

**ÉTAT DES LIEUX DE L'EXPOSITION DU PARC RESIDENTIEL
FRANÇAIS AUX FORTES CHALEURS
A HORIZON 2030 ET 2050**

Rapport Final

Paris, le 31 mai 2023

Contact Iignes :
Cécile Replumaz : creplumaz@ignes.fr

www.pouget-consultants.fr

contact@pouget-consultants.fr

SIÈGE SOCIAL : 81, rue Marcadet | 75018 PARIS FRANCE
Tél : +33 (0)1 42 59 53 64 | Fax : +33 (0)1 42 52 83 47

AGENCE NANTES : 4, place François II | 44200 NANTES FRANCE
Tél : +33 (0)2 40 12 21 22 | Fax : +33 (0)2 40 12 21 26

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	3
2. ÉVOLUTION DU CLIMAT MÉTROPOLITAIN	3
1.1. SCENARIOS CLIMATIQUES	4
1.2. PROJECTIONS CLIMATIQUES DRIAS <small>LES FUTURS DU CLIMAT</small>	5
1.3. INDICATEURS CLIMATIQUES SELECTIONNES	5
1.3.1 <i>Indicateur n°1 : Nombre de jours chauds</i>	5
1.3.2 <i>Indicateur n°2 : Nombre de jours extrêmement chauds</i>	6
1.3.3 <i>Indicateur n°3 : Nombre de jours de vague de chaleur</i>	6
1.3.4 <i>Indicateur n°4 : Nombre de nuits tropicales</i>	7
1.3.5 <i>Hypothèses climatiques considérées dans l'étude de l'exposition du parc résidentiel.</i>	7
3. ETAT DES LIEUX DES BATIMENTS RESIDENTIELS FRANÇAIS	8
4. EXPOSITION DU PARC RESIDENTIEL AU RISQUE DE SURCHAUFFE	10
1.4. INDICATEUR N°1 : NOMBRE DE JOURS DE CHALEUR.....	11
1.4.1 <i>Cartographies d'exposition</i>	11
1.4.2 <i>Exposition selon les caractéristiques des logements</i>	12
1.5. INDICATEUR N°2 : NOMBRE DE JOURS DE CHALEUR EXTREME	13
1.5.1 <i>Cartographies d'exposition</i>	13
1.5.2 <i>Exposition selon les caractéristiques des logements</i>	16
1.6. INDICATEUR N°3 : NOMBRE DE JOURS DE VAGUE DE CHALEUR	17
1.6.1 <i>Cartographies d'exposition</i>	17
1.6.2 <i>Exposition selon les caractéristiques des logements</i>	19
1.7. INDICATEUR N°4 : NOMBRE DE NUITS TROPICALES	20
1.7.1 <i>Cartographies d'exposition</i>	20
1.7.2 <i>Exposition selon les caractéristiques des logements</i>	21
1.8. EXPOSITION ACTUELLE AU PHENOMENE D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN.....	22
5. CONCLUSION	26
6. ANNEXE : DESCRIPTION DES INDICATEURS	27

1. INTRODUCTION

L'année 2022 a été la plus chaude jamais mesurée en France métropolitaine, succédant ainsi à 2020. Les records de températures battus ont été marqués par un ensoleillement exceptionnel et trois vagues de chaleur l'été (conduisant à 33 jours de vagues de chaleur, très large record en France).¹ Pourtant dans le contexte du réchauffement climatique mondial, d'après Météo France, cette situation « pourrait devenir la norme en France au milieu du XXI^e siècle ».

Il convient dès lors de se poser la question de la résilience de nos bâtiments à la l'accentuation de ces conditions climatiques. En effet, située dans une zone climatique tempérée, la France possède historiquement une richesse climatique importante avec cinq climats présents sur le territoire métropolitain (océanique, océanique altéré, continental, montagnoux et méditerranéen).² Cette diversité a conduit à des méthodes constructives très variables sur le territoire notamment sur les enjeux de confort thermique. Les régions du Sud (Occitanie et PACA en particulier) présentent déjà une certaine expérience de conditions climatiques chaudes et leurs bâtiments paraissent plus adaptés que ceux des régions Centre ou du Nord de la France où l'accent a été logiquement mis sur la résilience des bâtiments aux hivers rigoureux. Cependant, l'ampleur du changement climatique et l'intensification du réchauffement pourraient rendre plus difficiles les conditions thermiques même dans ces régions.

La présente étude commanditée par Iignes a pour objectif **d'analyser l'exposition du parc résidentiel français aux conditions climatiques propices aux surchauffes dans les logements**. Pour ce faire, POUGET Consultants a analysé des conditions climatiques actuelles et prévues aux horizons 2020, 2030, 2040 et 2050 selon 2 trajectoires issues des scénarios du GIEC et conduisant à une augmentation de la température moyenne globale en fin de siècle à environs +2°C et +4°C respectivement. En s'associant à Energies Demain, spécialiste du traitement et de la gestion de bases de données notamment du parc résidentiel français au travers de la base ENERTER®, le groupement a pu quantifier le nombre de logements exposés en fonction des conditions climatiques retenues.

Avant de présenter les données relatives aux logements soumis aux risques de surchauffe, le présent rapport explicite les données et les hypothèses climatiques considérées ainsi que les indicateurs climatiques sélectionnés pour décrire les conditions de température extérieure propices aux surchauffes.

La base de données ENERTER® relative au parc de logements est ensuite présentée en partie 3.

La partie 4 regroupe l'ensemble des données d'exposition produites qui prennent la forme de cartographies des parts du parc exposées et de tableaux présentant le nombre de logements concernés selon leur type, catégorie, période de construction ou encore surface habitable.

Ces données sont complétées par l'exposition actuelle au phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU), qui joue un rôle important dans l'exposition d'un grand nombre de logements à des chaleurs nocturnes pouvant entraîner des conséquences sur la santé des habitants les plus fragiles.

2. ÉVOLUTION DU CLIMAT MÉTROPOLITAIN

¹ Bilan climatique définitif 2022, Météo France, Janvier 2023

² Le climat en France métropolitaine, Météo France, Novembre 2022, <https://meteofrance.com/comprendre-climat/france/le-climat-en-france-metropolitaine>

1.1. Scénarios climatiques

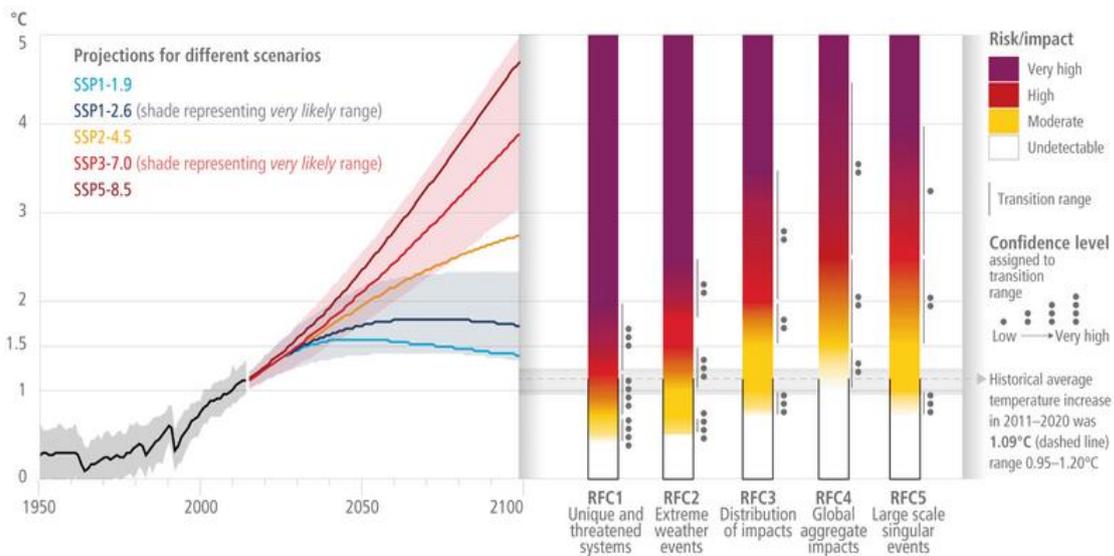


Figure 1 : A droite : Evolution de la température moyenne mondiale prévue selon les scénarios SSP, A gauche : importance des risques d'impact selon le réchauffement³.

Afin de simuler l'évolution du climat planétaire, les chercheurs et scientifiques utilisent en première approche des modèles climatiques globaux. Ces modèles représentent numériquement les interactions entre les différents éléments qui régissent le climat planétaire (atmosphère, surfaces continentales, Océan et Glaces de mer). Afin de résumer grossièrement le fonctionnement de ces modèles, on peut considérer qu'ils ont besoin de données d'entrées (conditions initiales) ainsi que d'hypothèses sur l'évolution du forçage radiatif, qui est la différence entre l'énergie radiative reçue et celle émise par le système. Cette différence dépend notamment de l'effet de serre lié à la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

Les hypothèses d'évolution de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et d'augmentation du forçage radiatif résultant sont appelées scénarios climatiques. Il existe 2 jeux de scénarios climatiques utilisés actuellement : les RCP (pour *Representative Concentration Pathway*) et les SSP (pour *Shared Socioeconomic Pathways*). Les premiers sont aux nombres de 4, sont basés sur une quantité d'équivalent CO₂ émise et se distinguent par leur hypothèse de forçage radiatif additionnel en 2100 par rapport à l'ère préindustrielle. Ils ont été utilisés comme hypothèses d'évolution pour les modèles ayant produit les projections climatiques regroupées dans le 5^{ème} rapport du GIEC. Les scénarios SSP, sont aux nombres de 9 et sont basés sur des évolutions socioéconomiques desquelles résultent la quantité de gaz à effet de serre émise (et le forçage radiatif associé). Ce sont les scénarios climatiques utilisés pour obtenir les projections climatiques présentées dans le 6^{ème} rapport du GIEC. Les scénarios SSP restent néanmoins récents et non pas pu être largement utilisés dans le cadre de modèles régionalisés permettant de préciser les projections climatiques à l'échelle d'un pays au contraire des scénarios RCP. En première approximation, les scénarios RCP peuvent correspondre à certains scénarios SSP : RCP2.6 ~ SSP1 2.6, RCP4.5 ~SSP2 et RCP8.5 ~SSP5 8.5.

Car elles sont régionalisées à l'échelle de la France, prétraitées statistiquement, et disponibles dans la base DRIAS ^{les futurs du climat}, les projections climatiques utilisées dans le cadre de cette étude sont uniquement réalisées à partir des Scénarios RCP 2.6, 4.5 et 8.5.

³ IPCC Technical Report WG2 A6, 2022

1.2. Projections climatiques DRIAS les futurs du climat

Le site DRIAS *les futurs du climat* est issu d'un projet porté par Météo France, l'institut Pierre Simon Laplace et le laboratoire du CERFACS-CNRM et propose une base de données d'indicateurs climatiques réalisée à partir de projections climatiques régionalisées à l'échelle de la France (grille de 8 km de résolution) par les différents laboratoires français de modélisation du climat. Les données sont publiques et corrigées des biais statistiques inhérents aux simulations climatiques afin d'être utilisables directement pour l'étude des impacts.⁴ Elles sont projetées sur une grille de 8 961 points découpant l'ensemble du territoire métropolitain.

Plusieurs modèles climatiques sont disponibles (ALADIN63_CNRM_CM5, WRF381P_IPSL-CM5A, etc.). 2 périodes sont simulées pour chaque modèle : la période historique de référence (1975-2005) et la projection entre 2006 et 2100 et cela, pour les 3 scénarios d'émissions RCP. Les indicateurs climatiques calculés dans le cadre du projet DRIAS *les futurs du climat* sont proposés par horizon temporel (proche, moyen ou lointain) ou par série temporelle sélectionnée (permettant de choisir les années souhaitées).

Les données par série temporelle ne sont disponibles qu'à l'échelle de l'année ou de la saison.

1.3. Indicateurs climatiques sélectionnés

Plus de soixante indicateurs climatiques sont proposés dans le cadre du projet DRIAS *les futurs du climat*. Ils concernent des données relatives à la température extérieure et aux précipitations que ce soit en valeur mesurée, en nombre de jours d'occurrence ou en écart par rapport à la période de référence (1976- 2005).

Afin d'illustrer les conditions climatiques pouvant entraîner un inconfort lié à une surchauffe des bâtiments exposés, l'étude se concentre sur 4 indicateurs :

- **Nombre de jours chauds pour lesquels la température extérieure dépasse 25°C**
- **Nombre de jours extrêmement chauds pour lesquels la température extérieure dépasse 35°C**
- **Nombre de jours de vague de chaleurs**
- **Nombre de nuits tropicales pour lesquelles la température extérieure ne descend pas en dessous de 20°C**

Dans le cadre de notre étude et des indicateurs sélectionnés, la disponibilité des données seulement à l'année ou à la saison empêche de bien définir la temporalité de l'occurrence des conditions climatiques qui sont décrites en nombre de jours par an. Il est cependant bien observable à partir des données mensuelles des projections climatiques par horizon que les conditions les plus chaudes sont modélisées entre mai et septembre.

Le détail de chaque indicateur selon les scénarios RCP 2.6 et 8.5 est explicité en annexe.

1.3.1 *Indicateur n°1 : Nombre de jours chauds*

Le premier indicateur utilisé évalue (pour chaque point de la grille du modèle) le nombre de jours dans l'année pour lesquels la température extérieure dépasse 25 °C à un moment de la journée. Ces jours ne sont pas forcément consécutifs. L'intérêt de cet indicateur tient à ce que la température seuil est proche de celle de la consigne de climatisation, fixée à 26 °C en France par le décret du 19 mars 2007⁵ (pas d'indicateur disponible avec cette valeur).

⁴ Simulations climatiques – DRIAS-2020 – CNRM-CM5 / ALADIN63.

https://drias-prod.meteo.fr/serveur/simulations_climatiques/Documentations_Donnees/Fiches_techniques_Atmospherique/5-DRIAS-2020/Doc_database_DRIAS-2020_CNRM-CM5_ALADIN63.pdf

⁵ Décret n° 2007-363 du 19 mars 2007 relatif aux études de faisabilité des approvisionnements en énergie, aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants et à l'affichage du diagnostic de performance énergétique.

Ce nombre de jours chauds permet donc de représenter le nombre de jours pour lesquels un logement équipé d'une climatisation pourrait présenter des consommations de froid si celui-ci ne dispose pas de systèmes de protection ou de régulation.

1.3.2 Indicateur n°2 : Nombre de jours extrêmement chauds

Le second indicateur utilisé dans cette étude est le nombre de jours extrêmement chauds pour lesquels la température extérieure maximale simulée dépasse 35 °C. Ce nombre est calculé pour l'année et ne prend pas en compte la succession ou non de ces jours. Cet indicateur fait état de conditions extrêmes face auxquelles les bâtiments non ou mal adaptés pourront créer des surchauffes importantes dans les logements et des conditions thermiques très difficiles pour les habitants les plus fragiles.

Le caractère extrême de cet indicateur conduit à des valeurs assez faibles notamment à horizon proche et limite l'importance de son évolution notamment pour les scénarios les plus optimistes comme on peut l'observer sur la figure 4 de l'annexe I.

1.3.3 Indicateur n°3 : Nombre de jours de vague de chaleur

L'indicateur concernant les jours de vague de chaleur compte le nombre de jours exceptionnellement chauds (+ 5 °C) par rapport à un climat de référence (période 1976-2005) lorsque ces jours se succèdent sur une séquence d'au moins 5 jours.

Cette définition se traduit ainsi sous forme de formule :

Nombre de jours où $T_{xi} \geq TXR_i + 5^{\circ}C$ dans une séquence de plus de 5 jours consécutifs

Avec TX_i , la température maximale quotidienne et TXR_i , la température maximale quotidienne de référence calculée sur la période de référence (1976-2005).

Cet indicateur ne se définit pas autour d'une valeur seuil comme les deux précédents, mais par rapport à une situation de référence. Son augmentation permet donc de bien montrer le changement des conditions climatiques par rapport à la situation de référence. De plus, la notion de durée intégrée à sa définition (succession d'au moins 5 jours pour que les jours de vagues de chaleur soient comptabilisés) réduit la sensibilité de l'indicateur à la variabilité climatique et aux biais de simulation. En effet, seuls les phénomènes d'une certaine importance temporelle sont pris en compte ce qui élimine les pics de chaleurs plus variables. Il est à noter que pour les zones de relief dépassant 1000 m², cet indicateur n'est pas considéré pertinent par la DRIAS⁶. Cependant, la densité de logements dans ces territoires est très faible ce qui limite l'impact sur les résultats de l'étude proposée. Les Alpes et les Pyrénées ne seront cependant pas considérés dans les observations qui suivent.

La définition de l'indicateur basée sur une anomalie de température ne se concentre donc pas sur des températures de référence déjà chaudes : un événement anormalement chaud avec +5 °C par rapport à une température de référence de 10 °C sera comptabilisé alors que la température extérieure simulée ne sera finalement que de 15 °C. Cependant l'étude de l'évolution mensuelle des nombres de jours de vague de chaleur selon les horizons proche, moyen et lointain montre une forte prépondérance du nombre de jours de vague de chaleur entre juillet et septembre.

⁶ Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS 2020 pour la métropole, DRIAS *les futurs du climat*, Rapport 2020

1.3.4 Indicateur n°4 : Nombre de nuits tropicales

L'indicateur du nombre de nuits tropicales est un bon complément à celui des vagues de chaleur, car il est caractéristique d'événements caniculaires. En effet, un jour de nuit tropicale est un jour durant lequel la température extérieure ne descend pas en dessous de 20 °C même aux heures nocturnes les plus fraîches (juste avant le lever du soleil). Ce phénomène est lié à une température de l'air qui ne se décharge pas assez à la suite d'une journée très chaude, principalement à cause de l'importance de la chaleur stockée par les surfaces minérales qui rayonnent durant la nuit et des conditions atmosphériques qui ne favorisent pas la convection de la masse d'air chaude surfacique. Cet indicateur est donc très lié et sensible au phénomène d'îlot de chaleur (voir partie 4.5) conséquence des 2 derniers critères dans les zones urbaines.

Cet indicateur est très regardé pour les enjeux sanitaires. En effet, le fait que la température ne redescende pas la nuit perturbe le sommeil et la récupération des organismes. Cumulée avec une longue période de canicule durant laquelle la température diurne est très élevée, ces conditions augmentent les risques de déshydratation et d'accidents cardiovasculaires notamment chez les publics les plus fragiles : personnes âgées, femmes enceintes et enfants en bas âge.

1.3.5 Hypothèses climatiques considérées dans l'étude de l'exposition du parc résidentiel.

L'étude réalisée vise à caractériser l'exposition actuelle et à horizon proche des logements à des conditions thermiques difficiles. La limite temporelle est donc fixée à 2050. Afin de présenter l'évolution de cette exposition sur la période 2020-2050, il a été choisi de travailler à 4 horizons temporels : 2020, 2030, 2040 et 2050. Pour limiter l'impact de la variabilité interannuelle naturelle du climat, Les données climatiques utilisées pour chaque horizon sont les moyennes sur 21 ans :

- L'horizon 2020 correspond à la période 2010-2030.
- L'horizon 2030 correspond à la période 2020-2040.
- L'horizon 2040 correspond à la période 2030-2050.
- L'horizon 2050 correspond à la période 2040-2060.

Il est donc important de garder à l'esprit que les valeurs des indicateurs présentés dans la suite sont des **valeurs par territoire moyennées sur 21 ans** afin de présenter l'évolution de l'exposition sur les différentes périodes. Dans la réalité, certaines années pourront donc faire état d'une exposition plus forte liée à des événements décennaux voir centennales mais qui ne représenteront pas le climat moyen. L'année 2003 et sa canicule historique en est un bon exemple passé.

Les résultats de l'exposition du parc sont présentés sous forme de : à l'horizon 2040 (paragraphe 4) apparaîtront uniquement dans les tableaux

A cette échelle temporelle, l'étude de l'évolution des différents indicateurs climatiques durant le 21^{ème} siècle présentée ci-avant fait ressortir plusieurs tendances importantes :

- Les projections de ces indicateurs basées sur le scénario optimiste RCP2.6 sont proches de celles du scénario RCP8.5.
- Le nombre de jours pour lesquelles la température extérieure dépasse 35°C reste très faible en moyenne sur une période de 30 ans et est donc d'autant plus sensible à l'amplitude de la variabilité naturelle sur une période de 21 ans.

Pour que les résultats de cette étude puissent avoir une portée dès aujourd'hui, il est apparu important que les

hypothèses climatiques choisies concordent avec celles considérées dans le cadre des politiques climatiques françaises actuelles. La Programmation Pluriannuelle de l'Énergie adoptée en 2020 se base sur un scénario d'évolution des températures de +2°C d'ici la fin du siècle équivalent au scénario climatique RCP2.6. L'exposition du parc résidentiel est donc présentée dans la suite en se basant sur les projections issues d'un **scénario RCP2.6**.

Si ce scénario est actuellement utilisé pour déterminer la stratégie climatique française, il reste l'un des 2 scénarios les plus optimistes réalisés par le GIEC et semble de moins en moins vraisemblable car reposant sur une décroissance des émissions mondiales de gaz à effet de serre dès 2020 non observée dans les faits.⁷ L'intégration d'un scénario de réchauffement à +4°C, qui serait dans le faisceau probabiliste du scénario RCP8.5 (voir figure 1), a notamment été évoquée par Monsieur Christophe Béchu, Ministre de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires. Le Conseil National de la Transition Ecologique a intégré ce scénario plus pessimiste dans son avis du 4 mai 2023⁸.

Le choix des 4 indicateurs climatiques précédemment décrits ne suffit pas à caractériser l'exposition des logements. Il faut en effet choisir une **valeur seuil de nombre de jours** afin de pouvoir quantifier le nombre de logements situés dans une zone où le nombre de jours d'exposition à l'indicateur dépasse cette valeur. Le choix de ces valeurs sera présenté en introduction des sous-parties consacrées à l'exposition (Partie 4).

3. ETAT DES LIEUX DES BATIMENTS RESIDENTIELS FRANÇAIS

Afin de caractériser le parc résidentiel métropolitain, l'étude se base sur le modèle ENERTER®-Résidentiel qui permet de reconstituer différentes données du parc résidentiel.,

La méthodologie de construction du modèle s'articule autour des grandes étapes suivantes :

1. Une description initiale du parc à l'échelle du logement, permise par l'exploitation des recensements de l'INSEE, qui fournit un premier jeu d'informations sur les 35 millions de logements français
2. Une caractérisation des logements (bâti et systèmes) par l'enrichissement de la description fournie par l'INSEE, via l'exploitation de sources de données complémentaires (enquêtes et expertises), permettant :
 - a. Une description technico-architecturale (et donc thermique) des logements à leur date de construction, puis une prise en compte des travaux de rénovation thermique réalisés jusqu'à la période actuelle
 - b. Une qualification des systèmes de chauffage (y compris énergies d'appoint) et de ventilation utilisés
3. Une simulation thermique selon la méthode 3CL 2021, à l'échelle du logement, permettant d'estimer leurs consommations d'énergie

Dans le cadre de l'étude menée, ce sont les données descriptives de plus de 31 millions de logements issues d'une enrichissement multi-sources des données INSEE qui ont été utilisées. Pour chaque logement a été caractérisé par :

- Catégorie : Résidence principale ou secondaire,
- Type : Maison ou Appartement,
- Surface : Surface habitable du logement,
- Période de construction : période durant laquelle le bâtiment a été construit.



⁷ Les scénarios SSP : décryptage et recommandations d'utilisation pour une démarche d'adaptation au changement climatique. Publication Carbone 4, 2022

⁸ Avis du Conseil national de la transition écologique du 4 mai 2023 (premier semestre)

Figure 2 Méthode d'enrichissement du parc de logements du Recensement Général de la Population (INSEE) – ENERTER Energies Demain

Caractéristiques	Nombre de logement considérés
Logements	31 144 482
Logements par catégorie	
Résidences principales	28 032 941
Résidences secondaires	3 111 542
Type de logements	
Appartement	13 378 592
Maison	17 765 890
Surface logement	
Moins de 30 m ²	1 221 926
De 30 à moins de 80 m ²	11 782 709
De 80 à moins de 120 m ²	10 643 737
120 m ² ou plus	4 384 568
Hors résidence principale	3 111 542
Période de construction	
Avant 1945	7 228 425
De 1946 à 1970	6 447 701
De 1971 à 1990	8 964 686
De 1991 à 2012	7 244 203
Après 2012	1 259 467

Tableau 1 : Nombres de logements considérés dans la base ENERTER selon la caractéristique du logement

La richesse de cette base de données descriptives des logements à la granularité IRIS croisée avec les données climatiques de la base DRIAS ^{les futurs du climat} préalablement mises à l'échelle de l'IRIS par carroyage (technique de quadrillage des données) ainsi qu'avec les zonages d'îlots de chaleur urbains permet de proposer une analyse fine des segments de parc de logements qui devront faire face aux événements climatiques à venir.

4. EXPOSITION DU PARC RESIDENTIEL AU RISQUE DE SURCHAUFFE

Le croisement des données moyennées aux horizons temporels considérés des projections climatiques extraites de la base DRIAS *les futurs du climat* pour les 4 indicateurs considérés avec les données de la base des logements ENERTER® permet d'obtenir le nombre et la part de logements exposés par département selon l'indicateur, pour chaque horizon temporel. La base ENERTER® caractérise également ces logements ce qui permet d'étudier l'exposition selon certaines caractéristiques typologiques, architecturales ou constructives. L'ensemble de ces résultats, ainsi que l'évolution de l'indicateur sur la période de l'étude sont présentés dans cette partie sous forme de cartographies ou de tableaux récapitulatifs.

Dans un souci de simplification, les cartographies ne sont présentées qu'aux horizons 2020, 2030 et 2050. Les données relatives à l'horizon 2040 peuvent être trouvées dans les tableaux.

1.4. Indicateur n°1 : Nombre de jours de chaleur

1.4.1 Cartographies d'exposition

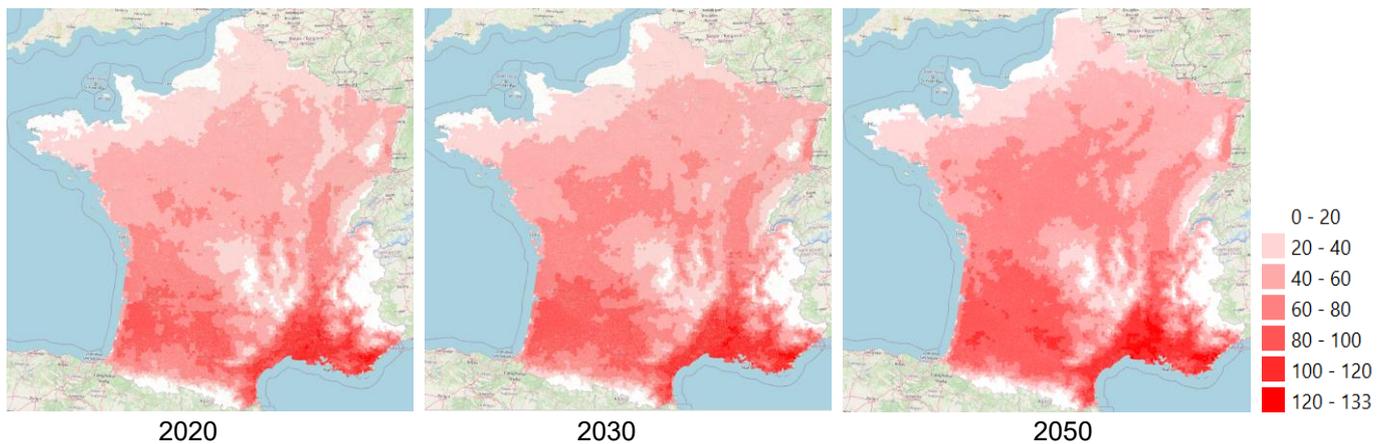


Figure 3 : Nombre de jours où la température maximale dépasse 25°C aux horizons 2020, 2030 et 2050 (moyenné sur les 21 ans)

Si le pourtour méditerranéen connaît déjà des conditions climatiques chaudes avec plus de 100 jours chaud par an, ce nombre devrait continuer à augmenter atteignant pour la quasi-totalité de la région plus de 120 jours soit 4 mois. Les évolutions les plus notables s'observent dans le Sud-Ouest, les régions centrales (hors Massif central) et les départements du Rhin où il devrait être observé dans la majorité des territoires 20 jours chauds par an.

Afin de quantifier l'évolution de l'exposition au jours chauds, il a été décidé de considérer **le nombre de logements exposés à au moins 60 jours chauds par an**. Si cette valeur peut sembler faible pour les régions du Sud où elle est déjà largement dépassée en été actuellement, ce seuil permet de bien quantifier l'exposition dans les zones d'évolutions fortes citées dans le paragraphe précédent qui sont en dehors du Sud-Ouest des régions n'ayant pas l'habitude d'un climat chaud sur une aussi longue durée de 2 mois, répartie très majoritairement entre les mois de mai et septembre.

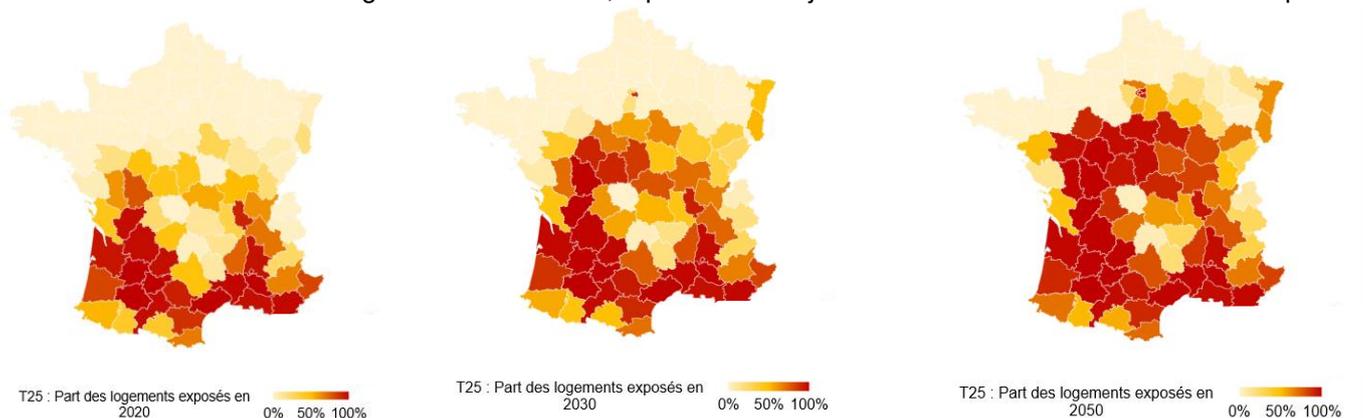


Figure 4 : Part des logements exposés à au moins 60 jours chauds par an par département

Les observations précédentes restent globalement vraies au regard des logements exposés à 60 jours chauds par an. En effet le pourtour méditerranéen et une grande partie du Sud-Ouest sont déjà exposés à un nombre de jours supérieur à 60 jours tandis que **les départements du Centre et de la Bourgogne voient leur part de logements exposés à cet indicateur fortement augmenter entre 2020 et 2050**. **Les départements du Rhin et de l'Île-de-France dont actuellement quasiment aucun logements ne sont actuellement exposés le seront en majorité en 2050 avec 100% de logements exposés à au moins 60 jours** pour lesquelles la température dépasse 25°C à Paris.

1.4.2 Exposition selon les caractéristiques des logements

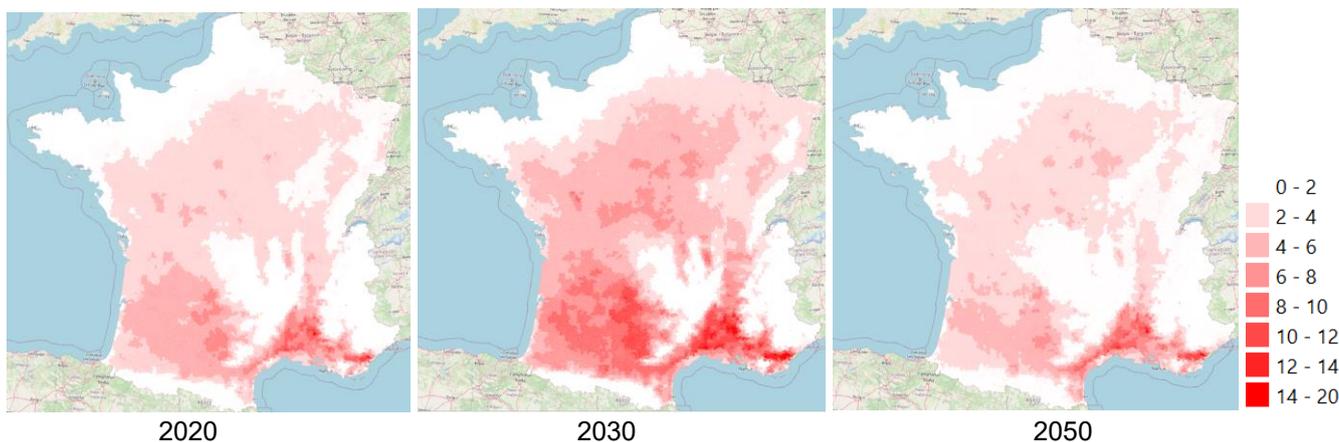
Horizon	2020	2030	2040	2050
Logements par catégorie (en milliers)				
Résidences principales	9 100	12 300 (+36 %)	16 800 (+85 %)	16 700 (+84 %)
Résidences secondaires	1 000	1 200 (+22 %)	1 500 (+46 %)	1 500 (+44 %)
Type de logement				
Appartement	4 300	6 300 (+48 %)	9 000 (+110 %)	8 900 (+109 %)
Maison	5 800	7 300 (+25 %)	9 300 (+60 %)	9 300 (+59 %)
Surface logement				
Moins de 30 m ²	300	600 (+70 %)	900 (+159 %)	900 (+159 %)
De 30 à moins de 80 m ²	3 700	5 300 (+43 %)	7 500 (+101 %)	7 500 (+101 %)
De 80 à moins de 120 m ²	3 500	4 600 (+29 %)	6 000 (+70 %)	6 000 (+69 %)
120 m ² ou plus	1 500	1 900 (+27 %)	2 400 (+63 %)	2 400 (+63 %)
Hors résidence principale	1 000	1 200 (+22 %)	1 500 (+46 %)	1 500 (+44 %)
Période de construction				
Avant 1945	2 100	3 100 (+48 %)	4 200 (+104 %)	4 200 (+103 %)
De 1946 à 1970	2 000	2 700 (+40 %)	3 800 (+94 %)	3 800 (+93 %)
De 1971 à 1990	3 000	3 900 (+31 %)	5 200 (+76 %)	5 200 (+75 %)
De 1991 à 2012	2 600	3 300 (+26 %)	4 300 (+62 %)	4 300 (+62 %)
Après 2012	500	600 (+25 %)	800 (+63 %)	800 (+63 %)
Logements exposés	10 100	13 600 (+35 %)	18 300 (+81 %)	18 200 (+80 %)

Tableau 2 : Nombre de logements (en milliers) exposés à au moins 60 jours chauds par an en fonction de leurs caractéristiques.
Nota ; le % représente l'évolution du nombre de logement en 2030, 2040 ou 2050 par rapport à l'année 2020.

L'exposition à cet indicateur atteint une valeur haute dès l'horizon 2040 pour la période considérée avec **18,2 millions de logements exposés soit 59 % des logements** considérés dans la base ENERTER® (sur 31 millions de logements au total). Si ces logements sont approximativement également répartis entre maisons et appartements, ce sont très majoritairement (92 %) des résidences principales. Presque la moitié des 3,1 millions de résidences secondaires seront concernées dès 2040.

1.5. Indicateur n°2 : Nombre de jours de chaleur extrême

1.5.1 Cartographies d'exposition



Comme cela a pu être décrit plus en avant dans ce rapport, l'évolution du nombre de jours de chaleur extrême aux horizons proches et très proches considérés reste faible et rend cet indicateur très sensible à la variabilité naturelle du climat. En effet, le jeu de données issues des projections climatiques utilisé rend compte d'événements estivaux très chauds en 2032, 2038 et 2042 qui augmentent fortement le nombre de jours extrêmement chauds ces années-là (plus de 35 jours sur les 3 mois d'été pour certaines zones en 2042 et 2032) et font donc augmenter la moyenne sur 21 ans pour les horizons 2030 et 2040. Excepté l'année 2042, aucun événement aussi extrême est simulé sur la période 2040-2060 entraînant un nombre de jours extrêmement chaud moyenné sur la période plus faible.

Il convient de garder en tête le caractère probabiliste des modélisations climatiques, Si elles permettent de prévoir la normale probabiliste du climat futur, l'occurrence des événements extrêmes n'est pas à considérer comme déterminée par de telles simulations. La prévision d'un événement extrême à une date précise n'est pas possible (c'est la différence entre météo et climat) cependant la simulation d'un événement extrême par le modèle (comme celui évoqué en 2042 ici) montre qu'avec les conditions climatiques qui devraient être présentes à cet horizon temporel, ce genre d'événements pourraient être possibles. Pour les événements extrêmes les modèles permettent de mesurer l'évolution de leur fréquence d'apparition et de leur intensité mais pas leur date d'occurrence. Dans le cadre de l'indicateur du nombre de jours de chaleur extrême, on peut donc observer que les projections climatiques utilisées ici ne montrent pas une augmentation marquée de la fréquence d'apparition à l'horizon 2050. Cependant la figure 18 en annexes montre bien que dans un scénario RCP8.5, la fréquence de ces événements devrait fortement augmenter entre le milieu et la fin du siècle.

Afin de présenter la sensibilité de l'évolution temporelle de la part de logements concernés à la valeur seuil de l'indicateur, les parts d'exposition par département à au moins 3 jours, 5 jours et 7 jours extrêmement chauds sont présentées.

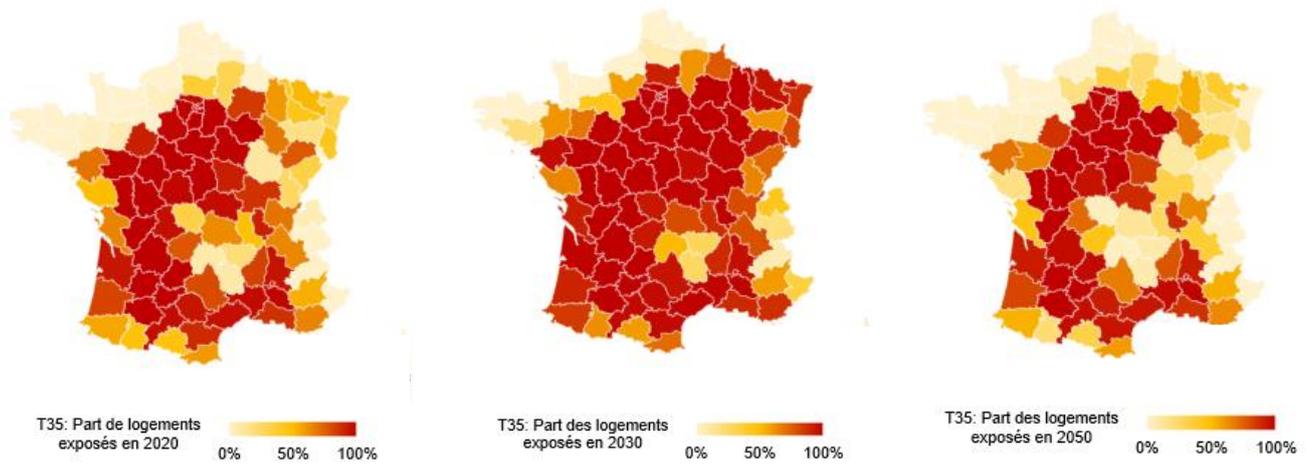


Figure 6 : Part des logements exposés à au moins 3 jours extrêmement chauds par an par département

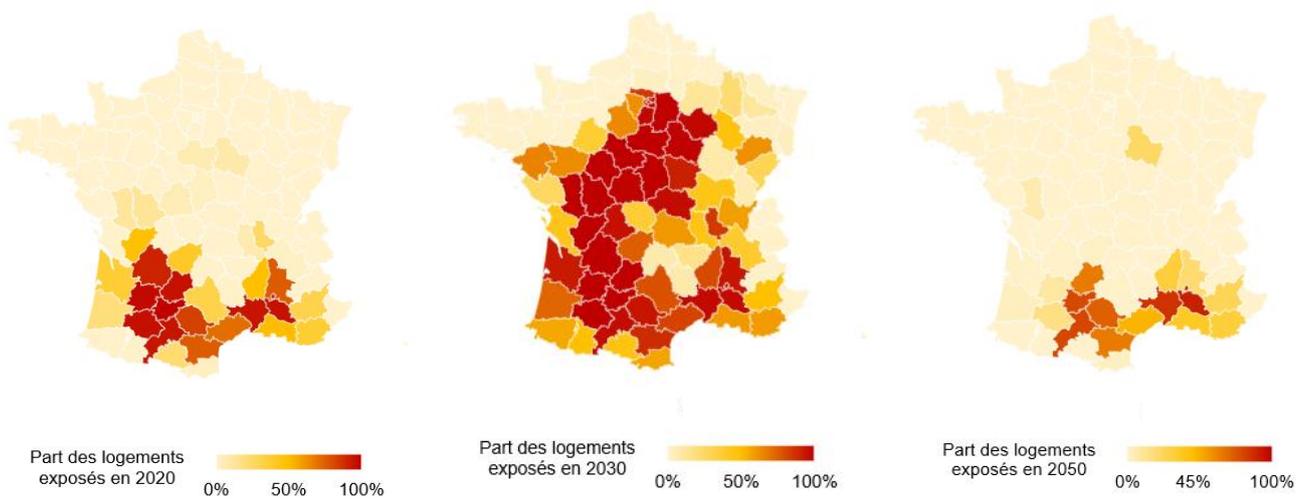


Figure 7 : Part des logements exposés à au moins 5 jours extrêmement chauds par an par département

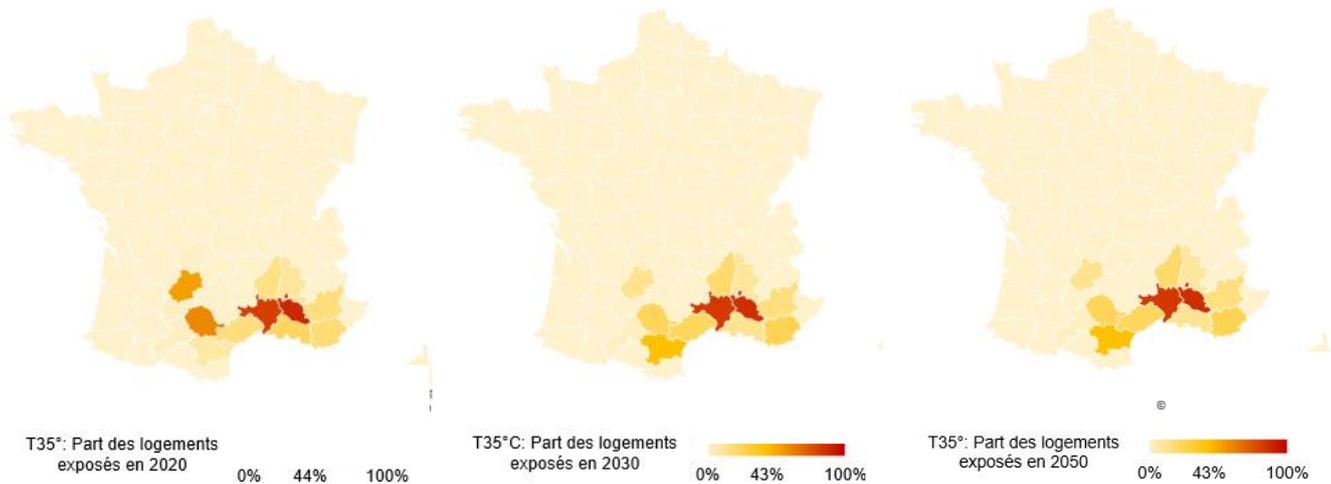


Figure 8 : Part des logements exposés à au moins 7 jours extrêmement chauds par an par département

A l'exception du Nord-ouest et du Massif central, **la majorité des logements est dès à présent concernée par 3 jours à plus de 35°C**. Seul le Sud de la France (respectivement le Sud Est et le Midi) est exposé à au moins 5 jours (respectivement 7 jours) pour lesquels la température dépasse 35°C.

Dans le cas d'événements très chauds comme à l'horizon 2030 modélisé, les régions actuellement concernées par au moins 3 jours en moyenne le seront encore plus avec au moins 5 jours d'exposition à des température de plus de 35°C.

1.5.2 Exposition selon les caractéristiques des logements

Horizon	2020	2030	2040	2050
Logements par catégorie (en milliers)				
Résidences principales	4 200	15 200 (+266 %)	8 900 (+115 %)	4 000 (+-5 %)
Résidences secondaires	400	1 100 (+170 %)	700 (+80 %)	400 (+-4 %)
Type de logement				
Appartement	1 700	7 600 (+360 %)	4 100 (+145 %)	1 700 (+5 %)
Maison	2 900	8 700 (+199 %)	5 600 (+93 %)	2 600 (+-10 %)
Surface logement				
Moins de 30 m ²	100	800 (+452 %)	400 (+161 %)	200 (+10 %)
De 30 à moins de 80 m ²	1 600	6 700 (+320 %)	3 700 (+133 %)	1 600 (+2 %)
De 80 à moins de 120 m ²	1 700	5 500 (+222 %)	3 400 (+101 %)	1 500 (+-9 %)
120 m ² ou plus	700	2 300 (+213 %)	1 400 (+99 %)	600 (+-10 %)
Hors résidence principale	400	1 100 (+170 %)	700 (+80 %)	400 (+-4 %)
Période de construction				
Avant 1945	900	3 900 (+326 %)	2 200 (+138 %)	900 (+-6 %)
De 1946 à 1970	800	3 300 (+314 %)	1 900 (+134 %)	800 (+0 %)
De 1971 à 1990	1 300	4 700 (+248 %)	2 800 (+108 %)	1 300 (+-3 %)
De 1991 à 2012	1 300	3 800 (+197 %)	2 400 (+89 %)	1 200 (+-7 %)
Après 2012	200	700 (+187 %)	400 (+83 %)	200 (+-11 %)
Logements exposés	4 600	16 400 (+257 %)	9 700 (+112 %)	4 400 (+-5 %)

Tableau 3 : Nombre de logements (en milliers) exposés à au moins 5 jours extrêmement chauds par an en fonction de leurs caractéristiques

Nota ; le % représente l'évolution du nombre de logement en 2030, 2040 ou 2050 par rapport à l'année 2020.

Les observations faites précédemment se concrétisent dans les chiffres avec un nombre de logements exposés à 5 jours par an pour lesquels la température extérieure dépasse 35 °C qui explose en 2030 et dans une moindre mesure en 2040 tandis qu'il est quasiment égal à celui de 2020 en 2050. S'il semble compliqué de conclure sur l'évolution du nombre de logements exposés à cet indicateur à partir de ses données, on peut tout de même constater que même sur une moyenne de 21 ans, il est possible que dans un futur proche plus de la moitié des logements soient par période exposés à plus de 5 jours de chaleur extrême par an. Dans ces conditions d'air extérieur, un logement mal adapté peut devenir insalubre à une utilisation pour les populations les plus fragiles.

1.6. Indicateur n°3 : Nombre de jours de vague de chaleur

1.6.1 Cartographies d'exposition

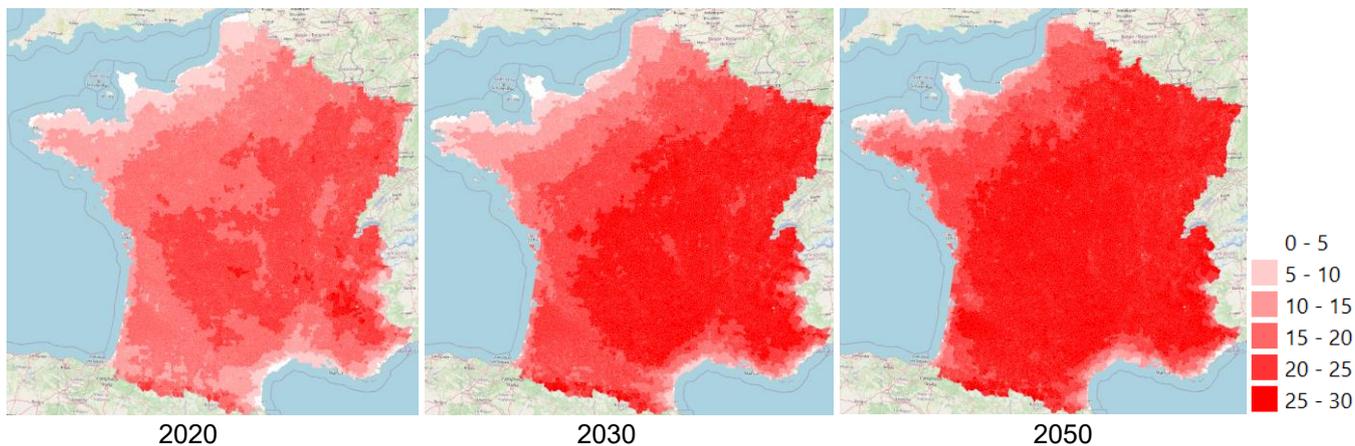


Figure 9 : Nombre de jours de vague de chaleur (moyennée sur les 21 ans)

L'évolution du nombre de vague de chaleurs par an est bien plus explicite que celle des jours très chauds. En effet ce nombre augmente quasiment partout en France métropolitaine entre 2020 et 2050, dépassant les 20 jours par an à l'horizon 2050 sauf sur la côte de la Manche et la côte méditerranéenne.

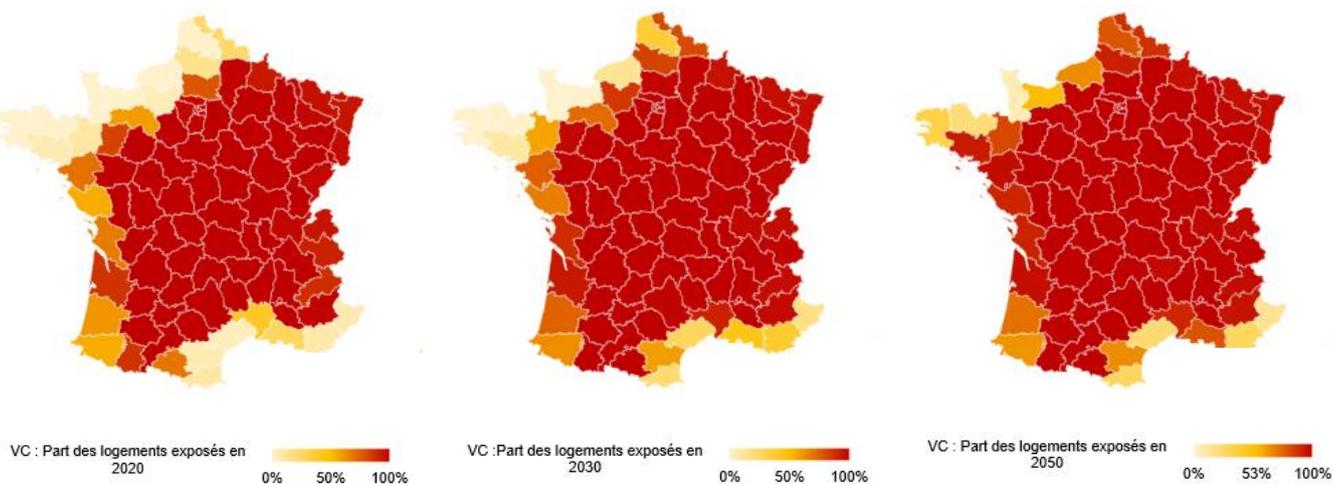


Figure 10 : Part des logements exposés à **au moins 15 jours de vagues de chaleur par an** par département

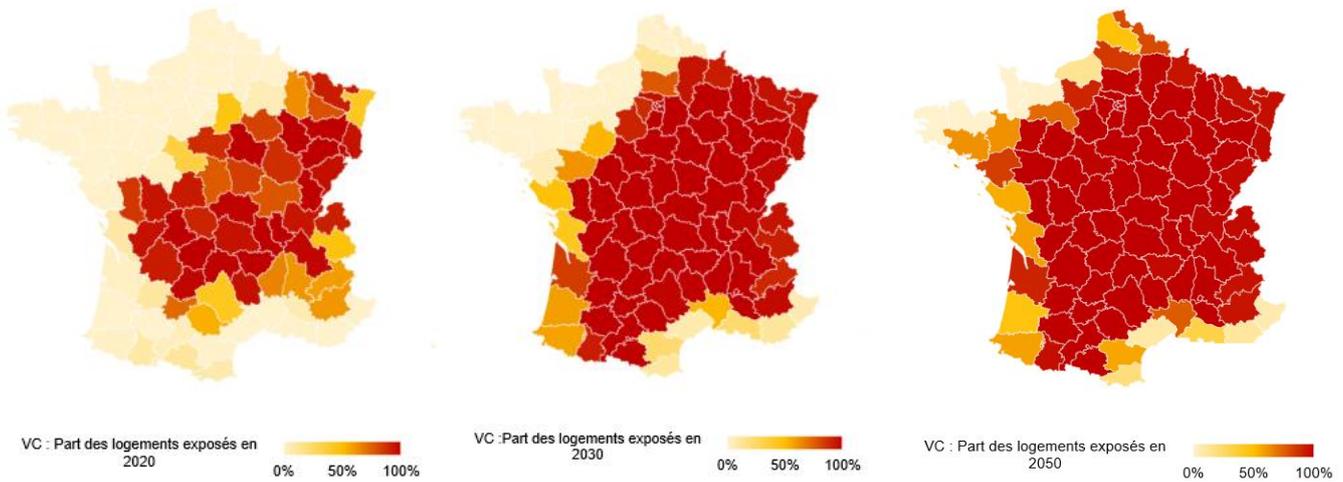


Figure 11 : Part des logements exposés à au moins 20 jours de vagues de chaleur par an par département

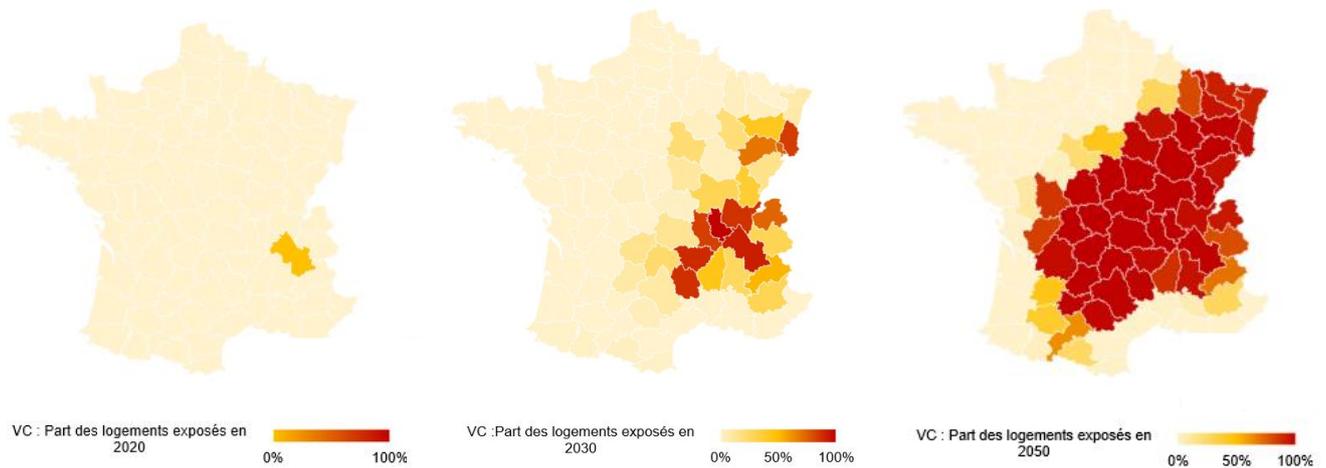


Figure 12 : Part des logements exposés à au moins 30 jours de vagues de chaleur par an par département

L'augmentation de la valeur seuil entre les 3 figures (15 jours, 20 jours puis 30 jours) montre bien l'amplitude actuelle et future de l'indicateur « vague de chaleur ». Si dès aujourd'hui, une majorité des logements sont exposés à au moins 15 jours de vague de chaleur par an, pratiquement aucun logement n'est soumis à plus de 30 jours dans ces conditions. Cette borne supérieure devrait s'effacer progressivement jusqu'en 2050 en commençant par la vallée du Rhône et la région ardéchoise. En 2050, c'est l'ensemble des logements des territoires de la diagonale Sud-Ouest/ Nord Est entre Avignon et Orléans qui seront exposés.

1.6.2 Exposition selon les caractéristiques des logements

Horizon	2020	2030	2040	2050
Logements par catégorie (en milliers)				
Résidences principales	8 400	19 000 (+128 %)	21 500 (+157 %)	22 700 (+171 %)
Résidences secondaires	900	1 700 (+80 %)	1 800 (+92 %)	1 900 (+106 %)
Type de logement				
Appartement	3 500	9 400 (+167 %)	10 100 (+189 %)	10 600 (+203 %)
Maison	5 800	11 300 (+96 %)	13 100 (+127 %)	13 900 (+141 %)
Surface logement				
Moins de 30 m ²	200	900 (+285 %)	1 000 (+323 %)	1 000 (+342 %)
De 30 à moins de 80 m ²	3 100	8 000 (+154 %)	9 000 (+185 %)	9 400 (+201 %)
De 80 à moins de 120 m ²	3 500	7 100 (+105 %)	8 100 (+134 %)	8 600 (+148 %)
120 m ² ou plus	1 500	3 000 (+100 %)	3 400 (+125 %)	3 600 (+137 %)
Hors résidence principale	900	1 700 (+80 %)	1 800 (+92 %)	1 900 (+106 %)
Période de construction				
Avant 1945	2 400	5 200 (+119 %)	5 800 (+146 %)	6 100 (+157 %)
De 1946 à 1970	1 800	4 300 (+134 %)	4 800 (+163 %)	5 000 (+177 %)
De 1971 à 1990	2 600	5 800 (+123 %)	6 500 (+149 %)	6 900 (+164 %)
De 1991 à 2012	2 100	4 700 (+117 %)	5 200 (+145 %)	5 600 (+162 %)
Après 2012	400	800 (+128 %)	900 (+160 %)	1 000 (+176 %)
Logements exposés	9 300	20 700 (+123 %)	23 200 (+150 %)	24 600 (+165 %)

Tableau 4 : Nombre de logements (en milliers) exposés à au moins 20 jours de vague de chaleur par an en fonction de leurs caractéristiques.

Nota ; le % représente l'évolution du nombre de logement en 2030, 2040 ou 2050 par rapport à l'année 2020.

Le nombre de logements exposés à au moins 20 jours de vagues de chaleur dans l'année devrait plus que doubler à un horizon très proche (2030) et représenter ainsi plus des 2 tiers du parc résidentiel français.

1.7. Indicateur n°4 : Nombre de nuits tropicales

1.7.1 Cartographies d'exposition

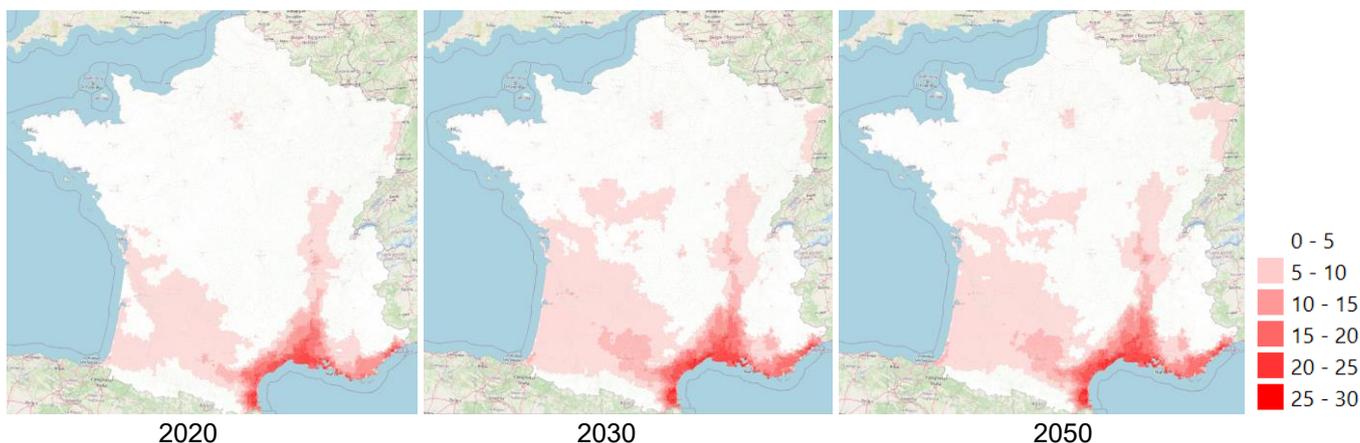


Figure 13 : Nombre de nuits tropicales (moyennée sur les 21 ans)

Actuellement, le phénomène de nuit tropicale ne concerne majoritairement que le Sud-Ouest, le pourtour méditerranéen et la vallée du Rhône. Si l'évolution de cet indicateur à l'horizon 2050 n'est pas très prononcée, **il est néanmoins possible de remarquer une intensification du phénomène dans l'Indre et le Cher ainsi que dans la région parisienne et les départements du Haut et Bas Rhin.**

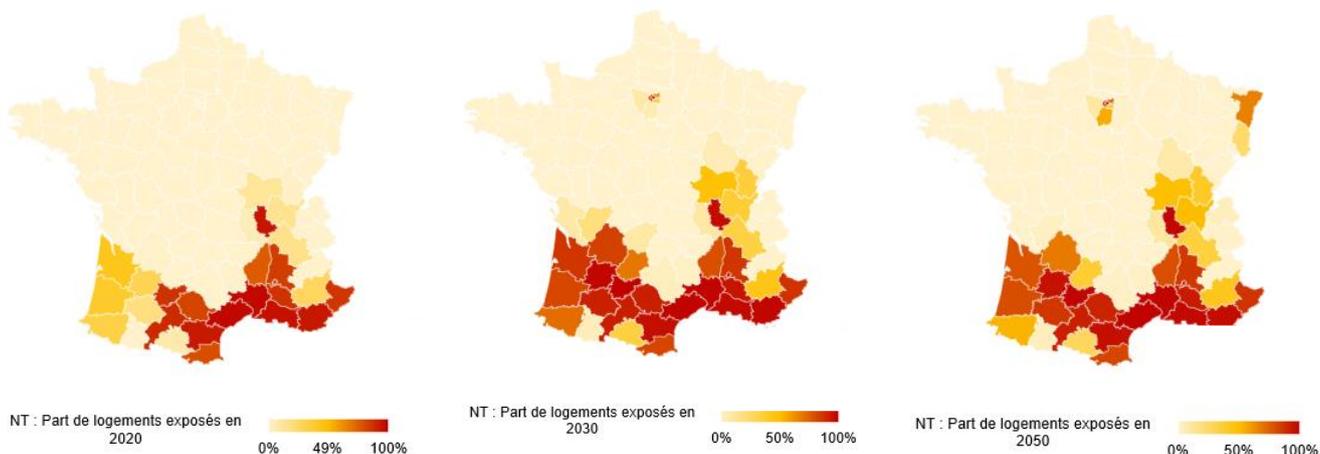


Figure 14 : Part des logements exposés à au moins 15 nuits tropicales par an par département

L'observation précédemment faite reste vraie pour l'exposition à plus de 15 nuits tropicales par an à l'exception des départements du Centre dont les logements ne devraient pas être moins exposés d'ici 2050.

1.7.2 Exposition selon les caractéristiques des logements

Horizon	2020	2030	2040	2050
Logements par catégorie (en milliers)				
Résidences principales	5 800	9 700 (+68 %)	9 900 (+71 %)	10 200 (+77 %)
Résidences secondaires	800	1 100 (+39 %)	1 100 (+39 %)	1 100 (+37 %)
Type de logement				
Appartement	3 300	6 100 (+82 %)	6 300 (+88 %)	6 500 (+95 %)
Maison	3 200	4 700 (+46 %)	4 700 (+46 %)	4 800 (+49 %)
Surface logement				
Moins de 30 m ²	300	700 (+151 %)	700 (+157 %)	700 (+161 %)
De 30 à moins de 80 m ²	2 600	4 600 (+74 %)	4 700 (+79 %)	4 900 (+86 %)
De 80 à moins de 120 m ²	2 100	3 200 (+53 %)	3 200 (+55 %)	3 300 (+61 %)
120 m ² ou plus	800	1 300 (+58 %)	1 300 (+59 %)	1 300 (+65 %)
Hors résidence principale	800	1 100 (+39 %)	1 100 (+39 %)	1 100 (+37 %)
Période de construction				
Avant 1945	1 200	2 500 (+115 %)	2 500 (+117 %)	2 600 (+120 %)
De 1946 à 1970	1 300	2 200 (+69 %)	2 300 (+73 %)	2 400 (+81 %)
De 1971 à 1990	2 000	3 000 (+51 %)	3 100 (+54 %)	3 200 (+60 %)
De 1991 à 2012	1 800	2 600 (+46 %)	2 600 (+48 %)	2 700 (+53 %)
Après 2012	300	500 (+43 %)	500 (+47 %)	500 (+51 %)
Logements exposés	6 600	10 800 (+64 %)	11 000 (+67 %)	11 300 (+72 %)

Tableau 5 : Nombre de logements (en milliers) exposés à au moins 15 nuits tropicales par an en fonction de leurs caractéristiques. Nota ; le % représente l'évolution du nombre de logement en 2030, 2040 ou 2050 par rapport à l'année 2020.

Comme pour les vagues de chaleur, l'exposition des logements aux nuits tropicales devrait augmenter rapidement d'ici 2030 pour atteindre 10,8 millions de logements concernés par au moins 15 nuits où la température ne descend pas en dessous de 20°C par an. Ce chiffre pourrait néanmoins rester stable jusqu'à horizon 2050.

1.8. Exposition actuelle au phénomène d'îlot de chaleur urbain

Cette partie complète les données d'exposition présentées ci-avant en se concentrant sur un phénomène très important dans l'exposition des logements à des conditions thermiques difficiles : l'îlot de chaleur urbain (ICU).

Ce phénomène décrit les différences de températures observées entre une zone urbaine et sa zone rurale limitrophe. Ces différences sont les plus marquées la nuit, où la température diminue fortement par rayonnement et convection dans les zones rurales, tandis qu'elle redescend beaucoup moins dans les zones urbaines, particulièrement lorsqu'elles sont denses. De multiples facteurs influent sur l'intensité du phénomène, mais on peut citer principalement la plus forte inertie thermique des matériaux minéraux très présents en ville (bâtiments, voirie), qui stockent de la chaleur durant la journée puis la relâchent par rayonnement pendant la nuit. Les conditions météorologiques de blocage comme un anticyclone et les reliefs limitant la convection au niveau de la basse atmosphère (de la couche limite atmosphérique plus précisément) sont également des facteurs aggravants⁹.

Le phénomène d'îlot de chaleur est un phénomène de petite échelle pour les modèles climatiques même régionaux (dont la résolution est de 12 km pour celui utilisé dans cette étude) ce qui le rend très difficile à modéliser et donc à prévoir correctement. C'est un thème de recherche actif et si certains travaux basés sur une méthode de descente d'échelle statistique existent¹⁰, à notre connaissance, aucune base de données publiques ne propose de projections climatiques modélisant l'îlot de chaleur urbain.

Cependant, de par son caractère urbain, **ce phénomène concerne au moins 12,9 millions de logements** (voir ci-après) et favorise l'augmentation du nombre de nuits tropicales en limitant la diminution de la température nocturne. L'ICU est un facteur aggravant du risque sanitaire lié à la chaleur¹¹ et il est donc apparu comme primordial d'au moins présenter le nombre de logements actuellement situés dans des zones soumises à ce phénomène.

Afin de déterminer le nombre de logements exposés au phénomène d'îlot de chaleur urbain, nous nous fondons sur les résultats du projet MapUCE¹² du Centre Nationale de Recherche Météorologique (CNRM) qui a parmi de cartographier les **43 plus gros îlots de chaleur en France** (à l'exception de celui de l'agglomération d'Aix-Marseille) et leurs intensités (Figures 15 & 16).

⁹ <https://lejournal.cnrs.fr/articles/comprendre-les-îlots-de-chaleur-urbains>

¹⁰ B Le Roy, A Lemonsu, R Schoetter (2021) A statistical–dynamical downscaling methodology for the urban heat island applied to the EURO-CORDEX ensemble, *Climate Dynamics* (2021) 56:2487–2508 <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05600-z>

¹¹ Infographie -Mieux vivre avec la chaleur en ville, France Santé Publique, 2020

¹² <https://www.umr-cnrm.fr/ville.climat/spip.php?rubrique120>

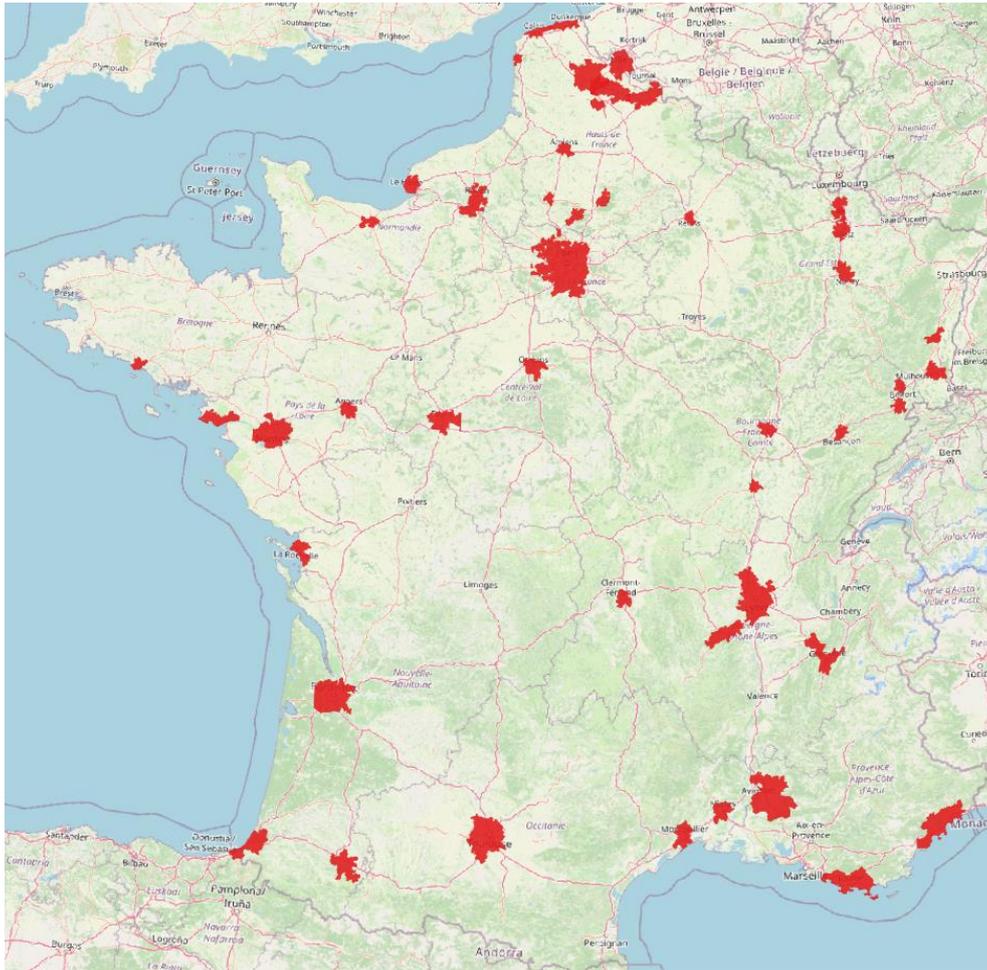


Figure 15 : Cartographie des 43 îlots de chaleur urbains modélisés lors du projet MapUCE (CNRM)

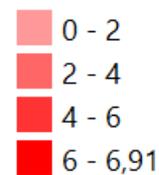
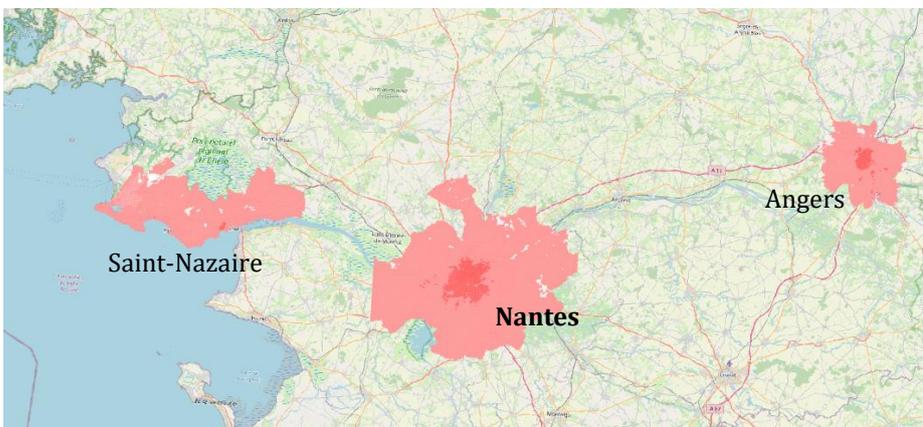
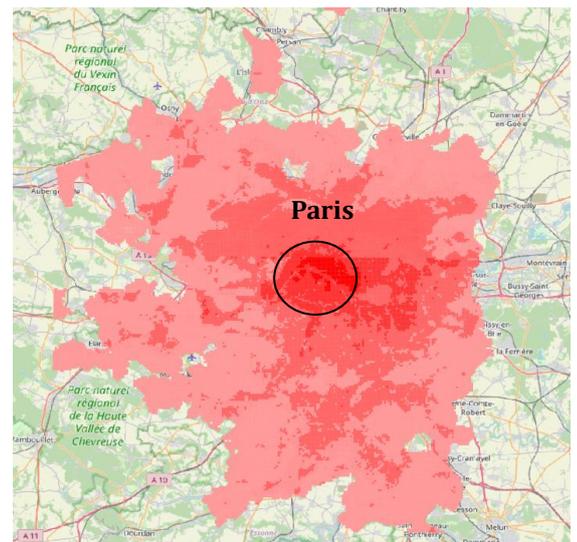
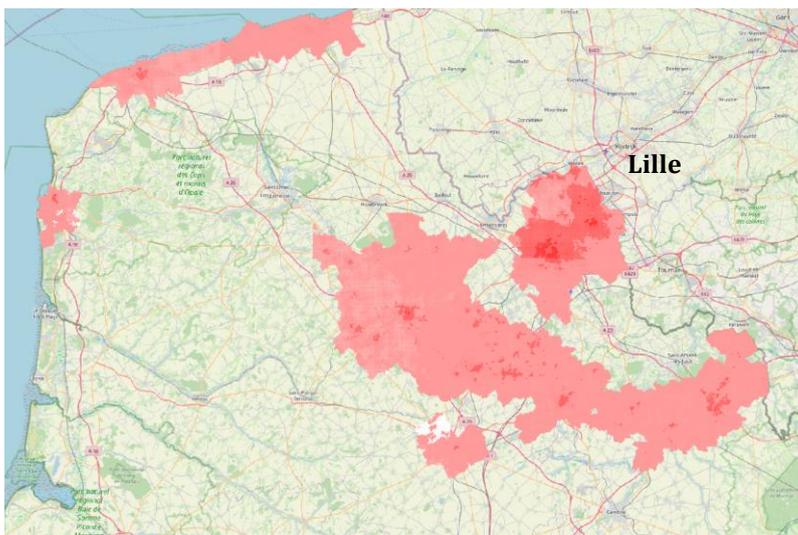


Figure 16 : Différence de température nocturne créée pendant une situation de fort effet d'îlot de chaleur urbain par rapport à une situation sans effet urbain (en °C)

Le croisement des données extraites à partir de ces cartographies avec la base de données des logements ENERTER® a permis d'identifier le nombre de logements soumis à un effet d'îlot de chaleur et de les classer selon l'intensité du phénomène.

Intensité de l'ICU (°C)	0-2	2-4	4-6	≥ 6	Total
Nombre de logements exposés	5 206 800	5 163 203	2 363 369	138 813	12 872 185

Tableau 6 : Nombre de logements exposés au phénomène d'îlot de chaleur urbain selon son intensité

Au total, **12,9 millions de logements sont actuellement situés dans des zones sujettes au phénomène d'îlot de chaleur** urbain. Parmi eux, 7,7 millions de logements sont exposés à une intensité du phénomène de plus de 2 degrés. D'après le tableau 7, si certaines grosses agglomérations comme Bordeaux, Lyon et Paris voient une partie de leurs logements exposée à des intensités supérieures à 4 °C (voir 6 °C pour le centre de Paris), il est intéressant de constater que ce ne sont pas forcément les plus grandes agglomérations qui présentent les îlots de chaleurs les plus intenses. En effet, des villes comme **Mulhouse, Clermont-Ferrand, Metz, Reims sont également concernées par des îlots de chaleur dont l'intensité maximale dépasse 4 °C**. Cela montre l'importance de l'environnement (ces villes sont situées dans les vallées de reliefs importants) sur l'intensité du phénomène.

Intensité de l'ICU (°C)	0-2	2-4	4-6	≥ 6	Totaux
Agglomération					
Amiens	60 149	25 563	-	-	85 712
Angers	70 737	63 880	-	-	134 618
Arras	39 681	6 636	-	-	46 316
Avignon	252 788	5 840	-	-	258 628
Bayonne	136 302	35 946	-	-	172 248
Beauvais	22 620	7 448	-	-	30 067
Belfort	25 864	20 340	-	-	46 204
Besancon	37 587	44 320	-	-	81 907
Bethune	178 215	28 064	-	-	206 279
Bordeaux	196 291	232 007	55 286	-	483 584
Boulogne sur Mer	43 644	8 576	-	-	52 220
Caen	72 976	45 914	-	-	118 889
Calais	38 084	11 896	-	-	49 981
Chalon sur Saone	21 408	23 144	-	-	44 552
Clermont-Ferrand	61 747	69 318	26 465	-	157 531
Colmar	36 546	23 619	-	-	60 165
Compiègne	24 503	18 954	-	-	43 457
Creil	47 572	12 864	-	-	60 436
Dijon	42 877	90 924	-	-	133 801
Douai Lens	189 002	89 489	-	-	278 491
Dunkerque	63 629	25 292	-	-	88 921
Grenoble	117 504	107 857	48 240	-	273 601
La Rochelle	65 161	33 885	-	-	99 046
Le Havre	67 242	48 128	-	-	115 370
Lille	106 912	362 236	6 863	-	476 011
Lorient	44 191	22 884	-	-	67 075
Lyon	203 251	373 079	216 705	-	793 035
Metz	83 103	77 159	1 249	-	161 511
Montbéliard	42 737	15 473	-	-	58 210
Montpellier	238 815	15 054	-	-	253 869
Mulhouse	58 213	55 918	11 829	-	125 960
Nancy	72 404	88 858	-	-	161 262
Nantes	183 819	189 721	-	-	373 540
Nice	468 923	114 312	-	-	583 235
Nîmes	72 883	42 471	-	-	115 353
Orléans	74 801	72 623	-	-	147 424
Paris	412 669	1 861 224	1 946 296	138 813	4 359 002
Pau	64 874	47 485	-	-	112 358
Reims	16 083	62 953	33 512	-	112 548
Rouen	169 170	79 004	-	-	248 173
Saint Etienne	94 497	80 508	16 925	-	191 930
Saint Nazaire	117 595	7 090	-	-	124 686
Thionville	54 504	29 836	-	-	84 340
Toulon	262 908	46 822	-	-	309 731
Toulouse	215 801	315 787	-	-	531 588
Tours	104 011	86 112	-	-	190 123
Valenciennes	132 507	36 689	-	-	169 197
Total	5 206 800	5 163 203	2 363 369	138 813	12 872 185

Tableau 7 : Nombre de logements exposés par ville au phénomène d'îlot de chaleur urbain en fonction de son intensité

5. CONCLUSION

L'analyse des données d'exposition produites grâce au croisement des projections climatiques jusqu'à l'horizon 2050 avec la base des données des logements ENERTER® montre l'augmentation du nombre de jours durant lesquels les conditions climatiques extérieures sont propices à des surchauffes dans les bâtiments non ou mal adaptés. Les régions les plus exposées sont et resteront celles du Sud de la France (Occitanie et Provence-Alpes-Côte-d'Azur), cependant certaines régions actuellement très rarement sujettes à l'accumulation de jours chauds seront de plus en plus exposées. C'est le cas du Centre Val de Loire, de la Bourgogne-Franche-Comté, mais également de l'Île-de-France et du Grand-Est. Les logements situés dans ces territoires sont historiquement moins adaptés à ces conditions torrides et seront donc plus vulnérables. Le recours à la climatisation dans les logements est la solution la plus répandue actuellement. Cependant en plus d'une consommation énergétique accrue, avec au moins 12,8 millions de logements situés dans une zone soumise aux phénomènes d'îlot de chaleur urbain en France métropolitaine, le réchauffement de l'air extérieur lié à l'usage de la climatisation pourrait avoir de fortes conséquences. En effet, en Île-de-France, l'utilisation généralisée de climatiseurs pourrait entraîner une surélévation comprise entre 2 et 3 °C de la température extérieure en cas de vague de chaleur en fonction de l'intensité de l'événement climatique.¹³ Il convient donc de privilégier l'adaptation passive des logements afin de leur permettre d'éviter la surchauffe, de conserver la fraîcheur et d'optimiser leur rafraîchissement.

¹³ Vincent Viguié et al 2020 Environ. Res. Lett. 15 075006

6. ANNEXE : DESCRIPTION DES INDICATEURS

Indicateur n°1 : Nombre de jours chauds

Le premier indicateur utilisé évalue (pour chaque point de la grille du modèle) le nombre de jours dans l'année pour lesquels la température extérieure dépasse 25 °C à un moment de la journée. Ces jours ne sont pas forcément consécutifs. L'intérêt de cet indicateur tient à ce que la température seuil est proche de celle de la consigne de climatisation, fixée à 26 °C en France par le décret du 19 mars 2007¹⁴ (pas d'indicateur disponible avec cette valeur). Ce nombre de jours chauds permet donc de représenter le nombre de jours pour lesquels un logement équipé d'une climatisation pourrait présenter des consommations de froid si celui-ci ne dispose pas de systèmes de protection ou de régulation.

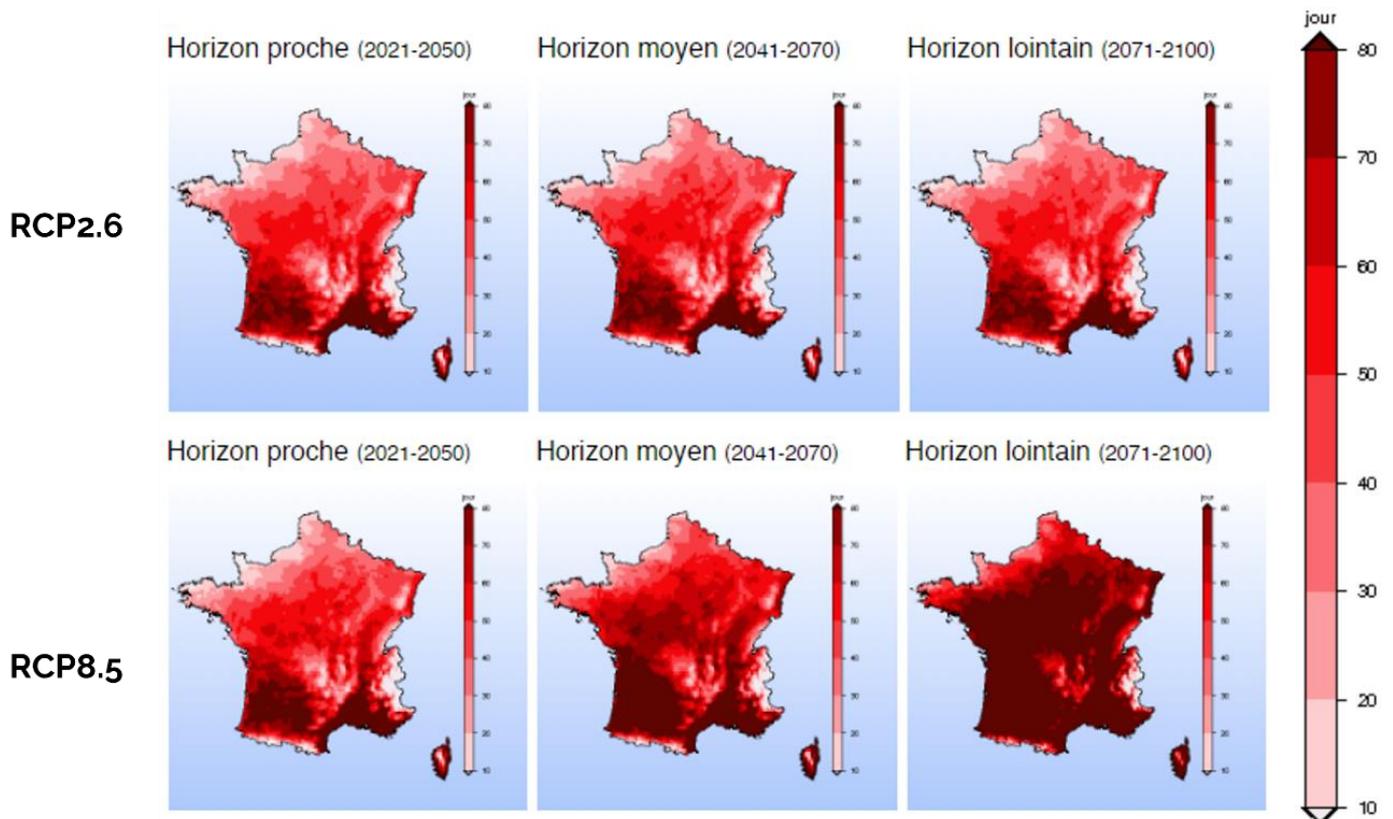


Figure 17 : Evolution du nombre de jours chauds en fonction de l'horizon temporel et du scénario RCP choisi pour la médiane de l'ensemble des modèles étudiés. (Source : DRIAS les futurs du climat)

Les cartographies de la figure 18 sont issues de l'espace Découverte de la plateforme DRIAS et représentent l'évolution du nombre de jours chauds en fonction du scénario RCP (2.6 ou 8.5) aux 3 horizons temporels disponibles :

- Horizon proche (2021-2050)
- Horizon moyen (2041-2070)
- Horizon lointain (2071-2100)

¹⁴ Décret n° 2007-363 du 19 mars 2007 relatif aux études de faisabilité des approvisionnements en énergie, aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants et à l'affichage du diagnostic de performance énergétique.

A partir de ces projections, on peut observer certaines tendances pour cet indicateur :

- Le pourtour méditerranéen et le Sud-Ouest sont globalement déjà concernés par plus de 70 jours chauds par an à horizon proche, indépendamment du scénario RCP.
- Pour les horizons moyens et lointains, le scénario RCP2.6 produit des résultats voisins de ceux à horizon proche. Cela traduit une faible évolution de cet indicateur dans ce scénario. Ce n'est pas le cas pour un scénario plus pessimiste pour lequel une généralisation des valeurs observées pour le Sud actuellement à la quasi-globalité de la France hors de la côte de la Manche et des grands massifs montagneux est observé au cours du siècle.

Il est intéressant pour la suite de remarquer un point, par ailleurs constant pour les 3 indicateurs suivants : à horizon proche, les deux scénarios conduisent à des résultats sensiblement identiques.

Indicateur n°2 : Nombre de jours extrêmement chauds

Le second indicateur utilisé dans cette étude est le nombre de jours extrêmement chauds pour lesquels la température extérieure maximale simulée dépasse 35 °C. Ce nombre est calculé pour l'année et ne prend pas en compte la succession ou non de ces jours. Cet indicateur fait état de conditions extrêmes face auxquelles les bâtiments non ou mal adaptés pourront créer des surchauffes importantes dans les logements et des conditions thermiques très difficiles pour les habitants les plus fragiles.

Le caractère extrême de cet indicateur conduit à des valeurs assez faibles notamment à horizon proche et limite l'importance de son évolution notamment pour les scénarios les plus optimistes comme on peut l'observer sur la figure 18 suivante.

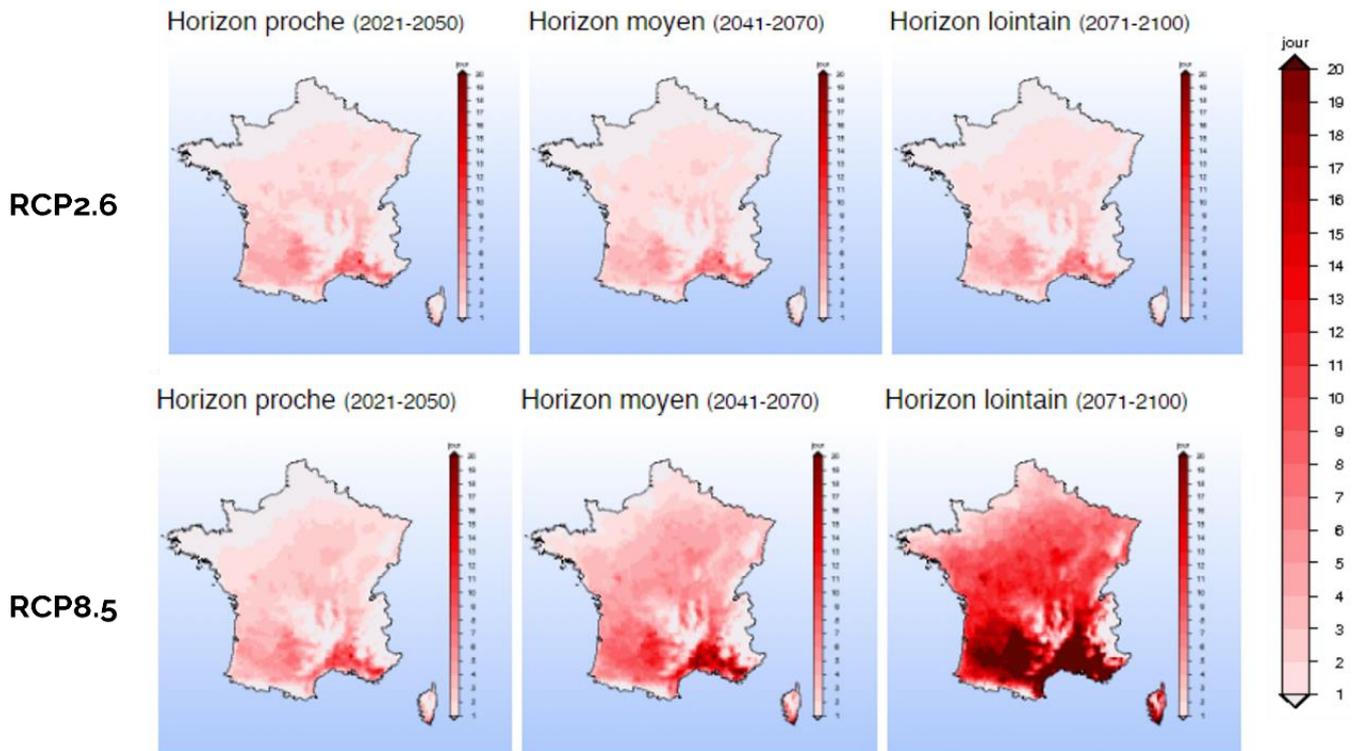


Figure 18 : Evolution du nombre de jours extrêmement chauds ($T_{max} \geq 35^{\circ}C$) en fonction de l'horizon temporel et du scénario RCP choisi pour la médiane de l'ensemble des modèles étudiés. (Source : DRIAS les futurs du climat)

La figure 18 présente, pour le nombre de jours extrêmes chauds, des cartographies équivalentes à celles de la figure 17 avec les mêmes horizons et scénarios.

On peut également y observer certaines tendances en fonctions des scénarios :

- Pour le scénario RCP2.6, le nombre de jours varie très peu sur l'ensemble du siècle (et avec même plutôt une baisse entre l'horizon proche et moyen qui peut notamment s'expliquer par la sensibilité de cet indicateur à la variabilité climatique voir partie 4.2).
- Pour le scénario RCP8.5, certains territoires du Sud de la France pourront être exposés d'ici la fin du siècle à plus de 20 jours (45 au maximum dans le Var) pour lesquels la température dépasse 35 °C, aux trois-quarts répartis sur les mois de juillet et août¹⁵. Les départements du Centre et de l'Est de la France seront eux exposés à une quinzaine de jours dans l'année alors qu'en moyenne, ces conditions seraient à l'horizon proche de moins de 5 jours.

Indicateur n°3 : Nombre de jours de vague de chaleur

L'indicateur concernant les jours de vague de chaleur compte le nombre de jours exceptionnellement chauds (+ 5 °C) par rapport à un climat de référence (période 1976-2005) lorsque que ces jours se succèdent sur une séquence d'au moins 5 jours.

Cette définition se traduit ainsi sous forme de formule :

Nombre de jours où $T_{xi} \geq TXR_i + 5^{\circ}C$ dans une séquence de plus de 5 jours consécutifs

Avec T_{xi} , la température maximale quotidienne et TXR_i , la température maximale quotidienne de référence calculée sur la période de référence (1976-2005).

Cet indicateur ne se définit pas autour d'une valeur seuil comme les deux précédents, mais par rapport à une situation de référence. Son augmentation permet donc de bien montrer le changement des conditions climatiques par rapport à la situation de référence. De plus, la notion de durée intégrée à sa définition (succession d'au moins 5 jours pour que les jours de vagues de chaleur soient comptabilisés) réduit la sensibilité de l'indicateur à la variabilité climatique et aux biais de simulation. En effet, seuls les phénomènes d'une certaine importance temporelle sont pris en compte ce qui élimine les pics de chaleurs plus variables. Il est à noter que pour les zones de relief dépassant 1000 m², cet indicateur n'est pas considéré pertinent par la DRIAS¹⁶. Cependant, la densité de logements dans ces territoires est très faible ce qui limite l'impact sur les résultats de l'étude proposée. Les Alpes et les Pyrénées ne seront cependant pas considérés dans les observations qui suivent.

La définition de l'indicateur basée sur une anomalie de température ne se concentre donc pas sur des températures de référence déjà chaudes : un événement anormalement chaud avec +5 °C par rapport à une température de référence de 10 °C sera comptabilisé alors que la température extérieure simulée ne sera finalement que de 15 °C. Cependant l'étude de l'évolution mensuelle des nombres de jours de vague de chaleur selon les horizons proche, moyen et lointain montre une forte prépondérance du nombre de jours de vague de chaleur entre juillet et septembre.

¹⁵ D'après les cartographies mensuelles disponibles sur le site DRIAS *les futurs du climat*

¹⁶ Les nouvelles projections climatiques de référence DRIAS 2020 pour la métropole, DRIAS *les futurs du climat*, Rapport 2020

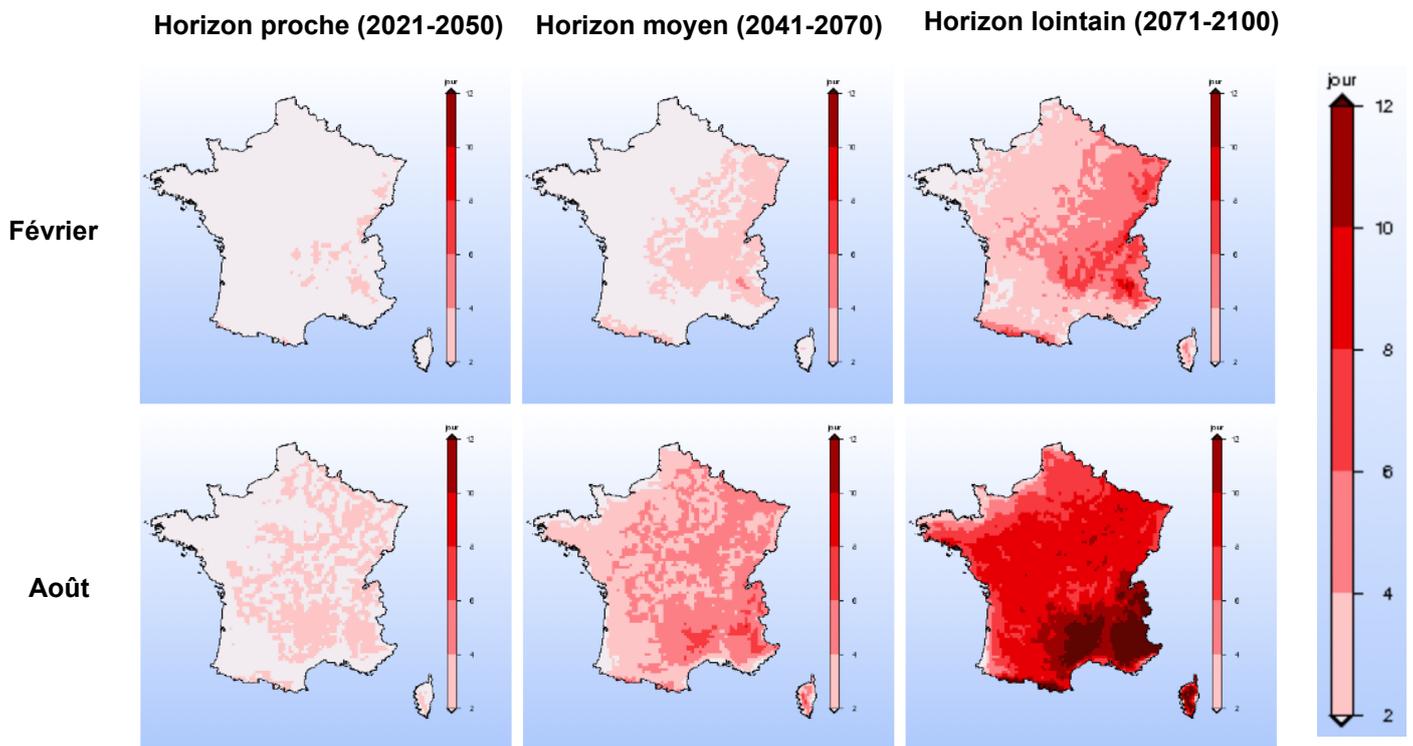


Figure 19 : Nombre de jours de vague de chaleur en février et en août selon l'horizon temporel dans un scénario RCP8.5 Médiane des modèles étudiés dans le cadre du projet Drias^{les futurs du climat}. (Source : Drias^{les futurs du climat})

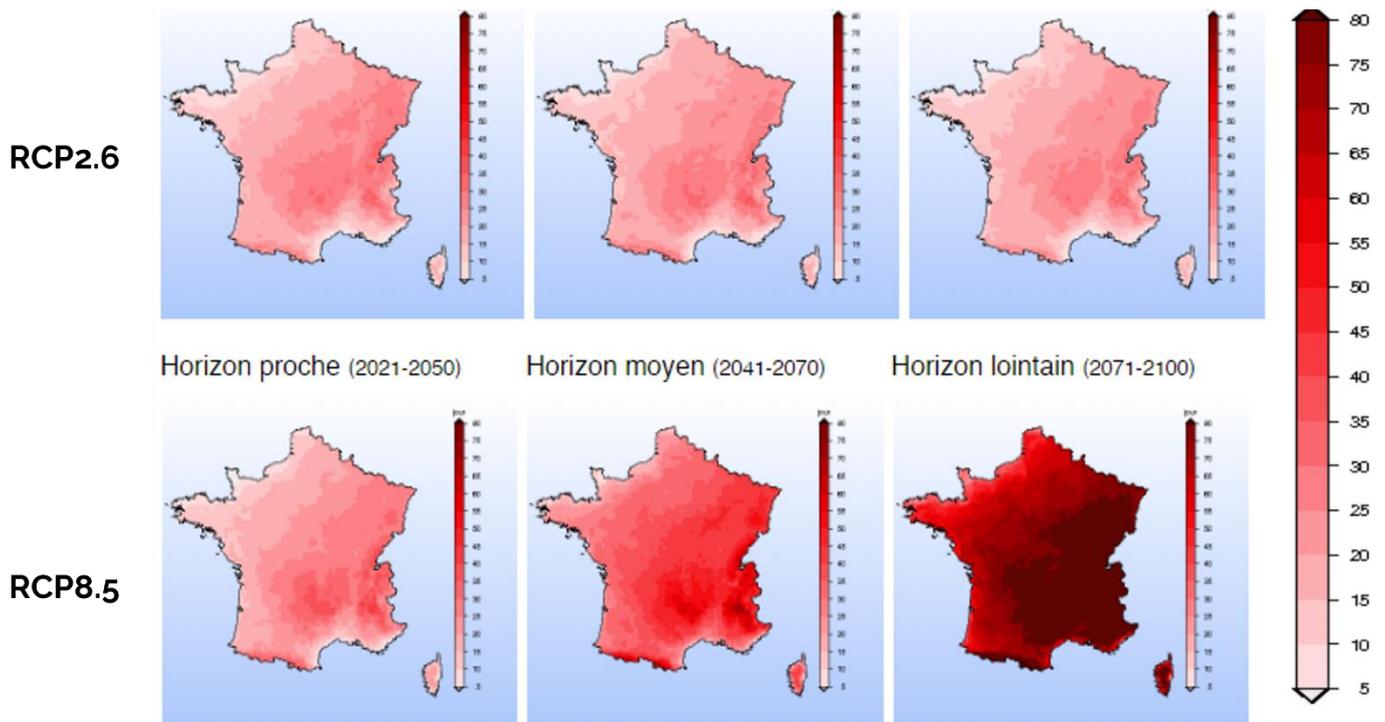


Figure 20 : Evolution du nombre de vagues de chaleur en fonction l'horizon temporel et du scénario RCP choisi. Médiane de

l'ensemble des modèles étudiés. (Source : DRIAS les futurs du climat)

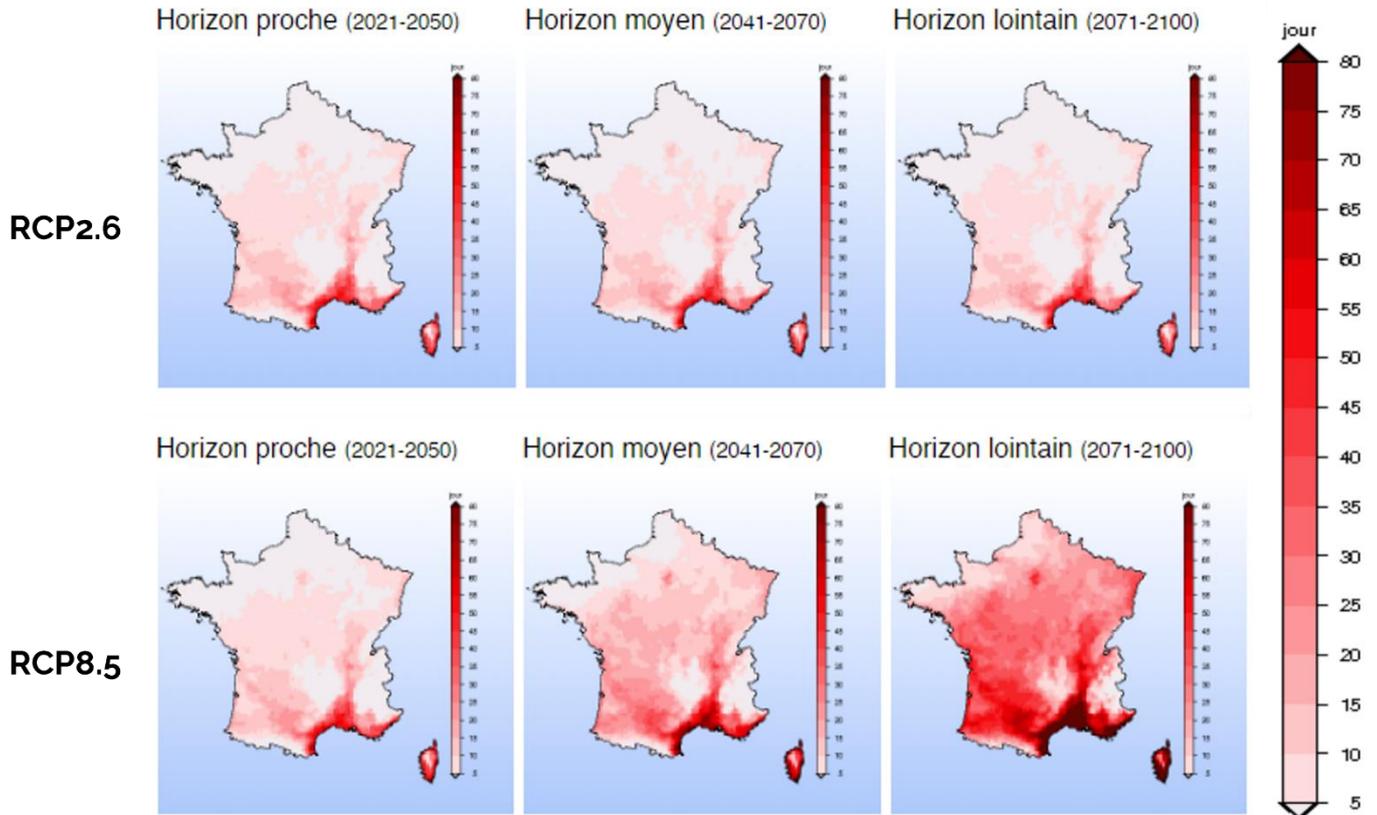
En-dehors des régions de fortes altitudes, les régions les plus concernées sont à horizon très proche, les zones autour des massifs montagneux (Massif central et Sud des Alpes) ainsi que l'Est. Dans un scénario RCP 8.5, c'est quasiment l'ensemble du territoire métropolitain qui serait concerné par au moins 20 jours de vague de chaleur à horizon moyen tandis qu'à la fin du siècle, la moitié orientale (hors des départements les plus au nord) de la France ainsi que les Pyrénées et le Massif central seraient concernés par plus de 80 jours de vague de chaleur par an.

On remarque qu'à l'inverse des autres indicateurs, la zone côtière (< 20 km de la côte) du pourtour méditerranéen est moins exposée que ses territoires limitrophes. Cela peut s'expliquer par une température de référence déjà importante une amplitude des températures limitée par les conditions côtières et des événements limités de courtes durées (inférieures à 5 jours) notamment par les phénomènes de vent important dans la région.

Indicateur n°4 : Nombre de nuits tropicales

L'indicateur du nombre de nuits tropicales est un bon complément à celui des vagues de chaleur, car il est caractéristique d'événements caniculaires. En effet, un jour de nuit tropicale est un jour durant lequel la température extérieure ne descend pas en dessous de 20 °C même aux heures nocturnes les plus fraîches (juste avant le lever du soleil). Ce phénomène est lié à une température de l'air qui ne se décharge pas assez à la suite d'une journée très chaude, principalement à cause de l'importance de la chaleur stockée par les surfaces minérales qui rayonnent durant la nuit et des conditions atmosphériques qui ne favorisent pas la convection de la masse d'air chaude surfacique. Cet indicateur est donc très lié et sensible au phénomène d'îlot de chaleur (voir partie 4.5) conséquence des 2 derniers critères dans les zones urbaines.

Cet indicateur est très regardé pour les enjeux sanitaires. En effet, le fait que la température ne redescende pas la nuit perturbe le sommeil et la récupération des organismes. Cumulée avec une longue période de canicule durant laquelle la température diurne est très élevée, ces conditions augmentent les risques de déshydratation et d'accidents cardiovasculaires notamment chez les publics les plus fragiles : personnes âgées, femmes enceintes et enfants en bas âge.



Le pourtour méditerranéen est la région la plus exposée à horizon proche du fait d'un climat déjà chaud. Le Sud-Ouest est également une zone concernée et dont l'exposition augmentera fortement dans un scénario RCP8.5. La région parisienne, dont le phénomène d'îlot de chaleur est important et spatialement très étendu ressort également comme une région exposée. Dans un scénario RCP 8.5, d'ici la fin du siècle c'est l'ensemble du territoire métropolitain qui est concerné, à l'exception des zones de fort relief et de la côte de la Manche.