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$						
	+1,2°C [2014-2023]		+ 2°C [à partir de 2039]		+ 3°C [à partir de 2063]	
Maisons	11 102	0%	796 740	22%	3 382 591	94%
Appartements	4 158	0%	278 838	16%	1 505 221	88%
Municipalités	1	0%	114	20%	510	90%

Tableau 3 : Nombre de logements exposés à au moins 40 jours avec une température maximale journalière de 25 °C, calculé pour le scénario médian par niveau de réchauffement global (+1,2 °C, +2 °C et +3 °C). Les logements sont classés par type d'habitation. Le pourcentage indiqué correspond à la part par rapport à l'offre totale de logements de ce type en Belgique.

4.2 Indicateur 2: Nombre de jours avec une température extérieure max supérieure à 30 °C

La répartition spatiale des journées de chaleur extrême ($T_{max} > 30\text{ °C}$) en Belgique pour des niveaux de réchauffement climatique de +1,2 °C, +2 °C et +3 °C est illustrée à la figure 4. Ici aussi, l'intérieur du pays connaît un nombre plus élevé de journées de chaleur extrême par rapport aux zones côtières, tout comme pour les journées chaudes. De même, les régions vallonnées du sud (Ardennes) connaissent moins de journées de chaleur extrême que les régions plates du nord.

L'analyse réalisée à partir des données à résolution de 2,8 km du modèle CCLM6 (annexe F) présente le même niveau de précision et le même niveau de détail que ceux observés précédemment pour l'indicateur 1.

Nombre annuel de jours avec un dépassement de la température maximale de 30 °C

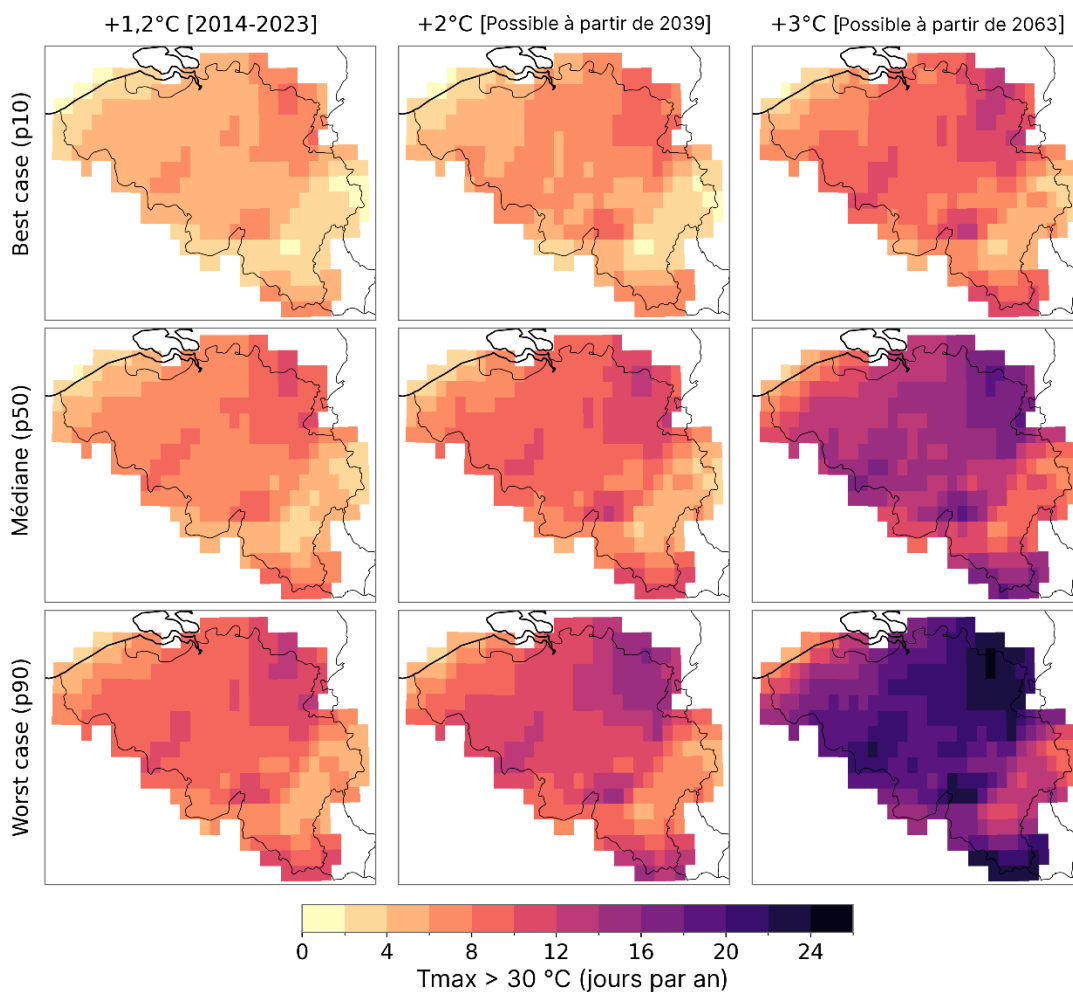


Figure 4 : Identique à la figure 3, mais cette fois-ci pour le nombre de jours où la température maximale de l'air extérieur (T_{max}) dépasse 30°C.

Le nombre de journées de chaleur extrême par an atteint, dans le cas d'un réchauffement mondial de +3 °C et du scénario le plus pessimiste, un maximum de 24 jours. Afin de quantifier l'évolution de l'exposition des logements, on utilise donc un seuil de 10 jours par an. Le tableau 4 présente ces résultats. Dans l'annexe D, ces résultats sont repris pour le scénario le plus favorable (10e percentile) et le scénario le plus défavorable (90e percentile) dans le tableau 12.

Dès un réchauffement de +1,2 °C, certaines communes sont exposées à ce nombre de journées de chaleur extrême notamment dans le nord du Limbourg. À mesure que le réchauffement progresse, la superficie concernée dans le Limbourg augmente et d'autres communes de l'intérieur de la Belgique sont également touchées. Dans un monde où la température est supérieure de +3 °C, pas moins de 94 % des maisons et 89 % des appartements dépassent ce seuil. Une fois encore, les communes côtières et les Cantons de l'Est seront épargnés par ces journées de chaleur extrême. Dans de telles conditions de température extérieure, un logement insuffisamment adapté peut entraîner des conditions de vie insalubres, en particulier pour les groupes de population les plus vulnérables.

Nombre de logements résidentiels avec au moins 10 jours avec Tmax>30°C						
	+1,2°C [2014-2023]		+ 2°C [à partir de 2039]		+ 3°C [à partir de 2063]	
Maisons	87 165	2%	621 881	17%	3 393 837	94%
Appartements	23 634	1%	202 508	12%	1 507 157	89%
Municipalités	10	2%	90	16%	517	92%

Tableau 4: Identique au tableau 3, mais concernant désormais le nombre de logements exposés à au moins 10 jours où la température maximale de l'air extérieur (Tmax) dépasse 30 °C pour le scénario median.

4.3 Indicateur 3 : Nombre de jours de vague de canicule

L'évolution du nombre annuel de jours de canicule vient compléter l'analyse des journées (extrêmement) chaudes, puisqu'une canicule est définie comme une série ininterrompue de telles journées (Fig. 5 et Tableau 5). C'est à nouveau dans le nord du Limbourg que l'on trouve le plus grand nombre de jours de canicule, et ce phénomène s'étend progressivement, avec le réchauffement climatique croissant, à d'autres régions du pays, en commençant par l'intérieur du pays. Lorsque le seuil est fixé à 10 jours de canicule par an, dans le climat actuel, quelques communes sont déjà touchées. Cela correspond aux conditions observées dans le climat actuel dans l'intérieur des terres en France [IGNES, 2023]. À mesure que le niveau de réchauffement climatique augmente, le nombre de communes touchées continue de croître, passant de 1 % des communes à 1,2 °C à 14 % à 2 °C pour atteindre presque toutes les communes (92 %) à 3 °C. À ce dernier niveau de réchauffement, les communes côtières et les cantons de l'Est ne sont pas (encore) exposés à ces conditions.

Nombre de logements ayant connu au moins 10 jours de canicule						
	+1,2°C [2014-2023]		+ 2°C [à partir de 2039]		+ 3°C [à partir de 2063]	
Maisons	44 631	1%	544 845	15%	3 384 104	94%
Appartements	13 102	1%	158 479	9%	1 503 611	88%
Municipalités	6	1%	80	14%	517	92%

Tableau 5 : Identique au tableau 3, mais concernant désormais le nombre de logements exposés à au moins 10 jours de canicule pour le scénario médian.

Nombre annuel de jours de canicule

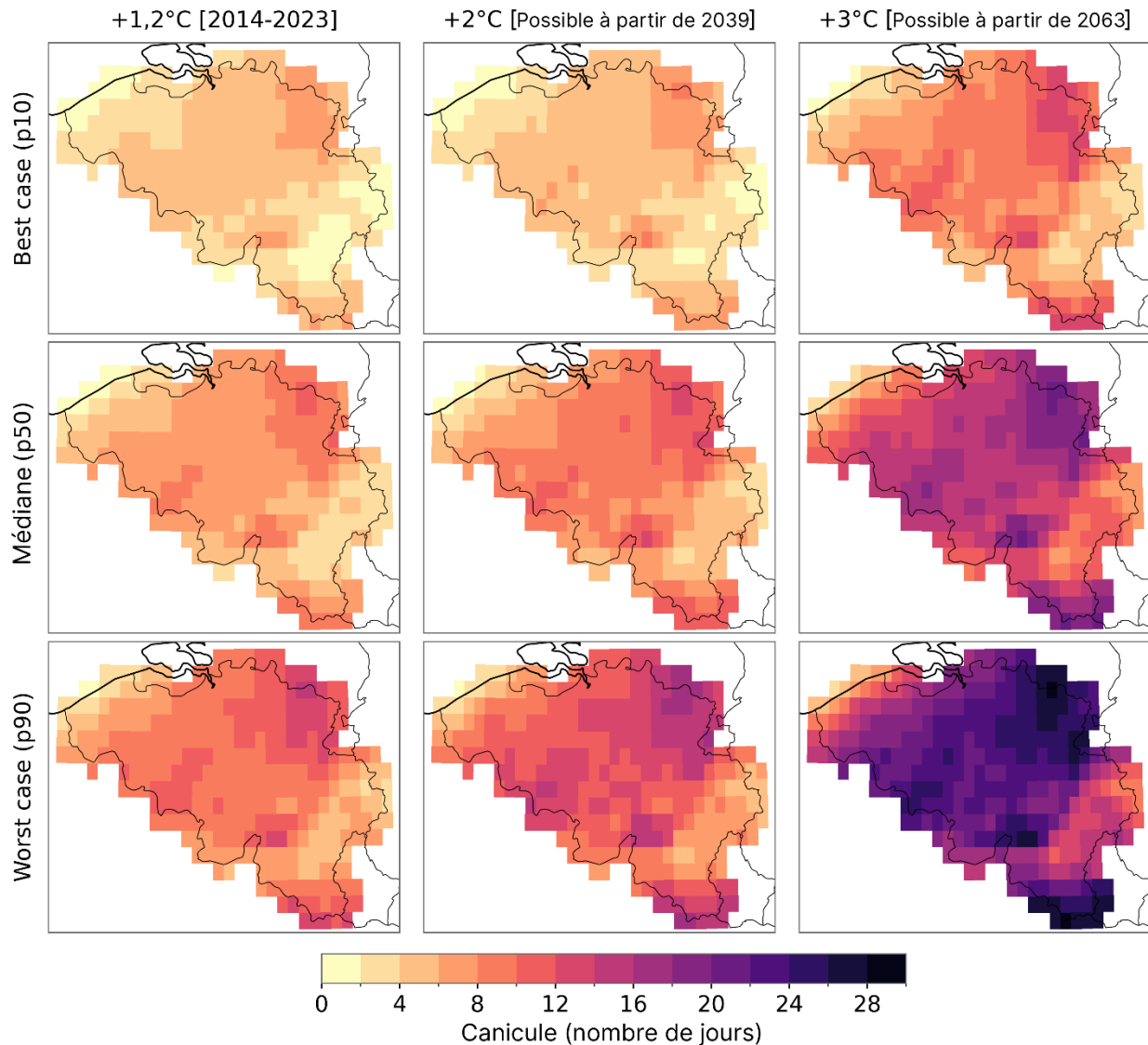


Figure 5 :Le principe est le même que pour la figure 3, mais cette fois-ci pour le nombre de jours de canicule. Une canicule est définie comme une période d'au moins cinq jours consécutifs où la température dépasse 25 °C, avec au moins trois jours au-dessus de 30 °C.

4.4 Indicateur 4: Nombre de jours avec une température extérieure minimale supérieure à 18 °C

Actuellement, les nuits chaudes ($T_{min} > 18 \text{ °C}$) se produisent principalement dans les régions du Brabant flamand du Nord, de l'ouest d'Anvers et de l'est et du sud du Limbourg (Fig. 6 et Tableau 6). À mesure que le niveau de réchauffement mondial augmente, le nombre de nuits chaudes s'étend surtout en Flandre, tandis que l'augmentation dans le sud de la Belgique est moins forte. En ce qui concerne les nuits chaudes, les communes côtières s'avèrent plus sensibles que les Ardennes. Celles-ci atteignent donc plus rapidement le seuil de 10 nuits chaudes par an.

Nombre annuel de jours avec un dépassement de la température minimale de 18 °C

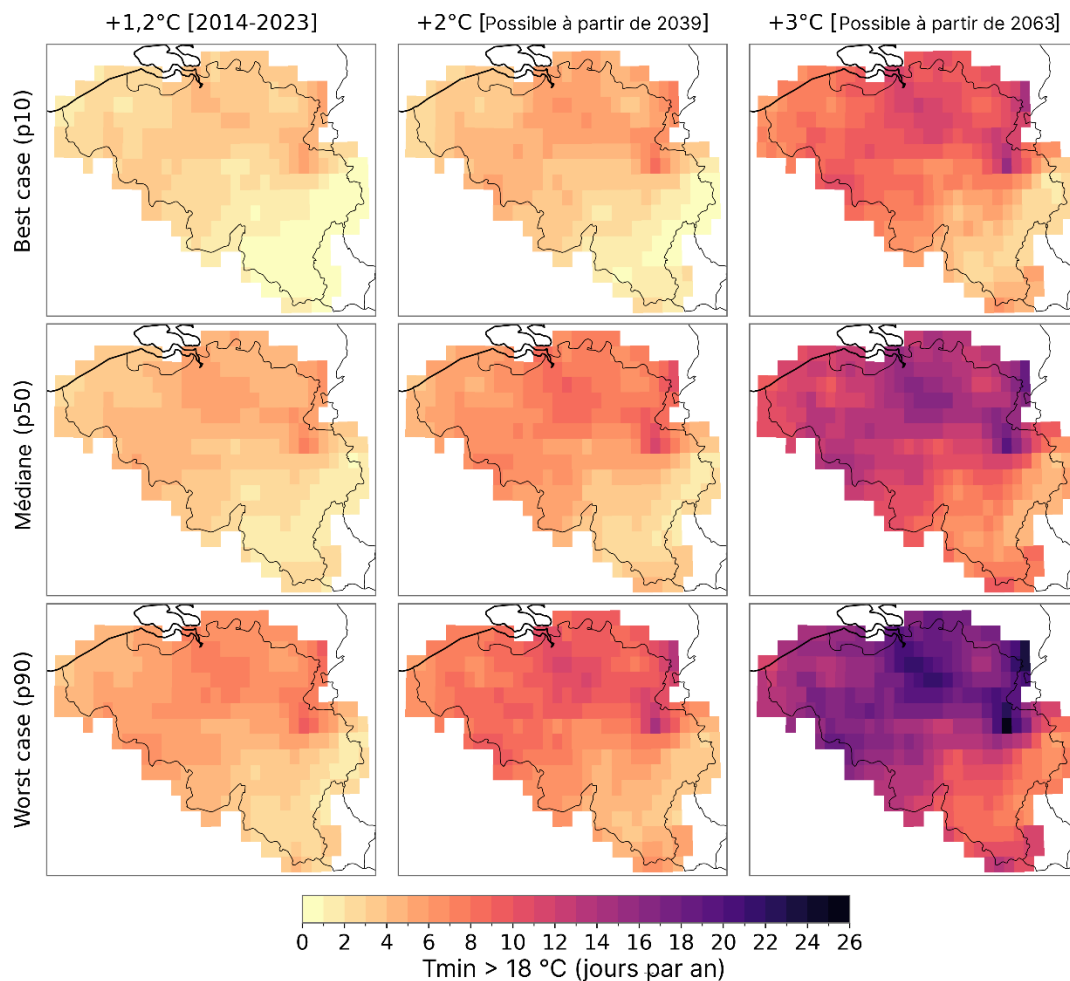


Figure 6 : Identique à la figure 3, mais cette fois-ci pour le nombre de jours où la température extérieure minimale sur 24 heures (T_{min}) dépasse 18°C.

Nombre de logements résidentiels avec au moins 10 jours de $T_{min} > 18^\circ\text{C}$

	+1,2°C [2014-2023]	+2°C [à partir de 2039]	+3°C [à partir de 2063]
Maisons	0 0%	46 227 1%	3 316 631 92%
Appartements	0 0%	10 806 1%	1 603 481 92%
Municipalités	0 0%	6 1%	464 82%

Tableau 6 : Identique au tableau 3, mais concernant désormais le nombre de logements exposés à au moins 10 jours où la température minimale de l'air extérieur sur 24 heures (T_{min}) dépasse 18 °C pour le scénario médian.

4.5 Indicateur 5 : Nombre de jours où la température moyenne lissée de l'air extérieur est supérieure à 18 °C

La Flandre enregistre actuellement le plus grand nombre de jours où la moyenne journalière lissée est supérieure à 18 °C. À mesure que le réchauffement climatique s'accroît, le nombre de jours où ces conditions sont observées augmente dans toute la Belgique (Fig. 7 et Tableau 7). Si le seuil est fixé à 60 jours par an, avec une augmentation de +2 °C, la moitié des maisons et des appartements sont déjà touchés. Avec une augmentation de +3 °C, ce chiffre s'élève à pas moins de 94 % des maisons et 98 % des appartements exposés, ce qui correspond avec au moins deux mois où la température dépasse 18 °C, ainsi que plus de 3 millions de maisons et plus de 1,5 million d'appartements.

Nombre annuel de jours avec un dépassement de la moyenne journalière lissée de 18 °C

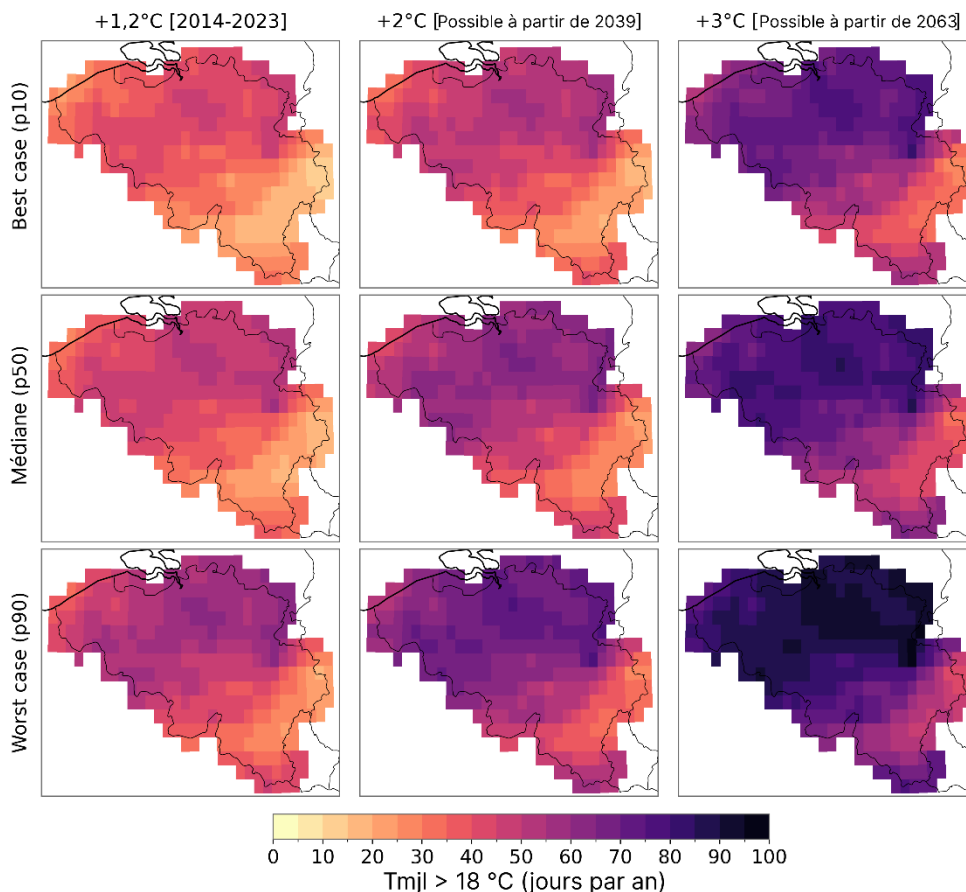


Figure 7 :Le principe est le même que pour la figure 3, mais cette fois-ci pour le nombre de jours où la moyenne lissée (T_{mjl}) dépasse 18 °C. T_{mjl} est calculé sur les sept derniers jours, y compris le jour même, les derniers jours étant pondérés davantage selon la formule suivante : $T_{mjl} = (T_{moy-1} + 0.8 \cdot T_{moy-2} + 0.6 \cdot T_{moy-3} + 0.5 \cdot T_{moy-4} + 0.4 \cdot T_{moy-5} + 0.3 \cdot T_{moy-6} + 0.2 \cdot T_{moy-7}) / 3.8$, où T_{moy} est la moyenne journalière. Cet indicateur est utilisé par GRO [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025].

Nombre de logements avec au moins 60 jours de $T_{mjl} > 18^\circ\text{C}$

	+1,2°C [2014-2023]	+ 2°C [à partir de 2039]	+ 3°C [à partir de 2063]
Maisons	0 0%	1 551 122 43%	3 395 978 94%
Appartements	0 0%	987 413 58%	1 664 917 98%
Municipalités	0 0%	209 37%	485 86%

Tableau 7 :Identique au tableau 3, mais cette fois-ci pour le nombre de logements exposés à au moins 60 jours avec une température moyenne journalière de l'air extérieur (T_{mjl}) supérieure à 18 °C pour le scénario médian. La T_{mjl} est calculée sur les sept derniers jours, y compris le jour même, les derniers jours étant pondérés davantage selon la formule : $T_{mjl} = (T_{moy-1} + 0.8 \cdot T_{moy-2} + 0.6 \cdot T_{moy-3} + 0.5 \cdot T_{moy-4} + 0.4 \cdot T_{moy-5} + 0.3 \cdot T_{moy-6} + 0.2 \cdot T_{moy-7}) / 3.8$, où T_{moy} est la moyenne journalière. Cet indicateur est utilisé par GRO [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025].

5 Discussion

5.1 Données climatiques

Un avantage important de l'utilisation de l'ensemble de données EURO-CORDEX dans cette étude réside dans sa résolution spatiale relativement élevée par rapport aux modèles climatiques globaux, combinée à un ensemble de grande envergure comprenant plus d'une centaine de combinaisons de modèles et de scénarios. Cette combinaison permet d'analyser les différences régionales au sein de la Belgique tout en intégrant explicitement l'incertitude liée aux évolutions climatiques futures.

Cependant, la résolution des modèles (12,5 km) reste trop grossière pour modéliser explicitement des effets locaux tels que l'îlot de chaleur urbain. De ce fait, le stress thermique dans les zones fortement urbanisées peut être sous-estimé. Une prochaine étape importante consistera à utiliser des projections climatiques régionales à plus haute résolution, telles que celles développées dans le cadre du projet CORDEX.BE II (2,8 km) [RMI et al., 2025]. Ce projet succède à CORDEX.BE I [Termonia et al., 2018] et sert de base aux nouveaux scénarios climatiques belges. Nous prévoyons que ces données seront disponibles dans le courant de l'année 2026. L'analyse actuelle, avec une représentation améliorée des effets climatiques urbains, pourra alors être répétée.

Une source supplémentaire d'incertitude dans cette étude concerne la correction du biais appliquée. Conformément aux méthodes courantes dans la littérature, la correction du biais a été effectuée sur une période de référence historique.

Dans cette étude, cela a été effectué sur la période de 1976 à 2005. Cependant, cela remonte déjà à longtemps, puisque l'année centrale de cette période se situe déjà 35 ans dans le passé et que le niveau de réchauffement mondial pendant cette période était bien inférieur à celui d'aujourd'hui, à savoir 0,57 °C [Carbon Brief, 2023]. Il est plus logique de comparer l'avenir à une période historique plus récente, à savoir de 2014 à 2023. Étant donné que la correction du biais a été effectuée pour la période de 1976 à 2005, les modèles présentent quelques légers écarts sur la période de 25 ans jusqu'à la période historique plus récente (2014-2023). Lorsque la correction du biais est effectuée pour cette période plus récente, la comparaison de l'avenir par rapport à cette période historique s'améliore. Il est donc recommandé de décaler l'horizon temporel de la correction du biais.

Ce rapport a utilisé la définition du IPCC concernant les niveaux de réchauffement climatique. Cette définition ne tient pas compte des différences dans le calendrier historique selon lequel les différents modèles climatiques atteignent ces niveaux de réchauffement. C'est pourquoi les niveaux de réchauffement de 1,2 °C, 2 °C et 3 °C peuvent se produire de manière irréaliste trop tôt ou trop tard. Il s'avère que ce timing peut parfois présenter un écart de 12 ans par rapport à la période historique. Cela entraîne une incertitude supplémentaire qui peut être réduite en effectuant une correction du timing du niveau de réchauffement global.

Afin d'examiner l'effet de cette correction, différentes sous-séries des 112 modèles ont été testées dans ces études, celles-ci présentant une meilleure concordance avec le timing du réchauffement global au cours de la période historique. Les résultats se sont toutefois révélés assez similaires pour ces sous-séries de modèles. C'est pourquoi nous avons choisi ici d'utiliser l'ensemble complet des modèles, ce qui renforce la robustesse des conclusions.

À l'avenir, nous recommandons toutefois de corriger le timing du réchauffement global, comme l'a également fait le Carbon Brief [2023] et comme nous prévoyons de le faire dans le cadre du projet CORDEX.BE II. La période ultérieure et la correction du biais du réchauffement global apporteront de légères améliorations, mais comme le montre déjà l'étude de sensibilité mentionnée précédemment, les grandes lignes de ce rapport restent inchangées.

Il convient en outre de noter que ces résultats d'EURO-CORDEX sont basés sur la cinquième génération de modèles climatiques globaux (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, CMIP5). Dans les générations plus récentes de modèles climatiques régionaux, des améliorations importantes ont été apportées, telles qu'une représentation plus explicite des aérosols dépendants du temps. À l'avenir, cette étude pourra être reprise avec les nouvelles données EURO-CORDEX alimentées par le CMIP6 et les modèles CORDEX-BE lorsque ces données seront disponibles, au cours de l'année 2026.

Enfin, sur le fond, cette étude s'inscrit dans la continuité de travaux antérieurs, tels que le rapport climatique

MIRA commandé par la Société flamande pour l'environnement [Brouwers et al., 2015], dans laquelle l'impact du stress thermique a été quantifié sur la base du nombre de citoyens touchés par ce phénomène. La présente étude constitue une extension du Portail climatique de la VMM [Agence flamande pour l'environnement (VMM), 2025b], avec un accent mis sur les bâtiments et la mise en évidence des incertitudes, bien qu'avec une résolution plus grossière. Cependant, étant donné que les données sur les bâtiments ne sont disponibles qu'au niveau des communes, la résolution de celles-ci (12,5 km sur 12,5 km) correspond bien à la résolution des données sur les bâtiments. La valeur ajoutée des simulations à plus haute résolution (2,8 km) de CORDEX.be II serait donc encore mieux mise en valeur si les données sur les bâtiments étaient également mises à disposition à une résolution plus élevée. C'est donc la dernière recommandation de notre étude.

5.2 Mise en relation des indicateurs de changement climatique avec leur impact sur le confort estival des logements, en fonction des caractéristiques des bâtiments

Les indicateurs précédents indiquent que la charge thermique pesant sur le parc immobilier augmentera considérablement à l'avenir. En particulier, l'indicateur : la moyenne journalière lissée (T_{mj}) est directement corrélé à la manière dont la charge de refroidissement des bâtiments est évaluée dans la pratique. La moyenne journalière lissée est à la base du modèle de confort adaptatif [Comité européen de normalisation, 2019] et constitue en ce sens une indication des températures intérieures acceptables pour un climat extérieur donné.

Aucune étude n'a été identifiée dans la littérature qui précise plus en détail quels types de bâtiments, avec quelles caractéristiques, seront plus vulnérables à la surchauffe dans les conditions météorologiques futures. Quelques études vont dans ce sens. Ramon et al. [2020] ont cartographié l'évolution de la charge de refroidissement des bâtiments sur la base du calcul des degrés-jours de refroidissement (CDD). Pour ce faire, ils se sont appuyés sur le scénario RCP8,5 pour la période 2070-2098, en s'appuyant sur le modèle EURO-CORDEX. Il en ressort que, dans le climat actuel (passé récent), le nombre de CDD dans la quasi-totalité de la Flandre reste inférieur à 200 CDD. Dans le scénario futur (2070-2098), on estime qu'il augmentera pour atteindre en moyenne 421 CDD (+138 %).

Van den Brande et al. [2022] ont examiné dans quelle mesure le changement climatique a un impact sur les résultats d'un score EPB selon la méthode EPB flamande. Ils partent du constat que la méthodologie EPB actuelle repose sur des données météorologiques de la période 1958 à 1975 et est donc fondée sur des hypothèses dépassées. Il est également souligné que la méthode EPB n'est ni conçue ni adaptée pour évaluer en détail le confort estival dans les bâtiments, étant donné que la méthode repose sur une méthode de calcul mensuelle en régime quasi-stationnaire. L'étude met en garde contre le fait que la méthodologie actuelle surestime l'impact sur la demande énergétique de la rénovation thermique ou de la poursuite de normes passives/neutres en énergie, car elle ne tient pas compte du changement climatique et se concentre ainsi presque exclusivement sur la demande de chauffage. En Flandre, selon les prévisions, dans un contexte de changement climatique, l'accent mis sur la demande énergétique des bâtiments va se déplacer de la seule demande de chauffage vers une demande de refroidissement, surtout si la conception architecturale n'a pas suffisamment intégré de mesures passives. La poursuite des exigences actuelles de la PEB peut donc, paradoxalement, entraîner une augmentation de la demande énergétique, car un nombre nettement plus important de bâtiments deviendront sensibles à la surchauffe. L'étude fait ici explicitement référence aux bâtiments compacts et aux bâtiments présentant un très haut degré d'isolation.

Elnagar et al. [2023] ont élaboré une méthodologie permettant d'estimer, à partir de données météorologiques futures, la demande en énergie de chauffage et de refroidissement du parc immobilier belge en 2050 et 2100, sur la base du modèle climatique MAR et ce, pour différents scénarios de changement climatique. Ce parc immobilier est divisé en plusieurs typologies de base, avec une représentation statistique de leur part dans l'ensemble du parc immobilier (Figure 8).

Morales et al. [2025] abordent en détail dans leur méta-étude les défis liés à la mise en place d'une étude au niveau du parc immobilier qui cartographie de manière adéquate tous les effets du changement climatique sur le parc immobilier. De nombreux obstacles restent à surmonter, notamment pour intégrer de manière adéquate les divers aspects et effets de l'effet d'îlot de chaleur urbain (UHI) dans les modèles.

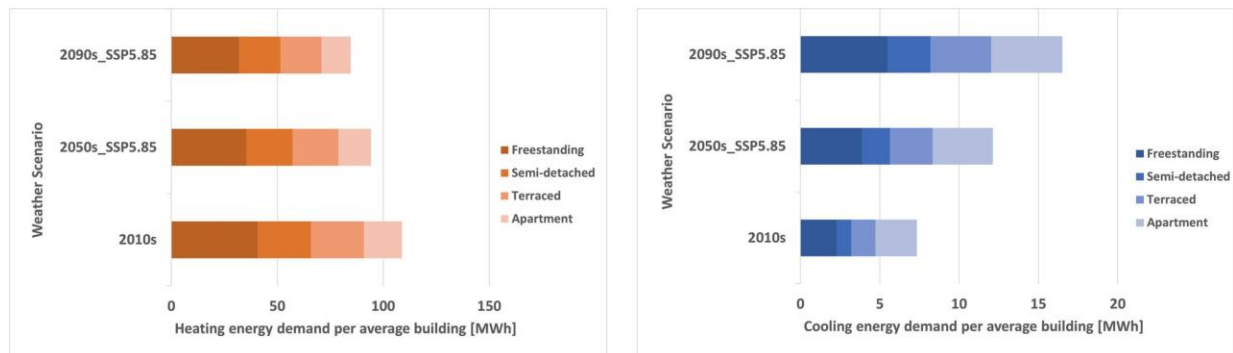


Figure 8 : Indication de la diminution moyenne attendue de la demande de chauffage et de l'augmentation moyenne de la demande de refroidissement des logements en Belgique, par typologie, dans le cadre d'un scénario climatique SSP5.85 et ce pour 2010, 2050 et 2090. Elnagar et al. [2023].

Cette étude soutient que, avant de pouvoir avoir une vision globale et détaillée de l'impact du climat futur sur le parc immobilier, une série d'améliorations méthodologiques est encore nécessaire. En l'absence d'une étude quantitative détaillée, il est possible, sur la base des paramètres météorologiques changeants identifiés et des interventions ayant le plus d'impact, comme évoqué à la section 5.3, d'établir une liste qualitative des principaux impacts du changement climatique, en lien avec certaines caractéristiques de base des bâtiments.

Impact : des températures estivales plus extrêmes

Types de bâtiments sensibles :

- Les logements bien isolés et étanches à l'air accumuleront davantage de chaleur, surtout s'ils ne sont pas équipés d'une protection solaire adéquate et d'un système de refroidissement par ventilation.
- Les logements présentant une étanchéité à l'air insuffisante et un faible niveau d'isolation perdront plus facilement de la chaleur pendant la nuit, mais se réchaufferont plus rapidement pendant la journée en raison de l'infiltration d'air chaud et de la transmission de chaleur à travers les toitures et les façades.
- Les logements à masse thermique limitée, et notamment les combles, seront plus sensibles aux pics de chaleur, car les fluctuations de température ne sont que très peu atténuées.
- Les logements à masse thermique élevée atténueront les pics de température pendant la journée, mais entraîneront des températures nocturnes plus élevées en raison du décalage de phase. Pour atténuer ce phénomène, un refroidissement par ventilation nocturne peut être mis en place (voir 2.1).

Impact : des vagues de chaleur plus longues et plus intenses

Types de bâtiments sensibles :

- Les logements de petit volume, à faible masse thermique, fortement exposés au rayonnement solaire et offrant peu de possibilités de ventilation naturelle, tels que les appartements situés en haut d'immeubles dont les toitures sont mal isolées, ou les appartements à une seule façade avec un fort taux de vitrage, seront sensibles aux vagues de chaleur prolongées.
- Les logements offrant des possibilités de refroidissement par ventilation naturelle intensive, une masse thermique et des protections solaires bien étudiées seront plus résilients face aux vagues de chaleur (voir 2.1).

Impact : hausse des températures nocturnes

Types de bâtiments sensibles :

- Les logements à forte masse thermique, mais ne disposant pas ou peu de possibilités de refroidissement par ventilation naturelle, présenteront des températures intérieures plus élevées la nuit en raison du décalage de phase.
- Les logements situés à proximité d'une zone présentant un niveau élevé de pollution atmosphérique ou de nuisances sonores verront leur possibilité d'ouvrir les fenêtres réduite et ne pourront donc assurer un rafraîchissement par ventilation que de manière très limitée.

- Les logements équipés uniquement d'une ventilation mécanique et ne permettant pas d'ouvrir les fenêtres ou les ouvertures de façade.
- La ventilation mécanique peut ne pas assurer un renouvellement d'air suffisant pour permettre au climat intérieur de se rafraîchir suffisamment pendant la nuit.

Impact : Ensoleillement

Bien que l'évolution du rayonnement solaire soit l'un des paramètres les plus difficiles à estimer, les apports solaires excessifs deviendront de plus en plus problématiques dans le contexte climatique futur. Il convient de noter qu'en été, l'ensoleillement des façades est et ouest est plus important que celui de la façade sud. Toutes les orientations des façades comprises entre le nord-est et le nord-ouest, en passant par le sud, sont donc sensibles à la surchauffe.

Types de bâtiments sensibles :

- Les logements dotés de grandes surfaces vitrées non ombragées.
- Les protections solaires (automatisées) sont préférables au vitrage protection solaire, car ce dernier réduit l'apport de lumière naturelle, la qualité de la lumière du jour (aspects sanitaires) et empêche les gains solaires passifs pendant l'hiver.)

Impact : effet d'îlot de chaleur urbain

Morales et al. [2025] soulignent à juste titre la complexité du phénomène d'îlot de chaleur urbain et le fait qu'un îlot de chaleur urbain n'est pas uniforme. Des paramètres locaux tels que la ventilation des rues, le degré de revêtement, la réflexion des matériaux, le degré d'exposition au rayonnement solaire sur les matériaux pierreux (revêtements, façades, . . .), la présence de verdure (ombrage, refroidissement par évaporation, . . .), ont tous une grande influence sur le microclimat, qui peut être plus importante que l'effet d'îlot de chaleur proprement dit.

Typologies de bâtiments sensibles :

- Les logements en centre-ville fortement exposés au rayonnement solaire, situés dans un environnement minéral et dans des zones où la circulation du vent est limitée, seront les plus touchés.

5.3 Stratégies passives les plus efficaces pour gérer le confort estival dans les futures conditions climatiques

Une analyse documentaire a permis d'identifier les stratégies les plus efficaces, applicables aux logements belges. Les documents d'orientation accompagnant la récente refonte de la directive sur la performance énergétique des bâtiments (EPBD) refondue 2024/1275 mentionnent explicitement que les stratégies de refroidissement passif doivent être appliquées et avoir la priorité sur les systèmes de refroidissement actifs [Commission européenne, 2025b]. Ce choix politique est étayé par la littérature scientifique. Les principaux arguments en faveur de ce choix sont l'accessibilité financière, la robustesse, la prévention des pics de charge sur le réseau électrique, la limitation de l'augmentation du carbone opérationnel et intrinsèque, et la prévention du réchauffement supplémentaire de l'environnement extérieur dû à la chaleur résiduelle rejetée par les systèmes de refroidissement actifs [Direction générale de l'énergie de l'UE, générale de l'énergie, 2025, Jin et al., 2020, Levinson et al., 2023, Morales et al., 2025, Tremeac et al., 2012].

Les études scientifiques qui établissent une corrélation entre les caractéristiques des bâtiments et la résistance à la surchauffe dans les conditions climatiques futures en Belgique sont encore peu nombreuses à l'heure actuelle. Cela s'explique en partie par le fait que les données météorologiques futures ne sont disponibles que depuis peu et ne peuvent donc être utilisées que depuis peu pour des simulations thermiques dynamiques des bâtiments. Ces simulations permettent d'identifier, à l'aide d'analyses de scénarios, les caractéristiques des bâtiments ayant le plus d'impact. De plus, seul un nombre limité d'études se concentre explicitement sur les bâtiments résidentiels.

Au niveau international, le projet IEA EBS Annex 80 : Resilient s'est déroulé de 2018 à 2023 l'annexe 80 de l'IEA EBS : Refroidissement résilient des bâtiments projet de recherche [Institute of Building Research & Innovation et al., 2024], auquel ont participé plusieurs instituts de recherche belges. Dans le cadre de ce projet, des fichiers contenant des données météorologiques futures ont été créés, sur la base des modèles climatiques EURO-CORDEX [Machard et al., 2024, Ramon et al., 2020]. Dans le cadre de certains axes de recherche de l'Annexe 80, un lien a été établi entre le risque de surchauffe et les caractéristiques des bâtiments. Sengupta [2024] a étudié, au sein de ce projet, la résilience thermique des bâtiments résidentiels et non résidentiels en Belgique dans le cadre de scénarios de vagues de chaleur

futures.

Par ailleurs, dans le cadre du projet de recherche VLAIO ICON ReCOVer++ : Improving Resilience of buildings to overheating (2023-2024) [KU Leuven, 2024], différentes typologies de bâtiments ont été analysées en fonction de leur résilience face à la surchauffe dans un contexte belge. Dans le cadre de ce projet, Declercq et al. ont tiré des enseignements en identifiant les principales caractéristiques des bâtiments pour un immeuble de bureaux [Declercq et Holvoet, 2025]. [Sengupta et al., 2023] ont réalisé une analyse similaire pour un immeuble d'appartements. Auparavant, [Machard et al., 2021] avaient déjà effectué un inventaire dans le contexte français. À la fin du projet Annex 80, des recommandations politiques ont été formulées [Levinson et al., 2023]. Dans le cadre de l'Annexe 80, la directive REHVA – « Resilient Cooling of Buildings » a également été élaborée [Sengupta et al., 2024], dans laquelle l'impact des différentes caractéristiques des bâtiments sur le confort estival est également abordé.

Par ailleurs, quelques études belges pertinentes ont également été publiées. Ramon et Allacker [2023] ont analysé, à travers des études paramétriques, l'impact de différentes caractéristiques des bâtiments tant sur l'impact environnemental intrinsèque que sur l'impact environnemental opérationnel des bâtiments dans les conditions climatiques futures. Morales et al. [2025] ont identifié, à travers une méta-analyse de la littérature, les défis liés à l'évaluation des risques de surchauffe au niveau des blocs urbains.

Aux Pays-Bas, dans le cadre de la préparation de la révision de la réglementation sur la performance énergétique des bâtiments, l'étude intitulée « Évolution de la demande de froid pour les logements » [W/E adviseurs, 2018] a été réalisée. Celle-ci a conduit à l'introduction de l'indicateur « Dépassement de température en juillet » (TOjuli) dans la réglementation néerlandaise, qui quantifie le risque de surchauffe. Ce rapport cite notamment des études qui ont examiné les effets du changement climatique sur une maison mitoyenne existante aux Pays-Bas et un appartement en Suède.

Conjointement, ces études identifient les mesures de conception et de construction suivantes comme les plus efficaces pour réduire de manière passive le risque de surchauffe dans le contexte d'un climat futur. Ces mesures s'appliquent tant au niveau du site qu'au niveau du bâtiment.

L'échelle de refroidissement

Afin de définir clairement les priorités en matière de stratégies de refroidissement, le groupe de concertation néerlandais sur les normes d'adaptation au changement climatique a élaboré « L'échelle du refroidissement » [Groupe de concertation sur les normes d'adaptation au changement climatique, 2020] (Figure 9). Dans ce qui suit, nous utiliserons ces catégories pour situer les études pertinentes.

A. Environnement frais

L'environnement immédiat a un impact important sur la charge thermique des bâtiments. Cela concerne aussi bien les éléments locaux tels que l'eau et la végétation, qui apportent un rafraîchissement par évapotranspiration, que les arbres qui génèrent un effet d'ombrage important. Le quartier a également un impact considérable. Une forte densité de constructions et de revêtements imperméables peut conduire à la création d'un effet d'îlot de chaleur urbain. La forme, l'orientation et le rapport largeur/hauteur des rues ont une influence importante sur la circulation du vent et l'effet d'ombrage. Un environnement résilient au changement climatique commence donc par le plan d'urbanisme. Le Portail climatique de la Société flamande pour l'environnement offre ici des repères et des outils précieux [Société flamande pour l'environnement (VMM), 2025b].

Morales et al. [2025] soulignent l'importance du microclimat autour du bâtiment et son impact considérable sur le climat intérieur. En ce qui concerne l'impact de l'effet d'îlot de chaleur urbain, l'étude souligne que celui-ci ne doit pas être négligé, mais qu'il est également plus difficile à modéliser qu'on ne le pense généralement. En effet, l'effet d'îlot de chaleur urbain n'est pas homogène au sein de l'environnement urbain et, en raison de très nombreuses variables locales facteurs, tels que les possibilités de ventilation des rues par le vent, la réflexion et l'absorption des revêtements et bâtiments voisins, . . . L'impact de ces derniers facteurs peut être plus important, tant sur le plan positif que négatif, que l'effet d'îlot de chaleur proprement dit. C'est pourquoi Morales et al. [2025] mettent l'accent sur deux aspects : d'une part, il convient de développer des méthodes applicables permettant de prendre en compte ces influences dans les simulations du climat intérieur ; d'autre part, lors de la conception des environnements urbains, une attention prioritaire doit être accordée à la conception active de ces paramètres, compte tenu de leur impact important sur le microclimat local et donc sur le confort intérieur.

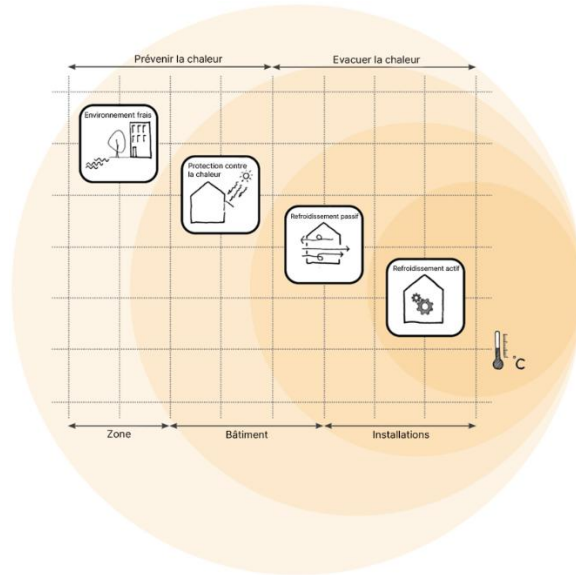


Figure 9 :Échelle de refroidissement. Consultation sur les normes d'adaptation au changement climatique [2020]

B. Protection contre la chaleur : limiter les apports thermiques indésirables dans l'environnement intérieur et pour les occupants

La conception architecturale et les dispositifs techniques de construction peuvent contribuer à empêcher la pénétration de la chaleur ou, à tout le moins, à la limiter de manière significative. Dans le climat belge, il convient de rechercher des solutions permettant de laisser entrer suffisamment de gains solaires passifs en hiver, mais de bloquer ces gains solaires en été, et aussi, dans le contexte du changement climatique, de plus en plus souvent pendant l'intersaison. Les études de Machard et al. [2021], Ramon et Allacker [2023] et W/E adviseurs [2018] soulignent l'impact de l'orientation principale du bâtiment, les longues façades orientées nord et sud entraînant un risque moindre de surchauffe et des coûts énergétiques réduits pour assurer le confort intérieur. En effet, pendant les mois d'été, l'ensoleillement sur la façade sud est inférieur à celui des façades est et ouest, en raison de la position du soleil. De plus, le rayonnement solaire est plus facile à bloquer sur une façade sud grâce à l'installation d'un auvent au-dessus des baies vitrées.

Par ailleurs, plusieurs études, notamment celles de Declercq et Holvoet [2025], Machard et al. [2021], Morales et al. [2025], Ramon et Allacker [2023], Sengupta et al. [2023], Sengupta [2024] identifient le taux de vitrage des façades, en combinaison avec le coefficient g du vitrage, comme un facteur d'influence important. Il convient de rechercher un équilibre entre les gains solaires passifs en hiver, l'apport de lumière naturelle et la prévention de la surchauffe en été. Le choix d'un bon taux de vitrage, adapté à l'orientation de la façade et à l'exposition au soleil, constitue la mesure la moins coûteuse et la plus efficace pour réduire de manière significative les risques de surchauffe dans le climat actuel et futur. L'utilisation de vitrages solaires peut contribuer dans une certaine mesure à maîtriser le risque de surchauffe, mais peut avoir un impact négatif sur l'apport de lumière naturelle et sur la fidélité des couleurs de la lumière naturelle [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025]. Toutes les études consultées Declercq et Holvoet [2025], Egerlid et al. [2025], Elnagar et al. [2024], Levinson et al. [2023], Machard et al. [2021], Morales et al. [2025], Ramon et Allacker [2023], Sengupta et al. [2023], Sengupta [2024], Van Hooff et al. [2016], W/E adviseurs [2018] mentionnent les protections solaires fixes et dynamiques comme l'une des stratégies les plus efficaces pour maintenir le confort estival. La majeure partie (40 à 80 %) du réchauffement d'une pièce dû au soleil provient des fenêtres [Levinson et al., 2023]. Cette mesure est donc prioritaire et constitue une condition nécessaire pour que les autres stratégies aient un impact suffisant. Dans plusieurs pays, des obligations légales existent déjà à cet égard. Levinson et al. [2023] font référence à la réglementation suisse selon laquelle la protection solaire dépend du rapport de vitrage. Sur les façades orientées au sud, la valeur $g(\text{tot})$ (protection solaire + vitrage) doit être $\leq 0,15$ pour un WWR (Window-To-Wall Ratio) allant jusqu'à 45 % maximum. Au-delà, la valeur g doit diminuer progressivement jusqu'à 0,08 pour un WWR de 100 % (24).

La protection solaire peut prendre plusieurs formes, telles que des éléments architecturaux fixes comme des avant-

toits, des auvents, des lamelles fixes verticales ou horizontales, . . . Des éléments environnementaux tels que les bâtiments voisins, les arbres, . . . peuvent également contribuer à la stratégie de protection solaire. Les protections solaires dynamiques sont disponibles sous de nombreuses formes et offrent la possibilité de réguler de manière dynamique le niveau d'ensoleillement en fonction de la saison et du risque de surchauffe. Les protections solaires dynamiques se présentent sous la forme de lamelles mobiles, de stores en toile rentrant ou sortant du plan de la fenêtre. La protection solaire dynamique est préférable au verre protection solaire. Refroidissement passif : élimination ou stockage temporaire de la chaleur indésirable à l'intérieur du bâtiment.

C. Refroidissement passif : évacuation ou stockage temporaire de la chaleur indésirable à l'intérieur du bâtiment

Études de Declercq et Holvoet [2025], Machard et al. [2021], Morales et al. [2025], Sengupta et al. [2023], W/E adviseurs [2018] identifient une masse thermique élevée comme un paramètre important pour contrôler de manière passive le confort estival. L'impact de cette mesure est encore renforcé par, et idéalement combiné à, des stratégies de refroidissement par ventilation (voir ci-dessous). La masse thermique, qui se compose généralement d'éléments lourds de la structure du bâtiment, agit comme une sorte d'« éponge thermique » qui stocke temporairement la chaleur excédentaire et la restitue dès que possible. Cette restitution s'effectue généralement en rafraîchissant le bâtiment avec l'air nocturne plus frais sous la forme d'un refroidissement nocturne par ventilation naturelle. Il est essentiel que la masse thermique soit effectivement disponible, ce qui signifie qu'elle ne doit pas être encapsulée. Si la masse thermique n'est pas combinée à un refroidissement par ventilation, son impact est plutôt faible, comme l'ont constaté Ramon et Allacker [2023]. Le refroidissement naturel par ventilation (nocturne) est identifié dans toute l'Europe comme une mesure qui contribue grandement à réduire le risque de surchauffe, tant dans les conditions climatiques actuelles que futures Amaripadath et al. [2023], Declercq et Holvoet [2025], Egerlid et al. [2025], Elnagar et al. [2022], Machard et al. [2021], Morales et al. [2025], Sengupta et al. [2023], Sengupta [2024], SIA [2014], Van Hooff et al. [2016], W/E adviseurs [2018]. Comme indiqué ci-dessus, cette stratégie ne fonctionne de manière optimale que si elle est combinée à une masse thermique. De plus, les débits d'air doivent être suffisamment importants pour permettre l'évacuation d'une quantité de chaleur suffisante. Un nombre minimum typique de renouvellements d'air est de 3 à 5 renouvellements par heure pour les bâtiments résidentiels et de 5 à 7 renouvellements pour les bâtiments non résidentiels.

Ces débits sont difficiles à réaliser de manière efficace sur le plan énergétique via la ventilation mécanique [Morales et al., 2025]. La ventilation naturelle est ici la stratégie recommandée. La norme DIN 4108-2 [2013] indique que, dans un contexte résidentiel, une ventilation nocturne modérée de 2 renouvellements d'air par heure peut être obtenue en prévoyant des fenêtres ouvrantes ou d'autres éléments de façade. Une ventilation nocturne intensive (5 renouvellements d'air par (h) peut être obtenue dans un contexte résidentiel grâce à des fenêtres ouvrantes situées sur des façades opposées. Le critère CRD3 « Fraîcheur » de la version 2025 du GRO [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025] indique qu'en cas de ventilation unilatérale, l'ouverture effective de la façade doit représenter au minimum 5 % de la surface au sol. En cas de ventilation bilatérale ou d'utilisation de l'effet de cheminée, par exemple via une cage d'escalier, 3 % de la surface au sol suffisent. Les études de Declercq et Holvoet [2025], Machard et al. [2021], Morales et al. [2025], Sengupta et al. [2023] et W/E consultants [2018] identifient une forte inertie thermique comme un paramètre clé pour la gestion passive du confort estival. L'impact de cette mesure est renforcé par, et idéalement combiné à, des stratégies de refroidissement par ventilation (voir ci-dessous). L'inertie thermique, généralement constituée d'éléments lourds de la structure du bâtiment, agit comme une sorte d'« éponge thermique » qui stocke temporairement l'excès de chaleur et la restitue lorsque cela est possible. Cette restitution s'effectue généralement par le renouvellement de l'air nocturne plus frais, grâce au refroidissement nocturne par ventilation naturelle. Il est essentiel que l'inertie thermique soit effectivement disponible, c'est-à-dire non encapsulée. Sans combinaison avec un refroidissement par ventilation, l'impact de l'inertie thermique reste limité, comme l'ont établi Ramon et Allacker [2023].

Le refroidissement par ventilation naturelle (nuit) est reconnu dans toute l'Europe comme une mesure contribuant fortement à réduire le risque de surchauffe, tant dans les conditions climatiques actuelles que futures (Amaripadath et al. [2023], Declercq et Holvoet [2025], Egerlid et al. [2025], Elnagar et al. [2022], Machard et al. [2021], Morales et al. [2025], Sengupta et al. [2023], Sengupta [2024], SIA [2014], Van Hooff et al. [2016], W/E adviseurs [2018]). Comme indiqué précédemment, cette stratégie n'est optimale que si elle est combinée à une inertie thermique. De plus, les débits d'air doivent être suffisamment importants pour évacuer une quantité de chaleur suffisante. On recommande généralement un minimum de 3 à 5 renouvellements d'air par heure pour les bâtiments résidentiels et de 5 à 7 renouvellements pour les

bâtiments non résidentiels. Ces débits sont difficiles à atteindre efficacement par ventilation mécanique [Morales et al., 2025]. La ventilation naturelle est la solution privilégiée dans ce cas. La norme DIN 4108-2 [2013] indique que, dans un contexte résidentiel, une ventilation nocturne modérée (2 renouvellements d'air par heure) peut être obtenue grâce à l'ouverture des fenêtres ou d'autres éléments de façade. Une ventilation nocturne intensive (5 renouvellements d'air par heure) est possible. Un renouvellement d'air d'une heure peut être obtenu dans un contexte résidentiel en ouvrant des fenêtres sur des façades opposées. Le critère CRD3 Refroidissement de la version 2025 du GRO [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025] indique qu'avec une ventilation unilatérale, l'ouverture effective de la façade doit représenter au moins 5 % de la surface au sol. Avec une ventilation bilatérale ou en exploitant l'effet de cheminée, par exemple à travers une cage d'escalier, 3 % de la surface au sol suffisent.

D. Améliorer le confort individuel par des mesures autres que le refroidissement des locaux

Outre ces caractéristiques du bâtiment, la vitesse de l'air et l'humidité relative peuvent influencer le confort thermique. L'impact de la vitesse de l'air est significatif. Ainsi, augmenter la vitesse de l'air de 0,1 m/s à 0,7 m/s peut faire baisser la température ressentie de 4 à 5 °C. Cela peut par exemple être réalisé à l'aide de ventilateurs de plafond. Ceux-ci constituent l'une des stratégies les plus rentables et les plus sobres en carbone pour améliorer significativement le confort estival [Raftery et al., 2023].

L'humidité relative n'a, à une température de l'air de 26 °C, qu'une influence très limitée sur le confort thermique. Une légère augmentation de la vitesse de l'air de 0,3 à 0,5 m/s peut largement compenser ces effets [Tartarini et al., 2020]. La réduction de l'humidité de l'air pour améliorer le confort estival n'est une mesure prioritaire ni dans le climat belge actuel, ni dans celui de demain. La priorité doit être donnée aux mesures précédentes.

Ensembles de mesures

Les mesures susmentionnées se renforcent mutuellement et sont rarement suffisantes à elles seules pour assurer un bon confort estival. C'est pourquoi il est préférable de les appliquer de manière combinée. Dans ce contexte, il est possible d'élaborer, à titre indicatif, quelques ensembles de mesures pour les bâtiments résidentiels, dont l'impact croissant sur la maîtrise du confort estival dans les conditions climatiques futures.

Ensemble A – Seuil minimal pérenne

- Protection solaire extérieure
- Pourcentage et orientation optimisés du vitrage
- Refroidissement par ventilation naturelle limité grâce à l'installation de fenêtres/éléments de façade ouvrants (minimum 2 renouvellements d'air par heure)

Ensemble B – Conception passive efficace contre la chaleur

- Protection solaire extérieure dynamique
- Pourcentage et orientation optimisés du vitrage
- Refroidissement par ventilation naturelle bien pensé grâce à la mise en place d'une ventilation transversale et/ou à l'utilisation de la traction thermique (effet de cheminée) (minimum 5 renouvellements d'air par heure)
- Bâtiment massif disposant d'une masse thermique

Ensemble C – Résilient au climat, très faible dépendance au refroidissement mécanique

- Protection solaire extérieure dynamique.
- Pourcentage et orientation du vitrage optimisés.
- Refroidissement par ventilation naturelle intensive, éventuellement assisté par l'effet de cheminée (plus de 7 renouvellements d'air par heure).
- Bâtiment massif disposant d'une masse thermique.
- Possibilité d'augmenter localement la vitesse de l'air, par exemple à l'aide de ventilateurs de plafond.

Il ressort de ce qui précède que la conception d'un bâtiment résilient face à la surchauffe commence tôt dans le processus de conception, étant donné que de nombreux aspects architecturaux sont déjà fixés à un stade précoce de ce processus.

Appliqué à quelques typologies de logements typiquement belges, cela pourrait signifier (Tableau 8) :

	Empêcher la chaleur d'entrer par	Refroidissement passif à travers	confort personnel à travers
Maisons mitoyennes	<ul style="list-style-type: none"> Protection solaire externe, minimum sur la façade arrière et les fenêtres de toiture dans les espaces de vie (si sud/ouest) Ombrage grâce aux balcons en saillie, screens verticaux, stores banne, volets roulants, . . . Vitrage limité ou vitrage contrôlé pourcentage de chant plancher du grenier et à équipé de stores solaires 	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de la cage d'escalier comme source d'énergie thermique cheminée (effet cheminée) Ouverture fenêtres(toit) a u niveau le plus élevé Eléments de façade anti-effraction ouvrantes aux niveaux les plus bas Masse thermique exposée 	<ul style="list-style-type: none"> Ventilateurs de plafond dans les chambres à coucher
Maisons jumelées	<ul style="list-style-type: none"> Protection solaire externe, minimum sur les façades sud et ouest et les puits de lumière dans les espaces de vie Limitation du vitrage du plancher des combles Ombrage des façades sud et ouest du point de vue environnemental construction (arbres, . . .) 	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser une ventilation transversale intensive à travers la maison Éventuellement, introduction d'un double (local) grands espaces en termes d'effet de cheminée Eléments de façade anti-effraction ouvrantes aux niveaux les plus bas Masse thermique exposée 	<ul style="list-style-type: none"> Ventilateurs de plafond dans les chambres à coucher
Maisons individuelles	<ul style="list-style-type: none"> Protection solaire extérieure adaptée pour toutes les façades exposées et les fenêtres de toiture des espaces de vie Contrôle du pourcentage de vitrage. A limiter au taux de vitrage moyen 40 % (window to wall ratio) Ombrage des façades sud et ouest du point de vue environnemental construction (arbres, . . .) 	<ul style="list-style-type: none"> Mettre l'accent sur une ventilation transversale intensive à travers la maison Éventuellement, introduction d'un double (local) espaces élevés et/ou dômes de toiture pour l'école effet Eléments de façade anti-effraction ouvrantes aux niveaux les plus bas Masse thermique exposée 	<ul style="list-style-type: none"> Ventilateurs de plafond dans les chambres à coucher
Appartements (pré 2000) (construction lourde, masse thermique disponible, taux de vitrage)	<ul style="list-style-type: none"> Protection solaire extérieure adaptée pour toutes les façades exposées 	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser une ventilation naturelle (unilatérale) ou une ventilation transversale si possible. Masse thermique exposée 	<ul style="list-style-type: none"> Ventilateurs de plafond dans les chambres à coucher
Appartements (post 2000) (construction lourde, masse thermique limitée, haut niveau d'isolation, taux de vitrage haut)	<ul style="list-style-type: none"> Protection solaire externe dynamique adaptée sur toutes les façades exposées, de préférence automatisées 	<ul style="list-style-type: none"> Utiliser une ventilation naturelle (unilatérale) ou une ventilation transversale si possible. 	<ul style="list-style-type: none"> Ventilateurs de plafond dans les chambres à coucher et pièces de vie

Tableau 8 : Mesures par type d'habitation : rétention de chaleur, refroidissement passif et confort personnel.

Remarques complémentaires

En complément des mesures passives susmentionnées, Morales et al. [2025] attirent l'attention sur le modèle de confort à utiliser pour évaluer l'impact du réchauffement climatique sur le confort thermique.

Étant donné que le corps humain est capable de s'adapter dans une large mesure aux variations de température, surtout si cette adaptation se fait progressivement, le modèle de confort adaptatif, tel que décrit dans la norme NBN EN 16798-1, est le modèle climatique à privilégier. Ce modèle est également utilisé dans les réglementations néerlandaises, françaises (RE 2020) et allemandes (DIN 4108-2). Il existe une littérature abondante à ce sujet. Cela dépasse toutefois le cadre de la présente étude. Par ailleurs, le groupe de concertation sur les normes d'adaptation au changement climatique [2020] souligne l'importance du rôle de l'utilisateur. Il convient de tenir dûment compte des besoins de l'utilisateur. Celui-ci doit disposer d'un contrôle suffisant sur les systèmes. D'autre part, les systèmes doivent être « infaillibles » et transparents quant à leur utilisation et leur impact sur le confort. L'information et la formation sont importantes. Ce n'est qu'ainsi que les installations seront utilisées de manière adéquate. C'est là que réside un défi majeur pour le concepteur et le maître d'œuvre.

6 Conclusion

L'analyse des données d'exposition obtenues en combinant les données climatiques d'EUROCORDEX et les données sur le logement de Statbel montre l'augmentation du nombre de jours de chaleur, définie à l'aide de cinq indicateurs différents. Le nombre de jours de chaleur est le plus élevé dans le nord du Limbourg, tant aujourd'hui qu'à l'avenir. Cependant, même les régions qui sont actuellement très rarement exposées à la chaleur, comme les communes côtières et les Ardennes, y seront de plus en plus exposées. Il faut toutefois tenir compte du fait que les différences régionales dans un petit pays comme la Belgique sont bien moins marquées qu'en France ou en Allemagne, ou dans des pays comportant de vastes zones montagneuses comme la Suisse.

Cette étude montre que la chaleur excessive dans les logements n'augmente pas progressivement, mais de plus en plus rapidement à mesure que la Terre se réchauffe. Chaque degré supplémentaire de réchauffement climatique touche un nombre disproportionnellement plus important de logements que le précédent, ce qui entraîne une augmentation drastique du nombre de logements exposés de manière prolongée à des températures élevées. Actuellement, on observe pratiquement aucune exposition des logements à des températures maximales extérieures supérieures à 25 °C pendant plus de 40 jours par an. Si nous nous dirigeons toutefois vers un monde plus chaud de 2 °C, ce nombre passe à environ 1/5 des logements. À 3 °C, cela concerne même 9 logements sur 10. De plus, dans un monde réchauffé de 3 °C, nous prévoyons que plus de 9 logements sur 10 seront exposés à au moins 10 jours par an avec une température maximale de l'air extérieur atteignant pas moins de 30 °C, et à au moins 10 nuits par an où la température minimale de l'air extérieur sera supérieure à 18 °C.

Lorsque la moyenne lissée de la température diurne de l'air extérieur dépasse la limite de 18 °C, on observe un glissement de la saison de chauffage vers la saison de climatisation. Dans un monde réchauffé de 1,2 °C, le seuil de 18 °C est dépassé en moyenne 39 jours par an en Belgique, sans que pratiquement aucun logement ne dépasse la limite supposée de plus de 60 jours. En cas de réchauffement de 2 °C, ce chiffre passe toutefois à environ la moitié de tous les logements. Dans un scénario de réchauffement de 3 °C, le seuil est même dépassé dans 19 logements sur 20. Il s'agit là d'un changement considérable qui a une incidence majeure sur le confort dans les bâtiments. Le nombre de logements soumis à des périodes de températures extérieures élevées et prolongées augmente donc rapidement à mesure que les niveaux de réchauffement augmentent.

Le changement climatique entraînera une forte augmentation de la charge thermique et du risque de surchauffe des logements en Flandre, avec un glissement clair d'une demande de chauffage dominante vers une demande de refroidissement croissante.

Les méthodes d'évaluation existantes, telles que la méthodologie EPB actuelle, s'avèrent insuffisamment adaptées. Les méthodes d'évaluation existantes, telles que la méthodologie EPB actuelle, s'avèrent insuffisamment adaptées pour évaluer correctement le confort estival futur et conduisent à une sous-estimation des risques de surchauffe. Les logements bien isolés et compacts dépourvus de protection solaire efficace ou de refroidissement par ventilation, ainsi que les logements à masse thermique ou possibilités de ventilation

limitées, sont particulièrement vulnérables. Parallèlement, des études montrent que les caractéristiques des bâtiments telles que la masse thermique, la ventilation naturelle et une protection solaire bien pensée sont cruciales pour limiter l'impact des vagues de chaleur et des températures nocturnes plus élevées. Enfin, l'effet d'îlot de chaleur urbain aggrave encore ce problème, rendant nécessaire une approche intégrée tant au niveau des bâtiments qu'au niveau urbain. Dans les villes, la combinaison de cet effet d'îlot de chaleur et d'une utilisation généralisée de la climatisation peut entraîner une augmentation de la température de l'air extérieur de quelques degrés en cas de vague de chaleur, en fonction de l'intensité du phénomène climatique. Des mesures passives sur les logements peuvent prévenir la surchauffe sans réchauffer davantage l'environnement.

De plus, on peut affirmer que la charge thermique effective résulte des paramètres susmentionnés et ne peut donc pas être déterminée de manière univoque. Cela signifie qu'une approche sur mesure et une conception minutieuse sont nécessaires, tant au niveau de l'urbanisme qu'au niveau des bâtiments. Compte tenu de l'urgence du changement climatique et de la longue durée de vie du patrimoine bâti, les mesures nécessaires doivent être mises en œuvre dès à présent dans les projets de construction neuve et de rénovation. Plusieurs études indiquent également que les mesures architecturales qui améliorent déjà le confort estival dans le climat actuel seront cruciales dans le climat futur pour maintenir le confort sans tomber dans une charge de refroidissement excessive. On peut en déduire que miser sur des mesures architecturales pour améliorer le confort estival futur est déjà judicieux dans le climat actuel et sera encore plus rentable dans le climat futur.

7 Littérature

Références

- Din 4108-2:2013-02, wärmeschutz und energie-einsparung in gebäuden – teil 2: Mindestanforderungen an den wärmeschutz, 2013. URL <https://www.beuth.de/de/-/167922321>.
- Sia 180 – wärmeschutz, feuchteschutz und raumklima in gebäuden, 2014.
- D. Amaripadath, R. Paolini, D. J. Sailor, and S. Attia. Comparative assessment of night ventilation performance in a nearly zero-energy office building during heat waves in brussels. *Journal of Building Engineering*, 78:107611, Nov. 2023.
- C. Barnes, G. Konstantinoudis, P. Masselot, M. Mistry, A. Gasparrini, A. M. Vicedo-Cabrera, E. Theokritoff, B. Clarke, and F. Otto. Summer heat deaths in 854 european cities more than tripled due to climate change. Technical report, Grantham Institute and London School of Hygiene & Tropical Medicine, Sept. 2025. URL <https://hdl.handle.net/10044/1/123873>.
- J. Brouwers, B. Peeters, M. Van Steertegem, N. van Lipzig, H. Wouters, J. Beullens, M. Demuzere, P. Willems, K. De Ridder, B. Maiheu, R. De Troch, P. Termonia, T. Vansteenkiste, M. Craninx, W. Maetens, W. Defloor, and K. Cauwenberghs. MIRA Climate Report 2015, about observed and future climate changes in Flanders and Belgium. Technical report, Flanders Environment Agency in collaboration with KU Leuven, VITO and RMI, Aalst, Belgium, Oct. 2015. URL <https://en.vmm.be/publications/mira-climate-report>.
- Carbon Brief. Analysis: What the new ipcc report says about when world may pass 1.5°C and 2°C. Web article, Aug. 2020. URL <https://www.carbonbrief.org/analysis-what-the-new-ipcc-report-says-about-when-world-may-pass-1-5c-and-2c/>. Accessed: 2025-12-11.
- Carbon Brief. Analysis: What record global heat means for breaching the 1.5°C warming limit. Web article, Aug. 2023. URL <https://www.carbonbrief.org/analysis-what-record-global-heat-means-for-breaching-the-1-5c-warming-limit/>. Accessed: 2025-12-11.
- W. S. Cleveland. Robust locally weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of the American Statistical Association*, 74(368):829–836, 1979. doi: 10.1080/01621459.1979.10481038.
- Climate Action Tracker. The cat thermometer. Web tool, Nov. 2025. URL <https://climateactiontracker.org/global/cat-thermometer/>. Accessed: 2025-12-11.
- J. Declercq and M. Holvoet. How to design a resilient building? lessons learnt from an architectural view. In *Ventilation, IEQ and health in sustainable buildings – Proceedings of 44rd AIVC Conference, 10th TightVent Conference*, page 6, Dublin, 2025.
- Departement Zorg, Vlaamse overheid. Rapport gezondheidsimpact hitte 2024. PDF report, 2024. Geraadpleegd op 10 december 2025; Report available via the Hitte-impacttool on the Departement Zorg website (health impact of heat in Flanders, Belgium).
- Departement Zorg, Vlaamse overheid. Hitte en sterfte. Webpagina, 2025. URL <https://www.departementzorg.be/nl/hitte-en-sterfte>. Accessed: 2025-12-11; Information on heat waves as a leading cause of mortality in Europe and overmortality analysis in Belgium.
- H. Egerlid, X. Wang, L. Thuvander, and D. Maiullari. Carbon efficiency of passive cooling measures in future climate scenarios: Renovating multi-family residential buildings in a swedish context. *Energy and Buildings*, 334:115502, May 2025.
- E. Elnagar, A. Zeoli, and V. Lemort. Performance evaluation of passive cooling in a multi-zone apartment building based on natural ventilation. *Proceedings CLIMA 2022: 14th REHVA HVAC World Congress, Rotterdam*.
- E. Elnagar, S. Gendebien, E. Georges, U. Berardi, S. Doutreloup, and V. Lemort. Framework to assess climate change impact on heating and cooling energy demands in building stock: A case study of belgium in 2050 and 2100. *Energy and Buildings*, 298:113547, November 2023. doi: 10.1016/j.enbuild.2023.113547.
- E. Elnagar, A. Arteconi, P. Heiselberg, and V. Lemort. Integration of resilient cooling technologies in building stock: Impact on thermal comfort, final energy consumption, and ghg emissions. *Building and Environment*, 261:111666, Aug. 2024.

EU Directorate-General for Energy. Rebuilding communities in times of heat: Refreshing our cities to combat inequality. EU Covenant of Mayors, 2025. URL <https://eu-mayors.ec.europa.eu/en/news/rebuilding-communities-times-heat-refreshing-our-cities-combat-inequality>.

European Commission. Technical building systems, indoor environmental quality and inspections (articles 13, 23 and 24) – annex 10. Commission notice, European Commission, Directorate-General for Energy, Brussels, June 2025a. Annex 10 to the Communication approving the draft Commission Notice ...; C(2025) 4132 final.

European Commission. Annex to the commission notice providing guidance on new or substantially modified provisions of the recast energy performance of building directive (eu) 2024/1275. sec. 3.4, 2025b. 2024/1275, pp. 22–36.

European Committee for Standardization. Energy performance of buildings – ventilation for buildings – part 1: Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics – module m1-6, 2019. EN 16798-1.

P. M. Forster, C. Smith, T. Walsh, W. F. Lamb, R. Lamboll, B. Hall, M. Hauser, A. Ribes, D. Rosen, N. P. Gillett, M. D. Palmer, J. Rogelj, K. von Schuckmann, B. Trewin, M. Allen, R. Andrew, R. A. Betts, A. Borger, T. Boyer, J. A. Broersma, C. Buontempo, S. Burgess, C. Cagnazzo, L. Cheng, P. Friedlingstein, A. Gettelman, J. Gütschow, M. Ishii, S. Jenkins, X. Lan, C. Morice, J. Mühle, C. Kadow, J. Kennedy, R. E. Killick, P. B. Krummel, J. C. Minx, G. Myhre, V. Naik, G. P. Peters, A. Pirani, J. Pongratz, C.-F. Schleussner, S. I. Seneviratne, S. Szopa, P. Thorne, M. V. M. Kovilakam, E. Majamäki, J.-P. Jalkanen, M. van Marle, R. M. Hoesly, R. Rohde, D. Schumacher, G. van der Werf, R. Vose, K. Zickfeld, X. Zhang, V. Masson-Delmotte, and P. Zhai. Indicators of global climate change 2023: annual update of key indicators of the state of the climate system and human influence. *Earth System Science Data*, 16(6):2625–2658, 2024. doi: 10.5194/essd-16-2625-2024. URL <https://essd.copernicus.org/articles/16/2625/2024/>.

Z. Hausfather. An assessment of current policy scenarios over the 21st century and the reduced plausibility of high-emissions pathways. *Dialogues on Climate Change*, 2(1):26–32, 2025. doi: 10.1177/29768659241304854.

T. G. Haytink, J. Kaspers, and H. J. J. Valk. Klimaatadaptatie en verduurzamingspakketten gebouwde omgeving. Rapportage TSE6240004, Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), TKI Urban Energy, en Nieman Raadgevende Ingenieurs BV, Utrecht, Nederland, Feb. 2025. Opdrachtgever: Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO) en TKI Urban Energy; Referentie: 20241014 / 33754; Status: Definitief.

Het Facilitair Bedrijf, Service public de Wallonie, and Leefmilieu Brussel. Gro versie 2025, 2025.

IGNES. État des lieux de l'exposition du parc résidentiel français aux fortes chaleurs à horizon 2030 et 2050. PDF report, May 2023. URL <https://ignes.fr/storage/2023/07/Etat-des-lieux-de-position-du-parc-residentiel-francais-aux-fortes-chaleurs-a-horizon-2030-et-2050.pdf>. Institute of Building Research & Innovation, P. Holzer, P. Stern, and P. Czarnecki. International energy agency – resilient cooling of buildings – project summary report (annex 80), 2024. URL <https://www.building-research.at/kkgb4933/>.

D. Jacob, J. Petersen, B. Eggert, A. Alias, O. Bücher, S. Fürst, H.-J. Künster, D. Löttlag, A. Rahman, S. Vautard, et al. Euro-cordex: New high-resolution climate change projections for european impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2):563–578, 2014. doi: 10.1007/s10113-013-0499-2.

L. Jin, S. Schubert, M. Hefny Salim, and C. Schneider. Impact of air conditioning systems on the outdoor thermal environment during summer in berlin, germany. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(13):4645, June 2020.

Koninklijk Meteorologisch Instituut (KMI). Speciale weerverschijnselen: Wat zijn de voorwaarden voor een hittegolf? Webpagina, Meteo.be, 2025. URL <https://www.meteo.be/nl/info/veelgestelde-vragen/speciale-weerverschijnselen/wat-zijn-de-voorwaarden-voor-een-hittegolf>. geraadpleegd op 10 november 2025.

KU Leuven. Recover++: Improving resilience of buildings to overheating, 2024. URL <https://iiv.kuleuven.be/onderzoek/building-physics-and-sustainable-design/research/research-project-s-map/recoverplus>.

S. Lange. Trend-preserving bias adjustment and statistical downscaling with is mip3basd (v1.0). *Geoscientific Model Development*, 12(7):3055–3070, 2019. doi: 10.5194/gmd-12-3055-2019. URL <https://gmd.copernicus.org/articles/12/3055/2019/>.

R. Levinson, E. Arens, E. Bozonnet, V. Corrado, H. Gilbert, P. Holzer, et al. Policy recommendations from IEA EBC Annex 80: Resilient cooling of buildings. Report, Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), 2023. URL <https://escholarship.org/uc/item/6bp2w7t2>.

R. Lorenz, Z. Stalhandske, and E. M. Fischer. Detection of a climate change signal in extreme heat, heat stress, and cold in Europe from observations. *Geophysical Research Letters*, 46(14):8363–8374, 2019. doi: <https://doi.org/10.1029/2019GL082062>. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2019GL082062>.

A. Machard, C. Inard, J. M. Alessandrini, C. Pelé, and J. Ribéron. Adapting French buildings to future climate: Passive design optimisation. In *Proceedings of Building Simulation Conference 2021, Bruges, 2021*. IBPSA. URL https://publications.ibpsa.org/conference/paper/?id=bs2021_30718.

A. Machard, A. Salvati, M. P. Tootkaboni, A. Gaur, J. Zou, L. L. Wang, et al. Typical and extreme weather datasets for studying the resilience of buildings to climate change and heatwaves. *Scientific Data*, 11(1):531, May 2024.

R. D. Morales, A. Audenaert, and S. Verbeke. Thermal comfort and indoor overheating risks of urban building stock - a review of modelling methods and future climate challenges. *Building and Environment*, 269:112363, 2025. ISSN 0360-1323. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2024.112363>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132324012058>.

S. Nganda, N. Bustos Sierra, T. Braeye, and C. Vernemmen. Surveillance van de mortaliteit door alle oorzaken in België, Vlaanderen, Wallonië en Brussel tijdens de zomer van 2024. be-momo: the Belgian mortality monitoring en be-momo in woonzorgcentra. Rapport D/2025.14.440/8, Sciensano, Brussel, België, 2025. URL <https://epistat.sciensano.be/momo/>.

Overleg Standaarden Klimaatadaptatie. Intentieverklaring ‘klimaatverandering en koeling gebouwen’. Klimaat Adaptatie Nederland, 2020. URL <https://klimaatadaptatienederland.nl/actueel/actueel/nieuws/2020/intentieverklaring-koeling-gebouwen/>.

P. Raftery, T. Cheung, D. Douglass-Jaimes, M. André, J. Li, M. Kent, et al. Fans for cooling people guidebook, 2023. URL <https://cbe-berkeley.gitbook.io/fans-guidebook/>.

D. Ramon and K. Allacker. Optimizing building solutions in a changing climate: parameter-based analysis of embodied and operational environmental impacts. *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 3(4):045010, Dec. 2023.

D. Ramon, K. Allacker, F. De Troyer, H. Wouters, and N. Van Lipzig. Future heating and cooling degree days for Belgium under a high-end climate change scenario. *Energy and Buildings*, 216:109935, June 2020. doi: 10.1016/j.enbuild.2020.109935.

RMI, UGent, KU Leuven, and ULiège. CORDEX.be II. <https://cordex.meteo.be/>, 2025. Geraadpleegd op 10 november 2025.

J.-M. Robine, S. L. K. Cheung, S. Le Roy, H. Van Oyen, C. Griffiths, J.-P. Michel, and F. R. Herrmann. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *Comptes Rendus Biologies*, 331(2): 171–178, 2008. ISSN 1631-0691. doi: <https://doi.org/10.1016/j.crv.2007.12.001>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631069107003770>. Dossier : Nouveautés en cancérologie / New developments in carcinogenesis.

Royal Meteorological Institute of Belgium. Gridded observational data covering Belgium (rmi_dataset_griddedobs), 2025. URL https://publish.geo.be/geonetwork/f0ow2say/api/records/RMI_DATASET_GRIDDEDOBS. Daily gridded climate data (5km x 5km) for various meteorological variables, updated since 1961, CC BY 4.0 license.

S. Senel and K. Kruit. Kansen voor warmte- en koudnetten. Rapport 23.220429.067, CE Delft, Delft, Nederland, May 2023. URL https://ce.nl/wp-content/uploads/2023/05/CE_Delft_220429_Kansen-voor-warmte-koudnetten_def-1.pdf. Opdrachtgever: Deltares; Uw kenmerk: 11205153-002.

A. Sengupta. Improving thermal resilience to overheating against heatwaves in residential and small nonresidential buildings. PhD thesis, KU Leuven, Faculty of Engineering Science, 2024.

- A. Sengupta, J. Kerckaert, M. Steeman, and H. Breesch. Which design parameters impact the resilience to overheating in a typical apartment building? In *Ventilation, IEQ and health in sustainable buildings – Proceedings of 43rd AIVC Conference, 11th TightVent Conference, 9th venticool Conference, 2023*.
- A. Sengupta, A. Gaur, A. Krelling, A. Machard, D. Qi, E. Elnagar, et al. International energy agency ebc annex 80 – resilient cooling of buildings – resilient cooling design guideline. REHVA – Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations, 2024.
- F. Serras, K. Vandelanotte, R. Borgers, B. V. Schaeybroeck, P. Termonia, M. Demuzere, and N. P. M. van Lipzig. Optimizing climate model selection in regional studies using an adaptive weather type based framework: a case study for extreme heat in Belgium. *Climate Dynamics*, 62(10):9927–9949, October 2024. ISSN 1432-0894. doi: 10.1007/s00382-024-07432-7. URL <https://doi.org/10.1007/s00382-024-07432-7>.
- Statbel (Algemene Directie Statistiek - Statistics Belgium). Kadastrale statistiek van het gebouwenpark, België en gewesten. Statbel open data / be.STAT, 2025. URL <https://bestat.statbel.fgov.be/>. Geraadpleegd op 2 december 2025.
- F. Tartarini, S. Schiavon, T. Cheung, and T. Hoyt. Cbe thermal comfort tool: Online tool for thermal comfort calculations and visualizations. *SoftwareX*, 12:100563, July 2020.
- J. Taylor, R. McLeod, G. Petrou, C. Hopfe, A. Mavrogianni, R. Castaño-Rosa, S. Pelsmakers, and K. Lomas. Ten questions concerning residential overheating in central and northern Europe. *Building and Environment*, 234:110154, 2023. ISSN 0360-1323. doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110154>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132323001816>.
- P. Termonia, B. Van Schaeybroeck, L. De Cruz, R. De Troch, S. Caluwaerts, O. Giot, R. Hamdi, S. Vannitsem, F. Duchêne, P. Willems, H. Tabari, E. Van Uytven, P. Hosseinzadehtalaei, N. Van Lipzig, H. Wouters, S. Vanden Broucke, J.-P. van Ypersele, P. Marbaix, C. Villanueva-Birriel, X. Fettweis, C. Wyard, C. Scholzen, S. Doutreloup, K. De Ridder, A. Gobin, D. Lauwaet, T. Stavrou, M. Bauwens, J.-F. Müller, P. Luyten, S. Ponsar, D. Van den Eynde, and E. Pottiaux. The cortex.be initiative as a foundation for climate services in Belgium. *Climate Services*, 11:49–61, 2018. ISSN 2405-8807. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cliser.2018.05.001>. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405880717300195>.
- B. Tremeac, P. Bousquet, C. De Munck, G. Pigeon, V. Masson, C. Marchadier, et al. Influence of air conditioning management on heat island in Paris air street temperatures. *Applied Energy*, 95:102–110, July 2012.
- K. Van den Brande, G. Van Moeseke, N. Heijmans, W. Bracke, M. Delghust, and A. Janssens. The impact of climate updates on the energy performance assessment in a legislative framework. *SSRN Electronic Journal*, 2022. doi: 10.2139/ssrn.4245584. URL <https://ssrn.com/abstract=4245584>.
- T. Van Hooff, B. Blocken, H. J. P. Timmermans, and J. L. M. Hensen. Analysis of the predicted effect of passive climate adaptation measures on energy demand for cooling and heating in a residential building. *Energy*, 94:811–820, Jan. 2016.
- Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). Hitteslactoffers. Webpagina, Klimaatportaal, 2025a. URL <https://vmm.vlaanderen.be/feiten-cijfers/klimaat/klimaatthemas/hittestress/indicator-hitte-slactoffers>. Toestand, grafieken en evolutie doorheen de jaren; Accessed: 2025-12-11.
- Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). Klimaatportaal: feiten, cijfers en tools voor klimaatadaptatie. Webpage, 2025b. URL <https://vmm.vlaanderen.be/feiten-cijfers/klimaat/klimaatportaal>. Geraadpleegd op 10 december 2025.
- W/E adviseurs. Ontwikkeling van koudevraag voor woningen, May 2018.
- World Meteorological Organization (WMO) and Copernicus Climate Change Service. State of the climate in Europe 2022, 2023. URL <https://public.wmo.int/publication-series/state-of-climate-europe-2022>. Accessed: 2025-12-11.
- H. Wouters, K. De Ridder, L. Poelmans, P. Willems, J. Brouwers, P. Hosseinzadehtalaei, H. Tabari, S. Vanden Broucke, N. P. M. van Lipzig, and M. Demuzere. Heat stress increase under climate change twice as large in cities as in rural areas: A study for a densely populated midlatitude maritime region. *Geophysical Research Letters*, 44(17):8997–9007, 2017. doi: <https://doi.org/10.1002/2017GL074889>. URL <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/2017GL074889>.
- A. Wright and E. Venskunas. Effects of future climate change and adaptation measures on summer comfort of modern homes across the regions of the UK. *Energies*, 15(2), 2022. ISSN 1996-1073. doi: 10.3390/en15020512. URL <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/2/512>.

A. Les avantages de travailler sur les niveaux de réchauffement climatique

Auparavant, le changement climatique était généralement décrit comme l'évolution de la situation, par exemple, entre le milieu ou la fin du siècle et le passé récent. Cependant, de récentes découvertes ont conduit à une réorientation : on utilise désormais les niveaux de réchauffement climatique pour décrire le changement climatique et ses impacts. Plusieurs raisons expliquent ce changement :

Premièrement, un lien direct peut être établi avec les objectifs politiques, tels que l'Accord de Paris, qui vise à maintenir le réchauffement climatique bien en dessous de 2 °C par rapport aux niveaux préindustriels. Cela facilite la communication des objectifs climatiques auprès du grand public.

Deuxièmement, le niveau de réchauffement climatique est bien plus directement lié aux impacts locaux, comme la chaleur en Belgique, qu'à une période fixe. Lorsque l'on utilise des fenêtres temporelles, comme la fin du siècle, les résultats dépendent fortement du scénario d'émissions choisi, c'est-à-dire de la quantité de gaz à effet de serre émise d'ici à l'horizon temporel considéré. C'est beaucoup moins le cas avec l'approche utilisant les niveaux de réchauffement climatique. Selon différents scénarios d'émissions, un même niveau de réchauffement climatique, par exemple 2 °C, peut être atteint, mais à des moments différents : par exemple, vers 2040 ou vers 2060.

Un dernier avantage, d'ordre méthodologique, réside dans une meilleure capacité à combiner les modèles climatiques. Par exemple, nous pouvons combiner l'impact en Belgique des modèles basés sur des scénarios à fortes émissions, qui atteignent donc rapidement le seuil de réchauffement climatique de 2 °C, avec celui de modèles atteignant ce seuil plus tard, dans le cadre d'un scénario d'émissions plus favorable et à faibles émissions.

B. Calendrier des niveaux de réchauffement climatique

Cette annexe fournit des explications supplémentaires concernant la détermination des dates les plus proches auxquelles les niveaux de réchauffement climatique de 2 °C et 3 °C pourraient être atteints, estimés respectivement à 2039 et 2063. Pour ce faire, nous examinons d'abord les conclusions de différentes études sur le niveau de réchauffement climatique d'ici la fin du siècle. La combinaison de tous les modèles du GIEC révèle une très large fourchette de niveaux potentiels de réchauffement climatique d'ici la fin du siècle, allant d'environ 1 °C à un peu plus de 6 °C (figure 10 ; Hausfather, 2025). Cependant, les valeurs les plus élevées sont considérées comme irréalistes car ces scénarios reposent sur des niveaux d'émissions excessivement élevés. Si l'on considère les estimations du réchauffement dans le cadre des politiques climatiques mondiales actuelles, cette marge d'incertitude se réduit considérablement, et le niveau de réchauffement climatique est estimé entre 1,5 °C et 3,3 °C (figure 11 ; Climate Action Tracker, 2025). L'étude de Hausfather [2025] fait état de niveaux similaires avec une marge légèrement plus importante (figure 10).

Divers scénarios dits SSP sont utilisés pour les estimations ci-dessus. Il s'avère que les estimations basées sur les politiques actuelles coïncident globalement avec le scénario intermédiaire SSP2-4.5. Par conséquent, nous retenons tous les modèles du scénario SSP3-4.5 et considérons la date la plus proche dans ces modèles comme la date à laquelle un réchauffement climatique de 2 °C pourrait être atteint (figure 1). Cette date est estimée à 2039. Pour un réchauffement climatique de 3 °C, cette date la plus proche est 2063. Ce résultat concorde avec une autre estimation du Carbon Brief [2020] (figure 12). Il concorde également avec la figure 10 [Hausfather, 2025], basée sur les politiques et engagements actuels.

Ces horizons temporels supposent que les politiques actuelles représentent une limite supérieure au changement climatique futur et que la situation pourrait potentiellement s'améliorer. Cependant, certains chercheurs soutiennent que, même avec les politiques climatiques actuelles, les rétroactions du cycle du carbone pourraient entraîner un forçage radiatif plus élevé que celui supposé dans le scénario SSP2-4.5. De plus, nous ne pouvons jamais être absolument certains que la situation ne puisse que s'améliorer au-delà des politiques actuelles.

Néanmoins, nous avons fondé le calendrier sur le modèle de la famille SSP3-4.5 qui est le plus ancien.

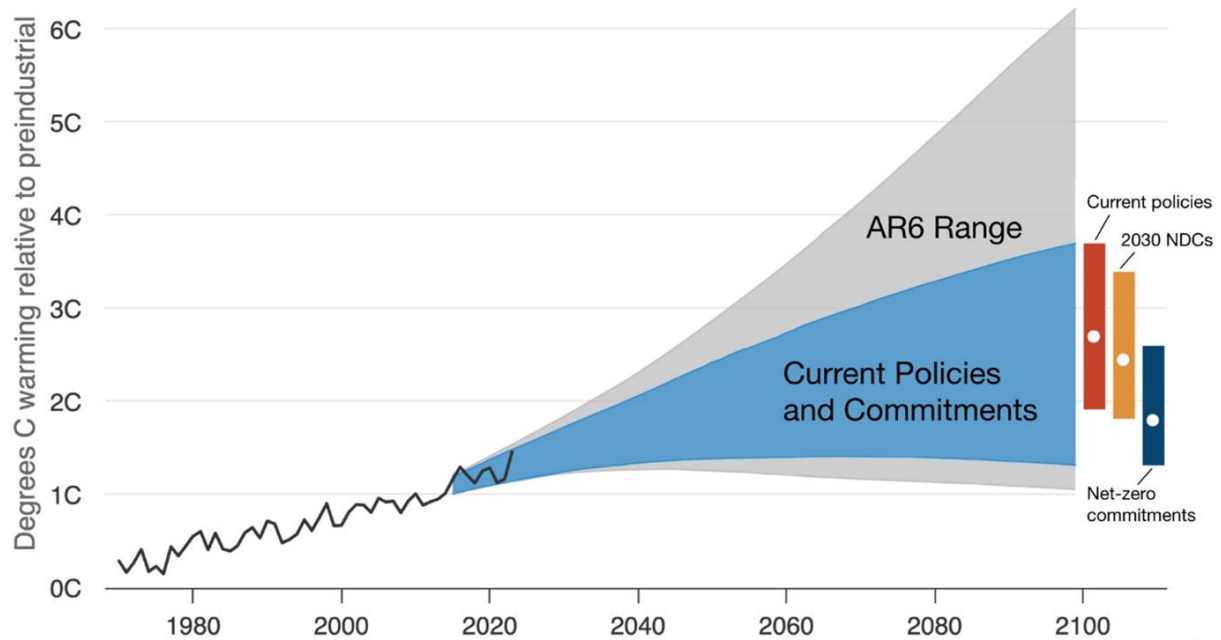


Figure 10 :L'ensemble des projections de réchauffement évaluées dans le sixième rapport d'évaluation (AR6) du GIEC (zone grise). La fourchette définie par les estimations des résultats des politiques et engagements actuels, dans le cadre de l'AR6 (zone bleue). Les températures moyennes annuelles mondiales observées à la surface, d'après l'OMM 2023, sont représentées par la ligne noire. (Figure 2 de Hausfather, 2025).

Le seuil du réchauffement climatique a été atteint, et aucun modèle ne l'a ignoré. Par conséquent, même si, à proprement parler, ces seuils pourraient être atteints plus tôt que prévu, la probabilité que cela se produise est considérée comme très faible.

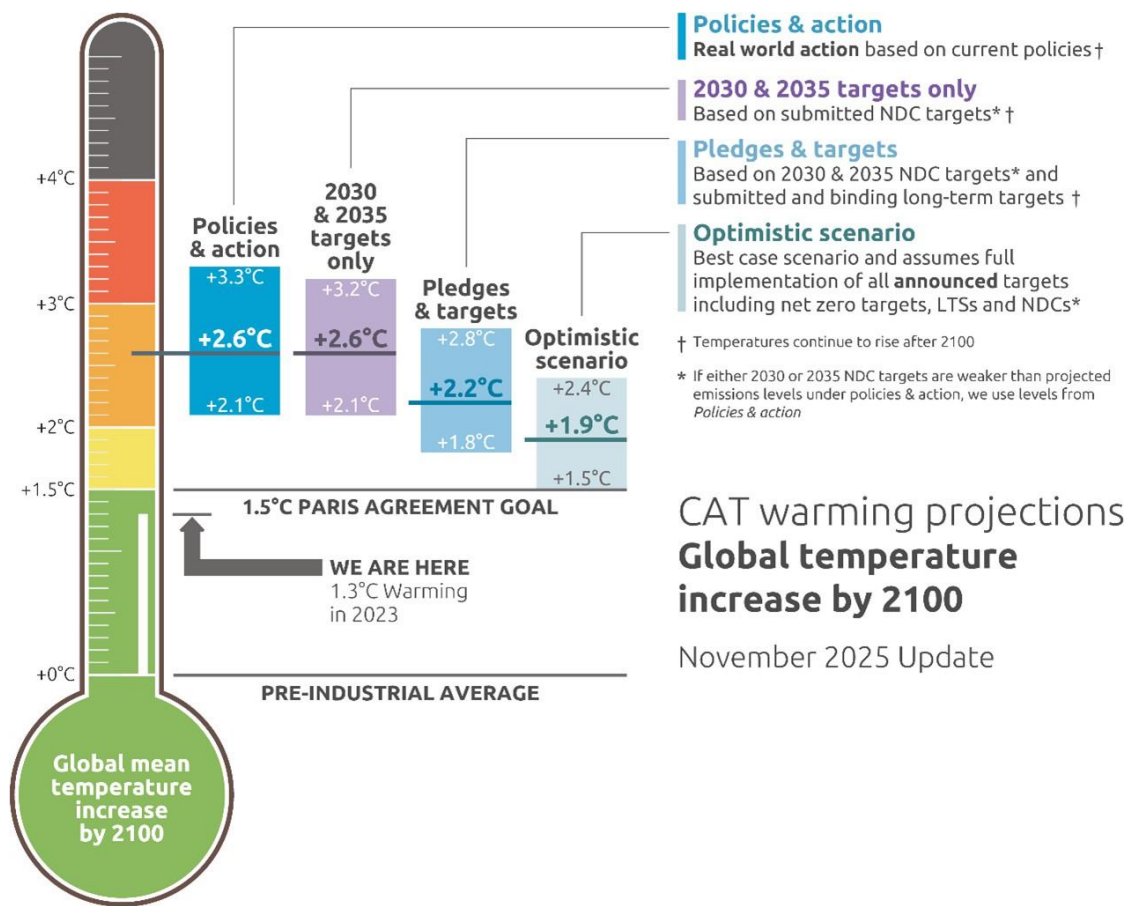


Figure 11 :Évolution du réchauffement climatique projetée d'ici 2100 selon quatre scénarios : politiques actuelles, engagements actuels, objectifs conditionnels et objectifs à long terme. La médiane est représentée par une ligne et la fourchette probable des résultats possibles par la zone grisée. Climate Action Tracker [2025].

Projections of likely exceedance times for 2C

For the IPCC AR6 and Carbon Brief estimates.

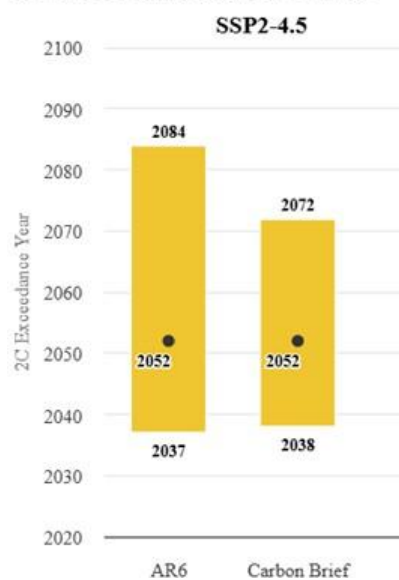


Figure 12 :Échelle des années possibles de dépassement de 2 °C selon le sixième rapport d'évaluation du GIEC (AR6) et l'analyse de Carbon Brief. Les points représentent les estimations centrales (année la plus probable), tandis que les barres indiquent l'intervalle de probabilité (5 à 95 %). Les périodes moyennes sur 20 ans du AR6 ont été converties en années de dépassement attendues en prenant le point médian de l'intervalle. Graphique réalisé par Carbon Brief. Carbon Brief [2020].

Modèles C EURO-CORDEX

Tableau 9 : Aperçu des modèles EURO-CORDEX utilisés dans ce rapport.

GCM	Courir	Identifiant de l'institut	Nom RCM	version	RCP		
CNRM-CM5	rlilpl	CLMcom	CCLM4-8-17	v1	4,5, 8,5		
		CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM	v1	8.5		
		CNRM	ALADIN53	v1	2,6, 4,5, 8,5		
		CNRM	ALADIN63	v2	2,6, 4,5, 8,5		
		DMI	HIRHAM5	v1, v2	8.5		
		ALLEMANDS	REMO2015	v2	2,6, 8,5		
		ICTP	RégCM4-6	v2	8.5		
		IPSL	WRF381P	v2	8.5		
		KNMI	RACMO22E	v2	2,6, 4,5, 8,5		
		MOHC	HadREM3-GA7-05	v2	8.5		
		RMIB-UGent	ALARO-0	v1	2,6, 4,5, 8,5		
		SMHI	RCA4	v1	4,5, 8,5		
EC-TERRE	r12ilpl	CLMcom	CCLM4-8-17	v1	2,6, 4,5, 8,5		
		CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8.5		
		DMI	HIRHAM5	v1, v2	8.5		
		ICTP	RégCM4-6	v1	8.5		
		IPSL	WRF381P	v1	8.5		
		KNMI	RACMO22E	v1	2,6, 4,5, 8,5		
		MOHC	HadREM3-GA7-05	v1	2,6, 8,5		
		SMHI	RCA4	v1	2,6, 4,5, 8,5		
		rlilpl	CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8.5	
			DMI	HIRHAM5	v1, v2	8.5	
			KNMI	RACMO22E	v1	4,5, 8,5	
			SMHI	RCA4	v1	8.5	
	r3ilpl		CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8.5	
			DMI	HIRHAM5	v1, v2	8.5	
		KNMI	RACMO22E	v1	8.5		
		SMHI	RCA4	v1	8.5		
		IPSL-CM5A-LR	rlilpl	ALLEMANDS	REMO2015	v1	2.6
		IPSL-CM5A-MR	rlilpl	DMI	HIRHAM5	v1	8.5
	ALLEMANDS			REMO2015	v1	2.6	
	IPSL-INERIS			WRF331F	v1	4,5, 8,5	
	IPSL			WRF381P	v1	4,5, 8,5	
	KNMI			RACMO22E	v1	8.5	
	SMHI			RCA4	v1	4,5, 8,5	
	HadGEM2-ES		CLMcom	CCLM4-8-17	v1	4,5, 8,5	
CLMcom-ETH			COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8.5		
CNRM			ALADIN63	v1	8.5		
DMI			HIRHAM5	v1	8.5		
DMI			HIRHAM5	v2	2,6, 4,5, 8,5		
ICTP			RégCM4-6	v1	2,6, 8,5		
IPSL			WRF381P	v1	8.5		
KNMI			RACMO22E	v1	2,6, 4,5, 8,5		
MOHC			HadREM3-GA7-05	v1	2,6, 8,5		
SMHI			RCA4	v1	2,6, 4,5, 8,5		
MPI-ESM-LR			CLMcom	CCLM4-8-17	v1	4,5, 8,5	
				CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8.5

Suite en page suivante

GCM	Courir	Identifiant de l'institut	Nom RCM	version	RCP
		CNRM	ALADIN63	v1	8,5
		DMI	HIRHAM5	v1	8,5
		ICTP	RégCM4-6	v1	2,6, 8,5
		IPSL	WRF381P	v1	8,5
		KNMI	RACMO22E	v1	2,6, 8,5
		MOHC	HadREM3-GA7-05	v1	8,5
		MPI-CSC	REMO2009	v1	2,6, 4,5, 8,5
		SMHI	RCA4	v1	2,6, 4,5, 8,5
	r2i1p1	CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8,5
		MPI-CSC	REMO2009	v1	2,6, 4,5, 8,5
		SMHI	RCA4	v1	8,5
	r3i1p1	CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8,5
		ALLEMANDS	REMO2015	v1	8,5
		SMHI	RCA4	v1	8,5
NorESM1-M	r1i1p1	CLMcom-ETH	COSMO-crCLIM-v1-1	v1	8,5
		CNRM	ALADIN63	v1	8,5
		DMI	HIRHAM5 REMO2015	v2, v3	4,5, 8,5
		ALLEMANDS	WRF381P	v1	2,6, 4,5, 8,5
		IPSL	RACMO22E	v1	8,5
		KNMI	HadREM3-GA7-05	v1	2,6, 8,5
		MOHC	RCA4	v1	8,5
		SMHI		v1	2,6, 4,5, 8,5

D Exposition des bâtiments résidentiels

Nombre d'immeubles d'appartements exposés aux seuils de chaleur

	+1,2°C		+ 2°C		+ 3°C	
		[2014-2023]		[à partir de 2039]		[à partir de 2063]
40 jours avec Tmax>25 °C	725	0%	45 292	18%	230 348	91%
pendant 10 jours avec Tmax> 30°C, 10 jours de canicule	4 760	2%	34 686	14%	230 868	91%
10 jours avec Tmin>18°C 60 jours avec T _{mjl} >18°C	2 576	1%	28 191	11%	230 375	91%
	0	0%	2 298	1%	237 685	94%
	0	0%	144 489	57%	243 847	97%

Tableau 10 : Nombre d'immeubles d'habitation exposés à un nombre minimum de jours de forte chaleur, par indicateur. Ce calcul a été effectué pour le scénario médian, selon le niveau de réchauffement climatique (+1,2 °C, +2 °C et +3 °C). Le pourcentage indiqué représente la part du parc immobilier d'habitation total en Belgique.

Nombre annuel de jours avec un dépassement de la température maximale de 25 °C

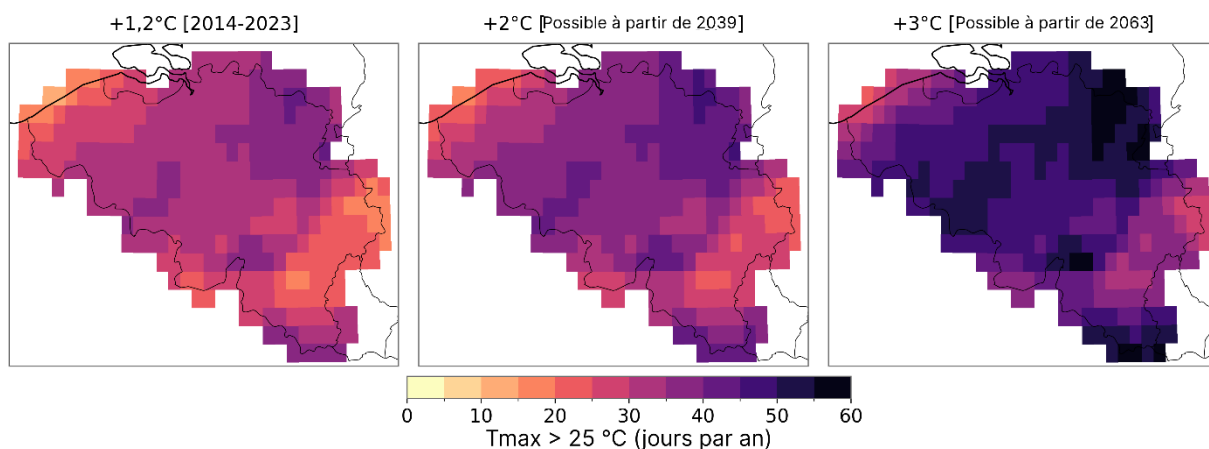


Figure 13 : Nombre de jours où la température maximale extérieure (T_{max}) dépasse 25 °C, pour trois niveaux de réchauffement climatique selon le scénario médian (50e percentile). Chaque colonne représente un niveau de réchauffement : +1,2 °C, valeur de référence pour la période historique récente [Forster et al., 2024], et deux projections futures +2°C et +3°C. La date la plus proche à laquelle ce niveau de réchauffement pourrait être atteint est indiquée pour l'avenir (voir la section 2.1 pour plus d'informations).

Nombre annuel de jours avec un dépassement de la température maximale de 30 °C

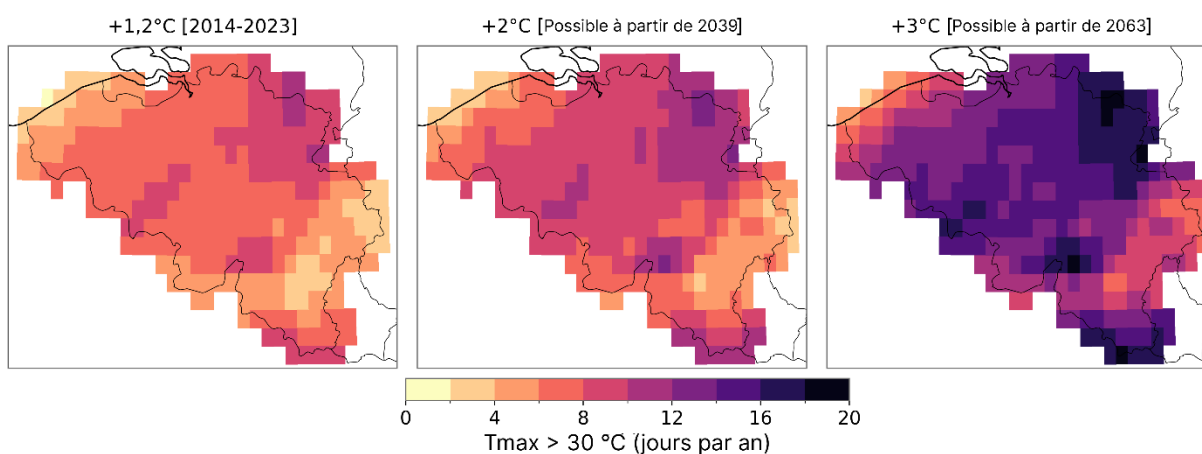


Figure 14 : Identique à la figure 13, mais cette fois-ci pour le nombre de jours où la température maximale de l'air extérieur (T_{max}) dépasse 30°C.

Nombre annuel de jours de canicule

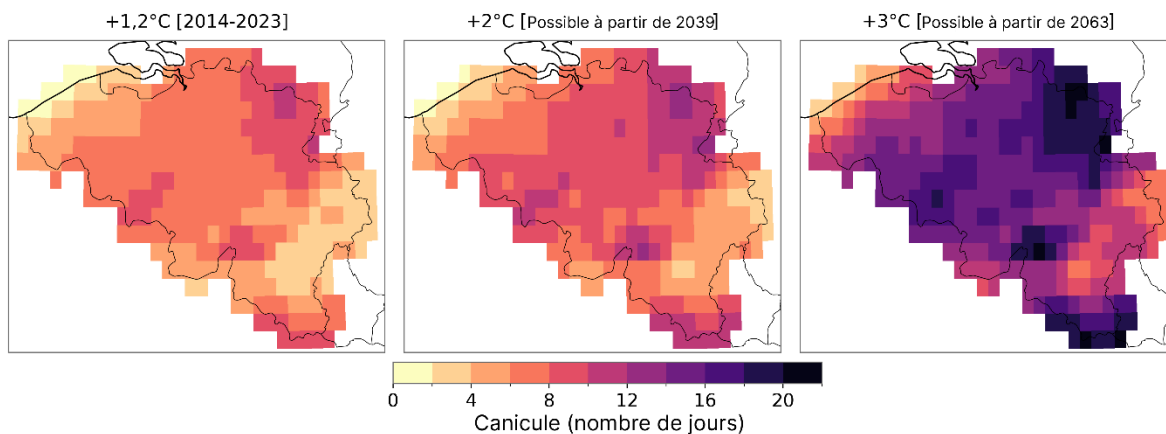


Figure 15 :Le principe est le même que pour la figure 13, mais cette fois-ci pour le nombre de jours de canicule. Une canicule est définie comme une période d'au moins cinq jours consécutifs où la température dépasse 25 °C, avec au moins trois jours au-dessus de 30 °C.

Nombre annuel de jours avec un dépassement de la température minimale de 18 °C

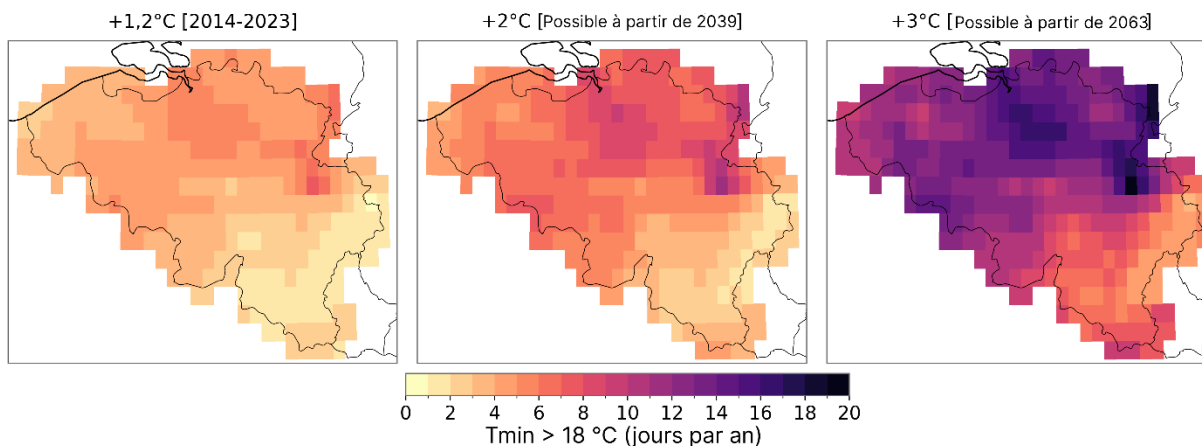


Figure 16 :Identique à la figure 3, mais cette fois-ci pour le nombre de jours où la température minimale de l'air extérieur (T_{min}) dépasse 18°C.

Nombre de logements résidentiels avec au moins 40 jours de $T_{max} > 25^{\circ}\text{C}$

		+1,2°C [2014-2023]		+ 2°C [à partir de 2039]		+ 3°C [à partir de 2063]	
Le scénario le plus favorable (P10)	Maisons	0	0%	0	0%	2 723 228	75%
	Immeubles d'appartements	0	0%	0	0%	201 146	80%
	Appartements	0	0%	0	0%	1 323 611	77%
	Municipalités	0	0%	0	0%	393	70%
Le scénario le plus défavorable (P90)	Maisons	703 648	20%	3 177 035	88%	3 551 741	%
	Immeubles d'appartements	36 860	15%	222 606	88%	218 211	97%
	Appartements	218 211	13%	1 465 372	86%	1 619 372	95%
	Municipalités	108	19%	463	82%	550	98%

Tableau 11 :Nombre de logements exposés à au moins 40 jours avec une température maximale journalière de 25°C, calculé pour les scénarios optimiste (p10) et pessimiste (p90) par niveau de réchauffement climatique (+1,2 °C,+2 °C et +3 °C). Les logements sont ventilés par type. Le pourcentage indiqué représente la part de chaque type de logement dans le parc immobilier total en Belgique.

Nombre annuel de jours avec un dépassement de la moyenne journalière lissée de 18 °C

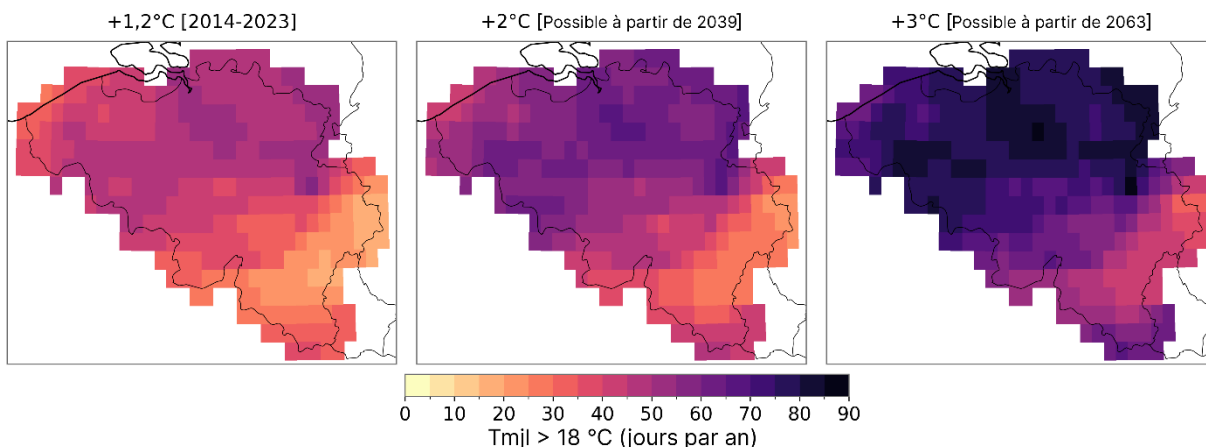


Figure 17 :Le principe est le même que pour la figure 13, mais cette fois-ci pour le nombre de jours où la moyenne lissée (T_{mjl}) dépasse 18 °C. T_{mjl} est calculé sur les sept derniers jours, y compris le jour même, les derniers jours étant pondérés davantage selon la formule suivante : $T_{mjl} = (T_{moy-1} + 0.8 \cdot T_{moy-2} + 0.6 \cdot T_{moy-3} + 0.5 \cdot T_{moy-4} + 0.4 \cdot T_{moy-5} + 0.3 \cdot T_{moy-6} + 0.2 \cdot T_{moy-7}) / 3.8$, où T_{moy} est la moyenne journalière. Cet indicateur est utilisé par GRO [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025].

Nombre de logements résidentiels avec au moins 10 jours avec $T_{max} > 30^\circ\text{C}$

		+1,2°C [2014-2023]		+ 2°C [à partir de 2039]		+ 3°C [à partir de 2063]	
Le scénario le plus favorable (P10)	Maisons	0	0%	0	0%	664 056	18%
	Immeubles d'appartements	0	0%	0	0%	36 222	14%
	Appartements	0	0%	0	0%	210 640	12%
	Municipalités	0	0%	0	0%	97	17%
Le scénario le plus défavorable (P90)	Maisons	711 954	20%	2 953 469	82%	3 567 580	99%
	Immeubles d'appartements	40 630	16%	210 385	83%	245 376	97%
	Appartements	253 141	15%	1 372 260	81%	1 623 828	95%
	Municipalités	103	18%	444	79%	555	99%

Tableau 12 :Idem pour le tableau 11, mais cette fois pour le nombre de logements exposés à au moins 10 jours avec une température extérieure maximale (T_{max}) dépassant 30°C.

Nombre de logements ayant connu au moins 10 jours de canicule

		+1,2°C [2014-2023]		+ 2°C [à partir de 2039]		+ 3°C [à partir de 2063]	
Le scénario le plus favorable (P10)	Maisons	0	0%	0	0%	664 056	18%
	Immeubles d'appartements	0	0%	0	0%	36 222	14%
	Appartements	0	0%	0	0%	210 640	12
	Municipalités	0	0%	0	0%	97	16%
Le scénario le plus défavorable (P90)	Maisons	1 010 866	28%	3 043 559	84%	3 552 951	98%
	Immeubles d'appartements	57 164	23%	213 263	84%	240 505	95%
	Appartements	349 151	21%	1 388 521	82%	1 569 515	92%
	Municipalités	151	27%	459	82%	553	98%

Tableau 13 :Idem pour le tableau 11, mais cette fois-ci pour le nombre de maisons exposées à au moins 10 jours de vague de chaleur.

Nombre de logements résidentiels avec au moins 10 jours de $T_{min} > 18^{\circ}C$

		+1,2°C [2014-2023]		+ 2°C [à partir de 2039]		+ 3°C [à partir de 2063]	
Le scénario le plus favorable (P10)	Maisons	0	0%	0	0%	1 234 725	34,1%
	Immeubles d'appartements	0	0%	0	0%	118 840	47%
	Appartements	0	0%	0	0%	798 898	46%
	Municipalités	0	0%	0	0%	162	28%
Le scénario le plus défavorable (P90)	Maisons	0	0%		%		%
	Immeubles d'appartements	0	0%	765 716	21%	3 485 927	96%
	Appartements	0	0%	70 495	28%	247 542	98%
	Municipalités	0	0%	93	17%	514	91%

Tableau 14 : *Idem pour le tableau 11, mais cette fois-ci pour le nombre de logements exposés à au moins 10 jours où la température minimale de l'air extérieur (T_{min}) dépasse $18^{\circ}C$.*

Nombre de logements avec au moins 60 jours de $T_{mjl} > 18^{\circ}C$

		+1,2°C [2014-2023]		+ 2°C [à partir de 2039]		+ 3°C [à partir de 2063]	
Le scénario le plus favorable (P10)	Maisons	0	0%	0	0%	3 226 470	89%
	Immeubles d'appartements	0	0%	0	0%	233 687	93%
	Appartements	0	0%	0	0%	1 585 101	93%
	Municipalités	0	0%	0	0%	441	78%
Le scénario le plus défavorable (P90)	Maisons	177 753	5%	3 173 180	88%	3 517 015	97%
	Immeubles d'appartements	10 229	4%	228 071	90%	248 457	98%
	Appartements	55 505	3%	1 528 167	90%	1 648 457	99%
	Municipalités	25	5%	429	76%	524	93%

Tableau 15 : *Identique au tableau 11, mais portant cette fois sur le nombre de logements exposés à au moins 60 jours avec une moyenne journalière lissée (T_{mjl}) supérieure à $18^{\circ}C$. La T_{mjl} est calculée sur les sept derniers jours, y compris le jour même, les derniers jours étant pondérés davantage selon la formule suivante : $T_{mjl} = (T_{moy} - 1 + 0.8 \cdot T_{moy-2} + 0.6 \cdot T_{moy-3} + 0.5 \cdot T_{moy-4} + 0.4 \cdot T_{moy-5} + 0.3 \cdot T_{moy-6} + 0.2 \cdot T_{moy-7}) / 3.8$, où T_{moy} est la moyenne journalière. Cet indicateur est utilisé par GRO [Het Facilitair Bedrijf et al., 2025].*

Évaluation du modèle E

Pour l'évaluation du modèle, les observations ont été construites à partir de la grille climatique [Institut royal météorologique de Belgique, 2025] pour la période 2014-2023, correspondant à un réchauffement climatique de $+1,2^{\circ}C$ et utilisée dans cette étude comme indicateur de la période historique récente [Forster et al., 2024]. Ces observations ont été comparées aux projections EURO-CORDEX corrigées des biais. Pour tous les indicateurs de chaleur considérés, les observations se situent systématiquement entre les scénarios les plus optimistes (10e percentile) et les plus pessimistes (90e percentile) de l'ensemble des modèles. Bien que la concordance entre les modèles et les observations ne soit pas parfaite dans toutes les régions ni pour tous les indicateurs, cette étude porte non pas sur les valeurs absolues, mais sur les différences relatives entre les niveaux de réchauffement climatique et les scénarios, qui semblent robustes pour l'ensemble des modèles.

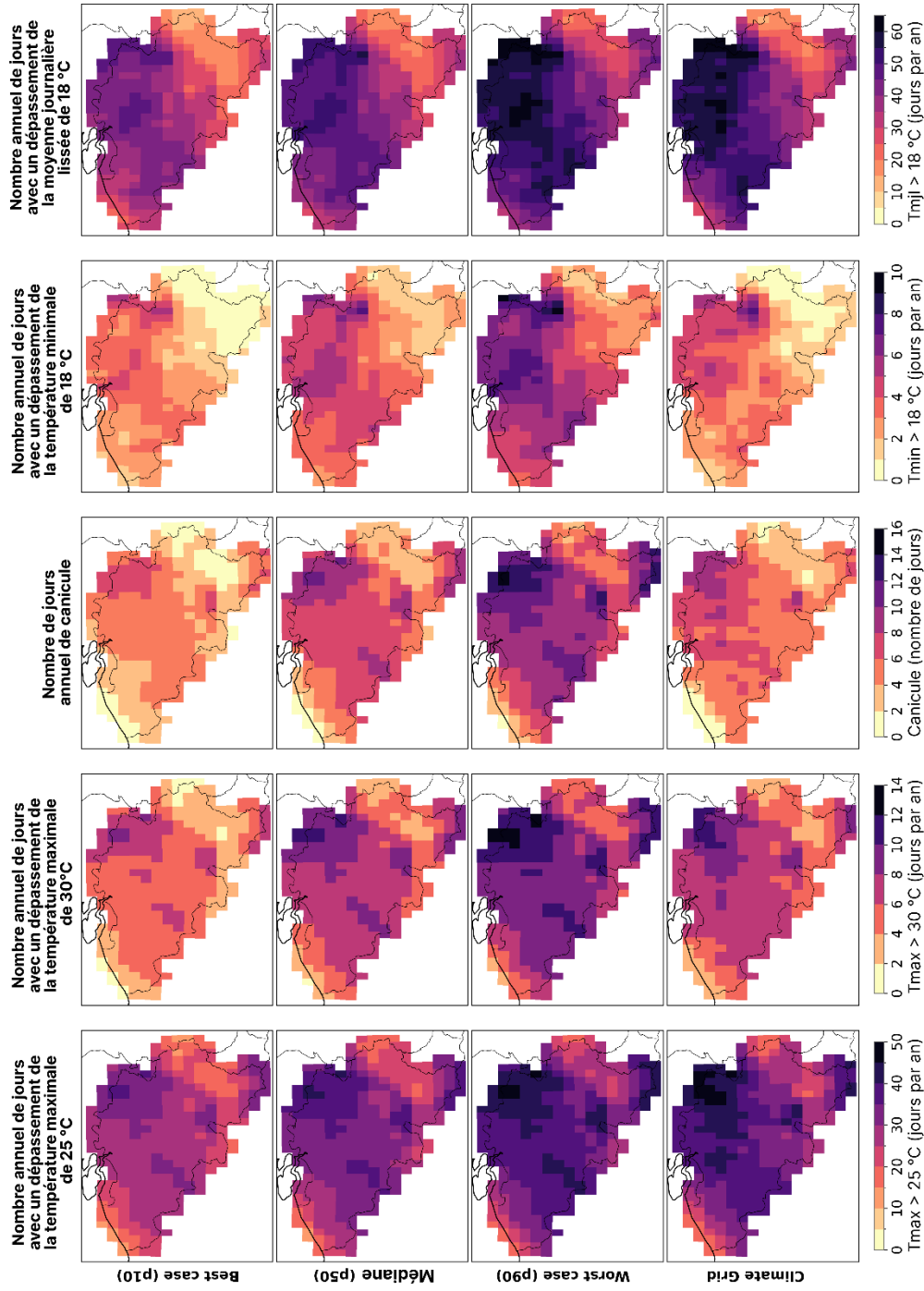


Figure 18 : L'évaluation des modèles EURO-CORDEX, basée sur une comparaison avec la grille climatique, utilise le nombre annuel de jours où les différents indicateurs de chaleur sont atteints. Chaque colonne représente un indicateur de chaleur. L'incertitude des projections climatiques est indiquée par pixel : le scénario le plus favorable (10e percentile) en première ligne, le scénario médian (50e percentile) en deuxième ligne et le scénario le plus défavorable (90e percentile) en troisième ligne. La quatrième ligne présente les données de la grille climatique pour la période 2014-2023, correspondant à un réchauffement climatique de +1,2 °C, utilisé dans cette étude comme indicateur de la période historique récente [Forster et al., 2024].

F. Scénarios climatiques à l'échelle kilométrique pour la Belgique

Dans le cadre du projet CORDEX.be II (successeur de CORDEX.be ; Termonia et al., 2018), des simulations de modèles à l'échelle kilométrique sont actuellement réalisées et serviront de base aux scénarios climatiques nationaux belges. La KU Leuven a effectué des simulations à une résolution de 2,8 km, intégrant une paramétrisation urbaine dans le modèle CCLM6, forcé par des données futures de GCM (nom officiel : *CCLM6-0-1-URB-ESG EC-Earth3-Veg*). La réalisation GCM présentant une forte augmentation du stress thermique a été sélectionnée afin de générer des données détaillées correspondant à un scénario le plus défavorable, pertinent pour les études d'impact [Serras et al., 2024]. La présente annexe propose un aperçu de l'évolution du stress thermique dans ces nouvelles simulations de modèles.

Comme pour les données EURO-CORDEX, des données corrigées des biais ont également été utilisées pour cette analyse. La correction des biais a été réalisée sur la base de la relation entre le modèle CCLM6 et le jeu de données Climate Grid, fondé sur des observations et présentant une résolution de 5 km. Les 89e et 97e percentiles de la période 1985–2014 ont été utilisés, correspondant respectivement au 40e et au 10e jour le plus chaud de l'année. Ces percentiles ont été choisis en cohérence avec les valeurs seuils du nombre de jours au-dessus de 25 °C et 30 °C (voir sections 4.1 et 4.2).

Étant donné que Climate Grid ne modélise pas les effets urbains, les pixels urbains ne peuvent pas être pris en compte de manière fiable dans l'établissement de la relation de biais. Afin d'identifier ces zones, la fraction de surface imperméabilisée (FR_{pav}) a été utilisée comme indicateur d'urbanisation (Fig. 19). Les pixels présentant une valeur de FR_{pav} supérieure à 0,12 ont été considérés comme urbains et exclus de la première étape de la correction des biais, laquelle consistait à déterminer la différence de température entre les deux jeux de données pour le percentile considéré (Fig. 20). Une fois cette relation établie, les pixels urbains ont été réintégré sur la base des pixels non urbains environnants, dans une fenêtre de 50×50 km. Cette approche permet d'obtenir une carte de correction des biais couvrant l'ensemble de la Belgique, sans perdre l'effet urbain présent dans les simulations de modèles.

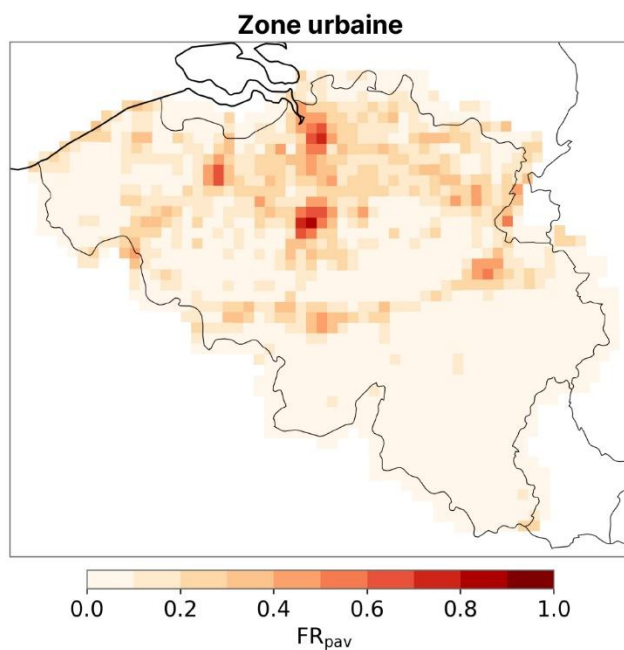


Figure 19 : Répartition des zones urbaines en Belgique. FR_{pav} représente la fraction de surface imperméabilisée à la résolution du modèle climatique (2,8 km). Les valeurs $> 0,12$ sont considérées comme urbaines.

**Correction du biais pour les
89e et 97e percentiles
de la température maximale journalière**

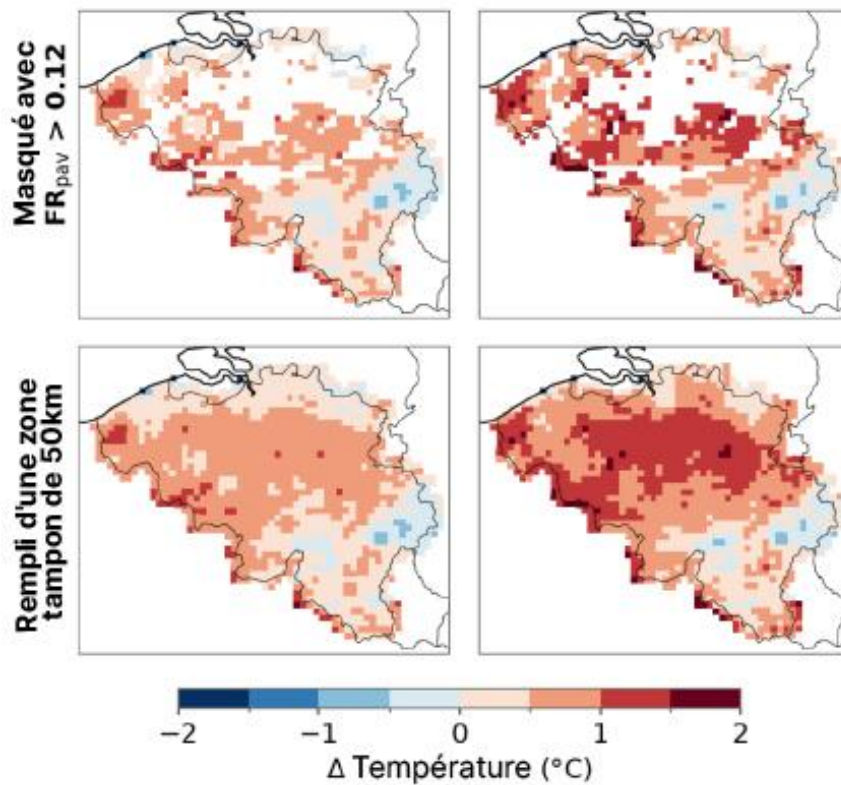


Figure 20 : Correction des biais de la relation entre le modèle CCLM6 et Climate Grid pour le 89e percentile (à gauche) et le 87e percentile (à droite), correspondant respectivement au 40e et au 10e jour le plus chaud de l'année, moyennés sur la période 1985–2014. FR_{pav} représente la fraction de surface imperméabilisée à la résolution du modèle (2,8 km). Les valeurs > 0,12 sont considérées comme urbaines. Ces pixels urbains sont exclus de la correction des biais et réintégré ultérieurement sur la base des pixels environnants au sein d'une grille de 50 × 50 km.

Les différences spatiales de la température maximale journalière de l'air extérieur du 40e jour le plus chaud sont présentées à la Figure 21. L'arrière-pays connaît des températures plus élevées lors de ce 40e jour le plus chaud de l'année par rapport aux zones côtières. Les régions vallonnées du sud (les Ardennes) enregistrent également des températures maximales de l'air extérieur plus faibles que les régions plus plates du nord. En outre, les grandes villes se distinguent nettement de leurs zones environnantes, notamment Bruxelles et Anvers. La vallée de la Meuse apparaît également comme une zone marquée. À travers les différents niveaux de réchauffement, une augmentation nette de cette température est observée sur l'ensemble du territoire.

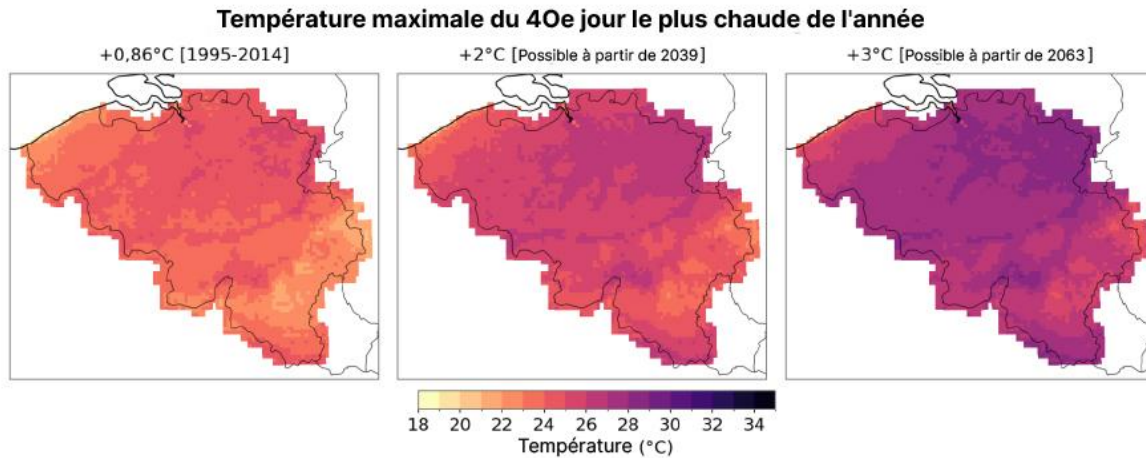


Figure 21 : Température maximale de l'air extérieur (Tmax) du 40e jour le plus chaud de l'année, correspondant au 89e percentile, moyennée sur 20 ans, et présentée pour trois niveaux de réchauffement climatique global. Chaque colonne représente un niveau de réchauffement : +0,86 °C pour la période de référence historique, ainsi que deux projections futures à +2 °C et +3 °C. Pour les périodes futures, le moment le plus précoce auquel ce niveau de réchauffement peut être atteint est indiqué (voir section 2.1 pour plus de détails).

La Figure 22 présente la répartition spatiale de la température maximale journalière de l'air extérieur pour le 10e jour le plus chaud de l'année. Comme pour le 40e jour le plus chaud, l'intérieur du pays enregistre des températures plus élevées que les régions côtières. Les zones vallonnées du sud (les Ardennes) présentent également des températures maximales de l'air extérieur plus faibles que les régions planes du nord. De même, les principales villes, telles que Bruxelles et Anvers, se distinguent nettement de leurs zones environnantes. À mesure que le niveau de réchauffement global augmente, ces températures connaissent une forte hausse.

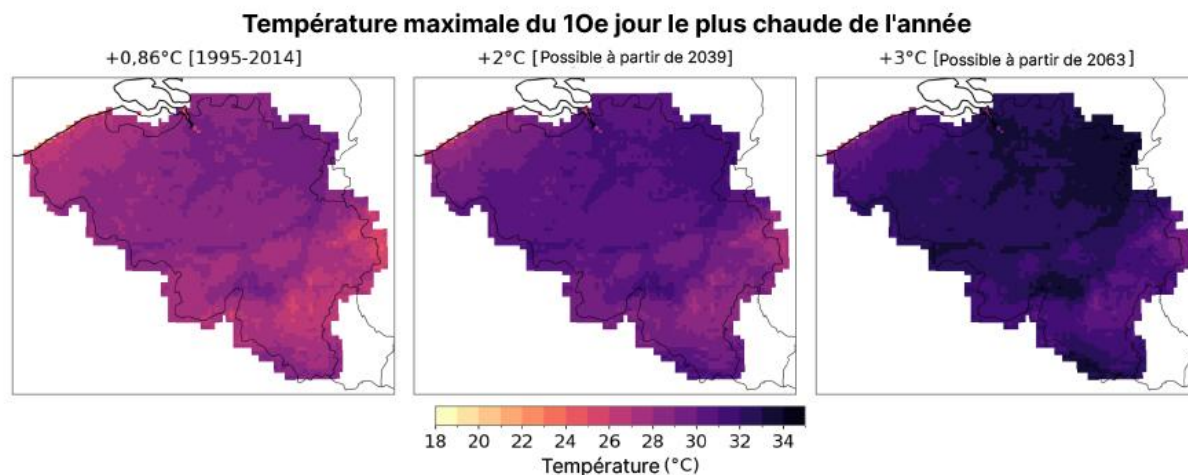


Figure 22 : Température maximale de l'air extérieur (Tmax) du 10e jour le plus chaud de l'année, correspondant au 97e percentile, moyennée sur 30 ans, et présentée pour trois niveaux de réchauffement climatique global. Chaque colonne représente un niveau de réchauffement : +0,86 °C pour la période de référence historique, ainsi que deux projections futures à +2 °C et +3 °C. Pour les périodes futures, le moment le plus précoce auquel ce niveau de réchauffement peut être atteint est indiqué (voir section 2.1 pour plus de détails).