



VULNÉRABILITÉ ET ADAPTATION

AU CHANGEMENT CLIMATIQUE DU TERRITOIRE DE GRAND PARIS SEINE OUEST



Le changement climatique est un phénomène aujourd'hui indiscutable, qui impacte plus ou moins directement chaque partie du monde et chaque population. L'augmentation des températures terrestres est à présent inéluctable, le défi étant d'en limiter l'amplitude et les conséquences. Selon le cinquième rapport du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) datant de novembre 2014, il faudrait réduire de 70% les émissions mondiales de gaz à effet de serre d'ici 2050 par rapport à leur niveau de 2010 pour maintenir la hausse moyenne des températures en dessous de 2°C.

S'il est indispensable d'intensifier la lutte contre le changement climatique en réduisant fortement les émissions de gaz à effet de serre, il est impératif de développer localement des mesures concrètes pour s'adapter aux conséquences de ce réchauffement.

LE CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LE TERRITOIRE DE GRAND PARIS SEINE OUEST (GPSO)

L'évolution du climat sur GPSO aux XX^{ème} et XXI^{ème} siècles

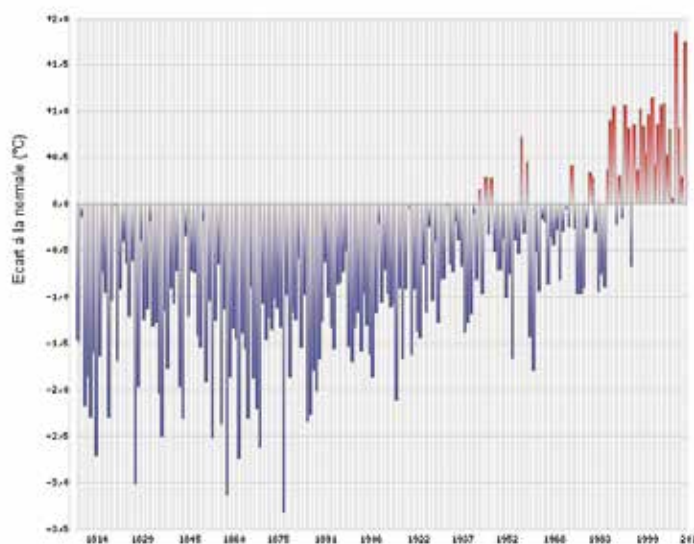
Pour le territoire de GPSO, la station météorologique de référence est la station de Montsouris, située dans le 14^{ème} arrondissement de Paris. Les données météorologiques enregistrées permettent d'observer l'évolution climatique depuis plus d'un siècle.

La tendance au réchauffement moyen est vraiment marquée à partir de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle. L'augmentation des températures minimales est estimée à 1,4°C entre le début et la fin du XX^{ème} siècle. Au cours de la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, les températures maximales ont connu une augmentation estimée à 1,5°C. La tendance au réchauffement climatique en Ile-de-France est donc déjà nettement observée.

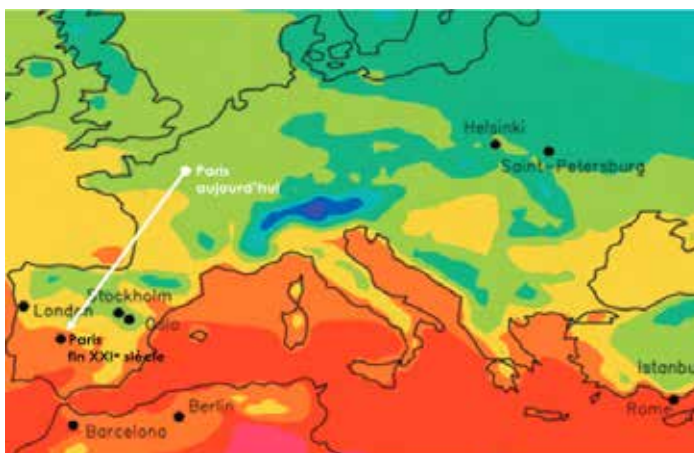
Sur le territoire de Grand Paris Seine Ouest, pas moins d'une cinquantaine de catastrophes naturelles ont fait l'objet d'arrêtés entre 1910 et 2010. Elles concernent majoritairement des inondations (crues de la Seine et pluies torrentielles), des mouvements de terrain (notamment liés au gonflement ou retrait d'argiles) et des épisodes de sécheresse et de canicule.

Le climat futur

Dans le cadre du programme de recherche EPICEA (voir encadré page 3) et de travaux préparatoires à des plans climats locaux, Météo France a réalisé des simulations sur les tendances climatiques pour la fin du XXI^{ème} siècle en Ile-de-France. Ces éléments servent d'indices climatiques de base pour l'élaboration des mesures d'adaptation.



Évolution des températures à Paris-Montsouris au cours du XX^{ème} siècle
Écart à la température moyenne trentenaire (1971-2000) | Source: Infoclimat
Écart le plus froid -3,3°C en 1879 | Écart le plus chaud : +1,9°C en 2001



Représentation du climat que pourraient connaître les villes à la fin du XXI^{ème} siècle en fonction du climat européen actuel
Illustration issue de la note « Surdose de CO₂, nos villes sont-elles prêtes ? » de l'ALEC Plaine Commune
Source Hallegatte 2008, scénario HadRM3H



LE CHANGEMENT CLIMATIQUE À L'ŒUVRE

Des événements climatiques extrêmes ont été observés au cours des 100 dernières années. Les plus marquants :

- * Les crues de la Seine en 1910, mais aussi en 1924, 1955, 1959 et 1982
- * Les tempêtes, notamment Lothar en 1999 (169 km/h) et Xynthia en 2010 (122 km/h)
- * Des épisodes de forte canicule en 1947, 1994, 2003, 2006 et 2015
- * Des vagues de sécheresse en 1921, 1959, 1976 et 2011
- * Des vagues de grand froid, en 1985, 1986, 1991, 1997, 2003, 2005 et 2012

Inondation de Meudon lors de la crue de 1910

Source : PADD Meudon



Selon ces simulations, le changement climatique en Ile-de-France se traduira par **une hausse des températures moyennes de 2 à 4°C**, hausse particulièrement marquée l'été avec une recrudescence des jours chauds et très chauds, et l'hiver avec un recul des jours froids (nombre de jours de gel en baisse, période hivernale plus courte).

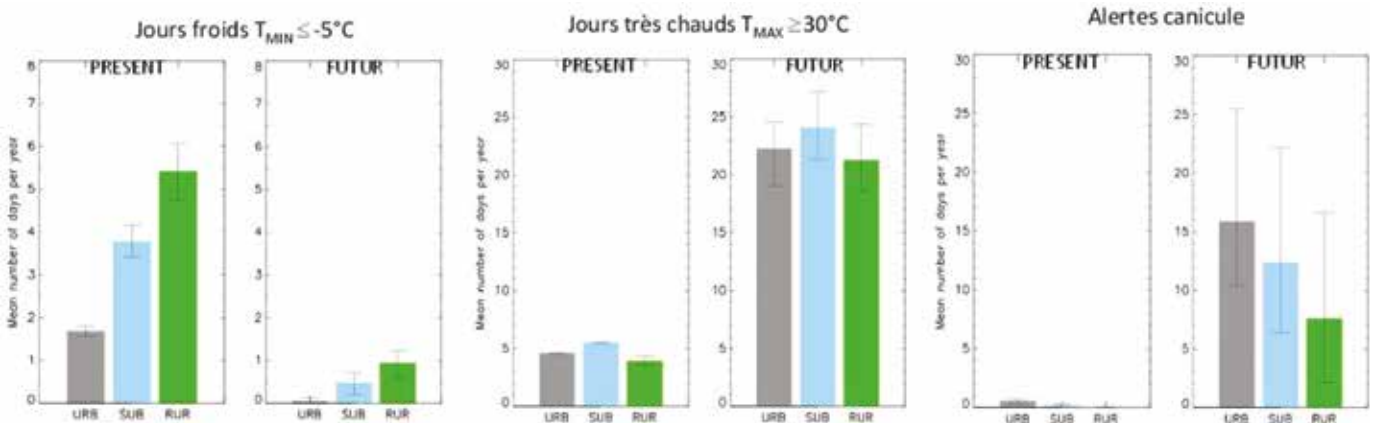
Le nombre d'épisodes caniculaires augmentera fortement, jusqu'à 10 à 20 jours par an contre 1 jour actuellement.

En parallèle, **les précipitations annuelles diminueront**. Là encore, cette baisse sera particulièrement marquée **l'été et au début de l'automne**, et conduira à l'allongement de la période sèche estivale et à l'augmentation des sécheresses. Les précipitations pourraient augmenter en hiver.

Ces grandes tendances n'excluent cependant pas une forte variabilité interannuelle, avec par exemple des hivers très rudes certaines années.

En effet, il ne faut pas confondre simulations climatiques sur le long terme (à l'horizon fin du XXI^{ème} siècle) et prévisions météorologiques quotidiennes.

Selon l'étude EPICEA, ces évolutions de températures conduiraient à la fin du XXI^{ème} siècle à une diminution d'environ 30% des besoins de chauffage en hiver. Inversement, en été, elles entraîneront une hausse importante des besoins en climatisation.



Nombre moyen par an de jours froids, très chauds, et d'alertes canicule pour les climats actuel et futur (fin du XXI^{ème} siècle) dans les zones urbaines (gris), périurbaines (bleu) et rurales (vert) en Ile-de-France. | Source : étude EPICEA

L'ÉTUDE EPICEA

Menée par Météo France, le CSTB, l'Agence Parisienne du Climat et l'Atelier Parisien d'Urbanisme, à l'initiative de la Mairie de Paris, le projet EPICEA vise à synthétiser les impacts induits par le changement climatique à l'échelle de l'agglomération parisienne. L'étude dresse une esquisse du futur climat parisien, et pointe notamment le phénomène d'îlot de chaleur urbain (ICU) comme enjeu majeur. Différentes stratégies d'adaptation sont étudiées, comme la mise en œuvre de matériaux de construction adaptés, la végétalisation ou l'humidification de la ville.



VULNÉRABILITÉ DU TERRITOIRE AU CHANGEMENT CLIMATIQUE ET SES CONSÉQUENCES

La diminution des besoins de chauffage l'hiver et des étés plus chauds liés au réchauffement climatique peuvent constituer à première vue des perspectives attrayantes. Mais une modification aussi brusque de notre climat n'est pas sans conséquence pour un territoire comme l'Île-de-France, où les infrastructures, bâtiments et activités n'ont pas été pensés pour ces nouvelles conditions climatiques. Sans oublier les écosystèmes et la biodiversité qui s'en trouveront fortement menacés.

La communauté d'agglomération Grand Paris Seine Ouest a engagé une étude de vulnérabilité au changement climatique pour préparer la stratégie d'adaptation du territoire. À partir de l'observation des événements passés au cours du siècle dernier et des possibles évolutions climatiques d'ici 2100, il ressort que les inondations et mouvements de terrain représentent une forte menace pour le territoire, tout comme les vagues de chaleur.

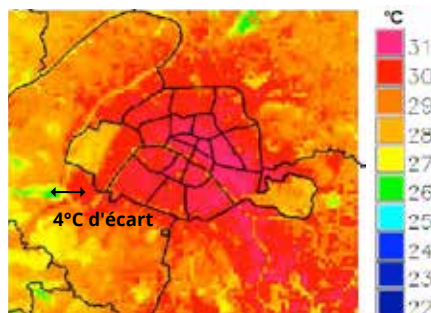
Les vagues de chaleur et l'effet d'îlot de chaleur urbain

Le territoire de GPSO présente une vulnérabilité forte à la canicule du fait de sa densité urbaine. Un microclimat urbain appelé effet **d'îlot de chaleur urbain (ICU)** est généré du fait même de ce contexte urbain.

L'effet ICU

Ce phénomène traduit l'écart de température observé entre une agglomération urbanisée et son environnement périphérique moins dense (zones rurales ou forestières). **Cet écart atteint facilement 2 à 4 °C suivant les zones.** En région parisienne, il peut parfois atteindre 10°C à l'échelle journalière. Par ailleurs, l'amplitude thermique entre le jour et la nuit diminue fortement.

Cette chaleur peut être d'origine naturelle ou anthropique. Les zones urbanisées stockent plus de chaleur que les zones naturelles, en raison



L'ICU simulé lors de la nuit du 12 août 2003, montre un écart de 4°C entre le centre-ville de Boulogne-Billancourt et le domaine de Saint-Cloud

Carte de l'Îlot de Chaleur Urbain de la petite couronne le 12 août 2003
Source : étude EPICEA

des matériaux qui composent les bâtiments, les voies de circulation et les infrastructures. Ceux-ci accumulent la chaleur de manière plus importante que l'environnement naturel en milieu rural. Par ailleurs, leurs propriétés radiatives et thermiques, dont l'albédo (capacité à réfléchir le rayonnement solaire) contribuent au réchauffement local de l'air en milieu urbain.

La **morphologie des villes, notamment la densité des constructions**, favorise la hausse des températures. En effet, la ville dense fait obstacle aux écoulements d'air et l'évacuation de la chaleur par ventilation naturelle est moins efficace. De plus, la réduction du facteur de vue du ciel, dû à la taille, la

hauteur et l'orientation des bâtiments, limite le refroidissement nocturne par rayonnement vers la voûte céleste.

La raréfaction des espaces végétalisés et non bétonnés/asphaltés accentue l'effet d'ICU.

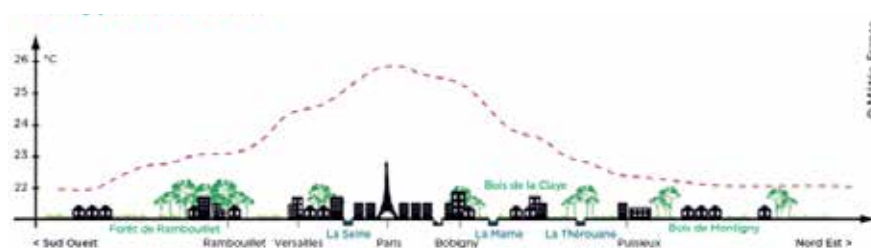
En effet, les végétaux contribuent à diminuer la température de l'air par les mécanismes d'évapotranspiration qui leur sont propres. On note d'ailleurs une différence de température moyenne de près de 2 à 3°C sur l'ensemble du cycle diurne entre les parcs et les zones bâties à proximité.

Enfin, les **activités anthropiques** denses en zone urbaine (transports à moteur, industrie, chauffage ou climatisation des bâtiments) émettent directement de la chaleur et participent au réchauffement local.

Impacts sur la santé

L'effet d'îlot de chaleur urbain a un impact néfaste sur l'environnement et la santé, notamment en période estivale. Les hautes températures favorisent la formation de polluants atmosphériques (notamment l'ozone à l'origine du smog) responsables de diverses **maladies respiratoires et cérébrovasculaires.**

Outre l'inconfort de la population, les périodes de canicules, plus fréquentes et plus longues, entraînent une fatigue globale des personnes. Ceci favorise l'occurrence de syncopes et de coups de chaleur, et exacerbe les maladies chroniques préexistantes comme le diabète, l'insuffisance respiratoire, les maladies cardiovasculaires,



Profil des températures pour une nuit de canicule de type été 2003
Source : Météo-France

cérébrovasculaires, neurologiques et rénales, avec un risque de causer la mort.

Il est donc impératif de mettre en place des stratégies de diminution et d'adaptation à l'effet d'ICU.

Les inondations

Par sa forte urbanisation, son relief (coteaux...) et sa localisation (en bord de Seine), le territoire de GPSO présente une exposition forte aux inondations.

Celles-ci sont susceptibles d'intervenir à la fois sur les bords de Seine par débordement du fleuve (inondations lentes), et sur le bas des coteaux par ruissellement urbain lors d'épisodes pluvieux importants (pluies torrentielles).

Les aménagements urbains sont alors potentiellement soumis à une exposition forte.

Les résultats des études de Météo France tendent vers une situation neutre au regard de la fréquence et de l'intensité du risque inondation par débordement de la Seine en Île-de-France. Mais l'intensité des pluies augmentant, le risque de catastrophe naturelle due aux pluies torrentielles s'accroît fortement.

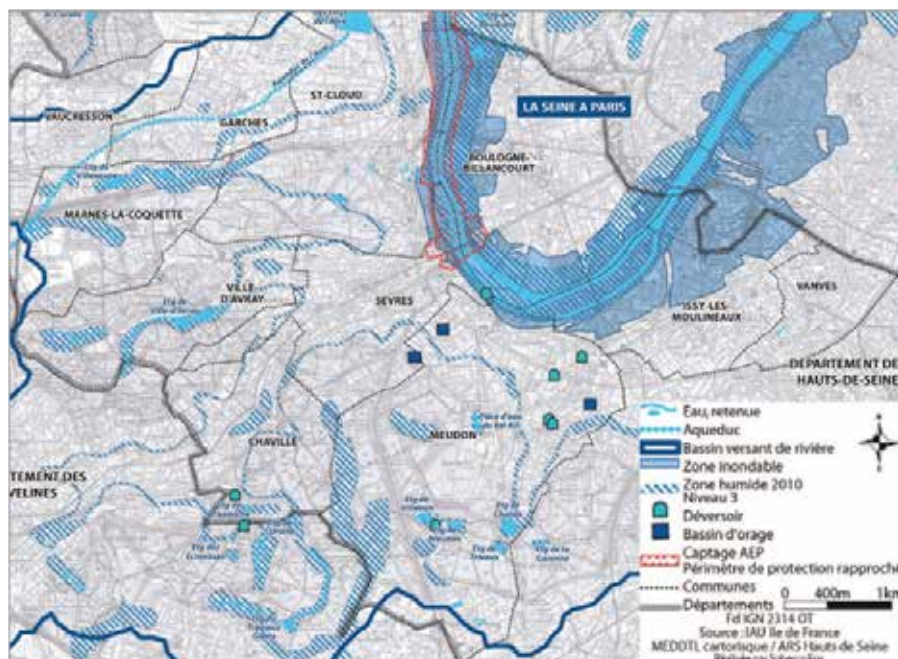
Le retrait/gonflement des argiles

Le retrait-gonflement des argiles est directement lié aux conditions climatiques, notamment aux précipitations. Les sols argileux voient leur consistance se modifier en fonction de leur teneur en eau. En contexte humide, ils se présentent comme souples et malléables. On assiste alors à une augmentation du volume, et on parle de **gonflement des argiles**.

En déficit d'eau, ce même sol argileux sera dur et cassant et se rétractera. On parle de **retrait des argiles**.

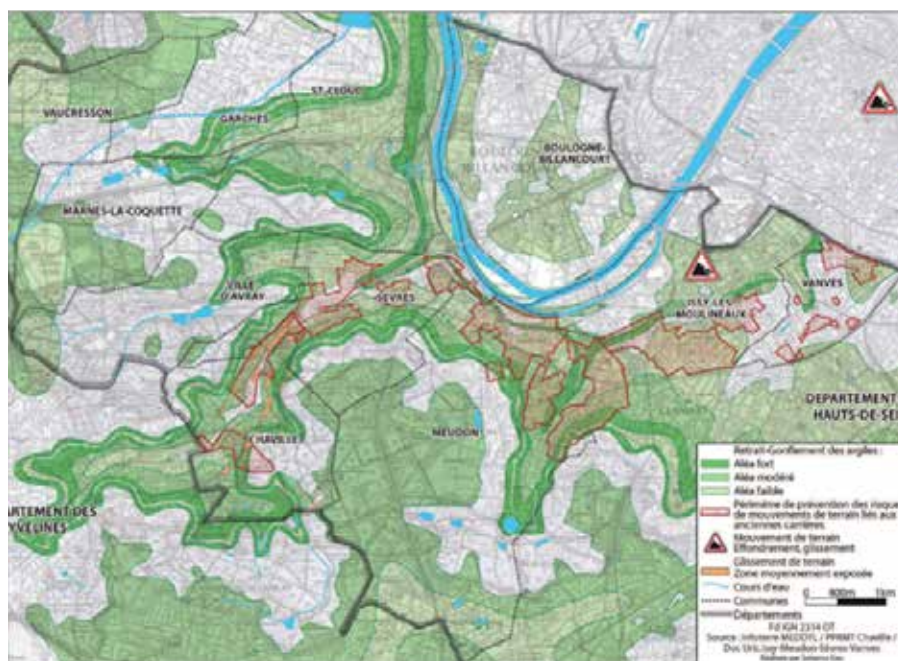
L'augmentation de la fréquence des phénomènes extrêmes (sécheresses, inondations) entraîne un aléa plus important de retrait/gonflement des argiles.

Les bâtiments et infrastructures exposés sur des sols argileux. Ils présentent souvent une forte vulnérabilité liée à la faible prise en compte du phénomène dans les plans d'aménagement et les méthodes de construction des bâtiments. Les conséquences sont à la fois structurelles, économiques et sociales.



Exposition de GPSO aux inondations

Source : Evaluation environnementale du Contrat de développement territorial de GPSO



Exposition des communes de GPSO aux mouvements de terrain (retrait-gonflement des argiles, affaissement de terrain...)

Source : Evaluation environnementale du Contrat de développement territorial de GPSO

En France, le **coût d'indemnisation des sinistres dus au retrait/gonflement des argiles s'élève à près de 4 milliards d'euros sur la période 1989-2003**, dont 1,3 milliard pour la seule année 2003 (année de canicule et de sécheresse marquée).

DES SOLUTIONS D'ADAPTATION À DIFFÉRENTES ÉCHELLES



Au cours du XXI^{ème} siècle, le territoire de Grand Paris Seine Ouest devra faire face à la fois à la hausse des températures et à l'allongement des périodes de canicule dues au réchauffement climatique.

Du fait de la forte densité urbaine, la canicule sera renforcée par les effets locaux d'îlot de chaleur urbain. Les risques d'inondations liés aux pluies torrentielles seront également plus marqués.

Des stratégies d'adaptation existent à différentes échelles :

Politiques territoriales (collectivités)

A travers les Plans Climat Air Energie Territoriaux (PCAET), les Plans Locaux d'Urbanisme intercommunaux (PLUI) et les Plans d'Aménagement et de Développement Durable (PADD), il est possible pour les collectivités locales et territoriales de prescrire des orientations et obligations intégrant l'adaptation au changement climatique (adaptation des bâtiments à l'effet d'ICU, prise en compte des risques d'inondations et de mouvements de terrain...). Ces documents-cadres structurent tout projet d'aménagement et de construction, et assurent la prise en compte de la vulnérabilité au changement climatique dans le développement urbain.

A l'échelle des transports, une politique visant à réduire l'utilisation automobile (émissions directes de chaleur), ainsi qu'une politique ambitieuse concernant les transports en commun et incitative concernant les modes doux (vélo, pedibus...) ont un impact positif sur la limitation de l'effet d'ICU. Accentuer la mixité fonctionnelle des quartiers limite les déplacements et appuie ces politiques.

La mise en place d'une politique sociale de réduction de la vulnérabilité des personnes les plus exposées (personnes âgées ou dépendantes) est également nécessaire pour limiter les impacts de l'effet d'ICU sur ces populations. La prise en compte des

LA TRAME VERTE ET BLEUE DE GPSO

Grand Paris Seine Ouest a élaboré une stratégie globale de préservation de la biodiversité. Elle s'articule autour de 3 axes principaux : la mise en œuvre d'un schéma de trame verte et bleue, la sensibilisation des habitants/élus/services, ainsi que la mise en place d'une action sur la gestion et le développement des espaces publics. En maintenant la surface d'espaces de nature, et en développant la végétalisation des espaces publics, tout en assurant leur gestion écologique, ce schéma participe à la lutte contre l'effet d'ICU et plus largement contre le changement climatique.

canicules dans les rythmes de vie, y compris au travail (aménagement des horaires, santé au travail) permet de s'adapter à ces phénomènes.

Aménagement urbain (collectivités, entreprises...)

Le développement des conditions favorables à la création d'îlots de fraîcheur et de solutions pour limiter les effets d'îlots de chaleur passe par diverses actions :

→ **Développer les espaces végétalisés** : espaces boisés, parcs, jardins, mais aussi végétalisation diffuse. Grâce à l'évapotranspiration des plantes, la végétation refroidit l'air naturellement. De plus, les végétaux fixent les polluants, poussières et particules, et absorbent du CO². Toutefois, ceci n'est possible que si les plantes ne sont pas soumises à un stress hydrique trop important, ce qui risque d'être le cas étant donné les prévisions de sécheresse associées aux périodes de canicule. L'arrosage pourra s'avérer indispensable pour compenser. La disponibilité de l'eau devient un enjeu encore plus crucial et la récupération d'eau de pluie est un moyen à considérer.

→ **Développer l'accès à des aires de rafraîchissement** : la présence de surfaces en eau (fontaines, canaux...) contribue à créer des îlots de fraîcheur en journée. Favoriser l'accès à des lieux frais est une mesure judicieuse : équipements publics climatisés et lieux de culte peuvent servir de lieux de ressourcement en période de canicule. Le territoire de GPSO

présente d'anciennes carrières souterraines qui pourraient être transformées afin de valoriser leur fraîcheur naturelle.



Deux exemples d'aménagements paysagers ne nécessitant pas d'arrosage et contribuant à la gestion des eaux pluviales :

Parc des Glacières (Boulogne-Billancourt) : lisière boisée, lande et bassin de gestion des eaux pluviales

Parking paysager Malgaive (Ville-d'Avray) : noue paysagère et pavés à joints engazonnés assurant respectivement le recueil et l'infiltration des eaux pluviales

© GPSO



UN ASSAINISSEMENT DOUX

GPSO développe une stratégie de gestion des eaux pluviales. D'une part, par la mise en séparatif et le redimensionnement des canalisations, d'autre part, en imposant un débit de fuite de 2l/s/ha lors d'aménagements. Ainsi, les eaux pluviales sont stockées et réutilisées de manière ponctuelle pour l'arrosage des espaces verts, le nettoyage de la voirie ou des véhicules, etc. Ces aménagements permettent à la fois de limiter l'effet d'ICU et de prévenir le risque d'inondation.

→ **Améliorer le cycle naturel de l'eau sur le territoire** : sols perméables et infiltration directe de l'eau dans les sols (lorsque ceux-ci ne présentent pas de risques dus aux argiles) sont des solutions à développer. Maintenir l'eau sur le site avec un ruissellement naturel par des cheminements végétalisés vers les cours d'eau permet de bénéficier du phénomène d'évaporation qui limite l'effet d'îlot de chaleur urbain.

→ **Anticiper et s'adapter aux risques d'inondations et de mouvements de terrain et aux effets du retrait-gonflement des argiles** : concevoir, construire et rénover les bâtiments et aménagements urbains en tenant compte de l'évolution attendue de ces aléas climatiques désormais connus.



La ZAC du Trapèze à Boulogne-Billancourt comporte des espaces verts prévus pour être submergés en cas de montée des eaux
© GPSO

→ **Isoler les bâtiments**, de préférence par l'extérieur afin de leur apporter de l'inertie et d'optimiser leur déphasage thermique. Cela permet de limiter l'augmentation de la température intérieure du bâtiment en été, tout en limitant sa consommation énergétique en hiver. Privilégier les matériaux naturels engendre un moindre impact sur le réchauffement climatique global (moins d'énergie nécessaire à leur production) et contribue à la santé du bâtiment et de ses occupants. En effet, plus perspirants et souvent plus denses, ces matériaux limitent les pathologies du bâti liées à l'humidité et apportent une inertie intéressante et appréciable en été.

→ Favoriser la végétalisation des toitures **limite également l'effet d'ICU grâce à l'évapotranspiration des plantes**. Par ailleurs, une toiture végétalisée contribue à l'isolation du bâtiment.

→ **Privilégier la ventilation naturelle** à la climatisation des bâtiments (la climatisation accentue l'effet d'ICU par rejet de chaleur dans le milieu extérieur). Pour ce faire, il est possible d'intégrer une étude aérodynamique lors de la phase de conception pour garantir la bonne circulation des vents en période estivale. L'architecture bioclimatique (orientation et conception des bâtiments) doit également être mise en œuvre pour améliorer le confort estival de manière passive.



Isolation thermique par l'extérieur avec du liège
© Raphaële Héliot

La question du coût de l'adaptation est bien entendu primordiale. Mais aussi élevé soit-il, il reste toujours largement inférieur au coût des réparations causées par un événement climatique majeur. Inondations, canicules et mouvements de terrain génèrent des dommages conséquents, qui coûteront très cher à traiter et réparer. Une politique d'adaptation du territoire au changement climatique peut permettre d'éviter ou de limiter ces dommages.

Construction de bâtiments (promoteurs, particuliers, collectivités...)

→ **Utiliser des matériaux aux propriétés thermiques et optiques adaptées**, par exemple des matériaux capables de réfléchir le rayonnement solaire et non de l'absorber. Selon l'étude EPICEA, l'utilisation massive d'enduits réfléchissants aurait un impact bénéfique relativement important en réduisant de 1 à 3°C la température locale durant les épisodes de canicule.

Utilisation des bâtiments (particuliers, usagers des bâtiments publics et privés)

→ En période estivale, privilégier la mise en place d'une **ventilation nocturne naturelle**, l'utilisation de **protections solaires extérieures** (volets, stores), la limitation des apports de chaleur internes (fours, appareils électriques...), éviter d'ouvrir ses fenêtres en journée et de sortir aux heures chaudes.

Pour en savoir plus :

- * **Diagnostic de vulnérabilité du territoire face au changement climatique.** Communauté d'Agglomération Grand Paris Seine Ouest. Etude basée sur l'outil ImpactClimat de l'ADEME. Novembre 2009
- * Les brochures «Le climat à Paris» de l'Agence Parisienne du Climat (disponibles sur www.apc-paris.com) :
 - **Le changement climatique à Paris.** Evolution du climat à Paris depuis 1900, Quel climat futur? Juillet 2015
 - **Comment adapter le territoire parisien aux futures canicules.** Pistes et stratégies d'adaptation au changement climatique. Juillet 2014
 - **L'îlot de chaleur urbain à Paris.** Un microclimat au coeur de la ville. Septembre 2013.
- * Publications de l'IAU (Institut d'aménagement et d'urbanisme d'Île-de-France) (disponibles sur www.iau-idf.fr/liou-et-vous/nos-editions/note-rapide.html):
 - **Les stratégies de végétalisation pour aider la ville à faire face à la canicule.** Note rapide Environnement N° 662 Septembre 2014
 - **La vulnérabilité de la ville à la chaleur par l'approche Zones climatiques locales.** Note rapide Environnement N° 661 Septembre 2014.
 - **Vulnérabilité énergétique : les pavillonnaires modestes sous tension.** Note rapide Société N° 678 Mars 2015
- * **Etude Pluridisciplinaire des Impacts du Changement Climatique à l'Echelle de l'Agglomération parisienne (EPICEA),** menée par la Ville de Paris avec Météo France, le CSTB, l'APC et l'APUR. Octobre 2012, disponible sur www.cnrmmeteo.fr/IMG/pdf/epicea-rapport-final_v4.pdf
- * **Modélisation urbaine et stratégies d'adaptation au changement climatique pour anticiper la demande et la production énergétique** (Muscade) commandée par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR). Rapport final 2014. Disponible sur http://www.iau-idf.fr/fileadmin/user_upload/Enjeux/changementclimat/MUSCADE_RapportFinal.pdf
- * **Vulnérabilité URbaine aux épisodes Caniculaires et stratégies d'Adaptation (VURCA),** étude financée par l'ANR et menée par le CIRED, le GAME et le CSTB. Mai 2013, disponible sur <http://onerc.developpement-durable.gouv.fr/fr/projet/vurca-vulnerabilite-urbaine-aux-episodes-caniculaires-et-strategies-d-adaptation>
- * **Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain à destination des collectivités territoriales.** Etude réalisée par le Conseil Régional d'Ile de France et l'ADEME. Octobre 2012. Disponible sur <https://ile-de-france.ademe.fr/sites/default/files/files/DI/Changement-climatique/guide-lutte-effet-ilot-chaleur-urbain.pdf>

Ont participé à cette note technique :

Coordination éditoriale : Muriel Le Boulanger, Beate Brockmann (GPSO Energie)

Rédaction : Antoine Detrie, Hugo Berard (GPSO Energie)

Remerciements : Julien Desplat (Météo France), Elsa Meskel (Agence Parisienne du Climat), Services de GPSO



L'Agence Locale de l'Energie reçoit le soutien financier de:



GRAND PARIS SEINE OUEST ENERGIE AGENCE LOCALE DE L'ENERGIE

2 rue de Paris - 92190 Meudon

contact@gpso-energie.fr

www.gpso-energie.fr

