

Fascicule n° 6 - Changement climatique

Changement climatique : Faire face aux événements climatiques extrêmes

PIREN-Seine - Prospective Urbaine

Travail réalisé dans le cadre du M2 Urbanisme et Aménagement
de l'Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne

Etudiants

Eleonora BONINO

Jihoon LEE

Hélène MILET

Jérôme THIBAUT

Encadré par

Sabine BARLES

2016-2017



Fascicule n° 6 - Changement climatique

Changement climatique :
Faire face aux événements
climatiques extrêmes

PIREN-Seine - Prospective Urbaine

#6

SOMMAIRE

Introduction	1
I. L'expression quotidienne du changement climatique en Île-de-France	2
L'impact du changement climatique sur l'espace francilien : Etat des lieux	2
Changement climatique quotidien et vie en Île-de-France : quels questionnements émergents ?	3
II. Les événements climatiques extrêmes : des risques multipliés pour les espaces urbains	4
1. Les risques d'inondation	4
a. Retour historique : Un territoire marqué par les inondations	4
b. Les conséquences sur l'activité économique d'une crue aujourd'hui, impact micro et macro économique	8
c. L'urbanisation : un facteur qui augmente la vulnérabilité des établissements humains	8
d. Réponses urbaines au risque inondation	11
Gérer le temps de crise	11
Se protéger contre les inondations ?	13
Aménager la ville pour accueillir la crue ?	14
2. Les risques de sécheresse	15
a. Baisse des précipitations et urbanisation, des facteurs aggravants	15
b. L'impact de la sécheresse sur la ville	15
3. Canicules et îlots de chaleur urbains	17
a. L'îlot de chaleur urbain en Île-de-France : caractéristiques	17
b. l'ICU, un phénomène lié à la morphologie urbaine et à la présence d'eau	19
Réaction des matériaux face à la chaleur solaire	19
Rayonnement solaire et tissu urbain	20
La chaleur anthropique	21
Présence d'eau en ville et ICU	22
Conclusion	24



Introduction

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC)¹ emploie le terme « changement climatique » pour désigner tout changement de climat dans le temps, qu'il soit dû à des phénomènes naturels ou aux activités humaines². Depuis plusieurs années, la responsabilité des gaz à effet de serre (GES) dans le changement climatique fait l'objet d'un consensus qui repose sur la convergence d'éléments de preuve relatifs :

« - aux tendances de la température au cours des derniers siècles [...],
« - à la comparaison de telles tendances avec la variabilité naturelle du système climatique [...],
« - aux simulations, par les modèles de circulation générale (MCG; e.g. Gachon, 2000), du changement climatique qui pourrait résulter d'augmentations variées des gaz à effet de serres. » (Ducharne, Déqué, et al., 2003, [4])

Au cours des dernières décennies, les impacts du changement climatique sont devenus de plus en plus apparents : modification des écosystèmes, canicule, disparition d'espèces vivantes, submersion des îles du Pacifique, etc. Ces événements touchent l'ensemble de la planète, à la fois les régions exposées à des conditions météorologiques extrêmes, Arctique, villes littorales de l'Asie, Afrique, mais également les zones plus tempérées.

L'Île-de-France n'est et ne sera pas épargnée par le changement climatique. Ce fascicule a pour objet de présenter les effets prévus du changement climatique sur l'agglomération francilienne et sur la ressource en eau. Il s'agit tout d'abord d'analyser les conséquences « quotidiennes » du changement climatique sur les espaces urbains, et, ensuite, d'aborder les événements climatiques dits extrêmes : inondations, sécheresse, canicule.

Le changement climatique, à l'échelle mondiale et à l'échelle francilienne, est un phénomène relativement bien documenté. Ce fascicule est basé sur le projet EPICEA³, qui évalue l'impact du changement climatique sur la température de l'air (en adaptant à la métropole parisienne les scénarios des rapports d'évaluation du GIEC), sur le Plan Régional pour le climat d'Île-de-France adopté en 2011 (Conseil Régional d'Île-de-France, 2011) et sur la stratégie d'adaptation au changement climatique de l'Agence de l'eau Seine-Normandie (Agence de l'eau Seine Normandie, 2016).

¹ Il s'agit d'un groupe fondé en 1988 pour documenter le phénomène du changement climatique par des évaluations scientifiques précises et détaillées.

² « Cette définition diffère de celle qui est employée dans la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, dans laquelle le changement climatique s'applique à un changement de climat attribué directement ou indirectement aux activités humaines qui modifient la composition de l'atmosphère dans son ensemble et qui s'ajoute à la variabilité naturelle du climat constatée sur des périodes de temps comparables ». Intergovernmental panel on climate change, disponible sur: https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg2/fr/spmsd.html

³ Etude Pluridisciplinaire des Impacts du Changement climatique à l'Echelle de l'Agglomération parisienne, mené par la Ville de Paris, Météo-France et le CSTB, publié en 2012.

I. L'expression quotidienne du changement climatique en Île-de-France

L'impact du changement climatique sur l'espace francilien : Etat des lieux

Au travers de son plan régional pour le Climat, adopté en 2011, la région Île-de-France vise à s'engager sur la voie d'une conversion écologique et sociale et de transition énergétique. Les territoires et les habitants sont particulièrement vulnérables aux enjeux sociaux de la crise environnementale, notamment :

« face à la probable augmentation des aléas climatiques : sécheresses, augmentation du nombre de jours de canicule, tempêtes, inondations, etc.

« face à la très forte dépendance de la région Île-de-France aux énergies fossiles et fissiles : cette dépendance induit de plus une mise en difficulté pour les collectivités, les ménages et les entreprises face à la raréfaction et à l'augmentation des prix de l'énergie et à la nécessité de maîtriser leurs consommations pour diminuer les impacts. »

(Conseil Régional d'Île-de-France, 2011 [7])

Aujourd'hui les politiques publiques commencent à mettre en place des stratégies d'adaptation au changement climatique qui se doivent de prêter une attention particulière à l'impact sur la ressource en eau : « l'eau et les milieux aquatiques sont à la croisée des politiques agricole, énergétique, de l'aménagement du territoire, d'aménagement urbain, etc. et des stratégies d'adaptation susceptibles d'être développées dans chacun de ces secteurs. » (Agence de l'eau Seine Normandie, 2016, [2]). Dans ce cadre l'Agence de l'eau Seine- Normandie a élaboré une stratégie d'adaptation au changement

climatique pour le Bassin de la Seine dans le but d'inclure un volet consacré au changement climatique dans le SDAGE 2016-2021. Les effets simulés du changement climatique sur le bassin Seine-Normandie ont été synthétisés en mettant en évidence :

« une hausse généralisée et à toutes les saisons des températures moyennes et extrêmes⁴;

« une baisse des précipitations estivales et en moyenne annuelle, une évolution incertaine des précipitations hivernales et des cumuls annuels de précipitations en baisse à long terme malgré les incertitudes sur la période hivernale ;

« une augmentation de l'évapotranspiration potentielle. La hausse des températures entraîne une augmentation de l'évapotranspiration (ETP) des végétaux, et donc des besoins en eau des cultures pour couvrir ce que les agronomes appellent le « confort hydrique » des végétaux ;

« une augmentation légère de la fréquence des événements de fortes pluies à moyen terme. »

(Agencedel'eauSeineNormandie,2016,[5,6])

Le changement climatique, ce sont donc à la fois des changements globaux, qui influencent le système quotidiennement (baisse des précipitations, hausse de la température de l'air) ; et des événements climatiques extrêmes plus fréquents (fortes crues, sécheresses, canicules) dus à l'intensification des contrastes climatiques. Ces effets se traduisent par des impacts multiples pour l'eau et les milieux aquatiques, notamment :

⁴ En période estivale entre +2,9 °C et +5,7 °C et en période hivernale entre +2° C et +3,8 °C (Plan régional pour le Climat d'Île-de-France, 2011, [7])

« la modification des régimes hydrologiques, notamment de la Seine. La très forte augmentation de la demande évaporatoire potentielle, au regard de laquelle les incertitudes sur la pluviométrie sont de second ordre, induirait un changement majeur à l'horizon 2050 par rapport à la situation actuelle : la relative abondance de la ressource en eau que nous connaissons ne serait alors plus de mise. En effet, à prélèvements et occupation des sols semblables à ceux d'aujourd'hui, les études disponibles à l'échelle du bassin montrent des baisses significatives des débits d'étiage, notamment en raison d'une baisse du niveau des aquifères (en particulier, les seuils de déclenchement des arrêtés sécheresses deviendraient pratiquement la norme selon certains scénarios). Malgré les incertitudes propres à ce type d'études, toutes les simulations consultées montrent les mêmes tendances de baisse significative des débits estivaux. En revanche, les travaux actuels ne montrent pas de signaux significatifs en ce qui concerne les crues ;

« une réduction de la disponibilité des eaux souterraines ; des risques accrus de submersion marine et augmentation des biseaux salés dans les zones côtières;

« une dégradation (toute chose égale par ailleurs) de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques, avec des conséquences sur les espèces. »

(Agence de l'eau Seine Normandie, 2016, [6])

Face à ces évolutions et aux risques qu'elles font peser sur la ressource, deux types de mesures d'adaptation existent :

« des mesures qui s'inscrivent dans les débats préexistants, liées à la gestion de la ressource en eau (faciliter ou développer l'accès à la ressource ou au faire des économies d'eau) ou à l'adaptation du secteur agricole (approches techniques et d'aménagements, changement de pratiques ou de modèles agricoles).

« des thématiques d'adaptation spécifiquement induites par les effets du changement climatique : îlots de chaleurs urbains et gestion du rafraîchissement urbains, effets sur le littoral de la hausse du niveau de la mer, etc. et un éventuel changement de paradigme dans la gestion du système hydrologique de la Seine et du développement du Grand Paris vers une situation de « rareté de l'eau ».

(Agence de l'eau Seine Normandie, 2016, [7,8])

Changement climatique quotidien et vie en Île-de-France : quels questionnements émergent ?

Notons bien que le changement climatique devient problématique dans la mesure où il menace les systèmes d'organisation séculaires des sociétés et induit pour elles des risques nouveaux, auxquels elles ne sont pas (ou peu) préparées. Par exemple, la hausse de la température de l'air pourrait entraîner le développement d'espèces d'insectes ou de parasites jusqu'alors inconnus en Île-de-France, et porteurs potentiels de maladies. En parallèle, la baisse générale de la ressource en eau est un défi de grande envergure, car elle concerne l'ensemble des acteurs et habitants de l'agglomération. Elle remet en cause le système d'assainissement

actuel, dont les rejets dans le milieu ne seront plus suffisamment dilués pour ne pas trop dégrader la qualité de l'eau, qui elle-même peut avoir des conséquences sanitaires (consommation humaine) ; elle questionne aussi fortement les usages industriels et agricoles actuels, dont une forte part est soutenue par l'irrigation. Par ailleurs, l'échauffement de l'eau (d'environ 2° C à l'horizon 2100), provoqué par l'augmentation des températures, pourra également menacer la qualité de la ressource et perturber les écosystèmes (Agence de l'eau Seine Normandie, 2016). L'émergence de conflits d'usages majeurs, en cas de stress hydrique, est prévisible : il s'agira de définir quels usages prévalent, quels autres sont négligés, dans un débat public qui s'annonce houleux. La baisse de la ressource implique une baisse de la consommation qui interroge profondément les bases de la société.

Ces manifestations quotidiennes du changement climatique ne sont pas les plus médiatisées, ni les plus documentées. La multiplication des événements climatiques extrêmes (crues, fortes chaleurs, sécheresses) va de pair avec une multiplication des risques pour les espaces urbains : c'est l'objet de la suite de ce fascicule.

II. Les événements climatiques extrêmes : des risques multipliés pour les espaces urbains

1. Les risques d'inondation

Une inondation est la conséquence d'une crue, montée des eaux d'un cours d'eau. Elle a lieu dans une zone habituellement sèche par des eaux douces (inondation terrestre) ou salées (inondation marine) et peut apparaître rapidement ou lentement. L'inondation du bassin de la Seine est terrestre et se produit relativement lentement ce qui cause éventuellement plus de dégâts sur le milieu urbain et rural.

a. Retour historique : Un territoire marqué par les inondations

Malgré la difficulté de prévoir une crue centennale ou millénaire, en raison de leur nature non cyclique et du changement climatique, la perspective historique est toujours au cœur de la problématique des acteurs concernés par la gestion du risque d'inondation. Un aléa de référence⁵ est retenu pour chaque cours d'eau et la crue de janvier 1910, particulièrement élevée et destructrice (figures 1 et 1bis), sert de référence pour la Seine

⁵ « L'aléa de référence est le niveau d'aléa choisi pour la gestion du risque. Par exemple, l'aléa de référence servant de base à l'élaboration des PPRN inondations correspond à l'événement centennal ou au plus fort événement connu, s'il présente une période de retour supérieure à cent ans » (Ministère de l'environnement de l'Energie et de la Mer, disponible sur :<http://www.georisques.gouv.fr/glossaire/alea-de-reference-0>)





Figure 1: La crue de la Seine en janvier 1910, Quai des Grands Augustins. (DRIEE)

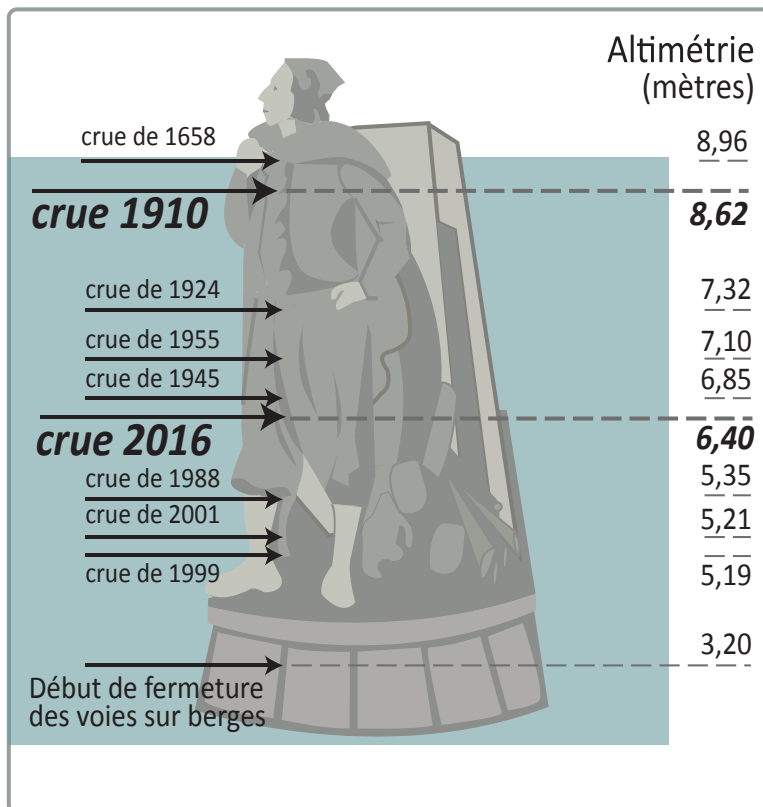


Figure 1bis: Le zouave du Pont de l'Alma, à l'aune duquel les différentes crues sont comparées (Réalisation personnelle, 2017)

La crue de janvier 1910 est le résultat des conditions météorologiques conjuguées à la situation géographique de la région parisienne. L'été 1909 particulièrement pluvieux et l'hiver qui lui a succédé, marqué par de fortes précipitations, y compris des chutes de neige, ont fini par saturer les terres et ont entraîné une forte crue de la Seine et de ses affluents en amont. Les effets de l'inondation sont particulièrement graves considérant le contexte de cette époque marquée par le progrès industriel : six lignes de métro et les principales gares, la gare d'Orsay, la gare de Lyon, la gare des Invalides et la gare Saint-Lazare, sont noyées sous les eaux. Les voies souterraines, symboles de modernité, destinées aux transports et aux égouts accélèrent l'inondation de la capitale en se retournant en quelque sorte contre la ville : les usines et les câbles fournissant l'électricité sont submergés par les eaux et la ville est plongée dans l'obscurité. L'inondation cause également d'importants dommages économiques. Le coût des dommages directs et indirects, estimés pour l'époque, correspondent à 1,4 milliards d'euros (DRIEE, 2011).

Même si la crue historique de janvier 1910 est souvent retenue comme référence, deux grandes crues similaires mais moins médiatisées se sont déroulées un siècle et demi et deux siècles et demi plus tôt dans la région parisienne : la crue de 1658 (8,96 m à l'échelle de Paris-Austerlitz) et la crue de 1740 (8,05 m à l'échelle de Paris-Austerlitz) (figure 2). L'inondation de 1658 est considérée, comme "le plus implacable et le plus terrible fléau que la France ait eu à enregistrer." (Pawlowski, Radoux, 1910, [51]). Les causes de l'inondation de 1658 ne diffèrent pas sensiblement de celles de 1910 : les neiges et les pluies qui se sont succédées pendant l'hiver provoquent des dégâts conséquents dans toute la France. A cette époque la ville de Paris est plus petite et se retrouve presque entièrement inondée,

les deux piles du Pont-Marie qui relie l'Île Saint-Louis au Marais sont détruites.

Fonder les estimations seulement sur cette crue de référence, hivernale, n'est néanmoins pas suffisant, et les événements de juin 2016 l'ont prouvé. En effet, la crue de mai-juin 2016 est atypique : elle apparaît en fin de printemps, ce qui surprend les acteurs (les services gérant les alertes inondations clôturent leur veille rapprochée des crues en mars, classiquement) et elle est due à des précipitations fortes au Sud-Est de Paris, où les infrastructures de stockage de l'eau n'ont pas d'impact (les lacs-réservoirs étaient en outre plein à cette période). Cet aléa pluviométrique inattendu illustre un principe en matière de risque climatique : les modélisations, aussi fines qu'elles soient, sont toujours, ou peuvent toujours être en théorie, dépassées par la réalité (Entretien, P. Goujard, EPTB Seine Grands Lacs, 13 février 2017). Ainsi, lors de la crue de la Seine de juin 2016 (figure 3 et 4), l'ensemble de la région parisienne a été touchée par des inondations plus ou moins graves selon les endroits : la circulation des bateaux a été interdite sur la Seine, plusieurs voies sur berges et certaines stations de métro ont été fermées, le tourisme a été paralysé et environ 5 000 foyers ont été privés d'électricité. Les enjeux d'une crue majeure attirent l'attention sur la question du risque et de la vulnérabilité de la région face aux inondations.



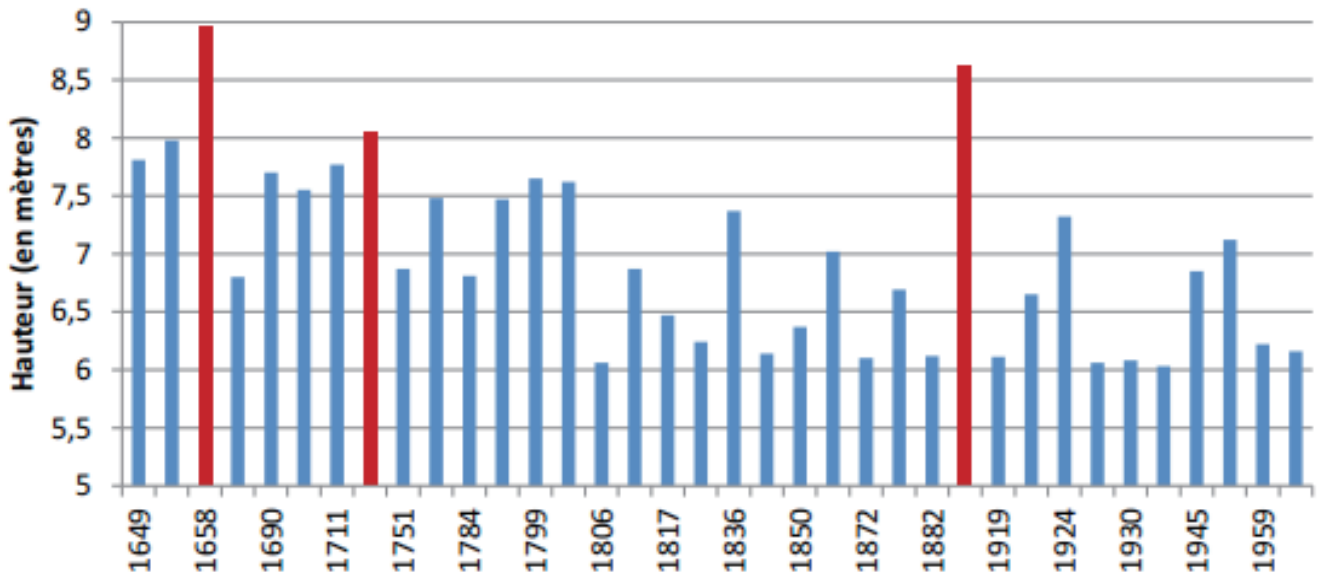


Figure 2 : Les crues majeures de la Seine à Paris depuis le XVII siècle. (Source : CCR, Caisse Centrale de Réassurance, 2016, [7])



Figure 3 : Comparatif crue 1910-2016, Julien Knez (Huffingtonpost.fr, 2016)



Figure 4 : Le square du Vert Galant, sur l'île de la Cité, Denis Allard. (LeMonde.fr, 2016)

Les impacts des inondations sur les villes sont relatifs, mais il est certain qu'ils deviennent de plus en plus importants en raison de la forte concentration des infrastructures et des activités économiques ainsi que de la croissance urbaine avec l'imperméabilisation des sols et le recouvrement des rivières (Voir Fascicule « De Paris à son agglomération »).

b. Les conséquences sur l'activité économique d'une crue aujourd'hui, impact micro et macro économique

Les inondations, notamment dans la zone urbaine, causent des dégâts majeurs sur les transports, le commerce, le tourisme et sur l'agriculture en zone rurale. Avec un niveau de la Seine de plus de six mètres, le secteur du transport fluvial est le premier secteur concerné, ce qui cause également préjudice au tourisme fluvial. Les inondations provoquent un endommagement des biens et des infrastructures, des perturbations des réseaux techniques tels que les réseaux d'eau potable et d'assainissement, de transport et d'électricité (figure 6). En cas de crue centennale (ou pire) le fonctionnement de l'agglomération parisienne serait bouleversé et sa compétitivité menacée. L'EPTB Seine Grands Lacs a réalisé une étude afin d'évaluer le coût des dommages directs et indirects en cas de nouvelles crues (EPTB Seine Grands Lacs, 2014). Les principaux dommages apparaissent à un seuil d'environ 7.30 m à l'échelle d'Austerlitz (le seuil maximal de la crue de 1910 était de 8,62m). A partir de ce seuil, qui correspond au niveau des murettes de protection contre les crues situées dans les départements du Val-de-Marne et des Hauts-de-Seine, « les atteintes aux principaux réseaux (RATP, SNCF, etc) augmentent de façon exponentielle » (EPTB Seine Grands Lacs, 2014, [14]). Les risques sur les réseaux de transport souterrains sont immenses : ils vont de l'ennoiement (ce qui détruirait les réseaux divers, ainsi que des infrastructures de

contrôle majeures) à la destruction des tunnels à cause de la pression sur leurs parois. Les dysfonctionnements provoqués par une crue (perturbation de l'approvisionnement, difficultés de déplacements, etc), toucheraient ainsi de manière indirecte, à des degrés divers, mais toujours sur le long terme (la RATP estime à deux années le temps de reprise normale du trafic après un ennoiement du réseau⁶), 4 à 5 millions de personnes, dont des populations et des activités non directement inondées.

⁶) Information recueillie lors de l'atelier « Build Back Better », organisé à la Cité de la Mode et du Design par la Mission Résilience de la Mairie de Paris, le 7 mars 2017





Cours Albert 1er
16^e arrondissement
Pont de l'Alama

Crues à Paris Pont de l'Alma

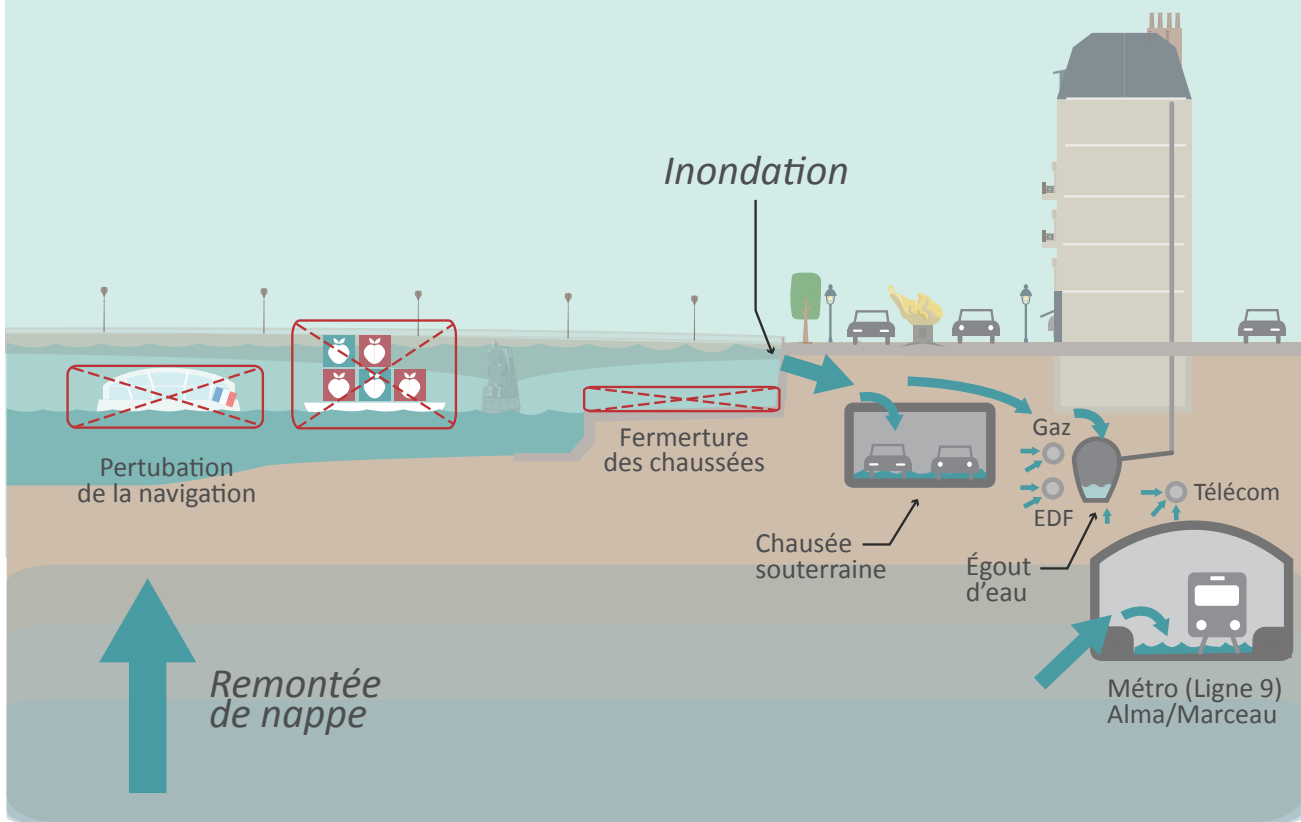


Figure 6 : Les impacts de l'inondation sur la ville. (Réalisation personnelle)

L'économie francilienne représente un tiers du PIB national (Fanartzis, 2012). Aussi, l'impact économique causé par une inondation se répercute sur l'ensemble de l'économie nationale : 170 000 entreprises dont près de 57 000 établissements directement inondés et 630 000 emplois potentiellement exposés (Fanartzis, 2012). Selon des scénarios d'inondation réalisés par l'OCDE, les dommages des crues en Île-de-France sont estimés de 3 à 30 milliards d'euros pour les dommages directs, assortis d'une baisse significative du PIB (1,5 à 58,5 milliards d'euros soit de 0,1 à 3 % sur cinq ans) (OCDE, 2014). Puisque la montée des eaux en Île-de-France est relativement lente (sa vitesse moyenne est de 50 cm par jour) et longue (en 1910, le niveau des eaux est resté 50 jours au-dessus de 3,20 m à la station Paris-Austerlitz), les conséquences dommageables d'une crue de

la Seine pourraient peser d'autant plus lourd sur les finances publiques à long terme. Toutefois, les nombreuses activités de restauration pour la reconstruction pourraient limiter les effets à court terme grâce à la circulation du capital nécessaire à la restauration de la zone inondée.

c. L'urbanisation : un facteur qui augmente la vulnérabilité des établissements humains

Au-delà de ces aléas météorologiques qui ne sont pas directement maîtrisables (forte pluie et chutes de neige provoquant la saturation des terres et la remontée des nappes), une grande partie des aménagements urbains participent de l'accroissement de la vulnérabilité aux catastrophes naturelles. En effet, l'aménagement urbain va de pair avec une forte artificialisation des sols (voir

Fascicule 3, « De Paris à son agglomération »), qui influence la réponse des sols aux précipitations et aux crues. En effet, la gestion classique de l'eau en ville consiste à canaliser les flux dans divers tuyaux (voir Fascicule 4, « L'eau en tuyaux ») ce qui a deux conséquences : l'eau ne peut plus s'infiltrer, en particulier lorsque les surfaces sont imperméabilisées, ce qui augmente les flux d'eau à traiter, et, en parallèle, la canalisation augmente la vitesse de déplacement de l'eau, et la concentre dans des points précis du réseau, ce qui favorise les inondations par débordement du réseau. De plus, l'urbanisation en région parisienne s'étend largement en zone inondable le long de la Marne et de la Seine (figure 7) : En 2014, 12 millions de SHON ont été programmées en zone inondable jusqu'en 2024. Nombre d'équipements, en particulier de transport, sont construits en fond de vallée (voir Fascicule 3 « De Paris à son agglomération »), des monuments parisiens tels que la Bibliothèque Nationale de France, ou les caves du Louvre pour n'en citer que deux, sont en zone inondable : une inondation importante menace tant le fonctionnement de la capitale que son rayonnement. Malgré l'existence des Plan de Prévention des Risques Inondations (PPRI) ayant pour objet la réglementation des sols en zone inondables, la construction est possible sous certaines conditions et la pression foncière est telle que des zones à risques sont malgré tout densifiées. La concentration des populations et des capitaux dans la région parisienne ainsi que l'interdépendance des réseaux les uns aux autres sont des facteurs critiques qui accroissent la vulnérabilité des milieux urbains à l'inondation.



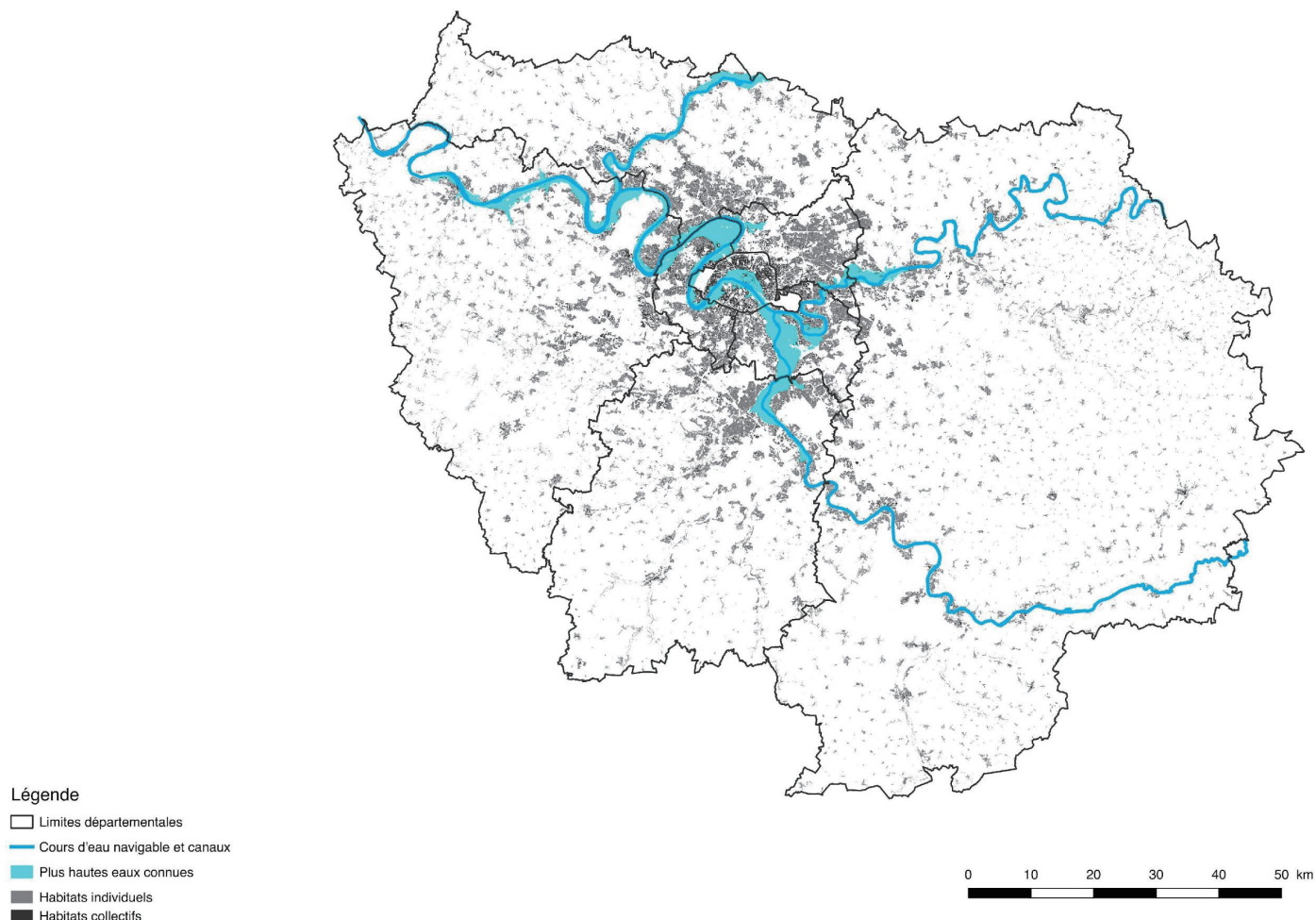


Figure 7 : Carte des plus hautes eaux connues en Île-de-France. (Réalisation personnelle, Source : SDRIF)

d. Réponses urbaines au risque inondation

Gérer le temps de crise

Les temps des inondations nécessitent une gestion de crise et des secours lorsque la catastrophe survient. Dans le cas de la crue de juin 2016, qui était relativement petite (6m10 contre 8,96m en 1910), les autorités publiques n'étaient pas préparées comme nous l'indique Bruno Barroca, architecte et maître de conférence à l'université Paris-Est Marne-la-Vallée: « C'est une petite crue, qui a fait très peur car on est arrivé aux limites de ce qu'on pouvait faire en termes d'organisation, et tous les services le disent : heureusement que ce n'est pas allé plus loin parce qu'on ne maîtrisait plus. » (Entretien avec Bruno Barroca, architecte et maître de conférence à l'UPEM, le 27 février 2017)

Aujourd'hui il s'agit de privilégier la prévention et la préparation à la gestion de crise plutôt que la réparation (EPTB, 2014). A cet effet, le programme d'actions de prévention des inondations (PAPI), portés par l'EPTB en collaboration avec ses départements membres (Val-de-Marne, Seine-Saint-Denis, Hauts-de-Seine et Paris) (figure 8), identifient trois objectifs prioritaires :

« Accroître la « culture du risque inondation » des populations situées en zone inondable et plus particulièrement celles des principaux gestionnaires publics ou privés d'équipements et d'infrastructures essentiels au fonctionnement du territoire,

« Stabiliser à court terme le coût des dommages potentiels liés aux inondations sur Paris et la petite couronne,

« - Renforcer la résilience des principaux services publics (énergie, télécommunications, transports, sanitaires, sociaux et éducatifs) des territoires sinistrés d'une grande crue. »

(EPTB, 2014, [14])

Cet accent mis sur la nécessité de mieux préparer la gestion du temps de crise, afin que la crise affecte le moins possible le fonctionnement « normal » des sociétés et que les établissements humains soient finalement moins vulnérables aux aléas climatiques s'inscrit dans une conception résiliente de la ville face au risque. Bruno Barocca, spécialiste de la résilience urbaine, insiste sur la nécessité de penser le temps de crise :

« On a très peu de structures de gestion des risques. La préfecture de police explique qu'en cas d'inondation majeure ils ne pour

ront pas évacuer l'ensemble de la population. Elle devra rester sur place »

(Entretien avec B. Barocca, UPEM, 27 février 2017)

Ce constat implique de mettre en œuvre (et d'investir dans) des dispositifs d'approvisionnement, de secours, de communication qui rendent vivable le temps de crise, et permettent d'éviter une catastrophe sanitaire en cas d'inondation. Notons ici que ces dispositifs de temps de crise ne se limitent pas à une gestion des inondations : il s'agit, dans l'approche résiliente, de penser au-delà du risque unique, mais de proposer une « gestion multirisque » de la ville, capable de s'adapter à tout aléa. Mettre en œuvre ces dispositifs demande, outre des moyens financiers et humains importants, de changer de conception de la relation entre risques et

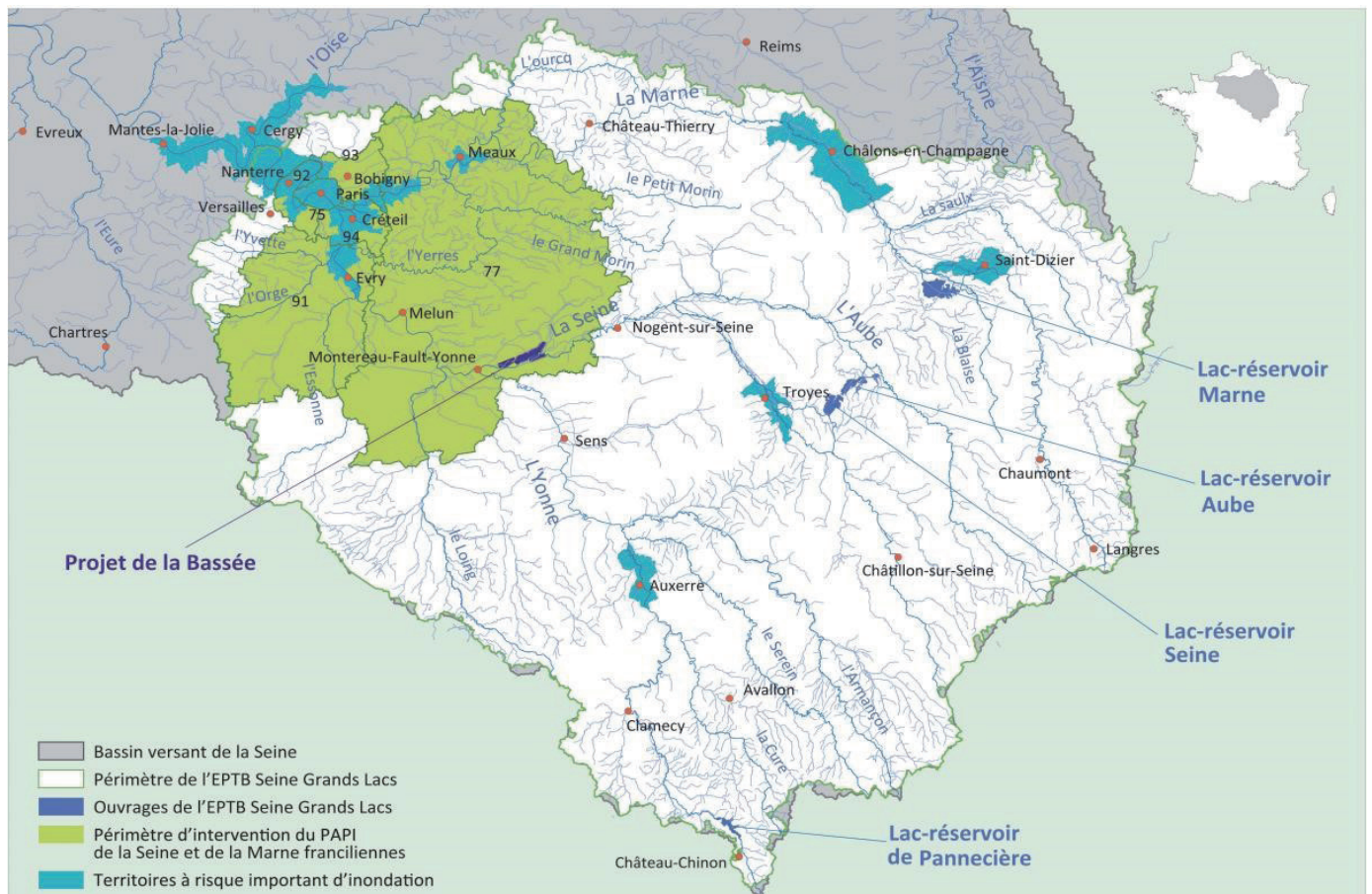


Figure 8 : Territoires à risques d'inondation et périmètre d'intervention du PAPI, EPTB (Seine Grands Lacs.fr)

villes : il s'agit de passer d'une logique de protection, qui a dominé jusqu'à aujourd'hui, à une logique de résilience et d'adaptation.

Se protéger contre les inondations ?

Dès les années 1930, les pouvoirs publics parisiens ont décidé de construire d'importantes infrastructures de rétention d'eau : les lacs-réservoirs de l'EPTB Grands Lacs de Seine (voir Fascicule 2, « Gérer l'eau : Précis sur la gouvernance de la ressource » pour les étapes de construction de ces infrastructures). Ces lacs ont notamment pour mission d'amortir les effets des crues (par écrêtage des ondes) au sein du bassin de la Seine (figure 9). En amont du bassin de la Seine, les barrages-réservoirs contribuent à limiter le risque d'inondation hivernal. Cependant,

ces ouvrages ne sont pas infailibles dans la protection contre les crues : l'exemple de juin 2016 montre leurs limites : causée par de fortes précipitations qui sont survenues au mois de mai, alors que les quatre grands lacs-réservoirs en amont du bassin étaient pleins, et qui, en plus, sont en grande partie tombées à l'aval des lacs-réservoirs (Entretien avec P. Goujard, EPTB Seine Grands Lacs, le 13 février 2017). Aussi les crues de la Marne, de l'Aube et de la Seine sont en partie maîtrisées par ces ouvrages (en automne et hiver, lorsqu'ils sont vides), ce n'est pas le cas de l'Yonne qui se caractérise par des crues plus rapides et violentes sur lesquelles le lac-réservoir de Pannecière, situé très en amont du bassin, n'a qu'une faible incidence. Ainsi, lorsque les crues de l'Yonne s'ajoutent à celles

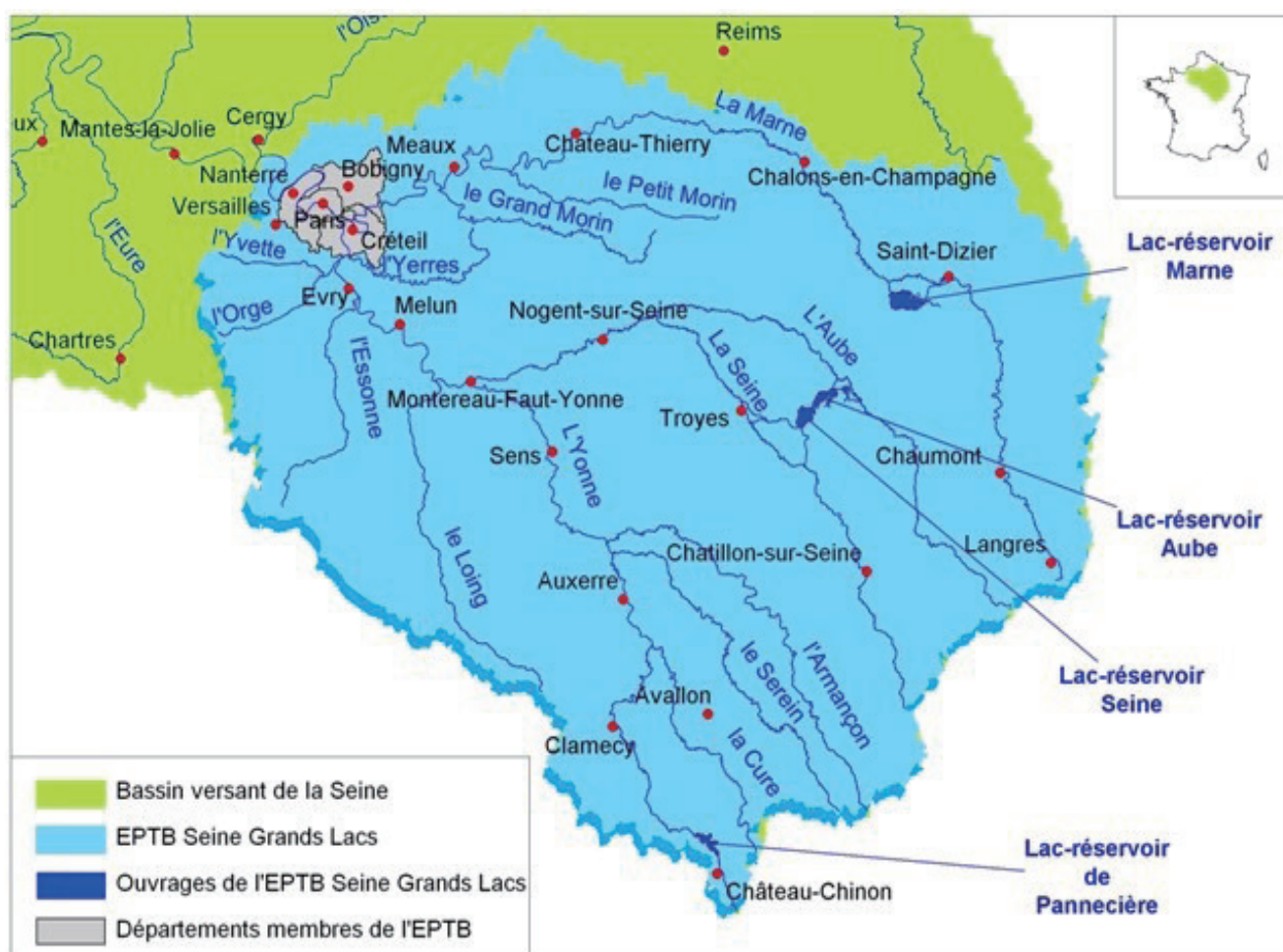


Figure 9 : Les ouvrages de l'EPTB Seine Grands Lacs, (Eau Seine et Marne.fr)

L'Établissement Public territorial de Bassin Seine Grands Lacs gère quatre lacs-réservoirs situés sur le territoire du Bassin de la Seine. Ces lacs sont des ouvrages qui prennent la forme de vastes étendues d'eau fermés par des digues. Ils assurent une double mission : écrêter les crues en période hivernale et soutenir le débit des rivières en période sèche

de la Seine, de fortes inondations menacent l'Île-de-France (Astruc, 2012). Cette logique de protection est encore à l'œuvre aujourd'hui : elle est sensible dans le projet d'aménagement de la plaine de la Bassée, nouvel équipement d'écrêtage des crues en amont de l'agglomération parisienne, actuellement en construction (voir Fascicule 2 « Gérer l'eau : Précis sur la gouvernance de la ressource »).

Aménager la ville pour accueillir la crue ?

Ces aménagements sont typiques d'une vision datée de la gestion des inondations et des eaux de pluie en général. Le paradigme sous-jacent est celui d'une technique capable de maîtriser totalement la nature, de l'assujettir aux besoins des sociétés. Mais ce mode de préparation aux inondations est peu à peu interrogé par d'autres aménagements urbains, plus en phase avec les dynamiques d'infiltration et d'écoulement des eaux : on parle, pour tous ces aménagements, de « technique alternatives » de gestion des eaux pluviales, qui renoncent (en partie) à la mise en tuyaux pour proposer une réflexion tant technique que paysagère sur la gestion de l'eau. Ces aménagements ont vu le jour en Île-de-France dans les villes nouvelles, véritables laboratoires de gestion des eaux pluviales (Barles, 2012). Ces aménagements prennent des formes diverses : noues et parcs aquatiques pour l'infiltration des eaux, espaces urbains submersibles en cas de crue (stades, parcs, places...), système de récupération des eaux de pluie... Les exemples fleurissent localement, tant en France qu'à l'étranger. Il connaissent actuellement certaines évolutions :

(Entretien avec M. Pruvost-Bouvattier et E. Thebault, IAURIF, 17 février 2017)

Les recherches concernant ces « techniques alternatives » font de ces nouveaux aménagements des vecteurs de renouvellement des espaces urbains et de la conception de l'eau dans la ville. Ils ne remplissent plus seulement un rôle technique de gestion de l'eau, mais ont une fonction paysagère, sociale voire culturelle ou identitaire : une ville comme les Mureaux en Île-de-France organise son programme de rénovation urbaine autour d'un aménagement alternatif de l'eau, qui devient un axe autour duquel se structure le quartier et la vie locale.

Le risque inondation, menace importante pour les espaces urbains francilien, apparaît comme un vecteur potentiel de renouvellement de la conception des espaces urbains : la gestion classique et séculaire de l'eau en ville montre au cours de fortes crues ses limites, qu'il s'agit d'intégrer et de dépasser dans les projets contemporains afin de réduire la vulnérabilité des sociétés face au risque.

« Historiquement, on s'intéressait surtout à la diminution du risque de ruissellement et des débordements de réseau. Aujourd'hui la gestion de l'eau est considérée comme une opportunité de créer des trames vertes et bleues en ville, de rafraîchir des quartiers, de créer du cadre de vie et de l'espace public. »

2. Les risques de sécheresse

Le ministère de l'Agriculture, de l'Agroalimentaire et de la Forêt définit la sécheresse comme un épisode de manque d'eau, plus ou moins, long mais suffisant pour que les sols et la flore soient affectés. Ce phénomène peut être cyclique ou exceptionnel, et peut concerner une zone géographique plus ou moins vaste. (Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, 2012). En Île-de-France, les cours d'eau connaissent chaque année une période de basses eaux ou de faibles débits appelée étiage (DRIEE, 2011). Depuis plusieurs années le niveau des nappes, qui assurent le débit des cours d'eau en période de sécheresse, est particulièrement bas et les étiages sont particulièrement importants. (DRIEE, 2011)

a. *Baisse des précipitations et urbanisation, des facteurs aggravants*

Les nappes phréatiques assurent le débit des cours d'eau à l'étiage. mais leur recharge dépend du cumul des précipitations antérieures sur une ou plusieurs années. Dans une année moyenne, les événements pluvieux sont normaux entre novembre et janvier et permettent aux nappes de se recharger. En revanche, entre février et avril, les précipitations sont en général peu nombreuses. Cette configuration météorologique fait qu'en général, la période d'étiage en Île-de-France débute en mai. En période prolongée de faibles précipitations, les nappes ne se rechargent plus (assez) : à terme la région connaît un manque d'eau. Ce cercle est d'autant plus critique dans le cadre de l'urbanisation de la région où l'imperméabilisation des sols entrave l'infiltration des eaux et, par-là, la recharge naturelle des nappes.

La problématique de la sécheresse concerne l'ensemble du territoire national. Selon le bilan du ministère du Développement durable, plus de 40 départements connaissent des restrictions d'eau pendant les périodes de sécheresse. Les conséquences des épisodes de fortes chaleurs sont particulièrement graves en Île-de-France considérant sa forte densité de population et la concentration des infrastructures. Depuis le mois de juillet 2016, à la suite de la crue, très peu de précipitations ont été observées en Île-de-France. Chaque année, la région connaît une baisse des précipitations, ce qui fait prendre conscience à de nombreux acteurs comme l'Agence de l'eau, l'EPTB ou Voies Navigables de France (VNF), qu'il existe un risque d'une diminution de la ressource dans les années à venir.

b. *L'impact de la sécheresse sur la ville*

Lorsque le niveau de la Seine et des nappes phréatiques est trop faible, la quantité d'eau pour l'irrigation est insuffisante, ce qui a une incidence directe sur les productions agricoles locales. Par ailleurs, en cas de faibles précipitations prolongées les sols asséchés ne sont plus en mesure d'absorber l'eau pluviale pouvant ainsi entraîner des inondations dévastatrices et des glissements de terrain. Les épisodes de sécheresse ont également un impact important sur l'environnement, notamment sur les forêts qui subissent une diminution de la végétation. Ce manque de végétation augmente également le risque d'inondation. Par ailleurs, l'augmentation de la température des eaux et leur faible écoulement limitent les capacités d'autoépuration des cours d'eau. Enfin, l'impact le plus critique de la sécheresse sur la vie humaine concerne la santé et l'alimentation. Le manque d'eau entrave le fonctionnement des égouts, les matières étant difficilement entraînées. La qualité de la ressource est dégradée, à la fois

en quantité et qualité, et risque d'engendrer des inégalités sociales par rapport à l'accès à l'eau potable. La résolution de ces inégalités pèsera sur les finances publiques.

Le risque sécheresse ne fait pas l'objet de la même quantité d'études que celui de l'inondation. On ne connaît pas aussi bien les conséquences socio-économiques qu'il implique et les répercussions significatives qu'il pourrait engendrer semblent relativement lointaines car prévue à l'horizon 2050 (sécheresse agricole). Néanmoins les acteurs ont conscience des conséquences graves qu'une sécheresse peut avoir sur la ressource (baisse de quantité et de qualité) et les conflits d'usage qu'elle pourrait impliquer. A cet effet, des mesures existent déjà du point de vue réglementaire. En ce qui concerne la gestion quantitative par exemple, la DRIEE met en place une gestion préventive s'appliquant sur les nappes et les cours d'eau qui présentent des déficits ou des pressions chroniques, et une gestion de crise (« mise en place d'un dispositif de restrictions progressives d'usages pour gérer les situations exceptionnelles de sécheresse »). L'Agence de l'eau Seine-Normandie identifie également la sécheresse comme un risque majeur dans sa stratégie d'adaptation au changement climatique en mettant l'accent notamment sur la gestion à la source des eaux pluviales et sur l'amélioration « des délais d'alerte en cas de sécheresse pour laisser le temps aux acteurs économiques de s'organiser ». (Agence de l'eau Seine Normandie, 2016, [16]). Le risque de sécheresse fait également l'objet d'une inquiétude particulière de la part de l'EPTB Seine Grands Lacs. L'un des objectifs de cet établissement est celui d'assurer le soutien d'étiage en rejetant dans les rivières l'eau stockée dans les lacs-réservoirs pendant la saison humide. La sécheresse limite l'action de soutien d'étiage de ces grands lacs et constitue un enjeu majeur pour l'EPTB, comme nous l'indique Patrick

Goujard, Directeur de l'appui aux territoires :

« Nous sommes convaincus que le risque d'étiage est plus important que le risque inondation. Parce qu'il est plus fréquent. On aimerait faire l'équivalent de l'étude OCDE que l'on a faite sur les impacts économiques des inondations, mais pour la sécheresse »

(Entretien avec P. Goujard, EPTB Seine Grands Lacs, 13 février 2017)

Les conséquences du risque sécheresse vont donc être de plus en plus prises en compte. Au delà de l'impact sur la ressource il a également de graves conséquences sur la ville car il est associé à une augmentation de la chaleur urbaine.



3. Canicules et îlots de chaleur urbains

« Le terme d'îlot de chaleur urbain (ICU) est employé pour décrire la spécificité climatique des villes par rapport aux zones rurales ou péri-urbaines avoisinantes. Les villes, de par leur caractère totalement artificiel sont le lieux de phénomènes de surchauffe notables (...) »

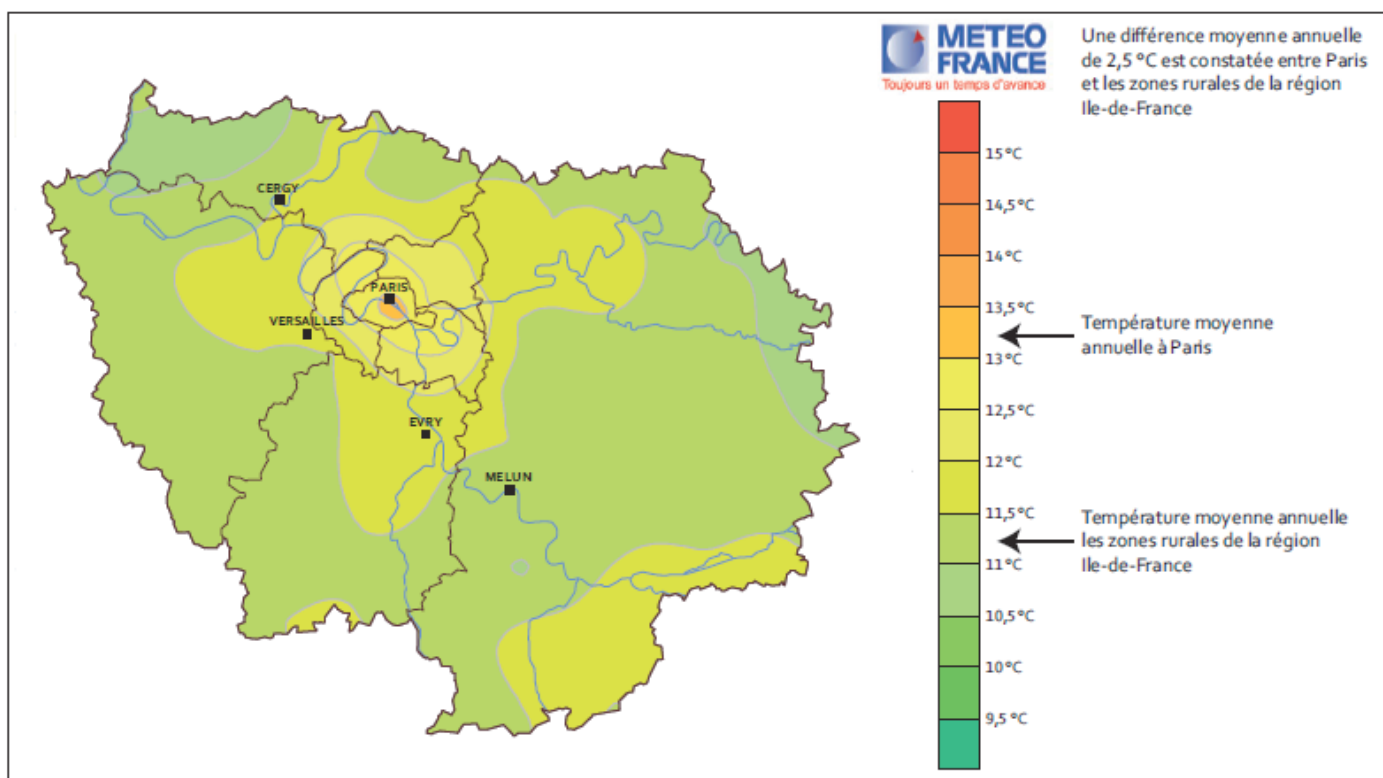
(APUR, 1, 2014, [5]).

a. L'îlot de chaleur urbain en Île-de-France : caractéristiques

En Île-de-France, l'îlot de chaleur urbain se caractérise concrètement par une température moyenne annuelle à Paris plus élevée que dans le reste de la région (+ 2,5 °C, Figure 10).

Notons ici que l'ICU parisien n'est pas un phénomène constant : il se renforce lors de conditions météorologiques spécifiques (épisodes anticycloniques impliquant un vent

faible, associés à un ciel dégagé), conditions que l'on retrouve souvent à Paris en juillet-août, moins en hiver, où le climat parisien subit l'influence des perturbations océaniques. La moyenne des températures évoquée plus haut n'est donc pas tout à fait représentative de l'ICU : il varie à la fois selon les saisons et les heures de la journée (figure 11). En effet, en période de fortes chaleurs et aux heures les plus chaudes de la journée, l'ICU n'existe quasiment pas ; c'est la nuit qu'il est le plus fort. « En ville, le refroidissement nocturne sera moindre, ce qui impactera lourdement le confort des habitants ainsi privés de récupération après une journée caniculaire. » (APUR, 1, 2014, [6]). En outre, c'est un phénomène profondément local, qui varie fortement d'une rue à l'autre, en fonction des caractéristiques du tissu urbain : « en l'espace de quelques dizaines de mètres, la température peut varier de plusieurs degrés » (APUR, 1, 2014, [6]).



Source : Météo France - DIRIC

Figure 10 : Températures moyennes de 1995 à 2004 en Île de-France (APUR, 1, 2014 [3])

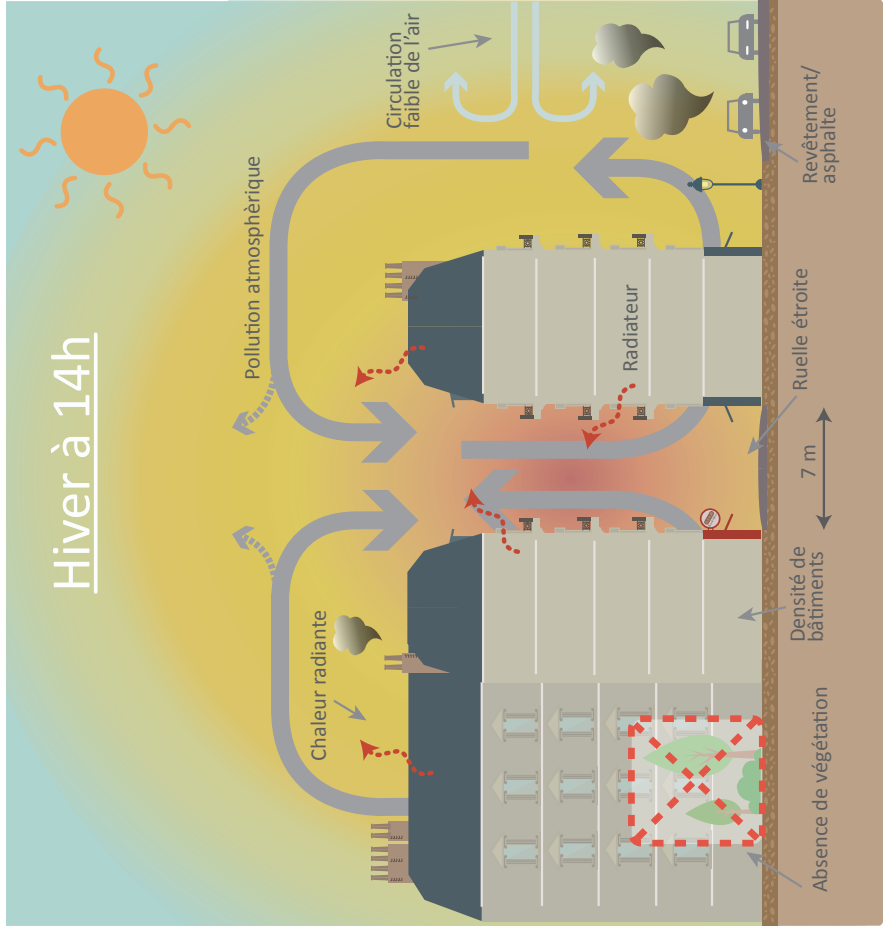
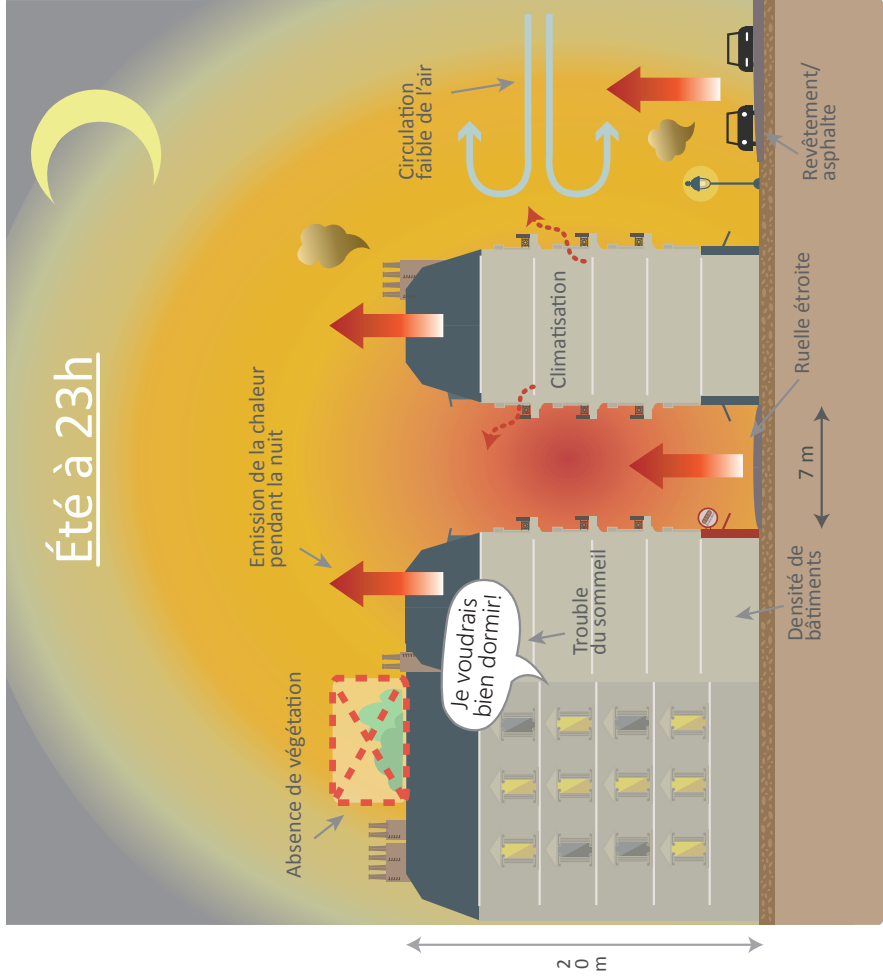


Figure 11 : Les conséquences d'îlot de chaleur urbain pendant l'été et l'hiver. (réalisation personnelle)

Si cette élévation de la température en ville n'est pas problématique en soi, elle le devient en cas d'épisodes caniculaires (typiquement l'été 2003, qui fait figure de référence dans le contexte français), qui correspondent à une durée prolongée (plusieurs jours et plusieurs nuits consécutives) de très fortes chaleurs estivales. La ville a alors un « effet amplificateur » (APUR, 1, 2014 [8]) de ces fortes chaleurs, qui engendrent des risques sanitaires pour les citoyens. Le Plan National Canicule définit une canicule à partir de trois jours et trois nuits consécutives aux températures moyennes de 31°C en journée, et de 21°C la nuit. En cas de canicule en milieu urbain, du fait de l'ICU, les températures atteignent voire dépassent la limite du physiquement supportable pour les citoyens et citoyennes⁷, engendrant des risques sanitaires importants. Certaines populations, dites à risques, sont particulièrement vulnérables en cas de grosses chaleurs : les personnes âgées (plus de 65 ans), les jeunes enfants, les malades chroniques ou sujets aux maladies respiratoires ou les individus exerçant une activité physique en extérieur (ouvriers du bâtiment, par exemple). En 2003, 15 000 décès en France ont été directement imputables à la canicule (IAU, 2010).

⁷ Au-delà de 40°C, au repos, le corps n'est plus capable d'auto-réguler sa température (IAU, 2012)

Ces épisodes caniculaires sont, selon les scénarios du GIEC⁸ adaptés à la métropole parisienne par le projet EPICEA⁹, amenés à se multiplier au cours du XXI^e siècle :

« Les résultats mettent en évidence une hausse systématique de la température de l'air à 2 m (minimale et maximale) de plus de 2 °C, modulée selon le scénario et la classe d'urbanisation, et nettement plus marquée en été qu'en hiver. Les indices de froid sont en forte régression, tandis que les indices de chaleur

sont en forte expansion, et des phénomènes tels que les journées très chaudes ($T_{max} \geq 30$ °C) et les canicules, rares en climat présent, feraient partie du climat courant à la fin du 21^{ème} siècle. »

(Paris 2030, 2012 [10])

L'ICU tend donc à devenir un enjeu urbain à part entière, et pose de nombreuses questions tant aux collectivités locales, qui doivent faire face aux crises caniculaires qu'aux aménageurs, qui doivent le prendre en compte comme un risque urbain à part entière, et cerner des moyens de répondre à ce risque.

⁸ Groupe d'expert Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat

⁹ Etude Pluridisciplinaire des Impacts du Changement climatique à l'Échelle de l'Agglomération parisienne, mené par la Ville de Paris, Météo-France et le CSTB, publié en 2012

b. L'ICU, un phénomène lié à la morphologie urbaine et à la présence d'eau

L'ICU est dû aux caractéristiques physiques et morphologiques mêmes de la ville. Plusieurs effets se combinent dans l'émergence de l'ICU. C'est un « phénomène physique, conséquence des apports de chaleur naturels et anthropiques et des conditions météorologiques des espaces où il apparaît » (IAU, 2010).

Réaction des matériaux face à la chaleur solaire

La première source de chaleur en ville est, comme ailleurs, le rayonnement solaire. Lorsqu'il reçoit le rayonnement solaire, tout matériau en absorbe une partie et réfléchit le reste. Deux paramètres permettent de préciser

le comportement des matériaux vis-à-vis de l'énergie reçue : l'inertie thermique et l'albédo.

- L'inertie thermique correspond à la « capacité d'un matériau à accumuler puis à restituer un flux thermique » (IAU, 2012, [11]). De manière générale, plus un matériau est lourd et épais, plus il est inerte : la chaleur circulera moins vite à l'intérieur et il mettra plus de temps à atteindre une température uniforme. De plus, il faudra qu'il reçoive un flux thermique important pour monter en température. Mais, à l'inverse, une fois chaud, il mettra tout autant de temps à se refroidir.

Ce principe d'inertie est une des premières raisons de la formation des îlots de chaleur urbains car les matériaux de construction ont une inertie thermique bien plus grande que la terre. A titre d'exemple, le béton ordinaire a une capacité thermique de 2 400 KJ/m³.°C à 2 640 KJ/m³.°C, la terre sèche de 1 350 KJ/m³.°C (Kilo Joule par mètre cube par degré Celsius).

- On mesure la part d'énergie réfléchie par un matériau par un paramètre, appelé albédo, qui se calcule en rapportant la quantité d'énergie réfléchie à la quantité d'énergie solaire reçue. Cette valeur se situe entre 0 et 1 ; un albédo de 1 correspond à un miroir, qui réfléchit l'ensemble de l'énergie reçue. Des matériaux avec un albédo faible (moins de 0,2) réfléchissent peu l'énergie solaire : ils sont de

couleur foncée. Inversement, un albédo fort (au-delà de 0,8) va de pair avec des surfaces claires.

Rayonnement solaire et tissu urbain

Le tissu urbain répond de manière très spécifique à l'énergie solaire reçue. Globalement, les matériaux qui composent la ville dense (construction et voiries) et le béton au premier titre, ont une forte inertie thermique (ils peuvent emmagasiner beaucoup de chaleur solaire) et un albédo relativement faible. Ils conservent l'énergie solaire reçue de façon plus importante que les espaces non bâtis.

A cela s'ajoute un autre effet, lié à l'élévation et à la proximité des bâtiments. Ces deux paramètres ont en effet des conséquences sur le devenir de l'énergie réfléchie (non absorbée) par les matériaux. Alors qu'en espace non bâti, sur un sol horizontal, l'énergie réfléchie est renvoyée vers l'atmosphère, en milieu bâti dense, le rayonnement est plus complexe : « La particularité de la ville réside (...) dans la multitude de surfaces sur lesquelles peut-être envoyée l'énergie. Ainsi, le rayonnement renvoyé par un bâtiment peut l'être sur un autre, qui à son tour reflète une partie de l'énergie et en renvoie une autre. » (IAU, 2012, [11])

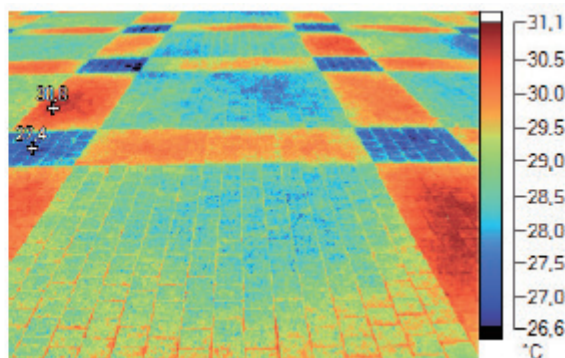


Figure 12 : Influence de la couleur sur l'emmagasinement de chaleur (composition de revêtement de sol à la ZAC de la Grange-aux-Belles, 1er août 2011 vers 22h) (APUR, 1, 2014 [17])

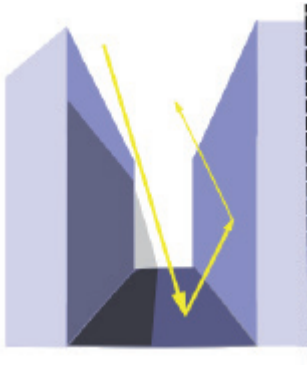


Figure 13 :
Rayonnement solaire en milieu urbain (IAU, 2012)

Néanmoins, les choses ne sont pas toujours aussi simples : le profil de la rue, lié à sa largeur et à la hauteur des bâtiments qui la bordent, influence fortement la quantité d'énergie solaire reçue. En effet, une rue étroite (qui « voit peu le ciel », selon le critère retenu par l'APUR), longée de hauts bâtiments, reçoit moins d'énergie solaire qu'une rue large : elle sera moins ensoleillée, et moins chaude (c'est ce qui provoque, sous certains climats arides et chaud, des îlots de fraîcheur urbains).

Dernier paramètre facteur de l'îlot de chaleur urbain en lien avec l'ICU : les perturbations du vent. L'ICU a une influence sur la circulation des masses d'air (de l'air chaud vers l'air froid) à l'échelle de l'agglomération, et crée des brises thermiques entre les espaces frais et les espaces chauds (Figure 14).

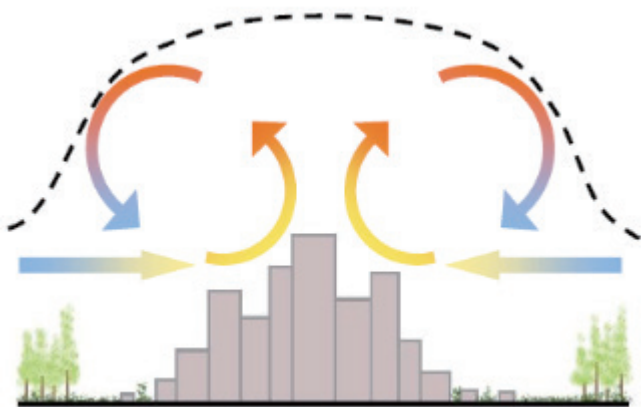


Figure 14 : Phénomène de brise thermique de la campagne vers la ville, constitution d'un effet de dôme (IAU, 2010 [34])

Le comportement des matériaux vis-à-vis du rayonnement solaire explique les indicateurs

de mesure de l'ICU retenus par l'APUR et l'IAU, pour mesurer le confort thermique en ville, et donc l'îlot de chaleur urbain, lorsque les données sont comparées aux espaces avoisinant les villes. Le premier des indicateurs est la température de l'air, mesurée à 2 mètres du sol ; un autre indicateur efficace est celui de la température des objets qui composent la ville (immeubles, sol, mobilier...) via des clichés en thermographie infrarouge (APUR, 1, 2014 [8])

La chaleur anthropique

Le rayonnement solaire n'est pas la seule source de chaleur en ville : toutes les activités humaines, impliquant des modes de transports motorisés ou l'utilisation d'électricité sont source de chaleur. « Dès que nous consommons de l'énergie, nous procédons en réalité à une transformation physique de l'énergie dont le stade ultime se traduit par un dégagement de chaleur. Ainsi toute consommation d'énergie participe de l'élévation de température de notre environnement. » (APUR, 2014, [25]). La chaleur due aux activités humaines s'ajoute à la chaleur due au rayonnement solaire, et vient renforcer l'îlot de chaleur urbain (Figure 15).

L'APUR considère ainsi que les activités anthropiques sont responsables de 20 % de l'ICU, part qui est renforcée :

- par le recours croissants aux climatiseurs, qui, pour produire de la fraîcheur à l'intérieur, produisent beaucoup de chaleur à l'extérieur. (APUR, 2014)
- par la place importante prise par l'automobile dans le tissu urbain : une automobile en mouvement réchauffe à la fois l'air extérieur au cours de la combustion du carburant, et la chaussée, chauffée par les frottements induits par le déplacement du véhicule. (APUR, 2014)



Figure 15 : Bilan d'énergie du territoire parisien de mai à septembre 2009 (APUR, 2014, [25])

Présence d'eau en ville et ICU

La présence d'eau a un effet très important sur les températures en ville, en particulier en cas de canicule. Dans le cas parisien, l'influence de l'eau sur le climat est sensible selon deux modalités. Tout d'abord, la Seine, qui traverse la ville, joue un véritable rôle de « régulateur thermique de petite échelle » (APUR, 1, 2014 [11]) pour Paris surchauffé. « De par son écoulement et sa température, la Seine agit un peu comme un circuit de refroidissement au cœur de la ville : [elle] est capable de stocker la chaleur de l'air ambiant et de l'évacuer. » (APUR, 1, 2014 [12])

En parallèle des cours d'eau, l'eau « stagnante » en ville a aussi un effet régulateur sur l'ICU. En effet, le changement d'état de l'eau (passage de l'état liquide à l'état gazeux) consomme de l'énergie calorifique et refroidit l'air là où l'évaporation se produit. Cet effet de refroidissement est sensible dès qu'il y a une présence d'eau dans l'espace public (APUR, 2014).

La présence d'eau est aussi souvent liée à celle de la végétation, qui a aussi un effet régulateur sur les ICU. En effet, outre la production d'ombre,

les arbres, par évapotranspiration, consomment de la chaleur ambiante et rejettent de la vapeur d'eau, ce qui refroidit l'air environnant. Tout comme pour les masses d'eau, la présence de végétaux a une influence très localisée sur les ICU.

La gestion classique de l'eau en ville est marquée en particulier par la gestion technique des eaux pluviales et la présence très limitée de l'eau dans l'espace public, conjuguée au manque de végétation en ville dense. En effet, l'imperméabilisation du sol va de pair avec une évacuation des eaux pluviales, ce qui limite fortement la présence de l'eau en ville, et empêche l'action rafraîchissante de l'évaporation. L'aménagement urbain est en partie responsable des ICU.

Suivant l'étude des paramètres qui influencent l'émergence de l'ICU, il apparaît évident que ce phénomène urbain, variable selon les formes urbaines, la présence ou non d'eau, est à considérer à une échelle très locale ; par-là, les aménagements permettant de réduire les ICU sont à adapter à chaque forme urbaine et à chaque contexte spécifique. Si des expérimentations, en particulier au Japon, qui

a mis en place des sols poreux (qui retiennent de l'eau) dans certaines rues particulièrement sensibles aux ICU se sont montrées concluantes, les aménagements prenant en

compte les ICU en région francilienne sont encore à l'état embryonnaire.

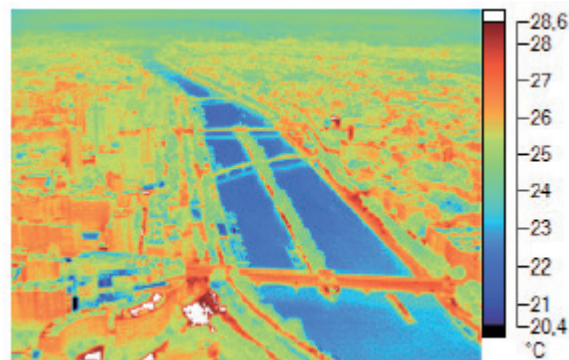


Figure 16 : Ecoulement de la Seine et fraîcheur : cliché du 2 août 2011 à 21h30 (APUR, A, 2014, [13])

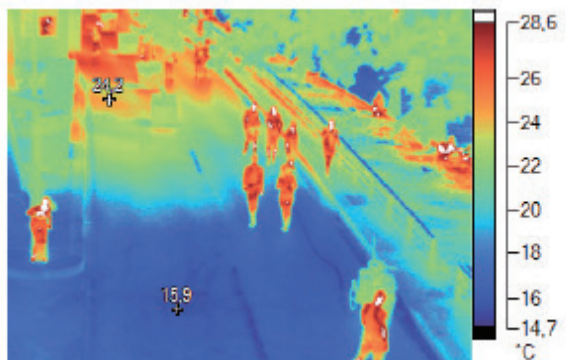
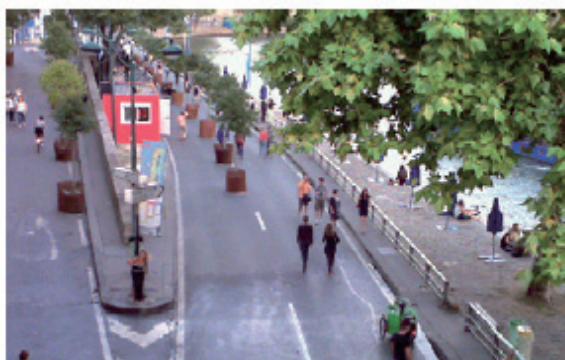
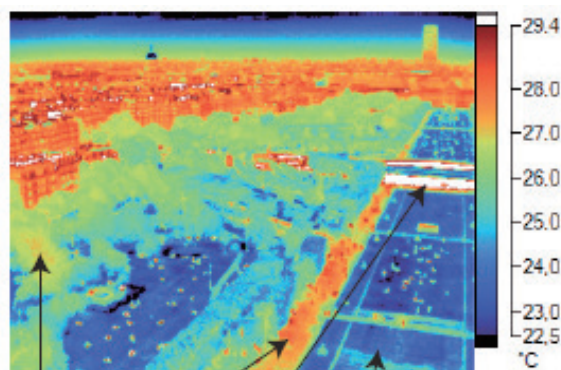


Figure 17 : Effet de refroidissement après aspersion de la chaussée (une dizaine de degrés en moins) : cliché du port des Célestins, 31 juillet 2011 à 21h30 (APUR, 1, 2014 [13])



- La canopée des arbres possède encore la marque de l'irradiation solaire, de la journée
- Les circulations piétonnes en « stabilisé » viennent juste de passer à l'ombre, leur niveau de température, encore élevé, s'estompera rapidement au fil des heures
- Les revêtements bitumineux ont abondamment stocké de l'énergie solaire en cours de journée, ils resteront à des niveaux de températures élevés une partie de la nuit
- La pelouse apparaît déjà fraîche, l'ensoleillement subi dans la journée n'a pas été stocké par le végétal

Figure 18 : effets localisés de la végétation sur les températures en ville, cliché du Champ-de-Mars le 2 août 2011, à 20h (APUR, 1, 2014, [15])

Conclusion

Le changement climatique représente l'une des problématiques prioritaires de notre siècle. Il concerne l'ensemble de la planète et a un impact sur tous les aspects économiques et sociétaux tels que l'environnement, le climat social, la culture, la santé, etc. Les scientifiques (GIEC) s'accordent sur le fait que les effets qu'il provoque, tels que canicule, pluie diluvienne, tempête, inondation, sécheresse, ouragan, etc. sont causés en partie par l'activité humaine des pays industrialisés par le rejet de gaz à effet de serre. Les risques que le changement climatique fait peser sur l'humanité et la ville sont également accentués par l'urbanisation, notamment par l'imperméabilisation des sols, la densification en zones inondables et l'artificialisation des espaces naturels.

Le changement climatique, pour l'agglomération francilienne, se traduit par une évolution quotidienne des conditions climatiques, mais aussi par une augmentation des risques d'événements climatiques extrêmes, qui menacent l'organisation actuelle de l'agglomération. Le territoire francilien est confronté à deux types principaux d'événements climatiques extrêmes et opposés : des fortes pluies provoquant des inondations et une baisse des petites pluies causant des épisodes de sécheresse. Ces événements sont difficilement prévisibles comme le montre la crue de juin 2016 survenue pendant une période habituellement associée à un risque de sécheresse. Les inondations provoquent des dégâts matériels et humains directs qui ont une incidence immédiate et forte sur l'économie, ainsi que sur l'environnement avec le rejet des eaux usées directement dans le milieu en cas de surcharge du réseau (voir Fascicule 3, « L'eau en tuyaux »). Les sécheresses prévues interrogent les chercheurs et les acteurs de l'eau sur la qualité de la ressource en cas de pénurie, l'impact sur les milieux mais aussi

sur les conflits d'usages qui naîtront d'une restriction.

Tous les risques urbains requièrent la mise en place d'une stratégie pour prévoir la reconstruction mais également pour assurer la gestion du risque lorsqu'il survient : comment assurer la vie quotidienne dans une ville en crise ? Cela concerne notamment les questions du logement et du relogement en cas d'inondation, de l'approvisionnement en eau et en nourriture et du fonctionnement des secours dans tous les cas. Actuellement, les acteurs publics ne sont que partiellement préparés à la gestion des crises. Proposer une gestion multi-risques la ville permet d'englober l'ensemble des risques climatiques liés à l'eau évoqués dans ce fascicule dans une réflexion sur le temps de crise en ville. Mais la gestion multi-risque dépasse la question des risques climatiques : elle vise à englober l'ensemble des risques urbains, qu'ils soient sanitaires, terroristes ou climatiques. L'entrée par les risques, climatiques et autres, apparaît comme un vecteur de renouvellement de conception des espaces urbains, pour qu'ils soient plus résilients face aux crises qu'ils connaîtront.



Bibliographie

Agence de l'eau Seine-Normandie (2016), Stratégie d'adaptation au changement climatique du Bassin Seine-Normandie, adoptée à l'unanimité par le comité de bassin le 8 décembre 2016

Agence de l'eau Seine-Normandie, Asca, Stratégie durable, (2014), Conduite d'une réflexion participative sur l'adaptation au changement climatique et la gestion de l'eau et des milieux aquatiques sur le bassin Seine Normandie, Rapport final, , Mai 2014

Astruca A., (2012), Gestion des inondations sur le Bassin amont de la Seine, Premiers enseignements du débat public sur un projet structurant, Symposium Européen. Disponible sur : http://www.donnees.centre.developpement-durable.gouv.fr/symposium/expose/SP1-2_fra.pdf

Bigorne J., (2012), Les Îlots de chaleur urbains à Paris, Cahier #1, APUR

Bigorne J., Mangold A., (2014), Les îlots de chaleur urbains à Paris, cahier #2 : simulation climatiques de trois formes urbaines parisiennes et enseignements, APUR

Cordeau E., (2014), La vulnérabilité de la ville à la chaleur par l'approche Zones climatique locales, Note rapide, n°661, 2014, IAU

Cordeau E., Magdelaine C., et al., (2010), Les Îlots de chaleur urbains, l'adaptation de la ville aux chaleurs urbaines, IAU

Cordeau E., Valette E., (2010), Les îlots de chaleur urbains, Répertoire de fiches connaissance, IAU

Conseil Régional d'Île-de-France. (2011). Plan Régional pour le Climat d'Île-de-France. Paris.
- Ducharne A., Déqué M. (2003), Influence du changement climatique sur l'hydrologie du bas-

sin de la Seine, Les grands fleuves : entre conflits et concertation, Vertigo, La revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 4, n°3, décembre 2003

EPTB Seine Grands Lacs. (2014). Programme d'actions de prévention des inondations de la Seine et de la Marne Franciliennes (PAPI) (Synthèse).

Fanartzis P., (2012), Les entreprises face au risque inondation, pour un développement robuste et durable du Grand Paris, Chambre de commerce et d'industrie de Paris

Ministère de l'agriculture, département de la santé des forêts (2004), Rapport de recherche, « Bilan de la santé des forêts en 2003 »

OCDE (2014), Etude de l'OCDE sur la gestion des risques d'inondation : la Seine en Île-de-France

PAWLOWSKI A., RADOUX A., (1910), « Les crues de Paris jusqu'au seizième siècle », ch. V dans Les crues de Paris (VIe-XXe siècle), Paris – Nancy, Berger-Levrault, 1910, p. 32-46.

Paris 2030. (2012). Projet EPICEA (Etude Pluridisciplinaire des Impacts du Changement Climatique à l'Echelle de l'Agglomération Parisienne) : Rapport final. Paris, Mairie de Paris.

Vallin, J., (2004), « La transition démographique européenne : 1740-1940 », Chapitre 68 dans : Caselli G., J.Vallin et G.Wunsch., Démographie : analyse et synthèse. Volume V. « Histoire du peuplement et prévisions », édition de l'INED, Paris, 2004. p.71-116

Sites internet

DRIEE, Conditions de déclenchement de la crue 1910, publié le 13 septembre 2010. Disponible

sur : <http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/conditions-de-declenchement-de-la-crue-de-1910-a227.html>

DRIEE, Gestion préventive et gestion de crise. Disponible sur : <http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/gestion-preventive-et-gestion-de-crise-r130.html>

DRIEE, Sécheresse-Questions-Réponses, publié le 26 mai 2011. Disponible sur : <http://www.driee.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/secheresse-questions-reponses-a856.html>

Ministère de l'agriculture, de l'agroalimentaire et de la forêt, Sécheresse, aridité, manque d'eau, stress hydrique, le point sur la question, publié le 4 avril 2012. Disponible sur : <http://agriculture.gouv.fr/secheresse-aridite-manque-deau-stress-hydrique-le-point-sur-la-question>

EPTB Seine Grands Lacs. Disponible sur : <http://seinegrandslacs.fr/>

Entretiens

M. Bruno Barroca, architecte et maître de conférence à l'UPEM, à Marne-la-Vallée, le 27 février 2017

M. Patrick Goujard, Directeur de l'appui aux territoires, EPTB Seine Grands Lacs, à Troie, le 13 février 2017

M. Manuel Pruvost-Bouvattier et Mme Emma Thebault, IAURIF, à Paris, 17 février 2017

Mme Sarah Feuillette, direction de la mission prospective, Agence de l'eau Seine Normandie, Nanterre, le 15 février 2017

