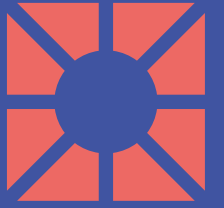


CHANGEMENT CLIMATIQUE ET ADAPTATION



SUR LE PÉRIMÈTRE DE
LA MÉTROPOLE DU GRAND PARIS



SOMMAIRE

AVANT-PROPOS

PAGE 4



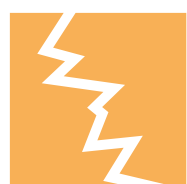
CHALEUR

PAGE 5



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS

PAGE 10

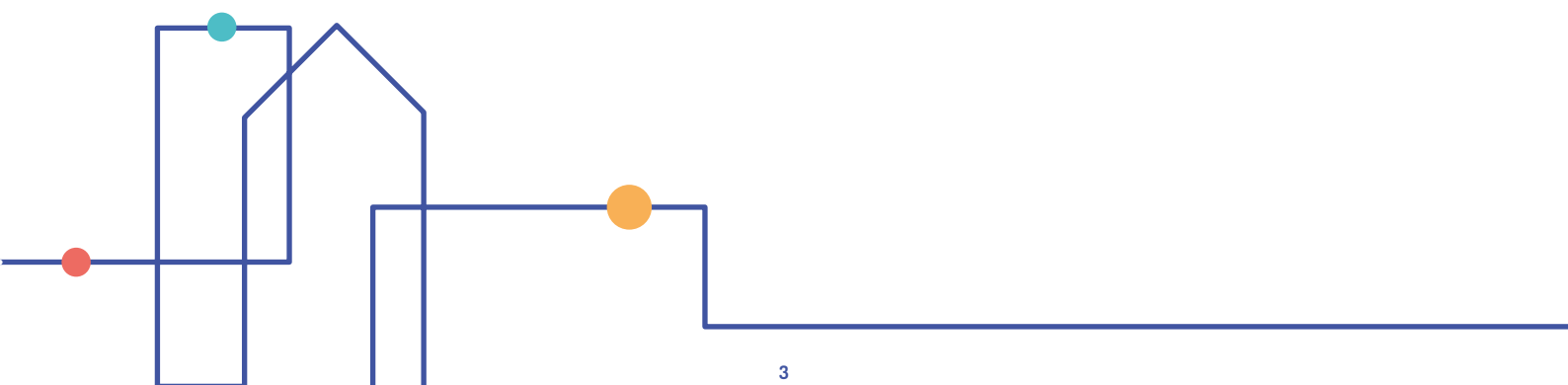


SÉCHERESSES

PAGE 12

POUR ALLER PLUS LOIN

PAGE 15



AVANT-PROPOS

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE : UNE RÉALITÉ QUI S'AGGRAVERA

Les données de la station Paris-Montsouris, au cœur du périmètre métropolitain, montrent que le changement climatique est déjà bien réel. Le climat actuel (2000-2019) y est plus chaud de 2,3 °C par rapport à la période préindustrielle (1873-1902), et d'environ 0,7 °C par rapport à la période de référence (1976-2005).

Les 7 années les plus chaudes depuis 1900 ont été relevées entre 2011 et 2020 – année la plus chaude jamais enregistrée. Bien que plus fraîche que celles qui l'ont précédée, 2021 était la huitième année consécutive au-dessus de la normale. Alors que les émissions mondiales de gaz à effet de serre continuent d'augmenter, cette tendance devrait se poursuivre. D'après le dernier rapport du GIEC, les politiques en œuvre dans le monde pourraient nous mener, d'ici la fin du siècle, vers un réchauffement global de 3,5 °C par rapport à la période préindustrielle.

LA MÉTROPOLÉ DU GRAND PARIS : UN TERRITOIRE VULNÉRABLE AUX CANICULES, INONDATIONS ET SÉCHERESSES

La Métropole du Grand Paris n'échappe pas aux effets du changement climatique. Les canicules récentes ont montré qu'elle y était particulièrement vulnérable, avec des conséquences sanitaires dramatiques, surtout pour les personnes âgées et les populations précaires, d'autant plus que la température y est plus élevée que dans le reste de l'Île-de-France. Traversée par la Seine et ses affluents, elle est exposée au risque accru de larges inondations qui pourraient la paralyser. L'intensification et la multiplication des sécheresses mettraient en danger l'agriculture mais aussi certains bâtiments. Le contenu de cette brochure suit ces principaux aléas

afin de présenter leurs évolutions futures, d'expliquer comment ils affecteraient la Métropole du Grand Paris et comment se prémunir de leurs effets.

ANTICIPER LE CLIMAT FUTUR POUR S'Y PRÉPARER

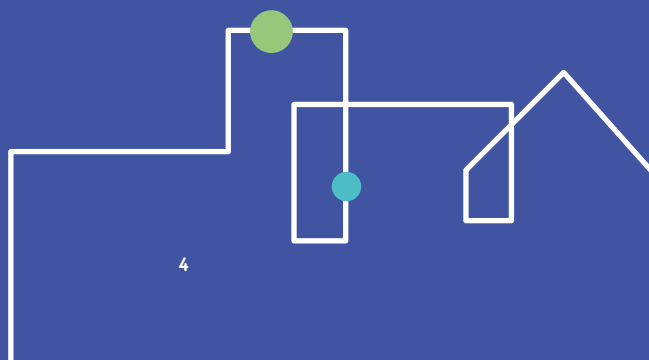
Pour simuler le climat de demain, les scientifiques reproduisent, grâce à des outils de modélisation, le fonctionnement du système climatique et ses réponses à différents scénarios, reflets des évolutions possibles de nos sociétés. Ces scénarios sont associés à des trajectoires d'évolution des émissions de gaz à effet de serre dont dépendra l'intensité des changements climatiques à venir. Cette brochure illustre l'évolution du climat futur sur le périmètre de la Métropole du Grand Paris selon 2 scénarios, l'un correspondant à un niveau d'émissions intermédiaires, l'autre à des émissions fortes. Pour chaque scénario, les changements attendus sont présentés sous la forme de fourchettes, pour tenir compte de l'incertitude associée à la modélisation climatique.

Dans une perspective d'adaptation au changement climatique, il est important de considérer l'ensemble des conséquences possibles du changement climatique. Selon les domaines d'activité, il faudra parfois se préparer aux projections les plus pessimistes. L'écart entre les 2 scénarios, particulièrement marqué en fin de siècle, souligne aussi l'importance de réduire le plus rapidement et le plus largement possible nos émissions de gaz à effet de serre, au risque de rendre l'adaptation très difficile.

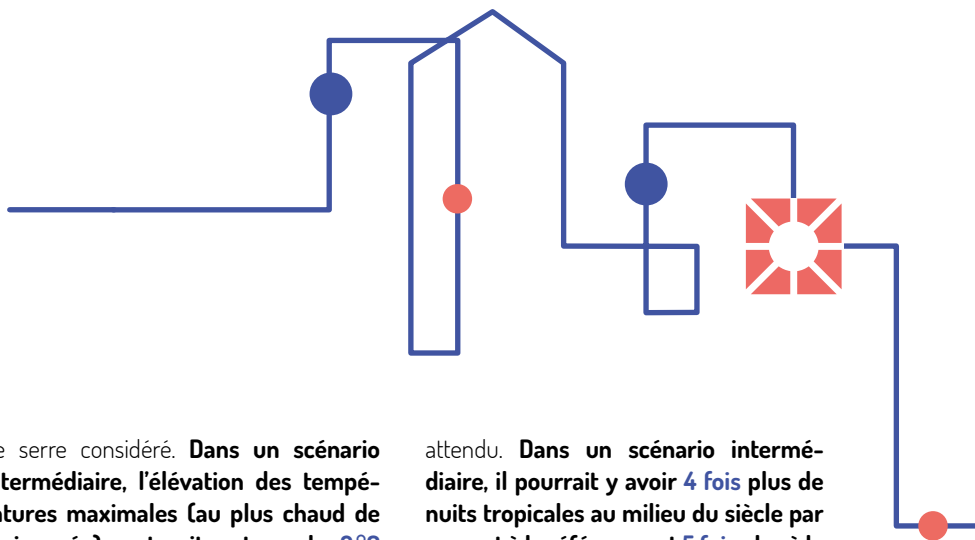
BIEN S'ADAPTER DÈS MAINTENANT

Pour chaque aléa, les principales pistes d'adaptation à l'échelle du périmètre de la Métropole du Grand Paris sont listées, et 2 exemples concrets sont mentionnés. Pour être efficaces, les mesures d'adaptation doivent être mises en place dans des contextes appropriés, prenant en compte un ensemble de contraintes : espace, ressources (eau, énergie, matériaux...), coûts d'investissement et d'entretien... On trouve de nombreuses « solutions fondées sur la nature », consistant à protéger ou restaurer des écosystèmes naturels, avec des retours positifs sur la biodiversité, qui sont à favoriser là où cela est possible. Certaines solutions misent sur des changements de comportement et une sensibilisation aux risques. Les solutions plus techniques, parfois nécessaires, doivent être maniées avec précaution, en privilégiant les plus sobres et les plus simples. Attention à celles qui s'apparentent à de la « maladaptation », c'est-à-dire qui aggravent le changement climatique et/ou ses impacts, par exemple en émettant des gaz à effet de serre ou en augmentant la vulnérabilité de certaines populations. Plus largement, les stratégies d'adaptation doivent considérer l'aspect social de la vulnérabilité au changement climatique, et gagnent à impliquer les citoyen·nes dans la prise de décision et la mise en œuvre de solutions.

Par ailleurs, la Ville de Paris a publié en 2021 l'étude « Paris face au changement climatique ». Ce diagnostic de robustesse et de vulnérabilité des systèmes urbains s'appuie sur des projections climatiques et analyse les grands risques environnementaux, sociaux et économiques auxquels son territoire pourrait faire face.



CHALEUR



UN CLIMAT QUI SE RÉCHAUFFE

Les projections montrent que le réchauffement climatique, déjà visible sur le périmètre de la Métropole du Grand Paris, devrait se poursuivre. Par rapport à la période de référence (1976-2005), les températures moyennes pourraient augmenter de 1°C dès les prochaines décennies, et de 2°C dès le milieu du siècle.

Sur la seconde moitié du XXI^e siècle, le réchauffement diffère significativement selon le scénario d'émission de gaz à effet

de serre considéré. **Dans un scénario intermédiaire, l'élévation des températures maximales (au plus chaud de la journée) resterait autour de 2°C jusqu'à la fin du siècle. Dans un scénario d'émissions fortes, elles pourraient atteindre 4,6 °C à la fin du siècle.**

Les projections montrent également une augmentation du nombre de journées chaudes (température diurne dépassant les 25 °C) et de nuits tropicales (température nocturne ne passant pas sous les 20 °C), en lien avec le réchauffement

attendu. **Dans un scénario intermédiaire, il pourrait y avoir 4 fois plus de nuits tropicales au milieu du siècle par rapport à la référence, et 5 fois plus à la fin du siècle – 9 fois plus dans un scénario d'émissions fortes.** Le nombre de journées chaudes pourrait s'approcher de **3 mois** complets par an dès le milieu du siècle, contre **1,5 mois** dans la période de référence, même avec un niveau d'émissions intermédiaires.

Scénario intermédiaire en émissions de gaz à effet de serre :

INDICATEURS	RÉFÉRENCE (1976-2005)	HORIZON PROCHE (2021-2050)	HORIZON MOYEN (2041-2070)	HORIZON LOINTAIN (2071-2100)
Températures moyennes	12,3 °C	12,9 à 13,8 °C	13 à 14,4 °C	13,7 à 14,9 °C
Températures maximales	15,4 °C	15,9 à 17 °C	16 à 17,7 °C	16,8 à 18,1 °C
Nombre de jours chauds par an	43	46 à 68	47 à 82	54 à 85
Nombre de nuits tropicales par an	7	9 à 20	12 à 30	13 à 35

Scénario à fortes émissions de gaz à effet de serre :

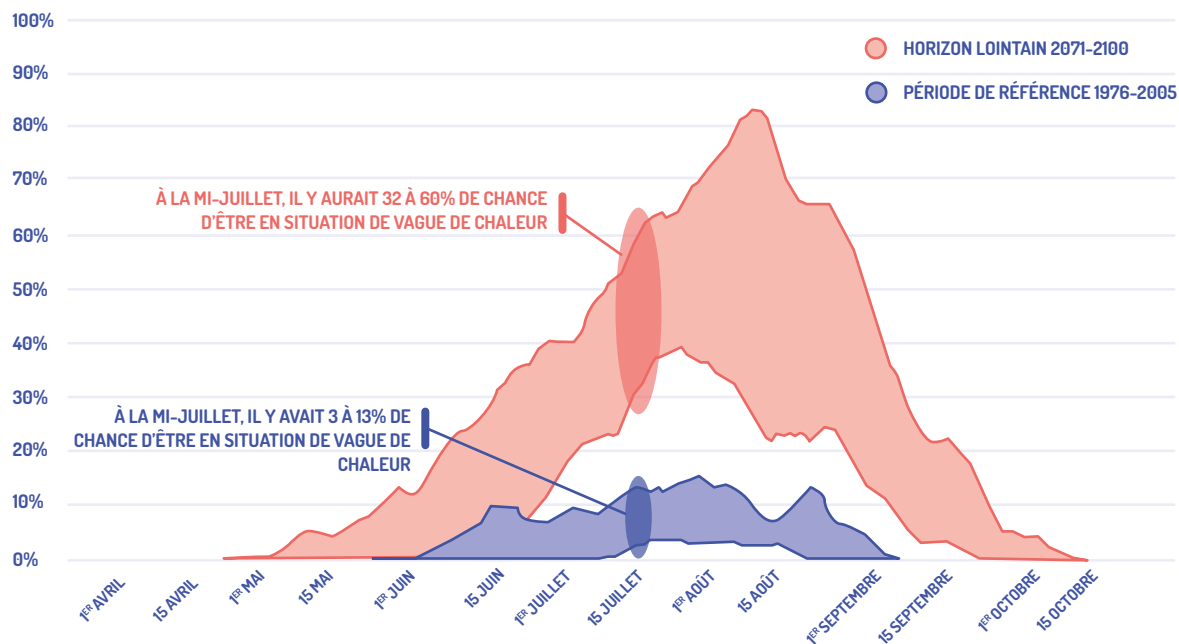
INDICATEURS	RÉFÉRENCE (1976-2005)	HORIZON PROCHE (2021-2050)	HORIZON MOYEN (2041-2070)	HORIZON LOINTAIN (2071-2100)
Températures moyennes	12,3 °C	13 à 14 °C	13,8 à 14,9 °C	15 à 16,6 °C
Températures maximales	15,4 °C	16,1 à 17,2 °C	16,9 à 18,1 °C	18,1 à 20 °C
Nombre de jours chauds par an	43	46 à 69	56 à 86	68 à 111
Nombre de nuits tropicales par an	7	11 à 23	15 à 37	27 à 65

Clé de lecture : ces tableaux indiquent les écarts avec la période de référence pour 3 horizons futurs (proche, moyen et lointain). Pour tenir compte des incertitudes liées aux projections climatiques, les résultats, obtenus à partir d'une trentaine de simulations, sont fournis sous forme d'intervalle. On utilise la plage s'étendant du centile 5 % au centile 95 % de l'ensemble DRIAS-2020, c'est-à-dire qu'elle contient 90 % des valeurs de l'ensemble. Les indicateurs sont calculés en moyenne sur 4 points de grille (maille de 8km de côté) couvrant la Métropole du Grand Paris.

DES VAGUES DE CHALEUR PLUS FRÉQUENTES ET INTENSES

Actuellement, les vagues de chaleur peuvent déjà survenir de début juin à début septembre. Dans le scénario pessimiste, elles deviendraient **possibles de début mai à mi-octobre, tout en devenant beaucoup plus fréquentes au cœur de l'été**. Pour le périmètre parisien, **les vagues de chaleur sont définies comme des épisodes d'au moins trois journées exceptionnellement chaudes** pour le climat local, c'est-à-dire dont la température moyenne (correspondant à la moyenne entre la température minimale en fin de nuit et la température maximale en cours l'après-midi) est supérieure à 27 °C. Au moins une de ces journées doit aussi dépasser 29 °C en moyenne.

Fréquence de survenue d'une vague de chaleur un jour donné à Paris Période de référence 1976-2005 et horizon lointain 2071-2100



Clé de lecture : Ce graphique a été élaboré à partir de 10 simulations climatiques de l'ensemble DRIAS-2020. Les bornes basses et hautes de l'intervalle représentées correspondent aux centiles 5 % et 95 % des simulations.

À QUOI POURRAIENT RESSEMBLER LES VAGUES DE CHALEUR

[Extrait d'un article du 12 août 2036]

La canicule a enfin pris fin. Elle aura duré 24 jours. Au plus chaud de cette période, la température moyenne sur une journée s'élevait à 35,5 °C sur la Métropole du Grand Paris. Ce jour-là, il a même fait jusqu'à 43 °C, sans que la température ne passe sous les 28 °C, même pendant la nuit. Et encore davantage au cœur de Paris. Une partie des habitant·es a quitté l'agglomération, d'autres se réfugiant dans des espaces refuges, des espaces publics frais, des musées, des cinémas ou encore des lieux de culte. Le plan d'alerte canicule a été déclenché au niveau maximal, et les visites à domicile des voisin·es solidaires ont repris pour veiller sur les plus fragiles. Les habitant·es des logements situés au dernier étage des immeubles mal isolés, qui avaient été temporairement hébergé·es dans des salles rafraîchies, ont enfin pu rentrer chez eux·elles. D'après Météo-France, cette canicule a été 2 fois plus sévère que celle de 2003.

[Extrait d'un article du 19 août 2082]

Un an après, retour sur la « canicule du siècle ». Même si les vagues de chaleur sont désormais habituelles pendant l'été, voire au début de l'automne ou à la fin du printemps – on en a d'ailleurs comptabilisé 4 autres rien que cette année-là – celle du 4 juillet au 19 août 2081, qui a occupé la moitié de l'été, a été particulièrement mémorable. La journée du 29 juillet a été particulièrement difficile à surmonter pour la population qui était restée, réfugiée pour une partie dans des endroits frais en sous-sol. Le mercure a en effet atteint 46 °C, et même pendant la nuit il n'est pas descendu sous les 31,6 °C, avec une moyenne de 38,8 °C. Les plus ancien·es d'entre nous se souviennent de la canicule de 2003 qui les avaient marqué·es pendant leur jeunesse. Celle de l'an passé risque de lui donner un complexe d'infériorité : Météo-France l'a jugée 6 fois plus sévère.

Clé de lecture : Ces textes se basent sur les caractéristiques d'une vague de chaleur sévère dans un scénario à fortes émissions en gaz à effet de serre, selon la médiane des simulations, aux horizons proche (2021-2050) et lointain (2071-2100). À noter que les conséquences dépendront en grande partie de l'adaptation du territoire et de la gestion des crises.

POURQUOI LE PÉRIMÈTRE MÉTROPOLITAIN EST-IL PARTICULIÈREMENT VULNÉRABLE AUX VAGUES DE CHALEUR ?

Sur le périmètre de la Métropole du Grand Paris, les températures sont plus élevées que dans les autres communes d'Île-de-France, surtout la nuit. Lors des épisodes caniculaires passés, **cette différence peut dépasser 10 °C entre son cœur, Paris, et une ville comme Melun**. Elle s'explique par le phénomène « d'îlot de chaleur urbain » (ICU). Les villes se rafraîchissent en effet moins vite la nuit. Les surfaces imperméables comme l'asphalte accumulent la chaleur le jour et la restituent la nuit. La forme urbaine dense emprisonne la chaleur, formant des bulles stagnantes. Les activités humaines (circulation, climatisation...) viennent empirer ce phénomène. **La Métropole du Grand Paris estime que 73 % de la population métropolitaine est soumise à un effet d'ICU moyen ou fort, avec des conséquences sur la santé¹**. En effet, une étude menée sur la canicule de 2003² a montré que vivre dans un quartier plus chaud multiplie par 2 le risque de décès, surtout si la chaleur persiste pendant la nuit et sur plusieurs jours. Certaines populations, en particulier les personnes âgées et précaires, ont davantage de mal à y faire face. Par exemple, la perte d'autonomie multiplierait le risque de décès entre 4 et 10, et le fait de dormir dans une chambre sous les toits mal isolés par 4.

COMMENT S'ADAPTER AUX FORTES CHALEURS

- **Végétaliser** : les arbres, les plantes et les sols naturels, lorsqu'ils sont correctement irrigués, transpirent de l'eau qui rafraîchit l'air en s'évaporant. En plantant des arbres, en végétalisant leurs pieds ou en créant des espaces de pleine terre par exemple, on augmente cet effet. Le potentiel rafraîchissant et le besoin en eau diffèrent selon les essences choisies, et il est conseillé de varier les strates de végétaux pour avoir un écosystème plus résilient face aux impacts du changement climatique.
- **Créer de l'ombre** : la meilleure manière consiste à planter des arbres, mais l'espace nécessaire, au sol ou en sous-sol, n'est pas toujours disponible. D'autres sources d'ombre comme les voiles d'ombrage peuvent alors être installées.
- **Augmenter la place de l'eau en ville** : fontaines, brumisateurs, bassins, réouverture de cours d'eau... Si l'eau deviendra une ressource encore plus précieuse en été, à utiliser avec parcimonie, elle peut améliorer nettement le confort d'été pendant les canicules. Elle permet de rafraîchir l'air, et l'humidité qu'elle dégage joue directement sur le confort thermique.

- **Agir sur les revêtements**, en remplaçant ceux qui, comme l'asphalte et le bitume, ont une forte capacité à emmagasiner la chaleur, contribuant ainsi à l'îlot de chaleur urbain, par des matériaux plus clairs et/ou perméables.
- **Améliorer le confort à l'intérieur des bâtiments**, en les isolant avec des matériaux à forte inertie, en installant des occultations à l'extérieur (stores, volets) et en les aérant aux heures fraîches. Attention en revanche à la climatisation individuelle qui consomme de l'énergie et rejette de la chaleur à l'extérieur.
- **S'occuper des populations vulnérables** en créant des réseaux de solidarité, en repérant les personnes fragiles (âgées, isolées, enfants), en mettant en place de systèmes de gestion de crise pour les accompagner, en agissant contre l'isolement ou encore en les sensibilisant aux bons gestes à adopter.
- **Changer les comportements et les usages** en adaptant les heures de sorties et de travail, en ouvrant des lieux de fraîcheur à tous-tes, en adoptant de nouveaux usages dans les bâtiments, en limitant les sources de chaleur (voitures, appareils électriques...), en adaptant l'habillement.

¹PCAEM (Plan Climat, Air, Énergie Métropolitain) de la Métropole du Grand Paris, 2018

²INVS (Institut National de Veille Sanitaire), Rôle des îlots de chaleur urbains dans la surmortalité observée pendant les vagues de chaleur, 2012

LES SOLUTIONS DE LA PLATEFORME ADAPTAVILLE

Les « Cours Oasis » : aménager les cours d'école en îlots de fraîcheur

Dans de nombreuses villes, les cours d'école ou de collèges sont transformés : on y crée de l'ombre et des points d'eau, on désimperméabilise, le tout en variant les aménagements avec une dimension ludique, pédagogique et dans une logique de sobriété.



Cour Oasis de l'école Tandou (Paris 19^e)

Certaines collectivités souhaitent faire de ces espaces de nouveaux lieux de fraîcheur ouverts à tous-tes en dehors des périodes scolaires.

Adopter des bons réflexes pendant les canicules :

À Grenoble, les personnels des établissements recevant des enfants sont formés pour se préparer en amont aux vagues de chaleur et y réagir. Ils sont accompagnés pour :

- Identifier les lieux et pièces exposés ;
- Les maintenir au frais (aérer le matin, créer des courants d'air, utiliser des pare-soleils) ;
- Limiter les sources de chaleur (repas froids, séchage naturel du linge...) ;
- Réfléchir à des activités adaptées aux fortes chaleurs.

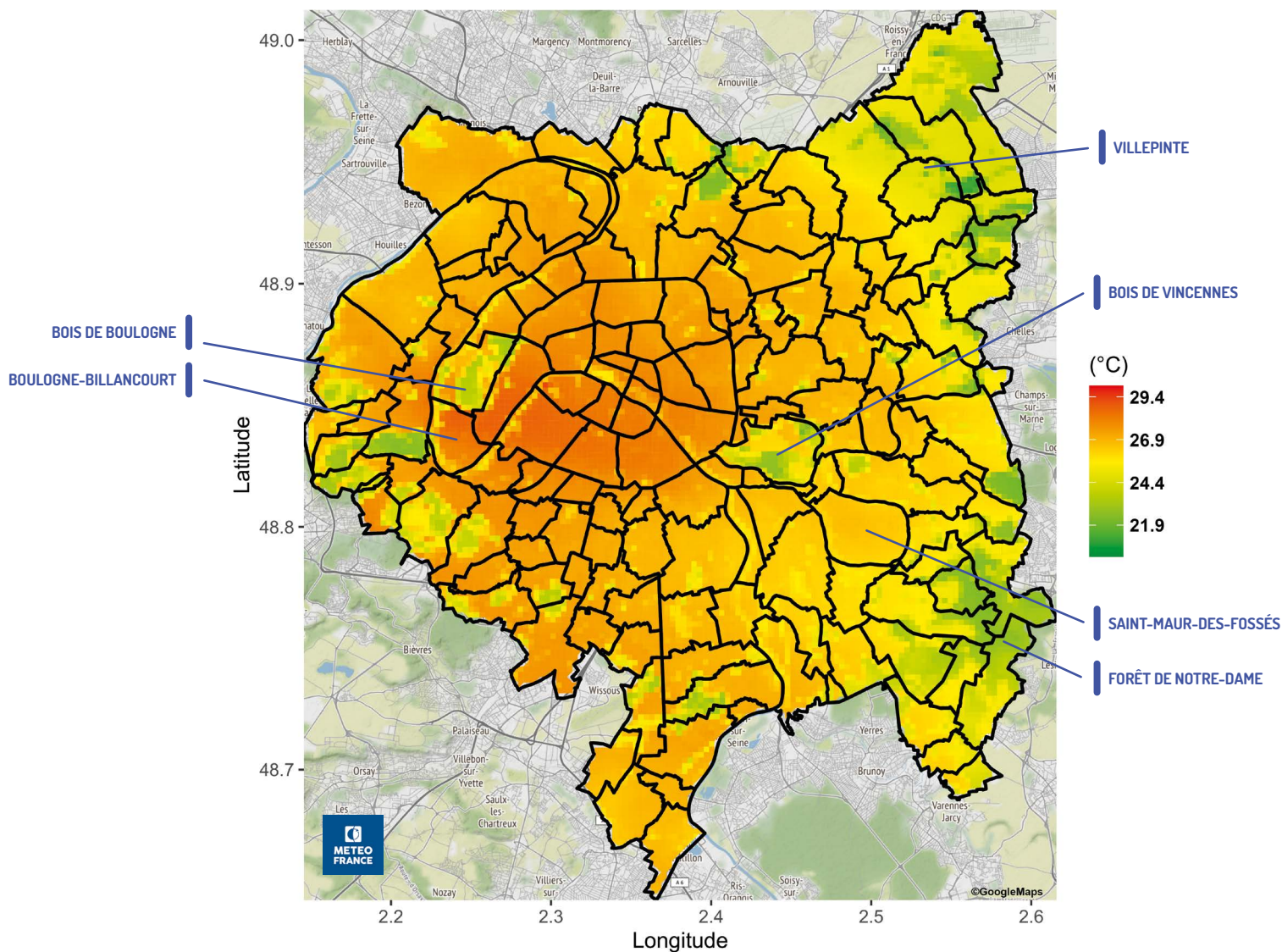
LE PHÉNOMÈNE D'ÎLOT DE CHALEUR URBAIN ILLUSTRÉ EN CARTES

Météo-France dispose d'une plateforme de modélisation dédiée à la simulation du climat urbain. Elle s'appuie sur des modèles météorologiques de fine échelle en tenant compte de phénomènes météorologiques de grande échelle (vent dominant, présence d'un anticyclone...) et de la description détaillée du tissu urbain (surfaces végétalisées et bâties, sols artificiels...). À l'aide de cette plateforme, l'épisode caniculaire du 5 au 9 août 2020 a été simulé avec une résolution spatiale de 250 mètres. Le fort ensoleillement de la journée précédente, le vent faible et le ciel dégagé caractéristiques de cet épisode caniculaire ont été propices au développement de ce fort îlot de chaleur urbain.

Température de l'air pendant la nuit (3h du matin)

La température de l'air à 2 mètres au-dessus du sol, simulée sur le périmètre de la Métropole du Grand Paris le 9 août à 3h du matin, varie grandement. Le thermomètre atteint 29 °C dans certaines zones de Paris ou de Boulogne-Billancourt. L'air a tendance à se rafraîchir à mesure que l'on s'éloigne du centre, avec par exemple 26 °C à Saint-Maur-des-Fossés. Les zones boisées sont les plus fraîches, on y trouve ainsi des températures inférieures ou égales à 23 °C comme les bois de Boulogne et de Vincennes ou la forêt de Notre Dame (94), voire autour de 21 °C, par exemple dans le Parc Forestier de la Poudrière à Villepinte.

Température de l'air le 09 août à 3h du matin

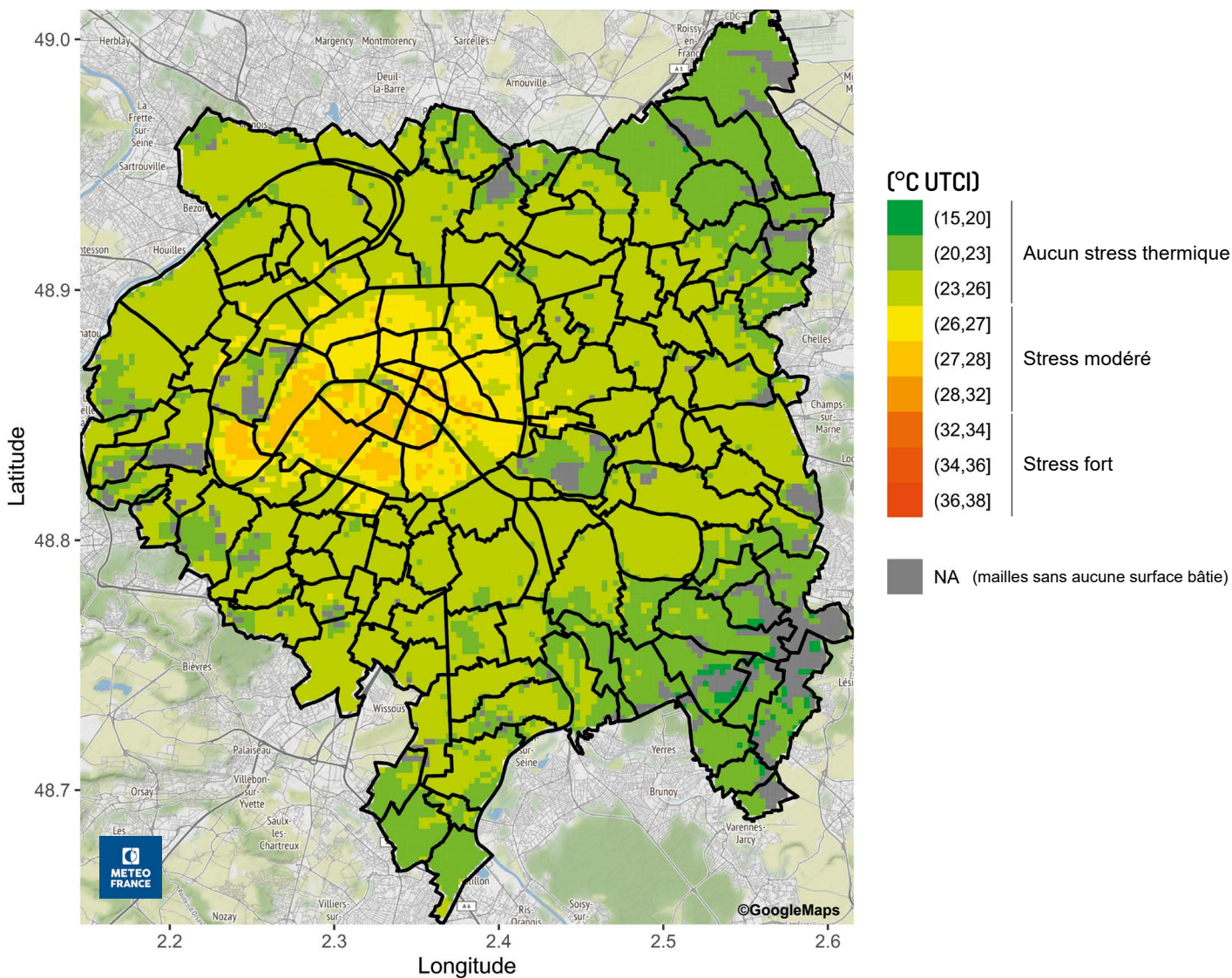


Confort thermique nocturne à l'extérieur (3h du matin)

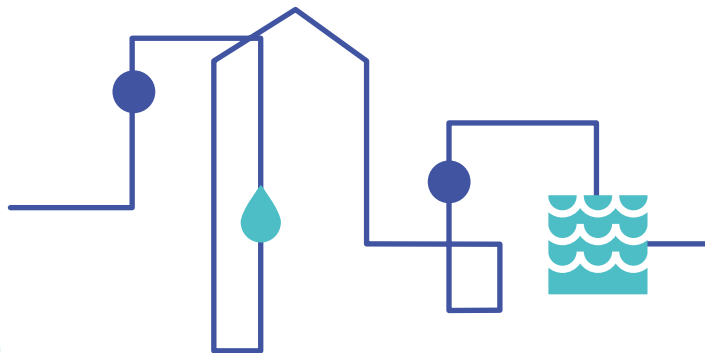
Clé de lecture : L'indice de confort utilisé ici, l'UTCI (pour Universal Thermal Climate Index), intègre, en plus de la température de l'air, les paramètres météorologiques d'humidité, de vent et de rayonnement. Il permet ainsi de connaître au mieux le ressenti d'une piéton-ne ou d'un-e habitant-e. Une échelle associée à différentes valeurs prises par cet indice informe sur la dangerosité du stress thermique ressenti.

Pour la simulation de cet épisode caniculaire, un niveau de stress thermique modéré a été atteint sur le périmètre métropolitain la nuit du 9 août à 3h à l'extérieur des bâtiments, dans les zones en jaune/orange sur la carte. La température ressentie cette nuit là atteint jusqu'à 27,8 °C. Le stress thermique concerne principalement Paris intra-muros (hors bois de Vincennes et de Boulogne) et ses plus proches communes. Même modéré, il a un impact non négligeable, car il empêche l'organisme de se reposer pleinement pendant la nuit de la chaleur de la journée précédente, et rend celle de la journée suivante encore plus difficilement supportable.

Indice de confort thermique à l'extérieur des bâtiments le 09 août 2020 à 3h du matin



PRÉCIPITATIONS ET INONDATIONS



L'ÉVOLUTION DES PRÉCIPITATIONS

L'effet du changement climatique sur les précipitations est complexe et difficile à modéliser. Sur les prochaines décennies, les projections pour l'Europe de l'Ouest s'accordent sur une hausse des précipitations au nord et une diminution au sud. La localisation de la limite entre ces 2 zones varie cependant d'un modèle à l'autre, induisant de larges incertitudes dans la bande de latitudes où se situe la France métropolitaine.

Sur le périmètre de la Métropole du Grand Paris, il est impossible de conclure quant à l'évolution des pluies estivales à partir du jeu DRIAS-2020, mais il est important de prendre en compte le risque de leur diminution, qui contribuerait à aggraver les sécheresses. **En hiver, les projections indiquent une augmentation des pluies, quel que soit le scénario d'émissions, qui pourrait représenter près de 4 ou 6 cm supplémentaires dès le milieu du siècle, selon que l'on considère le scénario intermédiaire ou pessimiste.**

Il est important de prendre en compte l'hypothèse probable d'une hausse du risque d'inondation à l'échelle du périmètre de la Métropole du Grand Paris.

POURQUOI LA MÉTROPOLE DU GRAND PARIS EST VULNÉRABLE AU RISQUE D'INONDATION

On peut distinguer 2 principaux phénomènes à l'origine d'inondations sur le territoire :

- **Les épisodes pluvieux très courts et intenses** engendrent un ruissellement pouvant causer des inondations très localisées et souvent de courte durée, dues principalement à l'imperméabilisation des sols et à la saturation des réseaux d'assainissement.
- **Les pluies abondantes et continues sur de plus longues périodes** peuvent provoquer, jusqu'à leur débordement, une élévation du niveau des cours d'eau, comme la Seine, ainsi que des remontées de nappes qui sont par exemple à l'origine d'inondations de caves ou de sous-sols.

Les inondations par débordement des cours d'eau, en particulier la Seine influencée par ses principaux affluents (la Marne et l'Oise), **représentent un des principaux risques naturels pour le territoire.** Caractérisés par un régime hydrologique pluvial, ces cours d'eau présentent un écoulement maximal vers janvier-février. **Compte tenu de la hausse probable des précipitations hivernales, on peut s'attendre à une hausse des débits hivernaux, venant accroître le risque de crues.** Si celles-ci sont relativement lentes et prévisibles, entraînant peu de risques pour la sécurité des personnes, elles pourraient occasionner des dégâts colossaux dans ce territoire dense et complexe, qui comporte de nombreux réseaux souterrains.

Une crue de la Seine de type 1910 entraînerait entre 3 et 30 milliards d'euros de dommages directs, et une baisse du PIB national sur 5 ans de l'ordre de 0,1 à 3 % d'après l'OCDE³.

Scénario intermédiaire en émissions de gaz à effet de serre

CUMUL DE PRÉCIPITATIONS	RÉFÉRENCE (1976-2005)	HORIZON PROCHE (2021-2050)	HORIZON MOYEN (2041-2070)	HORIZON LOINTAIN (2071-2100)
Annuelles	608 mm	613 à 660 mm	591 à 667 mm	601 à 699 mm
Hivernales	148 mm	151 à 190 mm	153 à 186 mm	155 à 198 mm
Estivales	162 mm	144 à 183 mm	126 à 181 mm	113 à 180 mm

Scénario à fortes émissions de gaz à effet de serre

CUMUL DE PRÉCIPITATIONS	RÉFÉRENCE (1976-2005)	HORIZON PROCHE (2021-2050)	HORIZON MOYEN (2041-2070)	HORIZON LOINTAIN (2071-2100)
Annuelles	608 mm	596 à 655 mm	610 à 697 mm	593 à 770 mm
Hivernales	148 mm	146 à 178 mm	162 à 208 mm	178 à 230 mm
Estivales	162 mm	140 à 184 mm	129 à 184 mm	96 à 202 mm

Une telle crue affecterait directement sur le périmètre de la Métropole du Grand Paris 695 000 habitant·es (10% de la population), 335 000 logements, 672 000 emplois, 96 600 établissements, ainsi que de nombreux équipements et réseaux structurants : électricité, transports urbains, télécommunication, eau et assainissement³. La Ville de Paris estime qu'**après une crue de type 1910, un retour à la normal des réseaux de transport prendrait 5 ans sans mesures préventives**⁵.

L'inondation par ruissellement, un enjeu complexe pour la Métropole : le territoire métropolitain est particulièrement exposé au risque de ruissellement. La majorité des communes métropolitaines ont connu au moins 3 arrêtés de catastrophe naturelle liés aux inondations par ruissellement depuis décembre 1982.

Plus rapides, elles provoquent une saturation des réseaux d'assainissement, qui deviennent incapables de gérer les volumes d'eau à traiter, entraînant des déversements

³ Étude de l'OCDE sur la gestion des risques d'inondation – La Seine en Île-de-France, 2014

⁴ PCAEM (Plan Climat, Air, Énergie Métropolitain) de la Métropole du Grand Paris, 2018

⁵ Étude «Paris face aux changements climatiques», Ville de Paris, 2021

directs d'eaux usées et polluées dans les cours d'eau. Elles posent également des risques pour la continuité d'autres réseaux, ceux de transports souterrains notamment.

COMMENT S'ADAPTER AUX INONDATIONS ?

S'adapter aux crues des cours d'eau :

- **Les lacs réservoirs :** ils se remplissent pendant l'hiver et en période de crue. 4 lacs réservoirs en amont du bassin de la Seine permettent de l'abaisser jusqu'à 1 mètre. Un 5e est en cours de réalisation.
- **Les solutions fondées sur la nature :** comme la renaturation des berges ou des zones humides, régulent les inondations et créent des espace tampons en cas de crue.
- **Les solutions « grises » :** digues, barrages, canalisations, cuves enterrées, protections amovibles... Plus coûteuses, elles sont parfois nécessaires pour protéger la voirie, les bâtiments ou les réseaux. On recense d'ailleurs 100 km de digues sur le périmètre de la Métropole du Grand Paris
- **La prévention :** des exercices de gestion de crise grandeur nature sont régulièrement organisés, permettant d'améliorer la

coordination des services en cas de crise.

- **Informer et acculturer** les acteur·rices du territoire au risque inondation.

S'adapter aux inondations par ruissellement :

Les principales actions consistent à désimperméabiliser les surfaces pour favoriser l'infiltration des eaux pluviales, et ainsi éviter le rejet d'eaux non traitées dans les cours d'eau lors des fortes pluies. C'est ce qu'on appelle le « zonage pluvial », qui est inclus par exemple dans le Plan Parispluie à Paris. Les collectivités comme les particulier·es peuvent participer à ce travail de désimperméabilisation en mettant en place :

- **Des espaces végétalisés en pleine terre** (jardins de pluies, noues urbaines, fosses de plantation d'arbres...) sur les trottoirs, les parkings, les cours d'immeuble...
- **Des matériaux de voirie perméables ;**
- **Des toitures végétalisées** qui jouent le rôle de tampon et permettent de retarder la saturation des réseaux d'assainissement ;
- **La dépollution des eaux pluviales grâce à des solutions fondées sur la nature.**

LES SOLUTIONS DE LA PLATEFORME ADAPTAVILLE

EPISEINE

EPISEINE est un dispositif d'information préventive sur le risque inondation du bassin de la Seine. Des actions de sensibilisation permettent d'accompagner les scolaires, les citoyen·nes, les collectivités ou les entreprises. De nombreuses ressources sont disponibles sur le site internet Episeine.fr et l'équipe met aussi à disposition des ateliers et des jeux pensés pour acculturer ces acteurs au risque inondation.

Le projet LIFE ADSORB

Cette solution fondée sur la nature permet de dépolluer les eaux de voirie du périphérique grâce à un bassin filtrant planté de roseaux, qui les dépollue naturellement avant de les rejeter dans les mares et cours d'eau du Bois du Boulogne.



Animation «À votre sac» organisée par EpiSeine



Projet Life Adsorb

SÉCHERESSES

« SÉCHERESSE », DE QUOI PARLE-T-ON ?

On distingue 3 types de sécheresse :

- **la sécheresse météorologique** qui résulte d'une absence prolongée de précipitations ;
- **la sécheresse agricole** qui traduit un déficit en eau des sols superficiels avec pour conséquence une alimentation en eau insuffisante pour les plantes. Cette sécheresse dépend des précipitations, de l'humidité de l'air, de la température, du vent, ainsi que des types de sols et de végétation ;
- **la sécheresse hydrologique** qui correspond à des niveaux anormalement bas des cours d'eau, des plans d'eau et des nappes phréatiques. Cette sécheresse dépend des précipitations et de l'état du sol pour les écoulements de l'eau en surface (ruissellement) et dans le sol (infiltration, percolation).

LA SÉCHERESSE MÉTÉOROLOGIQUE

En climat récent, de 1976 à 2005, le nombre maximum de jours secs consécutifs est autour de 22. **D'après les projections climatiques, la durée de ces épisodes**

de sécheresse météorologique s'allonge d'ici 2100, pour atteindre jusqu'à 8 voire 11 jours supplémentaires par an selon chacun des 2 scénarios.

Période de sécheresse (nombre maximum de jours consécutifs avec précipitations < 1mm)

SCENARIO D'ÉMISSIONS	RÉFÉRENCE (1976-2005)	HORIZON PROCHE (2021-2050)	HORIZON MOYEN (2041-2070)	HORIZON LOINTAIN (2071-2100)
Intermédiaire	22	21 à 27,5	22 à 29	21 à 30
Très émetteur	22	20 à 27	21 à 30	21 à 33

LA SÉCHERESSE AGRICOLE

Nombre de jours « secs » entre juin et septembre sur l'Île-de-France

SCENARIO D'ÉMISSIONS	RÉFÉRENCE (1976-2005)	HORIZON PROCHE (2021-2050)	HORIZON MOYEN (2041-2070)	HORIZON LOINTAIN (2071-2100)
Intermédiaire	75 à 94	78 à 100	75 à 105	74 à 101
Très émetteur	75 à 94	72 à 104	76 à 102	66 à 107

Clé de lecture : *Les jours sont considérés comme « secs » lorsque l'indice d'humidité du sol est inférieur au seuil en-dessous duquel l'irrigation est nécessaire à la survie des plantes.*

En climat récent, autour de 81 jours sont déjà en sécheresse agricole, soit environ deux-tiers de l'été. Le nombre de jours de sol sec tend à augmenter dans les projections climatiques selon la médiane des modèles. **Il pourrait même approcher voire dépasser les 100 jours au cours du siècle.** Cela s'explique par la possible baisse des précipitations en été, mais surtout par l'augmentation de l'évaporation. **D'après l'Agence de l'Eau Seine Normandie (AESN), « une grande partie du territoire connaîtra très probablement de très longues sécheresses du sol quasiment sans retour au climat actuel »⁶, posant une menace majeure pour le secteur agricole, sur lequel les effets de la sécheresse pèsent déjà.**

LA SÉCHERESSE HYDROLOGIQUE

Baisse des débits d'étiage*
(horizon lointain)⁶ :

DE L'ORDRE DE
40 %
ENTRE AOÛT
ET NOVEMBRE

*débit minimal d'un cours d'eau

Baisse de la recharge
annuelle des nappes⁶ :

16 %
(MILIEU DU SIÈCLE)
30 %
(FIN DU SIÈCLE)

Cette évolution générale, avec des variations attendues d'une année à l'autre, **devrait accentuer les événements de rareté de la ressource en eau et les conflits potentiels**, nécessitant une meilleure répartition des usages.

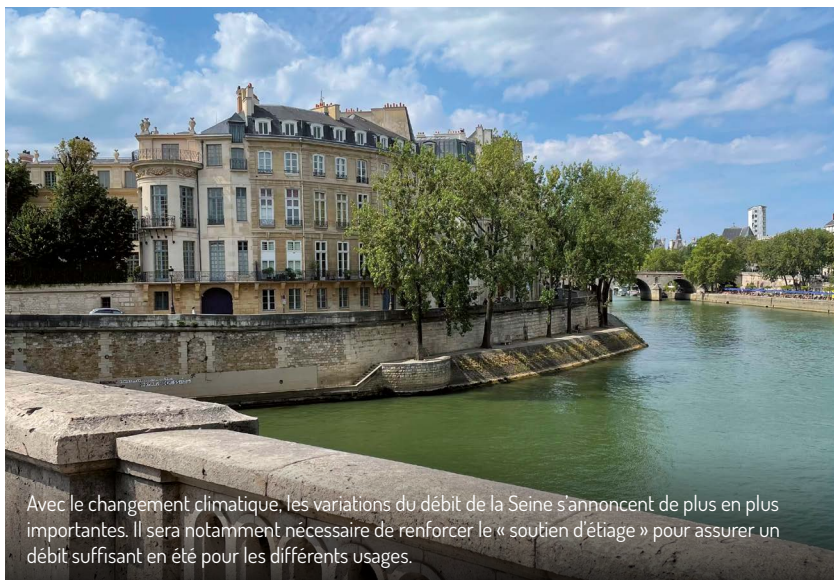
LE « RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES » (RGA)

La Métropole du Grand Paris est vulnérable au phénomène de « retrait-gonflement des argiles », qui pourrait s'aggraver avec le changement climatique. Les sols argileux ont une consistance variable selon leur teneur en eau : durs et cassants lorsqu'ils sont asséchés, ils deviennent meubles et malléables à partir d'un certain degré d'humidité. Leur volume varie également : lorsque la teneur en eau augmente, l'argile gonfle, lorsqu'elle baisse, il se rétracte. Ce phénomène apparaît sur les sols argileux « gonflants » lors de l'alternance d'épisodes pluvieux et de sécheresse, entraînant localement des mouvements de terrain lents, non uniformes. Ils peuvent provoquer **des fissurations en façade des bâtiments, la dislocation des dallages et cloisons, des fuites ou des ruptures de canalisations enterrées ou encore l'assèchement de la végétation environnante**. Les coûts très importants des sinistres en font la 2^e cause d'indemnisation au niveau national⁷.

Environ 8 % de la superficie du territoire est exposée à un risque fort face au RGA, en particulier les parties est et sud-ouest du territoire (forêt de Meudon, les hauts d'Est Ensemble, etc.), d'après la Métropole du Grand Paris. Avec des épisodes de sécheresse agricole plus longs et plus intenses, leur vulnérabilité devrait augmenter.

⁶ Stratégie d'adaptation au changement climatique du bassin Seine-Normandie, 2016

⁷ Fiche aléa - sécheresse & retrait-gonflement des argiles, Observatoire de l'Immobilier Durable (OID), 2020



Avec le changement climatique, les variations du débit de la Seine s'annoncent de plus en plus importantes. Il sera notamment nécessaire de renforcer le « soutien d'étiage » pour assurer un débit suffisant en été pour les différents usages.



Le phénomène de retrait-gonflement des argiles peut provoquer des fissures sur les habitations, particulièrement les maisons individuelles.

COMMENT S'ADAPTER À LA SÉCHERESSE ET AU RETRAIT GONFLEMENT DES ARGILES ?

- **Anticiper les épisodes de sécheresse :** le niveau des nappes et des cours d'eau est surveillé tout au long de l'année. Des mesures de restrictions sont prises si les données sont préoccupantes.
- **Travailler sur les conflits d'usage :** lors d'épisodes extrêmes, on pourra être amené à arbitrer entre les besoins de rafraîchissement (eau potable, piscines, végétalisation), énergétiques (refroidissement des centrales), et agricoles (irrigation). Des restrictions d'usages pourraient s'imposer, comme c'est déjà régulièrement le cas dans plusieurs régions françaises.

- **Soutenir les étiages :** pour assurer des niveaux minimums de cours d'eau, de l'eau est stockée pendant l'hiver dans 4 lacs-réservoirs en amont de Paris et restituée lorsque les débits baissent, avec un pic au mois d'août.
- **Valoriser l'eau de pluie :** elle peut être récupérée sur les toitures ou l'espace public et réutilisée pour des usages ne nécessitant pas d'eau potable : irrigation, sanitaires, nettoyage...
- **Choisir des essences d'arbre** résistantes au stress hydrique pour la ville ou anticiper l'irrigation.
- **Rendre l'agriculture plus économe en eau et plus résiliente :** en travaillant sur les systèmes d'irrigation, en diversifiant les espèces et les systèmes de culture, en

choisissant des cultures moins consommatrices d'eau et plus tolérantes aux sécheresses.

- **Prévenir le risque de retrait et gonflement des argiles dans les zones concernées : en agissant sur le bâti** (ancrage des fondations, chaînages, joints de rupture, vide sanitaire sous le bâtiment...) et en **limitant les variations du taux d'humidité des sols** (éloigner la présence d'arbres, étanchéifier les sols pour éviter l'évaporation, collecter et évacuer les eaux de toiture, isoler les sources de chaleur...).
- **Changer ses comportements :** en réduisant sa consommation directe d'eau, mais aussi sa consommation indirecte : vêtements, nourriture, énergie, produits industriels...



LES SOLUTIONS DE LA PLATEFORME ADAPTAVILLE

Un « bocage urbain » modulaire et alimenté par les eaux pluviales

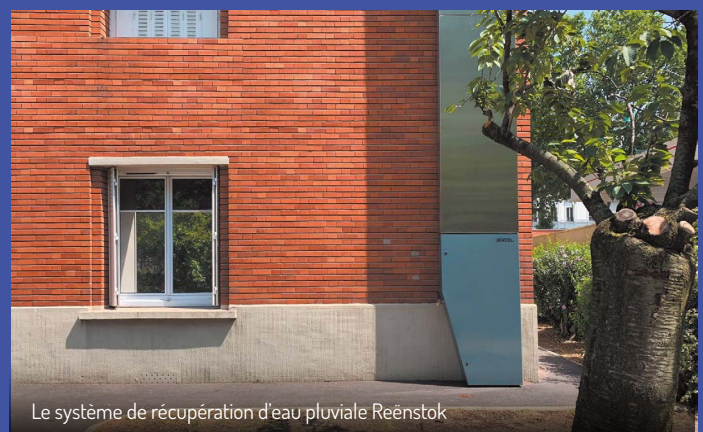
Prenant la forme d'un cube enterré à fleur de sol, il réunit un bassin de rétention des eaux de pluie, alimenté par les trottoirs et les toitures, et un bac de végétaux. Il ne nécessite pas d'apport en eau, même en période de sécheresse.

Un système de récupération de l'eau de pluie pour les usages domestiques

La récupération d'eaux pluviales permet de limiter sa consommation d'eau potable. Ce réservoir de façade en inox se substitue aux descentes d'eaux pluviales existantes. Stockées dans des citernes-tampons, ces eaux sont utilisables *in-situ* : arrosage, toilettes, lave-linge.



Bocage Urbain installé dans le parc de Rungis



Le système de récupération d'eau pluviale Reënstok

POUR ALLER PLUS LOIN :

TOUT COMPRENDRE SUR LES DONNÉES UTILISÉES

SIMULER LE CLIMAT FUTUR

L'étude de l'évolution du climat repose sur des modèles numériques qui simulent le comportement du système climatique. C'est-à-dire les interactions entre l'atmosphère, l'océan, les glaciers, la végétation, les rivières... et leurs réponses à différentes contraintes, appelées forçages climatiques, dont plusieurs sont d'origine humaine. La principale cause des changements passés et à venir est l'émission de différentes espèces chimiques dans l'atmosphère par les activités humaines qui augmentent notamment la concentration de gaz à effet de serre, ce qui provoque le réchauffement de la planète.

Afin de simuler le climat futur, des hypothèses doivent être faites sur l'évolution des émissions anthropiques de gaz à effet de serre et d'aérosols. Celles-ci dépendent de plusieurs facteurs comme la croissance démographique, les progrès technologiques ou les décisions politiques à venir, qui sont prises en compte dans les modèles au travers de différents scénarios.

Dans le 5^e rapport du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) publié en 2013, 4 scénarios réalistes et représentatifs nommés RCP (en français : Profils représentatifs d'évolution de concentration) ont été retenus : 2 scénarios extrêmes (RCP2.6 et RCP8.5) et 2 scénarios intermédiaires (RCP4.5 et RCP6.0). La présente brochure se concentre sur les scénarios suivants :

- le scénario intermédiaire RCP4.5, avec stabilisation des émissions avant la fin du XXI^{ème} siècle à un niveau faible ;
- le scénario extrême RCP8.5, selon lequel les émissions continuent de croître au rythme actuel.

D'OÙ PROVIENNENT LES DONNÉES UTILISÉES ?

Des simulations globales ont été réalisées lors de l'exercice international CMIP5 (5^e phase du *Coupled Model Intercomparison Project*), qui ont servi de base au 5^e rapport du GIEC. Elles ont ensuite été déclinées au niveau européen dans le cadre du programme EURO-CORDEX. Plus détaillées, avec une résolution spatiale de 12 km, contre 150 à 250 km pour les modèles globaux, les simulations EURO-CORDEX permettent de représenter des phénomènes météorologiques locaux. L'ensemble comprend une centaine de simulations. Elles constituent une base d'une richesse incomparable pour les services climatiques mais sont difficiles à utiliser, inégalement réparties et leur qualité varie. C'est pourquoi un sous-ensemble de 30 simulations a été sélectionné de manière experte, donnant lieu au jeu de données DRIAS-2020.

Couvrant 3 scénarios climatiques (RCP2.6, RCP4.5 et RCP8.5), les données DRIAS-2020 ont été projetées sur une grille de 8 km de résolution, et corrigées de leur biais par la méthode statistique ADAMONT, basées sur des données d'observation (SAFRAN).

Ce jeu a été élaboré par Météo-France, dans le cadre de la convention des services climatiques soutenue par le Ministère de la Transition Écologique, avec l'appui scientifique du CNRM[§], du Cerfacs[¶] et de l'IPSL^{||}.

[§] CNRM : Centre National de Recherches Météorologiques

[¶] Cerfacs : Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique

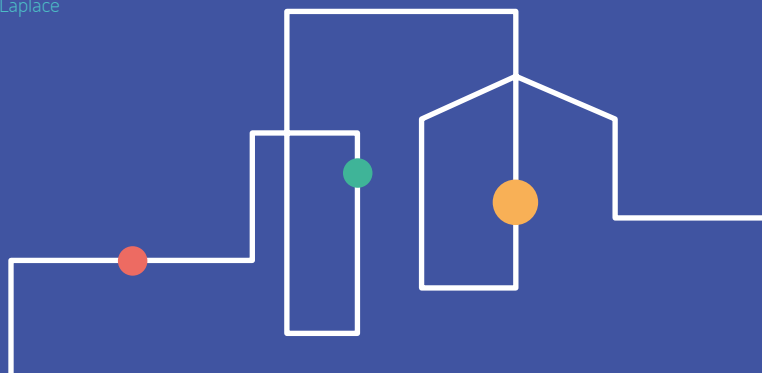
^{||} IPSL : Institut Pierre-Simon Laplace

LES INCERTITUDES ASSOCIÉES AUX PROJECTIONS CLIMATIQUES

La prévision du climat ne cesse de progresser mais l'incertitude reste un facteur inhérent au processus de prévision et aux projections climatiques. Les principales sources d'incertitude sont :

- L'incertitude des scénarios socio-économiques pilotant les émissions de gaz à effet de serre qui grandit à mesure que l'on progresse dans le siècle.
- Les incertitudes structurelles des modèles numériques qui proposent une représentation imparfaite des processus de petites échelles, et bien plus pour les précipitations que pour les températures.
- L'incertitude sur la variabilité interne du climat (les fluctuations climatiques aléatoires résultant des interactions entre l'atmosphère, l'océan, la glace, les eaux continentales et la biosphère) occupe aussi une place importante pour les toutes prochaines décennies.
- L'incertitude associée à la méthode de correction des projections.

C'est d'ailleurs pour prendre en compte ces incertitudes que le jeu DRIAS s'appuie sur un ensemble de projections climatiques réalisé avec une diversité de modèles et que les résultats sont présentés sous la forme de fourchettes de probabilité plutôt que d'une seule valeur.





Agence
Parisienne
du Climat



Métropole
du Grand Paris



ADAPTAVILLE

L'AGENCE PARISIENNE DU CLIMAT

L'Agence Parisienne du Climat a pour vocation d'accompagner la mise en œuvre des Plans Climat de la Ville de Paris et de la Métropole du Grand Paris. Experte des politiques climat, elle a pour rôle d'informer et d'accompagner au quotidien les Parisien·nes et les acteurs économiques dans leurs démarches en faveur de la transition énergétique et écologique. Dans le cadre de son partenariat avec Météo-France, elle met à disposition les connaissances climatiques locales.

www.apc-paris.com

MÉTÉO-FRANCE

Service météorologique et climatique national, Météo-France est en charge de la prévision du temps, de la mémoire du climat passé et de l'étude du climat futur. Pour cela, il opère des infrastructures d'observation, développe des modèles de prévision du temps et du climat, mène des travaux de recherche et forme les futurs expert·es. Dans le domaine du climat, Météo-France contribue aux travaux du GIEC et soutient les politiques publiques d'adaptation au changement climatique. Météo-France mène en outre une action continue de diffusion des connaissances sur la météorologie, le climat et les dangers d'origine météorologique.

meteofrance.com

LA MÉTROPOLE DU GRAND PARIS

La Métropole est une intercommunalité assise sur la zone dense urbaine continue de 7,2 millions d'habitants. Elle a vu le jour le 1er janvier 2016 et regroupe 131 communes. Ses compétences portent sur l'aménagement de l'espace métropolitain, le développement économique, social et culturel, l'habitat, la protection et la mise en valeur de l'environnement et politique du cadre de vie et la gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations.

www.metropolegrandparis.fr

ADAPTAVILLE : UNE PLATEFORME UNIQUE EN FRANCE POUR OUTILLER LES VILLES DENSES ET S'ADAPTER AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

Face aux différents aléas présentés dans cette brochure, il est important de se préparer dès maintenant, en mettant en place des solutions adaptées à la métropole parisienne. De nombreuses existent déjà. Le projet AdaptaVille, lancé en mai 2021 par l'Agence Parisienne du Climat en partenariat avec la Ville de Paris, la Métropole du Grand Paris, l'ADEME, Icade et Altarea, référence sur sa plateforme AdaptaVille.fr des solutions d'adaptation au changement climatique pour la ville dense, qui ont fait leur preuve sur le terrain.

Disponibles sous forme de fiches pratiques téléchargeables, les solutions sont présentées avec une approche concrète, des informations transparentes, des retours d'expérience et des contacts directs... le tout couplé à une recherche simplifiée (par aléa climatique, par type de solution et par géolocalisation).

En parallèle, des rendez-vous réguliers (rencontres, visites, sessions de travail...) viennent animer la communauté, et faciliter le déploiement des solutions à grande échelle pour adapter les villes au climat à venir.

www.adaptaville.fr