

# VULNÉRABILITÉS DE L'ÎLE-DE-FRANCE AUX EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

QUE SAIT-ON, QUE PRESSENT-ON ?



**NOVEMBRE 2022**

41.21.07

ISBN 978 2 7371 2241 5



[institutparisregion.fr](http://institutparisregion.fr)





# VULNÉRABILITÉS DE L'ÎLE-DE-FRANCE AUX EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

## QUE SAIT-ON, QUE PRESENT-ON ?

Novembre 2022

### **L'INSTITUT PARIS REGION**

15, rue Falguière 75740 Paris cedex 15  
Tél. : + 33 (1) 77 49 77 49  
[www.institutparisregion.fr](http://www.institutparisregion.fr)

Directeur général : Nicolas Bauquet

Département Environnement Urbain et Rural : Christian Thibault, directeur de département  
Département Energie Climat – AREC Île-de-France : Christelle Insergueix, directrice de département  
Département Biodiversité – ARB Île-de-France : Magali Gorce, directrice de département  
Étude réalisée par Erwan Cordeau, Sandra Garrigou, Gabrielle Huart  
Avec la collaboration de l'équipe projet adaptation de l'Institut Paris Region  
N° d'ordonnancement : 41.21.07

*Crédit photo de couverture : Eric Garault – L'Institut Paris Region*

*En cas de citation du document, merci d'en mentionner la source :*

Cordeau Erwan, Garrigou Sandra, Huart Gabrielle / *Vulnérabilités de l'Île-de-France aux effets du changement climatique* / L'Institut Paris Region / 2022

*Remerciements* : Muriel Adam, Jean Benet, Laure de Biasi, Simon Carrage, Célia Colombier, Nicolas Cornet, Ludovic Faytre, Martin Hervouët, Sabine Host, Grégoire Loïs, François Michelot, Julie Missonnier, Madeleine Noeuvéglise, Manuel Pruvost-Bouvattier, Olivier Renault, Yann Watkin

# Sommaire

<b>Avant-propos</b> .....	<b>3</b>
<b>Introduction</b> .....	<b>5</b>
<b>Le climat francilien et son évolution</b> .....	<b>7</b>
<b>1 - Les tendances actuelles des aléas climatiques, les événements marquants et les projections climatiques</b> .....	<b>7</b>
<b>2 - Les aléas induits et les projections associées</b> .....	<b>9</b>
2.1 - Les vagues de chaleur et les canicules .....	9
2.1.1 - Effet d'îlot de chaleur urbain (ICU), amplification de la chaleur en ville, les nuits d'été .....	9
2.1.2 - La formation d'ozone .....	10
2.2 - Les phénomènes de sécheresses .....	10
2.3 - Les phénomènes de retrait-gonflement des argiles .....	11
2.4 - Les inondations par ruissellement et par débordement .....	12
2.5 - Les feux de forêt .....	13
<b>3 - La combinaison des aléas</b> .....	<b>14</b>
<b>Les impacts du changement climatique, aperçu des enjeux</b> .....	<b>15</b>
<b>1 - Les impacts sur les Franciliens et leur cadre de vie</b> .....	<b>18</b>
1.1 - Les risques pour la santé humaine liés à la chaleur .....	18
1.2 - L'inconfort thermique dans les bâtiments et les espaces publics .....	20
1.3 - Les maladies infectieuses et les allergies respiratoires .....	21
1.3.1 - Enjeux liés aux maladies infectieuses à transmission vectorielle .....	21
1.3.2 - Enjeux liés aux allergies et aux pollens .....	22
1.4 - Les risques naturels en lien avec le changement climatique .....	23
1.4.1 - Le risque RGA, pour les Franciliens et leurs biens .....	23
1.4.2 - Les risques d'inondation : focus sur les crues exceptionnelles .....	24
1.4.3 - Les risques d'incendie et de tempête associés à la forêt .....	25
<b>2 - Les impacts sur la biodiversité et sur les ressources naturelles</b> .....	<b>26</b>
2.1 - Une érosion de la biodiversité déjà engagée .....	26
2.2 - Les impacts du changement climatique sur les milieux naturels et la biodiversité urbaine .....	27
2.2.1 - La vulnérabilité des écosystèmes forestiers .....	27
2.2.2 - La vulnérabilité des milieux aquatiques et humides .....	29
2.2.3 - La vulnérabilité de la biodiversité urbaine .....	30
2.3 - Les impacts du changement climatique sur le sol et l'eau .....	31
2.3.1 - La vulnérabilité du sol .....	31
2.3.2 - La vulnérabilité de la ressource en eau .....	32
<b>3 - Les impacts sur les activités économiques et les grands services collectifs</b> .....	<b>34</b>
3.1 - Les activités économiques .....	34
3.2 - L'énergie .....	35
3.2.1 - Concernant la production nucléaire et l'approvisionnement de l'Île-de-France .....	35
3.2.2 - Concernant les systèmes et réseaux et de transport et de distribution d'électricité .....	36

3.3 - Les transports et infrastructures .....	37
3.3.1 - Infrastructures de transport et vagues de chaleur .....	37
3.3.2 - Infrastructures de transport et précipitations extrêmes .....	37
3.4 - L'approvisionnement en eau potable et l'assainissement .....	38
3.4.1 - AEP - Prélèvements pour l'eau potable (2/3 du total des prélèvements) .....	38
3.4.2 - Assainissement (débit d'étiage/effet dilution des pollutions résiduelles) .....	38
3.5 - L'agriculture .....	39
3.5.1 - Altération des rendements par la sécheresse et les vagues de chaleur .....	39
3.5.2 - Altération des rendements par les effets oxydants de l'ozone .....	39
3.5.3 - Restrictions d'usage de l'eau/prélèvements agricoles et irrigation .....	40
3.5.4 - Productions agricoles/modification des conditions météorologiques saisonnières .....	41
3.5.5 - Conséquences pour l'approvisionnement alimentaire de la région .....	42
3.5.6 - Vers des enjeux à partager .....	43
3.6 - La sylviculture .....	43
<b>4 - Les effets systémiques des extrêmes climatiques .....</b>	<b>44</b>
4.1 - Le cas des vagues de chaleur .....	45
4.2 - Le cas de la crue centennale .....	45
 <b>Conclusion .....</b>	 <b>47</b>

# Avant-propos

Depuis plus de soixante ans, l'Institut Paris Region accompagne les acteurs publics d'Île-de-France pour penser l'aménagement de la région, le développement de ses activités, la protection de ses espaces naturels. Il a accumulé au cours du temps une connaissance fine de son environnement, mais aussi des risques que la nature pouvait faire courir à la région capitale, en particulier la perspective de la crue centennale.

Progressivement, puis de plus en plus brutalement, s'est imposé le constat que l'Île-de-France était confrontée désormais à un défi d'une tout autre nature : la transformation du climat lui-même, sous l'effet d'un dérèglement aux dimensions globales, causé par l'activité humaine, avec pour effet d'accroître considérablement les vulnérabilités du territoire, de sa population et de son économie. Pour chacun de nous, c'est un fait inouï dont il faut prendre la mesure sans céder au déni ni au désarroi. Pour les décideurs publics, c'est la nécessité de préparer l'avenir en situation d'incertitude, d'abord pour atténuer, mais aussi pour s'adapter à un dérèglement climatique déjà devenu réalité.

En 2021, la Région Île-de-France a lancé la préparation d'un « Plan de protection, de résistance et d'adaptation face au changement climatique », voté par l'assemblée régionale en septembre 2022. Tout au long de ce processus, l'Institut Paris Region a mis son expertise au service des élus régionaux pour envisager des solutions, mais d'abord pour poser un diagnostic, assis sur ce que l'on sait, mais aussi ce que l'on pressent, tant le nouveau régime climatique dans lequel nous entrons comporte d'inconnu et d'incertain. Elaboré au cours du second semestre 2021, ce diagnostic des vulnérabilités de l'Île-de-France aux effets du changement climatique a servi de base au plan d'action élaboré par la Région, et fait partie du document soumis au vote des élus régionaux en septembre dernier. Il est ici proposé à la lecture de tous, décideurs, experts et citoyens. Il s'appuie sur les recherches propres de l'Institut, au croisement de ses diverses expertises, mais aussi sur les travaux du GREC francilien, dans un effort de connaissance et de sensibilisation qui ne fait que commencer.

Associé à la conception des différents volets de ce Plan, l'Institut Paris Region est pleinement mobilisé pour sa mise en œuvre, à travers ses outils de connaissance, son accompagnement des élus, et sa capacité de mise en réseau des acteurs du territoire. Plus que jamais, il faut savoir pour pouvoir.

Nicolas Bauquet, directeur général de l'Institut Paris Region



# Introduction

Les derniers enseignements du GIEC, dans le cadre du 6ème cycle d'évaluation sur le changement climatique, nous alertent sur les éléments suivants :

- Une élévation de la température moyenne au niveau mondial de 1,1°C par rapport à 1850-1900 ;
- L'influence humaine, sans équivoque, sur le réchauffement planétaire ;
- Le seuil de + 1,5 °C – objectif à ne pas dépasser idéalement, selon l'accord de Paris – serait déjà atteint autour de 2030, soit dix ans plus tôt qu'estimé.

Se nourrir, se déplacer, se loger, produire et consommer sont autant d'activités à l'origine de l'accroissement des émissions de gaz à effet de serre, au regard notamment de la consommation des énergies fossiles induites. Ces émissions dites anthropiques expliquent le changement climatique et font l'objet de projections (scénarios RCP - Representative Concentration Pathway). Celles-ci, établies à différents horizons temporels, permettent de relier des niveaux de concentrations des émissions de gaz à effet de serre à une élévation probable de la température moyenne au niveau mondial. Ces différents scénarios se distinguent notamment par des hypothèses socio-économiques (et reflèteraient des politiques plus ou moins volontaristes sur le climat). S'inscrire dans un scénario ambitieux tel que le RCP2.6, pour respecter l'Accord de Paris, oblige une contribution de tous et à tous les niveaux pour réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre. En effet, réduire ces émissions (volet atténuation), permettrait de modérer l'élévation de la température moyenne et l'ampleur des impacts climatiques, l'enjeu étant de rester dans les limites des capacités à faire face (volet adaptation).

L'adaptation au changement climatique se définit comme « *une démarche d'ajustement au climat actuel ou attendu ainsi qu'à ses conséquences* » (GIEC). Il s'agit de modérer les impacts climatiques sur les territoires. La notion d'ajustement s'articule aussi avec une approche des transformations nécessaires (approche « transformationnelle » de l'adaptation) au regard de l'amplitude des effets en cours et projetés. L'adaptation participe aux politiques énergétiques et climatiques à différentes échelles territoriales et constitue une stratégie indissociable et complémentaire de l'atténuation. Elle renvoie à la nécessité de poser le diagnostic, déterminer les enjeux et organiser les réponses associées, et ce, à différentes échelles de temps.

Ainsi, le présent diagnostic de vulnérabilité régionale aux effets du changement climatique rassemble les éléments de connaissance les plus récents sur les impacts potentiels du changement climatique en Île-de-France et selon les particularités locales des territoires qui la composent. Il n'a pas vocation à être exhaustif mais tente d'aborder de façon synthétique de nombreux sujets de questionnement. Il donne ainsi à voir une pluralité d'enjeux associés, ce qui aidera à situer dans quels registres d'actions s'inscrit le Plan Régional d'Adaptation au changement climatique.

En premier point, il s'agira d'étudier différents paramètres climatiques et aléas induits. Ces paramètres climatiques (température moyenne, niveau de précipitations, nombre de jours de vagues de chaleur...) viseront tant à exprimer le caractère tendanciel que les extrêmes climatiques du changement climatique en Île-de-France. Par « aléa induit », et selon la littérature en ce domaine, on se réfère aux phénomènes physiques induits dans les milieux par l'évolution des paramètres climatiques (par exemple les épisodes de fortes précipitations – paramètre climatique – sont susceptibles d'entraîner des inondations par ruissellement – aléa induit –). Ces différentes données seront traitées sous l'angle des observations disponibles sur les dernières décennies et des projections associées à différents horizons temporels (de 2040 à 2100).

La compréhension de l'évolution de ces différents paramètres permet dans un second temps d'appréhender les impacts climatiques auxquels l'Île-de-France est exposée et sensible. En somme, il s'agit d'étudier dans quelle mesure la survenance d'un aléa va constituer un danger pour la santé humaine, générer des perturbations dans la vie socio-économique francilienne ou fragiliser encore plus la biodiversité. Pour ce faire, il est fait le choix de présenter ces différentes typologies d'impacts selon trois grandes dimensions : la sphère de l'individu (les Franciliens et leur cadre de vie), le monde du vivant (qui comprend la faune, la flore, les écosystèmes ainsi que leurs interactions), et les activités économiques (grands services urbains et ruraux).

Une dernière partie abordera la question des effets systémiques, des possibles réactions en chaîne lors de la survenance d'un événement majeur.

Les éléments de contenus s'appuient sur les connaissances existantes dont les premières analyses produites par le GREC<sup>1</sup> francilien du changement climatique en Île-de-France (projets de 2 premiers livrables, juillet/août 2021). Ces éléments de diagnostic s'inscrivent comme un préalable pour asseoir une stratégie et un plan d'actions. Leur définition suppose de prendre en compte diverses problématiques comme la gestion de l'incertitude, la temporalité des actions, leur maturité et leur efficacité (actions sans regrets en opposition à la « maladaptation »), la gestion de crise et la transformation des territoires, ou encore la question des compétences et de leur articulation entre les différentes échelles territoriales.

---

<sup>1</sup> Groupe régional d'études sur les changements climatiques et leurs impacts environnementaux en Île-de-France

# Le climat francilien et son évolution

Le présent document, et tout particulièrement cette partie, s'appuie sur des données extraites du portail DRIAS et sur les premières analyses du GREC francilien (les références liées au GREC sont indiquées en italique dans le document).

Le climat de la région Île-de-France est de type tempéré. Toutefois, il est marqué par une certaine variabilité, s'exprimant notamment par les observations effectuées sur les températures et les précipitations. Concernant les températures, on note une grande amplitude de variations, et une grande variabilité d'un mois à l'autre, d'une année à l'autre pour la même saison. Les précipitations moyennes varient peu au cours d'une année mais sont caractérisées par une grande variabilité d'une année sur l'autre (avec des cumuls pouvant être 3 fois plus importants ou 10 fois moins élevés que la moyenne). Ces variabilités s'expliquent principalement par l'influence du climat océanique de la façade ouest de l'Europe (irrégularité de la circulation des vents sur l'Atlantique Nord) générant 4 grands « régimes de temps ». Ils se traduisent notamment par des situations persistantes ou de « blocage » s'illustrant par des vagues de froid intenses en hiver et des sécheresses et vagues de chaleur en été.

*« D'autres facteurs entrent également en considération sur l'altération de « la variabilité naturelle » du climat en lien avec le changement climatique, l'urbanisation, l'évolution du mode d'occupation des sols et la pollution atmosphérique. Certains de ces éléments vont en outre particulièrement accentuer les effets locaux (exemple de l'îlot de chaleur urbain). » - GREC IDF*

## 1 - Les tendances actuelles des aléas climatiques, les événements marquants et les projections climatiques

L'observation du changement climatique s'appuie sur le suivi d'un certain nombre de paramètres climatiques comme ceux associés à la température moyenne de l'air, le nombre de jours de vagues de chaleur ou encore le nombre de jours de gel. A l'échelle de l'Île-de-France, le suivi de ces marqueurs permet d'apprécier l'évolution du climat francilien à ce jour, et ce qu'il pourrait en être dans les prochaines décennies selon les scénarios RCP considérés.

Le tableau ci-dessous propose une vue synoptique de ces éléments. Une approche proposée est de s'appuyer sur des fourchettes [valeur minimale, valeur maximale] au regard des points géographiques considérés, afin d'apprécier les amplitudes entre chaque scénario.

Les références temporelles sont :

- La période de référence, 1976-2005 ;
- Et pour les 3 scénarios RCP, l'horizon moyen [2041 – 2070].

Les scénarios RCP permettent d'exprimer les contextes suivants :

- RCP2.6 : Scénario avec politique climatique visant à faire baisser les concentrations en CO<sub>2</sub> ;
- RCP4.5 : Scénario avec politique climatique visant à stabiliser les concentrations en CO<sub>2</sub> ;
- RCP8.5 : Scénario sans politique climatique.

Paramètre climatique	Période de référence [min ; max]	RCP 2.6 [min ; max]	RCP4.5 [min ; max]	RCP8.5 [min ; max]
Température moyenne journalière (°C)	[10,3 ; 12,5]	[10,3 ; 13,4]	[11,9 ; 14]	[12,3 ; 14,4]
Nombre de jours de vagues de chaleur	[6 ; 9]	[20 ; 27]	[23 ; 30]	[27 ; 33]
Nombre de jours de gel	[19 ; 52]	[12 ; 40]	[12 ; 41]	[9 ; 32]

Les températures en Île-de-France ont augmenté d'environ 2°C depuis le milieu du 20ème siècle (+0,3°C par décennie). Cette tendance est assez similaire au réchauffement observé au niveau national. Dans le cadre d'un scénario volontariste, la hausse du réchauffement serait limitée. En revanche, un réchauffement global de 2°C et au-delà impactera de façon significative les valeurs saisonnières franciliennes. Pour 4°C de réchauffement global, les étés les plus froids correspondent aux étés extrêmes préindustriels, et les étés les plus extrêmes récents (2003 ou 2018 par exemple) ont des températures en dessous de la médiane du climat globalement 4°C plus chaud. Les 5 étés les plus chauds sont 2003, 2018, 2020, 1976, 2019. Les 3 derniers étés sont donc parmi les 5 plus chauds, et entre 2015 et 2020, les étés sont tous plus chauds que tous ceux de la période 1950-1975 (GREC IDF).

*Quand parle-t-on de vagues de chaleur ? Quand parle-t-on de canicules ?*

Une vague de chaleur peut se définir comme le nombre de jours dont la température maximale est supérieure de plus de 5°C à la normale pendant au moins 5 jours consécutifs (DRIAS). Une canicule (traitée ci-après) correspond à une forte vague de chaleur pour laquelle d'autres facteurs d'appréciation seront considérés (différence des températures entre le jour et la nuit notamment).

On note des différentiels assez marqués entre la période de référence et les scénarios pour le nombre de jours de vagues de chaleur et le nombre de jours de gel (une multiplication approximative par 3 pour le nombre de jours de vagues de chaleur et une division pouvant aller de moitié pour le nombre de jours de gel). Cela n'est pas sans conséquence sur la santé humaine au regard du stress thermique induit et sur le cycle naturel des végétaux au regard de la vernalisation notamment (période de froid de quelques jours à quelques mois, nécessaire à certaines plantes pour initier la floraison).

Concernant le régime des précipitations, le caractère saisonnier de ce paramètre climatique marque de manière imperceptible certains changements. D'après Météo France, les cumuls pluviométriques annuels moyens restent inférieures à 800 mm sur l'ensemble du Bassin parisien (à mettre en perspective avec les autres données observées sur le territoire national : moins de 600 mm dans la moitié est de l'Eure-et-Loir, le delta du Rhône et la vallée de l'Aude, à plus de 2000 mm sur les monts du Cantal, au mont Aigoual et en Chartreuse).

*« On n'observe pas, à ce jour, de tendances de long terme significatives mais une légère modification de la répartition saisonnière, avec une augmentation en hiver et une diminution en été. » - GREC IDF*

En termes de projections, dans le cadre d'un climat stabilisé, les tendances restent peu marquées avec toutefois un accroissement des précipitations en hiver et une baisse des précipitations en été.

*« Dans l'hypothèse de réchauffement plus important que 2°C, les tendances pourraient être plus significatives, avec des précipitations en hiver en augmentation d'environ 10-20% et en diminution en été de 10-20%.*

*Concernant les précipitations extrêmes, ces dernières ont augmenté en intensité depuis 1950 d'environ 10 à 20% en moyenne. Sur la station d'Orly, comme ailleurs en Île-de-France et autour, cette augmentation moyenne sur 70 ans passe d'environ 30 mm/jour à 35 mm, mais la variabilité de ce maximum d'une année à l'autre est forte, oscillant entre 20 mm et 80 mm. Les valeurs les plus fortes (par exemple au-delà de 40 mm/jour) sont généralement retrouvées au printemps ou en été, fin de printemps ou début d'automne, généralement lors d'épisodes orageux. La valeur la plus forte, avoisinant 80 mm/jour, a été observée en juin 2018.*

*L'intensité des précipitations extrêmes va poursuivre son augmentation pour tous les types d'événements (courts ou longs) avec une augmentation des intensités jusqu'à 20% d'ici la fin du siècle selon les scénarios. » - GREC IDF*

*« Concernant les vitesses de vent, on observe une diminution du nombre et de l'intensité des tempêtes de vent. » - GREC IDF*

Indépendamment des scénarios considérés, la vitesse des vents ne semble pas suivre d'évolution marquée. Pour ce paramètre climatique, on relève une certaine stabilité. On garde en mémoire la dernière tempête la plus marquante en Île-de-France, celle de décembre 1999, avec des vents qui ont atteint et parfois dépassé 150 km/h.

## 2 - Les aléas induits et les projections associées

L'évolution de ces différents paramètres climatiques, pris indépendamment ou combinés, va générer un certain nombre d'aléas induits. Par exemple :

- Des étés plus chauds entraînant une évapotranspiration plus importante associée à une évolution du régime des précipitations (baisse en été) amplifient les phénomènes de sécheresse (description plus précise ci-après) ;
- Des séquences de pluies alternées avec des périodes de sécheresses produisent, selon la qualité des sols, des mouvements de terrain liés au retrait-gonflement des argiles (RGA) ;
- Des précipitations extrêmes vont induire selon la structure et la qualité des sols (imperméable, agricole avec un travail du sol intensif) des problématiques de ruissellement et renforcer le risque d'inondation par débordement et par remontée de nappe.

Les éléments développés ci-après proposent une revue de ces aléas induits.

### 2.1 - Les vagues de chaleur et les canicules

Les fortes vagues de chaleur sont dénommées canicules, événements les plus sévères qui méritent une attention toute particulière. Le système d'alerte canicule et santé (Sacs) du Plan national canicule (PNC) définit les canicules suivant une approche des températures minimales et maximales moyennées sur trois jours et comparées à des seuils départementaux qui identifient des chaleurs inhabituellement fortes par rapport au climat local. Entre les départements franciliens, ces seuils ont des valeurs et des écarts de température entre la nuit (minimale) et la journée (maximale) qui peuvent grandement différer (par exemple, 21°C la nuit et 31°C en journée pour la Seine-Saint-Denis contre 18°C la nuit et 34°C en journée pour les Yvelines).

Les canicules les plus intenses et les plus longues sont concentrées en 1976, 1983, 2003, 2015 et fait nouveau, les trois dernières années (2018, 2019 et 2020) ont répété la survenue de canicule significative en France.

Santé publique France fait état que la probabilité d'occurrence d'un événement comme la canicule de 2003 a été multipliée par un facteur au moins égal à 2 du fait du changement climatique d'origine humaine. Les vagues de chaleur tardives de septembre 2016 ou précoces de juin 2019 ont très vraisemblablement une probabilité extrêmement faible de se produire dans un climat avec moins de gaz à effet de serre.

#### 2.1.1 - Effet d'îlot de chaleur urbain (ICU), amplification de la chaleur en ville, les nuits d'été

L'îlot de chaleur urbain (ICU) conduit à une surexposition de la population à la chaleur en zone urbaine. L'ICU désigne un microclimat généré par la concentration d'activités humaines, l'imperméabilisation et l'artificialisation des sols qui se traduisent par une élévation de la température en zone urbaine par rapport aux zones rurales voisines. Il résulte de la conjonction de situations météorologiques particulières, caractérisées notamment par un vent faible et un ciel dégagé, et de certaines caractéristiques urbaines du fait des propriétés physiques de la ville (par exemple : occupation des sols, matériaux de construction, morphologie de la ville...) et d'activités anthropiques à l'origine de dégagement de chaleur (climatisation, trafic routier...).

En cas de canicule, l'un des problèmes majeurs selon Météo France concerne les « nuits tropicales », c'est-à-dire les nuits pendant lesquelles les températures ne baissent pas en dessous de 20°C. Le nombre annuel de nuits tropicales est ainsi un indicateur climatique de la chaleur et du stress thermique. En moyenne annuelle, les différences de températures nocturnes sont de l'ordre de 2°C à 3°C entre Paris et les zones rurales voisines (Gruber, 2013) et pendant les nuits d'été, ces différences peuvent atteindre 7 à 8°C, voire jusqu'à 10°C lors de la canicule de 2003 (avec 25,5°C de record de température minimale associée les 11 et 12 août). L'indicateur de température de nuit tropicale observée lors de la canicule de 2003 (>20°C les nuits de la canicule), permet de visualiser la zone la plus sensible à l'effet d'îlot de chaleur métropolitain. Il en va de même de la reconstitution par la modélisation des effets des unités urbaines sur la température nocturne pendant une situation estivale propice à un fort îlot de chaleur urbain (type canicule de 2003), en situation de vent faible soit du sud-ouest, soit du nord-est. Le Centre national de recherches météorologiques (CNRM), unité de

recherche de Météo-France et du CNRS, a ainsi coordonné la mise en œuvre du projet MApUCE<sup>2</sup>. Celui-ci vise à intégrer dans les politiques urbaines et dans des documents juridiques des données quantitatives de microclimat urbain, climat et énergie, dans une démarche applicable à toutes les villes de France. La zone où des écarts de 1 à 7°C sont identifiés comprend tout le territoire de la Métropole du Grand Paris et une partie de ses franges, dans le continuum urbain, des vallées notamment (Cf. Illustration 9).

On observe aussi d'importantes variations de températures à l'intérieur même des villes de l'agglomération parisienne constituant des micro-îlots de chaleur urbains (MICU). L'ICU et les MICU peuvent varier rapidement au sein d'une journée et dans l'espace, à des échelles de quelques mètres.

### 2.1.2 - La formation d'ozone

Les conditions propices à l'apparition d'une canicule sont aussi celles propices à la dégradation de la qualité de l'air via la stagnation des masses d'air (absence de dispersion de la pollution) et la pollution à l'ozone. La formation d'ozone est très dépendante des conditions météorologiques estivales et notamment de la température et de l'ensoleillement. Les oxydes d'azotes – émis essentiellement par le trafic routier – et les composés organiques volatils interviennent aussi comme précurseurs dans les réactions chimiques conduisant à la formation de ce polluant secondaire.

Nous observons que la concentration d'ozone dans la basse atmosphère (troposphère) est en constante augmentation à l'échelle de l'hémisphère nord. En Île-de-France, l'ozone reste le seul polluant parmi ceux surveillés en routine par Airparif pour lequel les tendances annuelles ne montrent pas d'amélioration.

## 2.2 - Les phénomènes de sécheresses

Trivialement, la sécheresse désigne un manque d'eau ou un manque de pluie. Sur une période anormalement sèche et suffisamment longue, de graves déséquilibres hydrologiques peuvent en découler. Divers types de sécheresse sont à considérer : on parle de **sécheresse météorologique** en cas de déficit anormal des précipitations. Une variante est la sécheresse atmosphérique lorsque ce déficit est aggravé par des masses d'air sec ou des vents desséchants. La **sécheresse agroécologique** est caractérisée par une faible humidité du sol, créant ainsi un stress hydrique dans la végétation. La sécheresse agricole est marquée quand la pénurie des précipitations se prolonge suffisamment longtemps pour réduire le stock en eau des sols, affectant l'eau disponible pour les plantes. La sécheresse des sols peut être superficielle ou profonde. On parle de **sécheresses hydrologique et hydrogéologique** quand les niveaux respectivement des cours d'eau et des nappes sont bas. Ces sécheresses interviennent dans cet ordre chronologique jusqu'à la sécheresse totale affectant tous les milieux (air, sols, masses d'eau).

A l'échelle du pays, l'Île de-France est **la région du nord de la France relativement la plus sèche**, selon le rapport entre la pluviométrie et l'évapotranspiration potentielle (ETP) moyenne durant la période de végétation (source Atlas climatique de la France 1980, période 1946-1960). L'Île-de-France, région carrefour, **ne présente pas une pluviométrie homogène** : l'Est est nettement plus arrosé que l'Ouest. Les grands massifs forestiers (Rambouillet, Fontainebleau) augmentent localement la pluviométrie.

La Région connaît assez régulièrement des **sécheresses printanières** vers mars - avril, moins liées à de fortes températures. Le régime des vents est aussi à considérer : ainsi les sécheresses de printemps sont généralement accentuées par des vents d'Est desséchants.

---

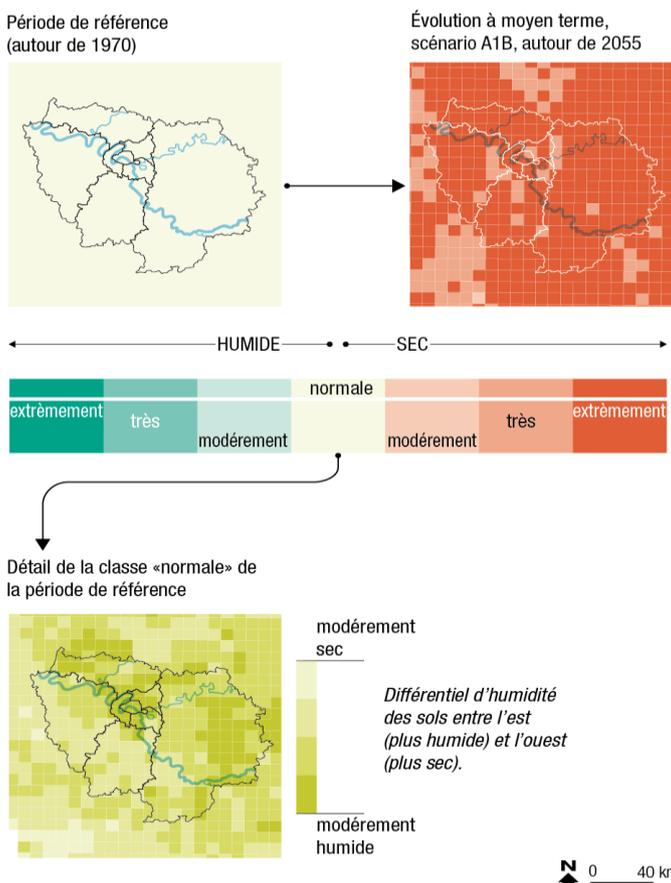
<sup>2</sup> Modélisation Appliquée et droit de l'Urbanisme : Climat urbain et Énergie

La sécheresse apparaît comme une « variable directe » ou un « super-aléa » qui commande toute une série de « variables indirectes » ou « aléas dérivés » : incendies, retrait-gonflement des argiles (RGA), impacts sur la ressource en eau en quantité et qualité, les usages de l'eau, les cultures, les essences forestières, les milieux naturels et la biodiversité, etc. L'approche temporelle est importante, entre temps long, épisodes et périodes de sécheresse, répétition et effets cumulatifs.

L'analyse du pourcentage annuel de la surface touchée par la sécheresse des sols depuis 1959 permet d'identifier les années ayant connu les événements les plus sévères en Île-de-France comme 1976, 1990, et 1996. L'évolution de la moyenne décennale ne montre pas à ce jour d'augmentation nette de la surface des sécheresses. (Climat HD).

### Illustration 1 : La sécheresse des sols en Île-de-France

#### Sécheresse des sols



© L'INSTITUT PARIS REGION, 2021  
Source : DRIAS, indice de sécheresse d'humidité des sols SSWI, Moyenne annuelles

« Cependant, les projections climatiques indiquent un accroissement des sécheresses de tous les types en été. Les tendances futures sont liées à des conditions généralement plus anticycloniques et moins nuageuses générant une diminution des pluies, se traduisant par une augmentation du nombre de jours consécutifs sans pluie (DRIAS, 2021), mais aussi clairement à l'augmentation des températures. » - GREC IDF

## 2.3 - Les phénomènes de retrait-gonflement des argiles

Le RGA s'applique aux sols argileux. Ces derniers sont amenés à voir leur volume et leur consistance varier en fonction de leur teneur en eau. Cette propriété est liée à leur structure en feuillets sur la surface desquels les molécules d'eau vont se fixer. Lorsqu'un sol argileux s'humidifie, il est souple et malléable, et son volume augmente, on parle de « gonflement ». Quand l'argile s'assèche, il devient cassant et dur, et son volume diminue : on parle alors de « retrait ». Tous les types d'argile ne répondent pas de la même façon aux variations d'humidité. Certains verront leur volume varier plus que d'autres, en fonction de leur structure interne, des minéraux en présence, de la teneur en eau initiale du sol. Le volume des sols argileux varie donc en fonction du degré d'humidité. L'alternance entre sécheresse et réhydratation entraîne des mouvements de terrain différentiels, notamment entre

les différents horizons du sol, et peuvent générer des dommages sur le bâti et les infrastructures routières.

Etant donné la nature géologique de son sol, l'Île-de-France fait partie des territoires les plus exposés au risque de RGA (risque relativement diffus sur tout le territoire francilien, (Cf. Illustration 6). Si les conditions climatiques (sécheresse, forte évaporation, fortes précipitations...) sont un facteur déclencheur, d'autres éléments rentrent en considération notamment les méthodes et la qualité de construction des maisons individuelles (type de bâti particulièrement exposé en raison de la profondeur des fondations).

Le climat d'Île-de-France étant tempéré, les sols sont plutôt hydratés grâce aux précipitations fréquentes. Les mouvements des sols argileux les plus importants sont observés en période sèche. Ce sont principalement les deux premiers mètres du sol qui sont concernés par le phénomène. Dans le cas d'une importante sécheresse, les cinq premiers mètres peuvent être touchés. Au regard des projections sur les sécheresses, il est à penser que le risque de retrait-gonflement des argiles pourrait s'intensifier dans les prochaines décennies et doit être mis en perspective des coûts induits.

## 2.4 - Les inondations par ruissellement et par débordement

On distingue plusieurs situations pour qualifier les phénomènes d'ampleur associés aux précipitations. L'Île-de-France a déjà connu plusieurs événements mémorables (depuis le début du 20ème siècle, la région a observé une vingtaine de ces événements). Une attention particulière est portée à ces typologies de précipitations au regard du risque d'inondation qu'elles peuvent générer : inondation par débordement (crue) accompagnée d'inondation par remontée de nappe et inondation par ruissellement (en lien avec l'état des sols, imperméabilisés, saturés en eau...). Parmi les situations, l'Île-de-France est concernée par :

- **Les épisodes de grande ampleur géographique qui concernent de vastes bassins versants avec des précipitations abondantes, le plus souvent de longue durée (pouvant atteindre plusieurs jours).** Si les intensités peuvent ne pas être remarquables, les cumuls en revanche peuvent s'avérer importants, et dépasser localement 100 mm en 1 ou 2 jours. Ces épisodes sont souvent à l'origine des fortes crues des grands cours d'eau du nord de la France (Seine, Marne, Oise, Meuse, Moselle...) et des sévères inondations observées sur les régions maritimes (Bretagne, bassins côtiers normands et picards...). **Les crues durant l'hiver 2018 en Île-de-France en sont une illustration et résultent d'un hiver particulièrement humide.** Les mois de décembre et janvier ont constitué l'une des trois périodes les plus pluvieuses depuis le début des relevés en 1900. L'accumulation des pluies sur des sols gorgés d'eau a provoqué un gonflement des cours d'eau. Entre le 1er décembre et le 21 janvier, les précipitations ont été deux fois supérieures à la normale à Paris, avec 183 millimètres tombés. Les inondations observées fin mai - début juin 2016 s'inscrivent dans cette situation avec **des cumuls de précipitations importants et dans certains secteurs exceptionnels par rapport au débit des rivières (cas du bassin versant du Loing) et à Paris.** Les crues plus habituelles en hiver, surviennent donc désormais également en été.
- **Les orages localisés peuvent, sur de courts laps de temps et sur un périmètre limité, déverser d'énormes quantités d'eau.** De durée généralement inférieure à une ou deux heures, ils se caractérisent par des intensités record sur des pas de temps très courts. **Le 9 juillet 2017, une perturbation orageuse traverse la Bretagne et l'Île-de-France. En soirée du 9 juillet, des pluies très intenses tombent sur Paris provoquant des inondations dans les rues et le métro.** On relève à Paris : 98 mm aux Buttes-Chaumont, 80.9 mm à Lariboisières, 70 mm à St Antoine, 60 mm au Luxembourg.

*« S'il est délicat d'attribuer complètement un phénomène météorologique particulier au changement climatique, les projections climatiques tendent pour une intensification des précipitations extrêmes. Des crues éclair et inondations pluviales associées aux précipitations extrêmes ne sont pas à exclure. » - GREC IDF*

Dans le cas des inondations par ruissellement, au-delà du facteur climatique, deux autres paramètres sont à considérer pouvant amplifier le risque :

- La pente, qui accélère le phénomène de ruissellement des eaux pluviales et leur concentration rapide dans les points bas ;
- L'imperméabilisation ou le tassement des sols (travail du sol intensif en agriculture), qui suppriment toute rétention des eaux pluviales par les sols et accélèrent fortement le phénomène.

## 2.5 - Les feux de forêt

Bien qu'en milieu naturel les feux de forêts fassent partie du fonctionnement des écosystèmes forestiers, l'être humain, de manière intentionnelle ou par accident, augmente leur occurrence de 90%. Les conditions météorologiques et l'évolution du climat peuvent également en favoriser la survenance. Pour qualifier la contribution de ces éléments, il est possible de se référer à l'Indice Forêt Météo (IFM). Cet indice composite permet de quantifier quotidiennement la propension à l'éclosion et à la propagation initiale des feux en fonction des seuls paramètres météorologiques. Météo France en assure sa production et le calcule à partir de données météorologiques simples : température, humidité de l'air, vitesse du vent et précipitations. Ces données alimentent un modèle numérique qui simule l'état hydrique de la végétation et le danger météorologique quotidien d'incendie qui en découle. Cet indice permet d'appréhender la sensibilité météorologique aux feux de forêts d'une année en évaluant le nombre de jours de dépassement du seuil **IFM>20**. Le critère appliqué est le calcul en chaque point du territoire du nombre de jours de dépassement du seuil IFM>20. En ce point, si la valeur seuil quotidienne est dépassée plus d'un mois dans l'année, alors l'année est considérée comme sensible météorologiquement.

Pour l'Île-de-France, si l'on considère la période de référence (1989 - 2008, modèle Arpège Climat V4.6), on ne peut évoquer une sensibilité marquée aux feux de forêt. Le nombre de jours où l'IFM > 20 est, en grande partie, selon les points géographiques considérés, compris dans une fourchette de valeurs de 15 à 30 jours soit moins d'un mois. Si l'on considère la projection climatique selon le scénario intermédiaire A1B à horizon moyen (2051 - 2070, modèle Arpège Climat V4.6), le nombre de jours où l'IFM > 20 oscille entre 41 et 66 jours avec plus de la moitié des valeurs supérieures à 50.

Sans être dans la configuration des zones situées au sud-est de la France, la sensibilité de la forêt francilienne aux feux de forêt est amenée à évoluer (en particulier pour les massifs situés au sud de la région francilienne dont le massif de Fontainebleau). Un autre facteur aggravant est la présence de peuplements résineux.

En 2010, une mission interministérielle fut organisée à la demande des trois ministres en charge de l'Écologie, de l'Intérieur et de l'Agriculture, pour analyser les conséquences du changement climatique dans les décennies à venir (2030 - 2050) sur l'aléa feux de forêts et l'extension probable des zones sensibles sur le territoire métropolitain. A cette date, le rapport concluait que **l'IFM avait augmenté significativement ces dernières décennies sur tout le territoire**.

En outre, la mission a permis de mettre en relief la sensibilité de l'IFM à la température moyenne. **Une augmentation de 1°C entraîne en moyenne une augmentation de l'IFM moyen annuel de près de 20%, une diminution de 1°C conduit à une baisse de près de 18% pour la moyenne annuelle.** La sensibilité est également forte à l'humidité relative de l'air et du même ordre pour plus et moins 10% d'humidité relative que pour plus et moins 1°C.

### 3 - La combinaison des aléas

« Les extrêmes combinés – soit la concomitance de plusieurs phénomènes météorologiques, comme une sécheresse et une canicule – sont des événements à fort impact. » - GREC IDF

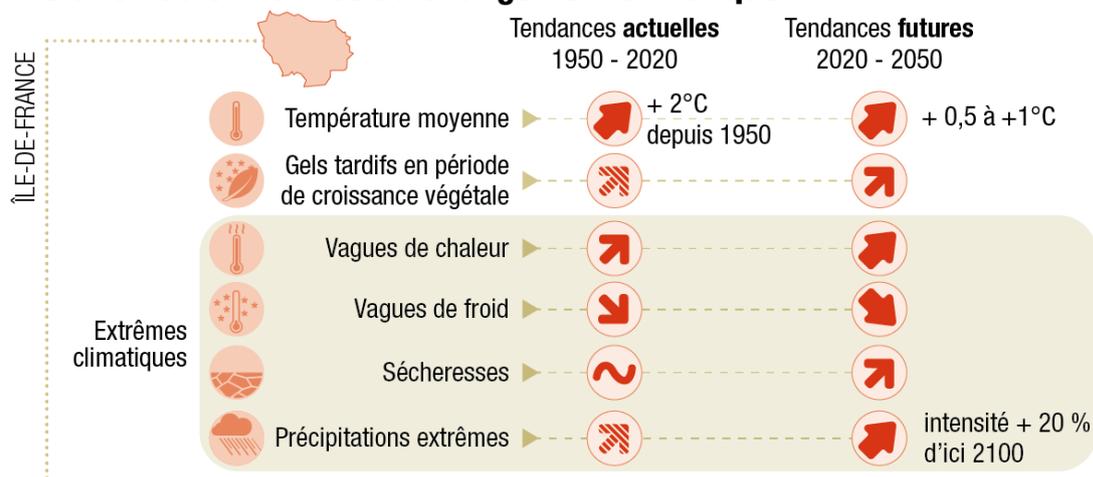
Lorsque ces aléas surviennent en même temps, leur concomitance peut augmenter l'intensité respective de chaque aléa et peut entraîner d'autres conséquences plus larges, comme l'augmentation potentielle du risque de feux de forêt consécutive d'une combinaison sécheresse-canicule. Ce lien sécheresse-canicule intervient tout au moins pour les sécheresses estivales.

« D'une manière générale, plusieurs extrêmes ont une probabilité qui ira croissante avec le changement climatique, et particulièrement la combinaison de sécheresses et vagues de chaleur en Île-de-France. » - GREC IDF

Il en va aussi de la répétition d'aléas successifs, comme l'alternance de périodes exceptionnellement chaudes ou sèches et de périodes humides qui peuvent être à l'origine d'altération du rendement des cultures ou d'augmentation du risque de retrait-gonflement des argiles impactant les maisons.

Illustration 2 : Synthèse des éléments de projection climatique en Île-de-France

#### Évolution du climat liée au changement climatique



© L'INSTITUT PARIS REGION, 2021 / Sources : DRIAS, GREC IdF, AESN, SDAGE

# Les impacts du changement climatique, aperçu des enjeux

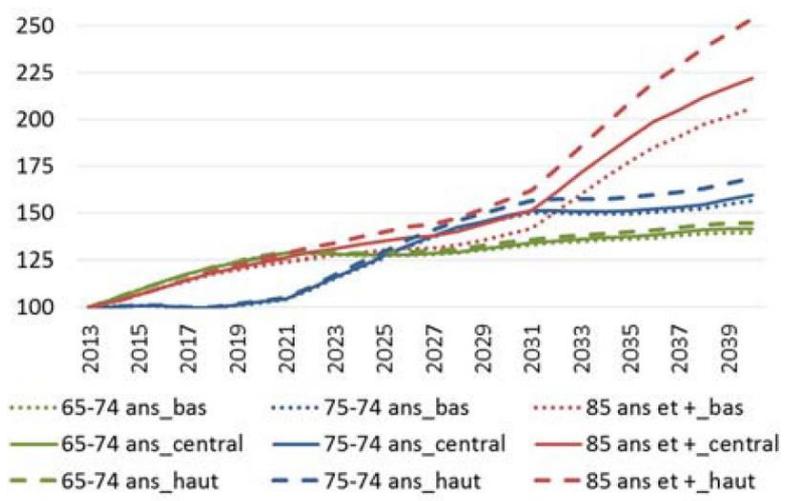
Le focus régional opéré sur les aléas climatiques observés à ce jour, leurs tendances passées et projections associées offre un jeu de données à confronter aux réalités physiques et socio-économiques du territoire francilien. Asseoir le Plan régional d'adaptation au changement climatique invite à apprécier, en première intention, l'exposition et la sensibilité de l'Île-de-France à ces aléas actuels et futurs, que nous proposons de traiter selon trois grandes entrées :

- Les Franciliens et leur cadre de vie. Il s'agit d'apporter un éclairage sur ce que recouvrent les impacts climatiques dans la sphère privée du Francilien (lieu, cadre de vie et santé notamment) ;
- La biodiversité, les écosystèmes et les ressources naturelles, avec l'ambition d'avoir une vue synthétique des effets du climat (et interactions associées) sur les différents milieux ;
- Les activités économiques et les grands services urbains et ruraux permettant de comprendre les perturbations générées par le changement climatique sur :
  - Les modes de travail, l'organisation économique de certaines filières et pratiques associées ;
  - Le fonctionnement de services urbains (comprendre les activités de production et de distribution de ces services associés à l'énergie ou l'eau par exemple) permettant la vie économique et sociale des différents acteurs franciliens.

Pour ce faire, retenons quelques points de repères de l'Île-de-France.

L'Île-de-France concentre 12 millions d'habitants sur 2% du territoire national faisant figurer la région parmi les densités les plus importantes au niveau européen (1 023 habitants au km<sup>2</sup>). 21% des familles franciliennes vivent dans les 5 villes de plus de 100 000 habitants (Paris, Boulogne-Billancourt, Saint-Denis, Argenteuil et Montreuil). Entre 2007 et 2017, l'Île-de-France a gagné 57 600 habitants en moyenne chaque année, soit une augmentation comparable à celle observée sur la période 1990 - 2006 (+55 000 habitants). Autrement dit, chaque année depuis 1990, la population francilienne s'accroît du nombre d'habitants d'une ville comme Pantin (29ème commune la plus peuplée de la région).

Illustration 3 : Projections des Franciliens de plus de 65 ans par groupe d'âges d'ici 2040



(base 100 en 2013) – Source Institut Paris Region & ORS

D'un point de vue démographique, l'observation de la tranche d'âge des plus de 65 ans est particulièrement suivie dans le cadre du changement climatique en tant que marqueur de la sensibilité de cette population aux vagues de chaleur. D'autres facteurs seraient à intégrer sur l'état de santé associée à cette classe d'âge (maladies chroniques...) ou sur la capacité à faire face (accès aux équipements et services de santé) pour apprécier leur vulnérabilité face aux extrêmes chauds. Cependant, les données présentées ci-après sur le poids de la population rapportée au niveau régional souligne un enjeu croissant de ce marqueur de sensibilité. On note une part des « 65 ans ou plus » en progression relative pour s'établir à 14,8% en 2018 (comparativement à 12,5% en 2008). En termes de projections (sur la base de plusieurs scénarios), dans le cadre d'une étude réalisée par L'Institut Paris Region sur l'impact du vieillissement sur le recours à l'allocation personnalisée d'autonomie (APA) en Île-de-France, on relève l'avancée en âge des générations du baby-boom et **notamment un doublement de la part des Franciliens de plus de 85 ans d'ici 2040.**

À ce jour, les milieux urbains représentent 23% de la surface régionale, les forêts 24% et les espaces agricoles 50%. Pour ces derniers, ils sont principalement destinés à de la culture céréalière (pour près de 64% des surfaces). 6,5% de la Surface Agricole Utile est consacrée à l'agriculture biologique, en forte progression ces dernières années (situation fin 2021, source Groupement des Agriculteurs Biologiques d'Île-de-France). Ces contrastes territoriaux soulignent la nécessité d'appréhender le changement climatique au regard de ces différents environnements. Les enjeux associés à l'aménagement du territoire, à la densité et l'étalement urbain, au Zéro artificialisation nette (ZAN), à la protection des ressources et espaces naturels sont prégnants pour la région francilienne, a fortiori lorsque l'on considère les chantiers associés au Grand Paris Express et à l'objectif de construire 70 000 logements/an.

En termes d'habitat, l'Île-de-France comptabilise, en 2018, plus de 5 millions de logements, constitué à près de 73% par du collectif. À noter que plus de la moitié des maisons individuelles se situent en grande couronne. La moitié du parc francilien a été construit avant la première réglementation thermique. Le niveau de performance actuel du parc de logement francilien comprend, en surface cumulée, 18% de passoires énergétiques (logement aux niveaux de performance F et G), 80% de bâtiments de performance "moyenne" (classes E, D et C), les 2% restant étant au niveau BBC Rénovation (niveau de consommation énergétique > 100 kWh/m<sup>2</sup>.an), d'après une évaluation de la Direction régionale et interdépartementale de l'environnement, de l'aménagement et des transports d'Île-de-France (DRIEAT).

Concernant le volet économique, la région se caractérise par une économie tertiarisée (près de 87% de la valeur ajoutée francilienne relève du secteur tertiaire en 2018). Cette caractéristique économique s'observe également sur la structure des emplois franciliens. En 2019, sur 6,49 millions d'emplois, près de 90% sont des emplois salariés et près de 87% de ces emplois sont destinés au tertiaire.

Malgré ces aspects très urbanisés, l'Île-de-France présente un certain nombre de milieux naturels remarquables notamment des espaces forestiers, dont 33% sont des forêts publiques. 81% de celles-ci sont domaniales et représentées par des grands massifs (Fontainebleau, Rambouillet, Sénart, Arc boisé...). Les chênaies (chênes pédonculé et sessile) représentent 60% de la forêt régionale (ARB IDF, 2019) ce qui fait du chêne la première essence francilienne. La biodiversité forestière se porte mieux qu'en milieu urbain ou agricole et sert de refuge pour une faune très variée notamment les cervidés, les chauves-souris, les amphibiens, etc. Ainsi, 38% des forêts franciliennes sont des réservoirs de biodiversité identifiés dans le Schéma régional de cohérence écologique (SRCE) qui représentent 66% des réservoirs d'Île-de-France. Enfin, 57% des forêts sont classées Natura 2000. On trouve aussi des milieux rares comme les zones humides avec notamment 800 ha de prairies humides riches en biodiversité. Enfin, 2000 ha d'anciens pâturages sur sols pauvres comme les pelouses calcicoles par exemple, accueillent plus d'un tiers des plantes menacées de la Région (CBNBP, 2016).

La biodiversité désigne l'ensemble des écosystèmes et des espèces animales et végétales ainsi que les interactions entre ces différentes composantes. L'être humain est dépendant de la biodiversité de manière directe et indirecte : lorsqu'elle est en bonne santé, elle rend à l'être humain de nombreux services dits « écosystémiques ». Ceux-ci désignent des services rendus par la nature qui permettent de faire fonctionner notre société, triés selon trois catégories :

- Les services de support et de régulation qui permettent aux écosystèmes de fonctionner et d'être résilients face aux perturbations (exemples : stockage de carbone, adaptation au changement climatique...);
- Les services d'approvisionnement qui fournissent des ressources (bois, pollinisation...);
- Les services culturels (par exemple bien-être, santé...).

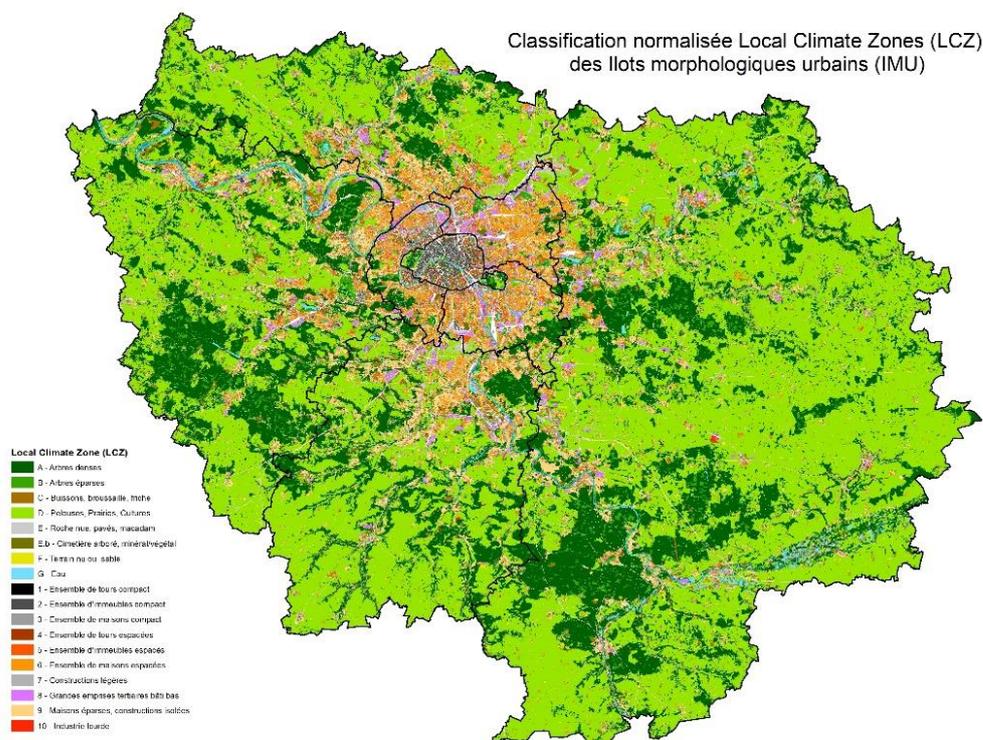
La biodiversité et les écosystèmes ne seront résilients au changement climatique et, par extension, ne rendront leurs services qu'à la condition d'être fonctionnels, c'est-à-dire qu'aucun élément de ces équilibres ne soit perturbé par des facteurs non naturels (pollution, urbanisation, agriculture intensive...). Or, en Île-de-France, le déclin et l'homogénéisation de la biodiversité se poursuit, dans tous les milieux et pour de nombreux cortèges d'espèces (ARB IDF, 2016). C'est pourquoi il est essentiel de protéger les espaces de nature et d'accélérer la dynamique de reconquête de la biodiversité pour assurer d'une part la résilience des écosystèmes au changement climatique, et d'autre part, la résilience du territoire francilien qui dépend de la santé de sa biodiversité.

Aujourd'hui, la région compte douze réserves naturelles régionales (RNR) et quatre réserves naturelles nationales (RNN). De plus :

- 8% de la superficie régionale est couverte par des zones Natura 2000 en 2019 (13% en France) ;
- 8% des cours d'eau franciliens présentent un bon état écologique (l'objectif est de 53% sur le bassin Seine-Normandie en 2027) ;
- La région est traversée par 8 342 km de cours d'eau et de canaux.

La Région Île-de-France présente un réseau hydrographique organisé autour du bassin de la Seine et de ses affluents et dispose également d'importantes ressources souterraines telles que les nappes de Beauce et du Champigny. Cette ressource en eau sert principalement à l'alimentation en eau potable (73% des prélèvements en 2007) pour la consommation francilienne. Cette particularité du territoire francilien le rend particulièrement sensible à toute dégradation de la qualité de l'eau notamment par les pollutions diffuses agricoles. Plus de 200 captages d'eau potable (sur 900) ont aussi dû être abandonnés depuis 2000 en Île-de-France, dans 55% des cas en raison de problèmes de qualité, le plus souvent en lien avec des pollutions par les nitrates et les pesticides (AESN, 2014). Ces aquifères, largement alimentés par les régions en amont, qui bénéficient de précipitations plus abondantes, ont un renouvellement des eaux très faible, de l'ordre du siècle, ce qui explique leur sensibilité.

#### Illustration 4 : Zones climatiques locales (LCZ) en Île-de-France



(Chaque LCZ exprime une géométrie caractéristique et une occupation du sol qui génèrent un climat spécifique – une température de surface unique – par temps calme et ciel dégagé ; IAU 2012, d'après Stewart & Oke).

# 1 - Les impacts sur les Franciliens et leur cadre de vie

Les changements climatiques modifient, directement ou indirectement, les conditions permettant d'assurer le bon état de santé des populations, qui s'entend ici comme un état de complet bien-être physique, mental et social, et pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité. Les conséquences du changement climatique peuvent être classées en trois grandes catégories :

- Les impacts directs sur la santé liés aux évolutions de fréquence des événements climatiques extrêmes (vagues de chaleur, sécheresses, inondations, tempêtes, etc.) ;
- Les effets indirects sur la santé à travers la modification de l'environnement et des écosystèmes (accroissement des effets de la pollution, apparition et émergence de maladies vectorielles, exposition aux pollens allergisants, risque hydrique, etc.) ;
- Les effets indirects sur la santé à travers la modification des organisations humaines (santé au travail, accès aux biens et services, déplacements de population, stress, santé mentale, etc.).

La santé des populations constitue ainsi un enjeu majeur des politiques d'adaptation au changement climatique. Tous les publics peuvent être affectés par le changement climatique, mais les effets sur la santé dépendent aussi en grande partie des vulnérabilités individuelles (par exemple : âge, problèmes de santé préexistants, facteurs socio-économiques), des caractéristiques de l'habitat et du cadre de vie (y compris au travail), de la capacité des personnes à s'adapter en lien avec des facteurs écologiques, sociaux, économiques, culturels, incluant l'éducation et l'accès au système de santé.

Les risques sur la santé des changements climatiques sont ainsi liés à des déterminants « non climatiques » pour les individus (âge, sexe, maladies chroniques, certains traitements, etc.). Par ailleurs, de nombreux facteurs de santé résident dans l'environnement et dépendent de la qualité des échanges avec lui. Ainsi d'un territoire à l'autre, et en fonction des publics, les facteurs de vulnérabilité aux changements climatiques diffèrent sensiblement. Cela doit être pris en compte pour adapter l'action publique au contexte local.

## 1.1 - Les risques pour la santé humaine liés à la chaleur

Parmi les conséquences du changement climatique en Île-de-France, les impacts directs sur la santé liés aux évolutions de fréquence des vagues de chaleur sont déjà pour partie objectivables. Les effets indirects à travers la modification des organisations humaines (santé au travail, fatigue, stress, santé mentale, etc.) sont plus difficiles à apprécier dans leur globalité.

En période de forte chaleur, le corps met en place des mécanismes de thermorégulation pour maintenir sa température interne autour de 36,8°C. Au-delà d'un certain seuil, variable selon les individus, l'organisme s'épuise, entraînant une dégradation rapide de l'état de santé. Même en dehors des épisodes caniculaires, les effets de la chaleur se manifestent, atteignant les populations les plus fragiles. Cette vulnérabilité résulte de la combinaison de facteurs sanitaires, socio-économiques et environnementaux, dont l'âge (les plus âgés et les plus jeunes sont les plus fragiles), la prise de médicaments, les conditions de travail, l'accès à l'information, les capacités cognitives et l'activité physique (ORS).

Les canicules, telles que définies par le plan national canicule, ont causé près de 38 000 décès entre 1973 et 2019 en France métropolitaine (Géodes, 2019). Elles sont de plus en plus fréquentes et étendues, ce qui se traduit par un accroissement de la population exposée au moins une fois par été à une canicule. La population française exposée à au moins une canicule par an a doublé entre 1974 - 1983 et 2004 - 2013 selon Santé publique France (SpF). L'Île-de-France n'est pas en reste, la canicule exceptionnelle de 2003 l'ayant particulièrement impactée avec des taux de surmortalité bien au-dessus de la moyenne française : plus de 200% de décès en excès enregistrés à Paris et en petite couronne, avec un record (+219%) pour le Val-de-Marne.

Les observations de Santé publique France distinguent, d'un côté **la chaleur habituelle**, correspondant à un risque faible, cumulé sur un nombre conséquent de jours, et de l'autre **la chaleur exceptionnelle**, correspondant à un risque très fort, cumulé sur un nombre réduit de jours :

- **L'augmentation rapide du risque de décès et de recours aux soins d'urgences lorsque la température augmente** est mis en évidence par plusieurs études épidémiologiques (SpF). Elle survient à températures modérées, et suit une relation non-linéaire très sensible à l'intensité de la chaleur. Dans 18 villes métropolitaines françaises – dont Paris –, entre 2000 et 2010, l'effet de la

chaleur sur la mortalité apparaissait à températures moyennes journalières variant de 13 à 21°C selon la ville. 1,2% de la mortalité totale annuelle était attribuable à la chaleur, soit environ 14 000 décès (Corso, Pascal, and Wagner, 2017). Des projections sous un climat plus chaud estiment que dans ces mêmes villes, sans adaptation de la population, la mortalité attribuable à la chaleur serait au moins de 1,7% sous un réchauffement de +1,5°C, 2,4% sous un réchauffement de +2°C et 6,5% sous un réchauffement de 4°C (Vicedo-Cabrera et al., 2018).

- **Le potentiel disruptif de certaines vagues de chaleur, avec des augmentations très rapides de la mortalité et du recours aux soins d'urgences, concentrées sur quelques jours**, est l'autre enseignement principal de ces études. Par exemple, l'été 2003 totalise 50% de la mortalité associée aux vagues de chaleur en France entre 1970 et 2013 (SpF, Influence de caractéristiques urbaines sur la relation entre température et mortalité en Île-de-France). La mortalité en France associée aux vagues de chaleur entre 2014-2019 (5 500 décès en 5 ans) est déjà supérieure à celle observée entre 2004 et 2013 (2 200 décès en 10 ans) (Geodes, 2019).

La surexposition aux températures élevées due à l'ICU et aux MICUs se répercute a priori en risque sanitaire ; globalement, vivre dans un MICU augmente le risque de décès pendant les vagues de chaleur (Benmarhnia, 2018 ; Schinasi, Benmarhnia, and De Roos, 2018). Pour l'influence de l'ICU sur la mortalité, si les canicules ont globalement été peu étudiées, celle de 2003 l'a en revanche beaucoup été. A Paris, la mortalité dans les quartiers les plus exposés en 2003 aux fortes chaleurs était le double de celle observée dans les quartiers les moins exposés alors que la différence de température (moyenne sur la durée de l'épisode) n'atteignait qu'un demi-degré (étude cas-témoin, Laaidi et al., 2012). A l'inverse, les domiciles ayant un environnement proche très végétalisé auraient bénéficié d'un effet protecteur (Bretin et al., 2005).

Une récente étude montre que les caractéristiques urbaines contribuant à l'ICU (surface artificialisée non-végétalisée, couvert non-arboré, taux d'imperméabilisation) sont associées à un risque plus élevé de décès lié à la chaleur (SpF, *L'Institut Paris Region, ORS, Influence de caractéristiques urbaines sur la relation entre température et mortalité en Île-de-France, 2020*). Ainsi, réduire l'ICU pourrait contribuer à réduire l'exposition, et donc l'impact sanitaire lié à la chaleur pendant une canicule similaire à celle de 2003. Des interventions sur ces caractéristiques, en particulier sur la végétalisation et l'imperméabilisation des sols, pourraient donc permettre de réduire les impacts sanitaires des fortes chaleurs.

Enfin, d'autres composantes interviennent dans le principe de vulnérabilité aux vagues de chaleur. Au-delà de l'aléa amplifié par l'effet d'ICU et de l'exposition de l'ensemble de la population, d'autres registres de sensibilité interviennent. Sont notamment à considérer l'âge des personnes (plus de 65 ans et enfants en bas âge), la performance d'isolation des logements ou l'exposition à l'ozone<sup>3</sup>. En y ajoutant les capacités à faire face, qu'elles soient individuelle (faible revenus, précarité énergétique...), collective ou territoriale (système sanitaire, accessibilité aux espaces verts publics...), le croisement de ces indicateurs est déterminant. L'Institut Paris Region a renseigné et cartographié les quartiers présentant un effet d'ICU potentiel (moyen à fort) et la hauteur de leur vulnérabilité (IPR, 2017). Cette cartographie se fonde sur une approche empirique de caractérisation géographique de données socio-démo-urbaines basé sur la typo-morphologie des îlots de vie (« pâte de maisons ») et leur caractérisation en Local Climate Zone. En Île-de-France, une personne sur deux résiderait dans un quartier soumis potentiellement à un effet moyen à fort d'ICU, avec 99% de la population concernée à Paris et 73% dans l'ensemble du territoire de la Métropole du Grand Paris (MGP). En termes de vulnérabilité, si la MGP reste globalement le territoire qui présente les secteurs de vulnérabilités les plus fortes (pour l'ensemble des indicateurs sociodémographiques utilisés), on observe des vulnérabilités localement fortes y compris dans des quartiers de grande couronne (Cf. Illustration 9).

L'adaptation à la chaleur est devenue une priorité de santé publique. La prévention des effets de la chaleur se concentre actuellement sur la chaleur exceptionnelle susceptible de constituer un risque pour l'ensemble de la population exposée, via le Plan national Canicule (PNC) mis en place en 2004. Il cible les comportements individuels et l'identification et l'accompagnement des populations très vulnérables (Registres d'identification des personnes âgées, isolées ou handicapées). Malgré le PNC et l'instauration du système d'alerte canicule et santé (Sacs), il s'avère, d'après SpF, qu'un impact très important demeure possible en particulier si des intensités similaires ou supérieures à la canicule de 2003, qui demeure exceptionnelle à ce jour, devaient s'observer.

---

<sup>3</sup> Cofacteur de risque pour la santé (le seuil de protection de la santé pour l'ozone - valeur cible – peut être dépassé en Île-de-France, en particulier dans les zones périurbaines et rurales, avec une intensité marquée en période de canicule)

Il conviendrait de privilégier l'anticipation – se préparer, améliorer le cadre de vie pour atténuer les effets d'ICU ou mieux les supporter - et la sensibilisation aux bons comportements pour mieux réagir lorsque se produisent des événements extrêmes qui restent difficiles à prévoir (en durée et en intensité).

## 1.2 - L'inconfort thermique dans les bâtiments et les espaces publics

La prévention des effets de la chaleur habituelle – à côté de celle relative à la chaleur exceptionnelle – couvre un large spectre de situations. L'enjeu est celui de la transformation structurelle du cadre de vie, à l'intérieur des bâtiments privés ou publics, des équipements recevant du public et dans l'espace public.

**En ce qui concerne les bâtiments**, les enjeux de confort d'été sont devenus importants et un nouveau sujet à considérer pour l'élaboration des réglementations thermiques et des systèmes de rafraîchissement. En période de chaleur, les besoins en froid augmentent pour rafraîchir ou maintenir à température constante les biens et les personnes pour raisons sanitaires, commerciales, industrielles, d'amélioration de la productivité ou de confort.

Actuellement, les systèmes de refroidissement sont beaucoup plus répandus **pour les bâtiments tertiaires** que dans l'habitat et sont davantage des systèmes individuels « secs », qui rejettent de l'air chaud dans la rue, que des systèmes « humides » qui rejettent la chaleur sous forme de vapeur d'eau dans l'air ou directement dans l'eau (exemple des réseaux de froid de Climespace à Paris, qui rafraîchissent de nombreux immeubles tertiaires à partir de pompes à chaleur et de l'eau de la Seine).

Les résultats du projet de recherche Clim<sup>2</sup> montrent qu'à Paris et ses environs les rejets du parc actuel de systèmes de refroidissement (secs et humides) provoquent une augmentation faible et locale de la température nocturne dans les rues (0,25 à 1°C par rapport à un cas de référence sans climatisation). Mais dans une situation future où la puissance globale de climatisation serait doublée et l'ensemble des rejets sous forme sèche, l'augmentation de la température nocturne serait de l'ordre de 0,5°C à 3°C et l'îlot de chaleur nocturne serait nettement plus étalé et plus intense (+1,75°C) par rapport à un cas de référence sans climatisation.

**Pour l'habitat**, la rénovation des passoires thermiques (entrée et déperdition de chaleur) est l'un des premiers enjeux. Les logements dans les quartiers à MICU, les logements non traversants, ceux des derniers étages des immeubles anciens méritent une attention toute particulière. En outre, la Commission Européenne prévoit un potentiel d'équipement en refroidissement résidentiel de 35% en France à l'horizon 2030 contre seulement 5% en 2015 (Construction 21, d'après étude préparatoire pour la révision des règlements Energy related Products des climatiseurs pour la Directive européenne Ecoconception). Si l'habitat des Franciliens suit cette tendance, l'offre et le choix des systèmes de refroidissement sera déterminant.

Les dualités (entre bâtiment neuf et bâtiment ancien, entre habitat et locaux d'activités, entre période d'hiver et période d'été, entre usage majoritaire du bâti le jour ou bien la nuit) obligent à traiter les risques d'inconfort thermique de façon adaptée. L'inconfort l'été étant un défaut souvent relevé de nombreux bâtiments construits selon la RT2012, la nouvelle Réglementation Environnement (RE2020, qui s'applique déjà aux bâtiments publics neufs depuis 2018 et entrera en vigueur pour tous les bâtiments neufs au 1er janvier 2022) impose une exigence spécifique. Les retours d'expérience sur la mise en place des systèmes de refroidissement dits passifs rendus possibles par la RE 2020 seront donc précieux.

**Pour les équipements publics et leurs espaces associés**, les enjeux sont doubles : recevant du public, s'ils ne sont pas adaptés à la chaleur, leur fréquentation occasionnelle ou permanente est source d'inconfort voire de risque sanitaire (en témoigne la perturbation de l'enseignement scolaire dans les écoles franciliennes lors des canicules précoce de juin 2019 et tardive de septembre 2020). S'ils sont adaptés, en revanche, certains peuvent servir d'espace de refuge – îlot de fraîcheur – pour des stratégies d'adaptation aux chaleurs urbaines. C'est le cas, par exemple, des établissements pour personnes âgées dépendantes (Ephad) qui ont l'obligation de comprendre une pièce rafraîchie depuis le plan canicule 2004, ou des initiatives de certaines communes franciliennes, comme Paris, d'expérimenter la transformation des cours d'écoles en oasis et d'envisager les conditions de leur ouverture au public pour le bénéfice fraîcheur.

Les enjeux de confort thermique dans l'**espace public** sont liés aux effets d'ICU et concernent l'ensemble de l'agglomération parisienne. Sa forte minéralité et les perturbations associées (radiatives, thermiques, hydrologiques, anthropiques, aérodynamiques...) interviennent dans ce phénomène. La désimperméabilisation des sols, la végétalisation, la présence d'eau et son usage rationnel, le choix des matériaux (réfléchissement du rayonnement incident, notamment) ou encore les ombrages sont autant de pistes pour atténuer les excès de chaleur et offrir du rafraîchissement (îlot de fraîcheur) durant l'été dans l'espace public (cheminements, parvis et places, espaces de ressourcement...).

Parmi les stratégies de rafraîchissement naturel du microclimat extérieur au sein de la ville, l'évaporation de l'eau (réouverture de rivières, bassins, fontaines...) et la végétalisation sont particulièrement plébiscitées. La végétation agit sur le milieu urbain par évapotranspiration (transpiration des plantes en journée au cours de la photosynthèse) et évaporation de l'eau interceptée par le sol et le feuillage. Plus la végétation est arborée et en pleine terre, plus ce rafraîchissement est efficace (les arbres ont une gestion plus efficace de l'eau du sol que la végétation herbacée). De plus, une partie du rayonnement solaire incident est réfléchi ou intercepté par les houppiers, créant des effets d'ombrage au sol et sur les bâtiments. Une diminution de la demande en climatisation, et de la consommation d'énergie associée, pourrait s'observer, variant avec le type de dispositif végétal, le taux de couverture associée et la disponibilité de la ressource eau (Cécile De Munck & Aude Lemonsu, projet MUSCADE). La désimperméabilisation de l'espace public semble incontournable pour améliorer l'accès à la ressource en eau pour les arbres urbains et notamment d'alignement dont l'espérance de vie reste très en-deçà de celle de leurs homologues forestiers.

**Un premier enjeu est d'améliorer les services climatiques urbains pour soutenir l'action publique en matière de prévention de la chaleur dans la ville. C'est l'un des objectifs du projet de recherche Heat and Health in Cities (H2C, 2021 - 2025) qui vise à mieux comprendre en Île-de-France l'impact des zones urbaines (ICU, qualité de l'air, atmosphère et météo locale), à renforcer la synergie entre modélisation et observations multi-sources et à produire des informations d'exposition et de risque utiles aux décideurs pour l'aide à l'action.**

**Un second enjeu est d'engager l'adaptation des secteurs les plus vulnérables. Un intérêt particulier est porté, en zone urbaine, sur les actions de réductions de l'ICU qui semblent prometteuses pour réduire le risque en complément des interventions ciblées sur les comportements et les populations les plus vulnérables (Benmarhnia, 2018). Les registres d'adaptation pour diminuer les effets d'ICU sont bien connus, les solutions d'adaptation fondées sur la nature y prennent une place importante, aux côtés des matériaux et des modes constructifs (bâtiments et espaces publics), des travaux de rénovation des passoires thermiques et des systèmes de rafraîchissement.**

## **1.3 - Les maladies infectieuses et les allergies respiratoires**

### **1.3.1 - Enjeux liés aux maladies infectieuses à transmission vectorielle**

Dengue, paludisme, chikungunya, Zika, borréliose de Lyme, leishmaniose sont des maladies infectieuses transmises par des vecteurs et dont les impacts sanitaires et économiques peuvent être importants. L'épidémiologie de ces maladies est fortement impactée par les modifications climatiques, notamment par le biais de la modification de l'aire de répartition des vecteurs mais d'autres facteurs anthropiques, en sus du réchauffement climatique, permettent d'expliquer l'émergence ou la réémergence de certaines de ces maladies. Il s'agit notamment de facteurs liés au développement socio-économique, à l'urbanisation, aux modifications paysagères et d'utilisation des sols, à la globalisation des voyages et du transport de marchandises... Pour toutes ces raisons, les maladies à transmission vectorielle connaissent actuellement une nette progression. Cette dynamique constitue aujourd'hui un enjeu global de santé publique. Certaines affections, qui étaient auparavant considérées comme strictement tropicales émergent en zone tempérée.

La multiplication de périodes de sécheresses pourrait favoriser l'apparition de cyanobactéries dans les points d'eau, en particulier lorsque l'oxygénation de l'eau faiblit. En libérant des cyanotoxines, elles peuvent devenir dangereuses pour la faune et la flore, ainsi que pour l'être humain. Ce risque est notamment à prendre en compte dans les îles de loisirs.

Face à ces modifications, il est nécessaire de promouvoir des mesures d'adaptation, en particulier la mise en œuvre de systèmes de surveillance adaptés au cycle de transmission des agents pathogènes

considérés, afin d'engager de manière réactive une réponse de santé publique adaptée et proportionnée aux risques. C'est ainsi qu'une surveillance intégrée a été mise en place à partir de 2006 sur le territoire métropolitain.

Identifié pour la première fois en 2004 dans les Alpes-Maritimes, le moustique-tigre (*Aedes albopictus*), capable de transmettre les virus de la dengue, du chikungunya et du Zika, a progressivement étendu son aire géographique d'implantation en France métropolitaine et est présent en Île-de-France depuis 2015. Son implantation a initialement été objectivée dans le Val-de-Marne et il est aujourd'hui considéré comme implanté et actif dans des communes de tous les départements de la région à l'exception du Val-d'Oise. Ainsi, le risque d'une émergence de transmission autochtone de chikungunya, de la dengue et du Zika augmente chaque année (Santé publique France. Bulletin de santé publique arboviroses en Île-de-France. Aout 2021).

En 2020, l'Île-de-France représentait la première région d'importation de cas d'arboviroses en France métropolitaine, ces maladies dont l'agent causal est un virus transmis par un arthropode (insectes et acariens notamment). L'absence d'immunité collective vis-à-vis des arboviroses sur ce territoire représente également un facteur de risque non négligeable.

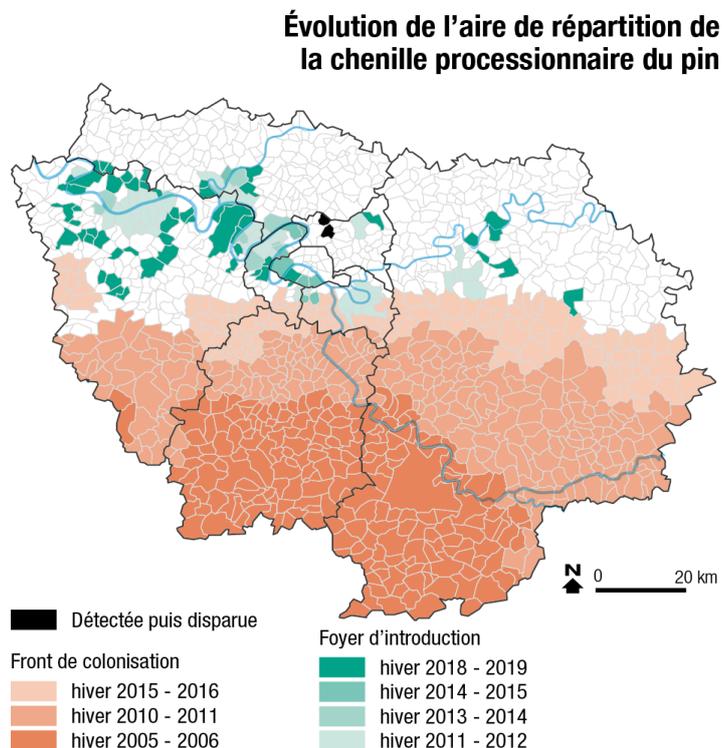
### 1.3.2 - Enjeux liés aux allergies et aux pollens

Le changement climatique et la hausse des températures conduit à une modification des dates de floraisons et de pollinisations surtout pour les espèces anémophiles (pollinisation par le vent) qui pollinisent à la fin de l'hiver et au début du printemps comme le cyprès, le frêne, le bouleau... Le changement climatique a aussi une influence sur la durée de la saison pollinique en l'augmentant (même si ce dernier paramètre est moins visible que le précédent). De plus, un déplacement vers le Nord ou en altitude de l'aire d'extension de certaines espèces est observable, dû au changement climatique. D'après les simulations, les effets du changement climatique sur les pollens vont se poursuivre et même s'amplifier dans le futur (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique). Enfin, les teneurs atmosphériques en CO2 sont susceptibles d'augmenter de 50 à plus de 200% la production de pollen de chaque fleur de certaines graminées, comme la fléole des prés ou l'ambrosie. Parallèlement, est majorée la quantité de particules allergènes à l'intérieur de chaque grain, ce qui rend le pollen plus allergisant (RNSA. Surveillance des pollens et moisissures dans l'air ambiant 2019. 2020).

Dans ce contexte, étant donné son fort potentiel allergisant et son statut d'espèce invasive, l'**ambrosie** fait l'objet de préoccupations importantes. Son pollen a un très fort pouvoir allergisant : il suffit de quelques grains de pollen par mètre cube d'air pour que les symptômes apparaissent. Ainsi, 6 à 12% de la population exposée est allergique à l'ambrosie. Depuis 2017, cette plante est réglementée par le code de la santé publique et est qualifiée d'espèce nuisible. Sa répartition en France est très inégale. L'ambrosie, très présente dans certaines régions comme en Auvergne-Rhône-Alpes, est en pleine expansion depuis environ 20 ans et s'étend progressivement à l'ensemble du territoire national.

Il a été estimé que les allergies à l'ambrosie ont concerné, en Auvergne-Rhône-Alpes en 2017, plus de 660 000 personnes (soit environ 10% de la population régionale) et entraîné des coûts de santé (consultations, traitements, arrêt maladie, etc.) de l'ordre de 40,6 millions d'euros (ORS Auvergne-Rhône-Alpes. Analyse des données médico-économiques. 2017). En se basant sur cette étude, l'Observatoire des ambrosies a extrapolé par un scénario fictif, basé sur la population des régions, les impacts sanitaires dans l'hypothèse d'une infestation à l'identique sur tout le territoire métropolitain. Dans un tel scénario, ce serait près de 5,3 millions de personnes qui consommeraient des soins en rapport avec l'allergie à l'ambrosie (personnes potentiellement allergiques), pour un coût total des soins proche de 329 millions d'euros.

**Illustration 5 : La chenille processionnaire du pin en Île-de-France, urticaire de contact**



© L'INSTITUT PARIS REGION, 2021 / Sources : INRA-URZF/DSF-DGAL/ARS IdF

## 1.4 - Les risques naturels en lien avec le changement climatique

### 1.4.1 - Le risque RGA, pour les Franciliens et leurs biens

L'impact RGA est particulièrement important à l'échelle de l'Île-de-France et de tous les départements franciliens (petite et grande couronne). Les risques de trauma associés aux dommages voire à la perte des biens sont à considérer, plus que les risques d'accidents directs mettant en jeu l'intégrité physique. L'évolution du diagnostic des surfaces exposées aux zones de sensibilité relative à l'aléa RGA, notamment les plus élevés, en Île-de-France (hors Paris) est significative avec la nouvelle cartographie d'exposition produite par Mission Risques Naturels : près d'un million d'hectares (83,4 % du territoire) est désormais concerné par des zonages d'exposition dont 91,8% de niveau moyen à fort. Ces derniers concernent même en totalité les départements des Hauts-de-Seine, du Val-de-Marne et la Seine-et-Marne.

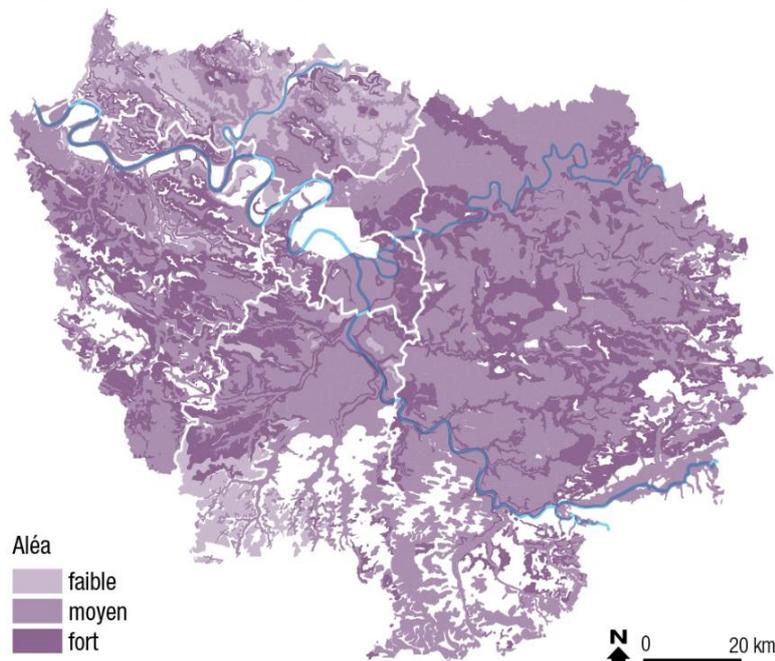
Avec l'évolution des approches de diagnostic, nous constatons une évolution très importante des enjeux (par un facteur 2,45) relatifs aux maisons individuelles de plain-pied potentiellement exposées aux phénomènes de RGA : près de 350 000 maisons en zones aléas moyen à fort (d'après la carte d'exposition du MRN) (auparavant, 142 500 maisons en zones aléas moyen à fort d'après la première carte de susceptibilité du BRGM).

Autre enseignement tiré d'une analyse typologique des 18 325 sinistres enregistrés sur la période 2003-2007 en Île-de-France (DRIEE/DDT) : 56 % des sinistres RGA concerneraient des maisons construites dans les décennies 1960 - 1980. Ces maisons individuelles (inférieures à 2 étages) construites sur la période 1960 - 1989 représentent 547 000 logements (soit 39,6 % du parc francilien de maisons individuelles), dont 466 000 logements en zones d'exposition moyen à fort et près de 115 000 maisons de plain-pied (46% du parc de maisons de plain-pied construit sur la période 1960 - 1989).

Sur la période 1995 - 2016, 60% des dommages traités pour la couverture de risques exceptionnels par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR), concernaient le risque RGA. Les dommages RGA devraient doubler à l'horizon 2050. Les dommages assurés moyens annuels sur la période 1995 - 2016 ont été de 62 M€ pour une perte moyenne annuelle modélisée de 77 M€. L'effet du changement climatique va renforcer l'exposition du territoire à ce risque avec une perte moyenne annuelle modélisée estimée à 138 M€ à l'horizon 2050. Le département de l'Essonne serait le plus touché par cette évolution avec une perte moyenne annuelle modélisée supérieure à 45 M€ (Rapport du CCR<sup>4</sup>).

Illustration 6 : Exposition de la région Île-de-France au RGA

### Exposition au retrait-gonflement des argiles (RGA)



© L'INSTITUT PARIS REGION, 2021 / Sources : BRGM 2019, L'Institut Paris Region

Pour parer à ce risque diffus, la législation impose depuis peu la réalisation d'études de sol préalablement à la construction dans les zones exposées au retrait-gonflement d'argiles (zones d'exposition moyenne et forte).

#### 1.4.2 - Les risques d'inondation : focus sur les crues exceptionnelles

En raison de l'importance et de la concentration des enjeux (humains, économiques, environnementaux...) potentiellement exposés à une crue majeure en Île-de-France, les risques d'inondation par débordement de la Seine et de ses principaux affluents (Marne, Oise, Loing) constituent le principal risque naturel auquel est exposé le territoire francilien. Le coût des dommages directs pourrait atteindre plusieurs dizaines de milliards d'euros. En revanche, l'occurrence de survenue d'une inondation majeure par débordement, et sa hauteur, est encore difficile à projeter en lien avec les évolutions du climat.

Phénomènes plus fréquents, les inondations par ruissellement résultent de crues rapides et très localisées, provoquant coulées de boues ou débordements de rus. Elles se manifestent principalement lors d'orages estivaux ou en cas de saturation des sols en eau. Tous les bassins versants, même de faible superficie, sont concernés, rendant ainsi tous les territoires franciliens, urbains et ruraux, potentiellement exposés à des risques plus localisés d'inondations par ruissellement en cas d'épisodes pluvieux exceptionnels. Ces inondations liées au ruissellement n'impactent généralement qu'un nombre plus limité de biens, sans affecter durablement le fonctionnement du territoire.

Les modes d'occupation des sols (urbanisation, espaces ouverts de grandes cultures...) du bassin versant sont souvent déterminants dans la gravité du phénomène. Sur des territoires très imperméabilisés, en secteurs urbains ou périurbains, ces inondations peuvent se produire par écoulements d'eaux ruisselées, qui n'ont pas été absorbés par les réseaux d'assainissement superficiels ou souterrains et qui se concentrent aux points bas.

<sup>4</sup> CCR – La prévention des catastrophes naturelles par le fonds de prévention des risques naturels majeurs – Bilan 1995-2019

Le caractère subit de ces événements et leur multiplication ces dernières années marquent cependant fortement les esprits. Entre 2013 et 2020, 65 % du nombre d'arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle (CATNAT) communaux relatifs aux inondations concernaient les inondations par ruissellement, devant les inondations par débordement (35 %).

*« Les risques d'accidents mettant en jeu directement l'intégrité physique (risque d'être emporté par les eaux de ruissellement, les coulées de boues et les effondrements potentiels associées, à l'image des crues Cévenoles qui ont pu se produire dans le sud de la France) ont jusqu'à présent été très rares en Île-de-France. Des crues éclair et inondations pluviales associées aux précipitations extrêmes ne seraient pas à exclure selon les projections. » - GREC IDF*

Par ailleurs, les précipitations extrêmes peuvent aussi engendrer des crues d'origines combinées, de ruissellement, de débordement et de remontée de nappes. Les inondations exceptionnelles de 2016, atypiques car survenues au début de l'été (fin mai, début juin), pour partie de ruissellement et de débordement, ont impacté 465 communes, dont Paris. Parmi les risques naturels impactant l'Île-de-France sur la période 1995 - 2016, c'est l'événement le plus coûteux pour la région avec près de 500 M€ de dommages assurés.

Sur la période 1995 – 2016, 39% des dommages traités pour la couverture de risques exceptionnels par la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) concernaient en Île-de-France le risque inondation (par ruissellement, par débordement voire par remontée de nappe). Les dommages assurés moyens annuels sur cette période ont été de 40 M€ pour les inondations, pour une perte moyenne annuelle modélisée de 51 M€. L'effet du changement climatique pourrait renforcer l'exposition du territoire à ce risque avec une perte moyenne annuelle modélisée estimée à 89 M€ à l'horizon 2050. L'impact systémique de tels événements est donc à considérer, entre les risques potentiels pour l'homme et les dégâts sur les biens (habitations et entreprises), les infrastructures de transport (ramassage scolaire...), les services urbains (collecte des déchets...) et les équipements recevant du public.

Les risques de trauma associé aux dommages, à la perte des biens et à l'arrêt des activités économiques, sont à renseigner. Des études sont en cours (EPT du Val-de-Marne) pour analyser l'intensité de ces traumas, notamment sur les dégâts psychologiques qui pourraient survenir chez les personnes ayant subi une inondation selon la durée de fréquence des événements.

Si l'Île-de-France est relativement bien couverte par des Plans de préventions des risques d'Inondation (PPRI) - près d'une trentaine -, il n'existe que très peu de PPR ruissellement, notamment dans le Val d'Oise, territoire très sujet à ce phénomène. L'inondation par ruissellement reste encore très peu cartographiée, notamment dans les zones urbaines ou la présence des réseaux d'assainissement mal connus aux échelles supra-locales rend compliquée toute modélisation.

### **1.4.3 - Les risques d'incendie et de tempête associés à la forêt**

Si aujourd'hui, le risque de feu de forêt n'est pas prégnant en Île-de-France, il pourrait le devenir dans les prochaines décennies. Ce risque prend une certaine dimension lorsque les espaces urbanisés (habitat, activité économique) sont en lisière de forêt. La question de l'urbanisation en lisière et du mitage forestier est posée. Le rapport du Commissariat Général au Développement Durable (CGDD) sur le changement climatique et le risque feux de forêt soulignait que l'habitat diffus en zone forestière constituait un facteur de vulnérabilité prépondérant. L'aménagement du territoire et les politiques d'urbanisme associées auraient vocation à dialoguer encore plus explicitement avec les politiques et dispositifs associés à la gestion des espaces forestiers pour modérer le risque de feu de forêt à l'avenir. Si 33% des forêts franciliennes relèvent du domaine public et donc bénéficient à ce titre d'une relative protection contre la périurbanisation (à l'exemple de la forêt de Fontainebleau) ; 67% de ces espaces relèvent du domaine privé, pouvant être une difficulté supplémentaire dans cette recherche d'articulation. Cependant, certaines forêts périurbaines publiques sont en voie d'encerclement par l'urbanisation (Saint-Germain, Sénart, lisières nord et ouest de la forêt de Ferrières...).

Que la forêt soit du domaine public ou privé, le risque de feu de forêt peut être particulièrement élevé, non seulement par la proximité entre espaces urbanisés et forestiers, mais également par des dispositions locales particulières pouvant entraver le bon fonctionnement des services de secours (la ville de Fontainebleau est entourée de forêt, avec comme recours principal, en cas de survenance d'incendies, une évacuation par le pont de Valvins).

En termes sanitaires, si les brûlures, la chaleur et l'inhalation directe de la fumée sont des effets directs liés aux feux de forêt, il peut être nécessaire de considérer d'autres effets nuisant à la santé respiratoire (émanation de particules fines et ultrafines pénétrant dans les voies respiratoires et causant de l'inflammation jusqu'aux poumons, pour les populations à proximité immédiate ou à distance).

D'autres événements climatiques peuvent impacter les forêts et par conséquent représenter un risque pour l'être humain et générer des dégâts matériels, à l'instar des tempêtes. Bien que les projections semblent mentionner une certaine stabilité des vents violents, nous pouvons garder en mémoire la tempête du 26 décembre 1999. En une nuit, les arbres abattus en Île-de-France par cet événement exceptionnel ont représenté l'équivalent d'une forêt de 24 000 hectares (soit deux fois et demie la superficie de Paris). La Seine-et-Marne et les Yvelines arrivent en tête en termes de superficies sinistrées, mais ce sont Paris et les Hauts-de-Seine qui ont enregistré proportionnellement les plus lourdes pertes dans leur patrimoine forestier, le Val-de-Marne se trouvant dans une situation intermédiaire. Aux impacts sur le patrimoine forestier s'ajoutent aussi des dégradations sur les réseaux d'énergie (coupures sur les lignes de distribution aériennes) et de télécommunications et sur les infrastructures routières et ferroviaires par le fait des chutes d'arbres. A l'échelle nationale, les tempêtes de la fin d'année 1999 ont provoqué 88 morts et 140 millions de m<sup>3</sup> de chablis<sup>5</sup>. A titre de comparaison, la France a commercialisé en 2018 38,9 millions de m<sup>2</sup> de bois. À la suite de ces événements, certains opérateurs de réseaux ont travaillé à la robustesse de leurs réseaux de distribution (ERDF à l'époque). Les tempêtes de 1999 avaient entraîné la coupure de 4 millions de clients, pour une électricité non distribuée de 415 GWh.

**Cette revue des impacts affectant le Francilien et son cadre de vie permet d'appréhender de multiples enjeux liés aux politiques d'aménagement et d'urbanisme (lutter contre les ICU, développer et consolider les espaces de fraîcheur notamment). Elle ouvre également une réflexion sur l'organisation et la robustesse des systèmes de santé et de secours pour faire face à ces différents événements, en particulier quand ces systèmes sont eux-mêmes soumis à d'autres pressions entravant leur bon fonctionnement.**

## 2 - Les impacts sur la biodiversité et sur les ressources naturelles

Les interactions entre climat et biodiversité sont de deux natures. D'une part le régime climatique, tempéré dégradé sous influence océanique dans le cas de l'Île-de-France, détermine en grande partie les constituants et la phénologie de la biodiversité. D'autre part, la biodiversité peut contribuer à l'atténuation des effets du changement climatique. En effet, la biodiversité rend des services écosystémiques qui, lorsqu'elle est en bonne santé, créent un équilibre au sein des écosystèmes et donc une certaine résilience. Elle produit également des ressources vitales et/ou bénéfiques à l'être humain.

### 2.1 - Une érosion de la biodiversité déjà engagée

S'il est difficile d'évaluer la vulnérabilité de ces milieux aux impacts du changement climatique, il est certain que ce ne sera qu'un facteur aggravant de pression anthropique déjà très importante dans cette région. En effet, les milieux sensibles et souvent d'intérêt (comme les tourbières, les landes, les prairies, etc.) ont presque disparu avec la simplification et l'uniformisation des paysages liées à l'urbanisation et à l'intensification agricole. Pour l'agriculture, la disparition des haies, des arbres, des mares ou fossés, l'homogénéisation et la spécialisation des cultures, la mécanisation et l'intensification des pratiques conventionnelles, la simplification des rotations des cultures, la quasi-disparition de l'élevage ont contribué au déclin de la biodiversité dans ces milieux. Cette dégradation des habitats menace près d'un tiers de la flore d'Île-de-France. Associée au réchauffement climatique, ces pressions induisent un déclin global des populations de plantes et un changement de composition des communautés. De plus, l'urbanisation touche particulièrement les lisières forestières avec 22 250 km de lisières urbanisées autour des massifs forestiers de plus de 100 ha soit un taux moyen de 21%, atteignant les 60 à 80% sur de nombreux massifs du pourtour parisien comme les forêts de Fausses-Repose, de Meudon ou encore de Sénart (Programme Régional de la Forêt et du Bois, PRFB). Il en résulte un fractionnement important de ces réservoirs de biodiversité notamment par les infrastructures de transports (autoroutes, lignes TGV...). Par ailleurs, les réserves biologiques dirigées

---

<sup>5</sup> Arbre déraciné

et intégrales, qui protègent les milieux intraforestiers remarquables comme les landes et tourbières qui ont quasiment disparu, représentent seulement 2,7% de la superficie des forêts domaniales (ARB IDF, 2019).

Les activités humaines, par la fragmentation et le mitage des espaces, la destruction des milieux, la pollution de l'eau, de l'air, du sol et l'urbanisation, ont également un impact négatif sur les pollinisateurs, les espèces associées aux rivières, les prédateurs des ravageurs, ainsi que sur les vertébrés. A titre d'exemple, un quart des oiseaux ont disparu de la région au cours des quinze dernières années. Entre 2004 et 2017, cette disparition concerne 41% des oiseaux communs spécialistes des milieux bâtis et 45% des oiseaux spécialistes des milieux agricoles. Par ailleurs, les populations de certaines chauves-souris comme le Petit Rhinolophe, le Grand Rhinolophe, le Murin à oreilles échancrées, ont diminué de 90% pour ces mêmes raisons (ARB IDF, 2019).

Concernant les espèces, le changement climatique pourrait influencer le déplacement vers le nord de leurs aires de répartition ou réduire leur espace disponible mais aussi agir directement sur l'évolution physiologique et phénologique de certaines espèces, pouvant bouleverser les chaînes alimentaires. Il a déjà été observé, par exemple, que les plantes tolérant des températures élevées se maintiennent mieux que les plantes adaptées à des conditions plus fraîches (ARB IDF, 2019). Les espèces de vertébrés d'affinité boréo-alpine, climat que l'on retrouve en Île-de-France seulement dans quelques vallées et grands massifs forestiers, sont particulièrement menacées par le changement climatique comme l'Hermine, la Mésange boréale ou encore la Vipère péliade qui disparaissent progressivement de la région. A l'inverse, des espèces plus méridionales apparaissent, comme la Couleuvre verte et jaune ou deviennent plus fréquentes comme la Pipistrelle de Kuhl.

La vulnérabilité de ces différentes espèces au changement climatique dépendra en partie de leur capacité à se déplacer au sein d'un territoire très fragmenté par l'urbanisation et les réseaux de transport mais également des politiques et mesures réglementaires qui seront adoptées dans les prochaines années. Il s'agit de développer les continuités écologiques par les trames vertes, bleues, brunes et noires dans la planification et de mieux intégrer la prise en compte de la biodiversité comme levier essentiel face au changement climatique.

## **2.2 - Les impacts du changement climatique sur les milieux naturels et la biodiversité urbaine**

Les milieux boisés et les zones humides constituent l'essentiel des sites hébergeant des éléments de biodiversité patrimoniale dans notre région. Il s'agit souvent de zones accueillant des espèces en limite d'aire de répartition à la faveur de conditions locales spécifiques telles que celles trouvées dans les ravins frais ou dans les tourbières actives en forêt. Ces milieux étant eux-mêmes en conditions limites, le réchauffement climatique pourrait avoir une influence conduisant à l'extinction locale des espèces ou habitats pour lesquels des sites ont été mis en protection forte.

### **2.2.1 - La vulnérabilité des écosystèmes forestiers**

Trois enjeux sont identifiés dans le programme régional de la forêt et du bois 2019-2029 (Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt, DRIAFA) concernant le milieu forestier face aux effets du changement climatique. D'une part, les forêts jouent un rôle essentiel pour l'atténuation de ces effets. Elles permettent notamment la séquestration du carbone dans la biomasse du bois et dans les sols forestiers. D'autre part, les arbres, en forêt ou en milieu urbain, sont des climatiseurs naturels en période de fortes chaleurs grâce au rafraichissement offert par le phénomène d'évapotranspiration et grâce à leur ombrage (atténuation des rayonnements solaires reçus). Les couverts forestiers feuillus, qui représentent 94% des forêts franciliennes, restituent davantage d'eau au milieu que les forêts de conifères et sont donc d'autant plus rafraichissants. Enfin, les écosystèmes forestiers étant particulièrement vulnérables aux effets du changement climatique, par exemple aux incendies causés par des épisodes de canicules, des périodes de stress hydrique et l'augmentation des températures, leur résilience est à renforcer. Ces mêmes phénomènes peuvent causer un dépérissement de certains peuplements en particulier des peuplements monospécifiques non adaptés à la sécheresse et la chaleur.

Selon le Centre Régional de la Propriété Forestière (CRPF), le principal risque climatique dans la région concerne les gelées tardives. Elles peuvent en effet causer des défauts de forme nommés « fourchaison »<sup>6</sup> sur des jeunes pousses au moment de la floraison des arbres et donc avoir des conséquences directes sur la fructification et la forme des arbres. Ces phénomènes se rencontrent plus généralement dans les fonds de vallées ou les dépressions de plateaux.

Ensuite, l'élévation des températures entraîne une évapotranspiration plus importante en augmentant la sécheresse atmosphérique, phénomène en partie compensé par une meilleure fixation du CO<sub>2</sub> atmosphérique par photosynthèse. Or, les essences à fort rendement ont un indice foliaire<sup>7</sup> élevé, engendrant de fortes consommations en eau et, en interceptant l'eau de pluie, réduisent le rechargement en eau du sol. Le hêtre et le douglas, par exemple, demandent plus de 750 mm/an pour leur production, et le châtaignier sur sol filtrant ne supporte pas les sécheresses estivales prolongées. De plus, près de 60% des sols forestiers d'Île-de-France ont une faible réserve utile en eau. Les essences franciliennes sont peu adaptées au manque d'eau à venir (chênes sessile et pédonculé, ou le hêtre notamment en forêt de Fontainebleau). Les sécheresses pourront également aggraver les dépérissements de ces arbres causés par des maladies, par exemple la maladie de l'encre qui touche 34% des peuplements de châtaigniers d'Île-de-France aujourd'hui, deuxième essence la plus représentée de la région.

Cela pourrait entraîner une forte redistribution des aires de répartition des essences forestières dans le futur, les conditions devenant par exemple pour Versailles défavorables au hêtre et favorables au chêne vert. Ainsi, les essences de préférendums nordiques (comme le hêtre) devraient aussi être appelées à diminuer, comme cela a pu être constaté dans les analyses des suivis floristiques. Les changements étant rapides, le PRFB préconise une gestion dynamique des peuplements par l'accompagnement actif des essences pour éviter des dépérissements massifs. Enfin, certains insectes ravageurs, qui touchent actuellement la Seine-et-Marne et l'Essonne, et autres pathogènes pourraient aussi voir leurs aires de répartition s'étendre à toute l'Île-de-France et profiter de l'affaiblissement des écosystèmes forestiers. En effet, les sécheresses répétées associées aux canicules estivales affaiblissent les arbres engendrant de plus en plus souvent des réactions de protection par défoliation. Des dépérissements de massifs "jamais vu de mémoire de forestiers" ont déjà été constatés, selon les dires d'experts. Ces derniers estiment qu'une « tempête silencieuse » ravage les forêts franciliennes. Des pans entiers de forêts de dizaines voire centaines d'hectares meurent sur pieds. Le dépérissement peut intervenir plusieurs années après la survenue des sécheresses et se prolonger sur de nombreuses années (exemple du chêne pédonculé en forêt de Rambouillet suite à la sécheresse de 1976, source ONF).

Par ailleurs, alors que l'exposition au risque de feux de forêt est aujourd'hui relativement faible en Île-de-France, ils touchent déjà régulièrement certaines forêts domaniales comme les forêts des Trois-Pignons et de Sénart et devraient s'accroître dès l'horizon 2050. Plusieurs facteurs déterminent cette vulnérabilité : la sécheresse, les températures, le vent mais aussi l'âge des forêts, les essences, la combustibilité ou l'inflammabilité et l'hétérogénéité du milieu. En effet, une forêt ancienne et résineuse sera particulièrement vulnérable contrairement à une forêt jeune et feuillue.

Pour faire face à ces effets du changement climatique, le CRPF préconise l'adaptation, le mélange d'essences et la diversification du mode de traitement pour limiter les risques sanitaires liés au changement climatique ou à des attaques parasitaires (graphiose de l'orme ou chalarose du frêne). En effet, 76% des forêts franciliennes ont des peuplements composés de deux essences maximum, ce qui les rend peu résilientes à ces menaces. Les migrations assistées avec des essences mieux adaptées au climat futur, la libre-évolution, les îlots de sénescence ou encore la régénération naturelle sont également des solutions ponctuelles à étudier. Enfin, le CRPF conseille également le maintien de la qualité des sols et de la diversité biologique par une gestion plus durable des écosystèmes forestiers, notamment en laissant du bois mort au sol et un certain couvert végétal, qui permettront une résilience plus forte aux effets du changement climatique. Il s'agit donc d'effectuer un diagnostic précis des stations en développant des outils de connaissances de l'écologie des espèces et des sols pour effectuer un renouvellement des peuplements le plus adapté possible.

---

<sup>6</sup> " Une fourche se caractérise par un développement réduit du bourgeon terminal relativement à celui des bourgeons latéraux inférieurs ou par l'absence de pousse terminale ; la prise de « relais » est dès lors assurée par un ou plusieurs bourgeons latéraux inférieurs de croissance initiale voisine mais à potentiel de développement variable." (Ningre, Cluzeau, Le Goff, 1992)

<sup>7</sup> Calcul de l'intégralité des surfaces des feuilles d'une plante ou d'un arbre sur la surface de sol qu'il ou elle couvre.

De plus, le risque incendie doit être mieux pris en compte dans les documents de planification. Par exemple, la préservation des milieux humides, barrières naturelles à la propagation des incendies, est un levier pour réduire la vulnérabilité des forêts (PRFB). De nombreux dispositifs protègent déjà les milieux forestiers. Ainsi, 42% des bois et forêts franciliennes sont en protection forte dont 5 massifs forestiers classés en forêt de protection (5% du territoire). D'autres dispositifs ont vocation à protéger la biodiversité, comme les arrêtés de protection de biotope et les réserves biologiques intégrales (PRFB). Il a été constaté que le fait d'avoir des zones excluant toute activité humaine se révèle bénéfique y compris pour les espèces moins patrimoniales, comme cela a été montré chez les chauves-souris et les oiseaux dans les réserves naturelles. Le développement de ces protections est donc une mesure complémentaire essentielle pour rendre les écosystèmes forestiers plus résilients au changement climatique.

## 2.2.2 - La vulnérabilité des milieux aquatiques et humides

Les zones humides et aquatiques recouvrent environ 4% du territoire dont 1,3% de zones en eau et 2-3% de zones humides (forêts alluviales, marais, prairies humides...) (ARB IDF, 2019). Les milieux humides n'ont jamais été très étendus en Île-de-France, région de plateaux relativement secs. Cependant, ces milieux humides ont été considérablement réduits pour l'agriculture, et surtout pour l'urbanisation (cœur d'agglomération, fonds de vallées). C'est pourquoi aujourd'hui 845 ha de zones humides sont protégés dans une réserve naturelle régionale ou nationale. En effet, ces milieux présentent un grand intérêt en abritant une biodiversité riche et rare. Ils permettent également de stocker l'eau en hiver et de la restituer en été notamment en période de sécheresses durant lesquelles le stress hydrique est important. En plus de réguler l'eau, ces zones humides agissent sur la qualité de l'eau en les épurant, notamment les pollutions diffuses d'origine agricole, et limitent ainsi les pollutions des nappes et cours d'eau.

De manière générale, le cycle de l'eau sera perturbé par le changement climatique (perturbations des régimes pluviométriques, ruissellement etc.) et ne sera pas sans conséquence pour les milieux aquatiques et les espèces inféodées. La modification des températures de l'eau, l'intensification des événements extrêmes et des sécheresses (faisant varier brutalement les débits des cours d'eau et les niveaux des mares et étangs) ou encore le phénomène de moindre dilution des polluants modifient l'équilibre chimique de l'eau et donc biologique. Cela pourra entraîner des modifications physiologiques (croissance, reproduction) comme le décalage de la ponte et de la naissance des alevins avec la disponibilité en nourriture, ainsi que des mortalités importantes des populations de poissons, d'invertébrés, mais aussi de la végétation aquatique. A l'inverse, lors des événements pluvieux extrêmes, l'augmentation brutale des débits pourront empêcher la remontée des cours d'eau des poissons lors de la migration nécessaire à leur cycle de vie et les inondations augmenteront le risque d'érosion des berges portant atteinte aux ripisylves et aux espèces inféodées aux milieux aquatiques dulcicoles (Eaufrance). Tout comme les essences forestières, les espèces aquatiques pourraient voir leurs aires de répartition modifiées ou, pour certaines espèces sténoèces<sup>8</sup>, disparaître.

L'augmentation des sécheresses hydrologiques et hydrogéologiques à venir fait peser une pression supplémentaire sur ces milieux pourtant essentiels pour faire face aux effets du changement climatique. En effet, une zone humide ou une zone d'expansion des crues jouent un rôle d'éponge face aux phénomènes de crues et inondations qui seront de plus en plus importants, permettant ainsi la régulation du débit des rivières et limitant les impacts sur les milieux et les infrastructures humaines. Elles permettent également la régulation thermique des villes et la modération de l'effet d'îlot de chaleur urbain (DRIEAT). Par ailleurs, le ruissellement urbain engendre des pollutions qui doivent être maîtrisées par une réduction de l'imperméabilisation des sols. Ainsi déconnectées des eaux usées et infiltrées à la parcelle, les eaux de pluie ne satureront pas les réseaux et seront traitées localement par phytoépuration par exemple. Météo France s'interroge en effet quant à la capacité des réseaux de collecte des eaux de pluie potentiellement sous-dimensionnés au regard de phénomènes de très fortes pluies. Il s'agit donc de développer une politique de gestion intégrée des eaux pluviales avec une désimperméabilisation et la création des noues ou de jardins de pluie, et de favoriser le retour de l'eau en ville par la réouverture de cours d'eau ou la création de zones d'expansion de crue.

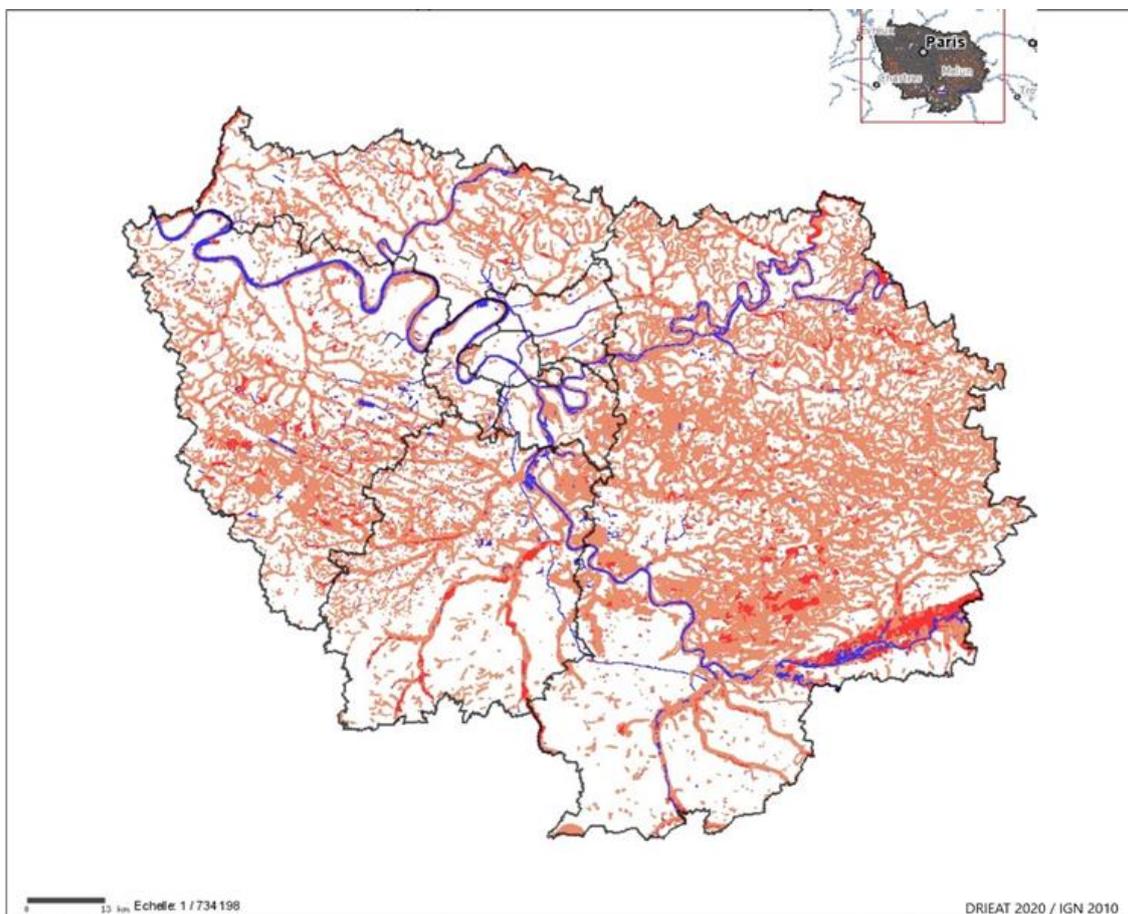
De même, les berges en particulier de la Seine et de ses principaux affluents, sont des milieux indispensables à la fonctionnalité des corridors aquatiques et tamponnent les crues. Redonner un

---

<sup>8</sup> Espèce animale ou végétale dont la capacité d'adaptation est faible et dont l'existence est liée à des conditions étroites de température, de nourriture, de milieu, etc.

fonctionnement naturel aux cours d'eau par reméandrage et renaturation permet de restaurer les fonctions multiples de ces berges en plus de rétablir la circulation des poissons et des sédiments.

Illustration 7 : Carte régionale 2021 des enveloppes d'alerte zones humides (Source DRIEAT)



Tous droits réservés.

Document imprimé le 16 Novembre 2021, serveur Géo- IDE carto V0.2, <http://carto.geo-ide.application.developpement-durable.gouv.fr>, Service: DRIEE IF.

- Classe A (rouge) = Zones humides avérées dont les limites peuvent être à préciser ;
- Classe B (orange) = Probabilité importante de zones humides mais le caractère humide et les limites restent à vérifier et préciser ;
- Classe C (blanc) = Enveloppe où manque d'information ou données indiquent une faible probabilité de présence de zones humides ;
- Classe D (bleu) = non humides : plan d'eau et réseau hydrographique

La dégradation et l'assèchement des zones humides est à surveiller et une attention toute particulière doit être portée **aux têtes de bassins versants, ainsi qu'aux secteurs présentant des enjeux de préservation de la biodiversité**. Il y a un fort potentiel de restauration de zones humides en Île-de-France dans des zones agricoles régulièrement inondées et qui pourraient jouer un rôle face aux inondations par les crues. Dans le Vexin et la vallée du Grand Morin, ce sont des milliers d'hectares d'anciens marais qui pourraient être restaurés. La DRIEAT identifie 2500km<sup>2</sup> de zones humides potentielles en Île-de-France pour 230km<sup>2</sup> de zones humides aujourd'hui délimitées et caractérisées.

### 2.2.3 - La vulnérabilité de la biodiversité urbaine

Dans une moindre mesure, la biodiversité est aussi présente en milieu urbain dans les jardins, les friches, sur les murs et toits. Les zones artificialisées ont déjà un microclimat modifié. Elles souffrent particulièrement des événements caniculaires, étant donné leur forte inertie thermique et leur albédo, et des fortes précipitations, à cause du taux d'imperméabilisation des sols quasi total. Pour y faire face, la désimperméabilisation des sols et la végétalisation des surfaces entraînent des bénéfices considérables. Les sols perméables ou désimperméabilisés sont d'autant plus stables, absorbants et résistants à l'érosion et au ruissellement qu'ils sont végétalisés. Par ailleurs, les zones arborées et les bâtiments végétalisés sont d'autant plus résistants aux événements caniculaires que la biomasse végétale est importante, celle-ci jouant de surcroît positivement sur la qualité de l'air, sans prendre en compte les émissions polliniques allergènes, à surveiller.

De nombreuses zones urbaines de la région sont considérées comme carencées en espaces de nature (Plan Vert, 2016) et la demande en espaces verts est forte, posant aussi la question du maintien de ceux-ci dans un contexte de changement climatique. Les étés plus secs et les conflits d'usage de l'eau pourraient amener à réduire les arrosages (xeroscaping) ce qui réduirait également le pouvoir rafraichissant des surfaces végétales concernées. Enfin, dans les espaces verts urbains, l'accueil d'une biodiversité spontanée augmente la résilience aux maladies des végétaux.

Il est donc essentiel dans un premier temps de préserver les espaces encore naturels en milieu urbain, de préserver les friches végétalisées d'intérêt qui comptent parmi les milieux les plus riches en biodiversité d'Île-de-France et de développer les continuités écologiques. A titre d'exemple, les pratiques d'aménagement qui consistent à urbaniser ce que l'on nomme les « dents creuses » afin de lutter contre l'étalement de la ville sont à étudier au cas par cas : une dent creuse peut avoir un intérêt crucial pour la trame verte et bleue, pour garantir des espaces de respiration aux habitants les moins bien dotés ou pour diminuer les effets d'îlots de chaleur urbains.

## 2.3 - Les impacts du changement climatique sur le sol et l'eau

### 2.3.1 - La vulnérabilité du sol

Les sols naturels rendent de nombreux services comme la séquestration du carbone, la préservation de la ressource en eau, la lutte contre l'effet d'îlot de chaleur ou la prévention des inondations. Or, depuis l'intensification et mécanisation de l'agriculture dans les années 1960 et de l'urbanisation, les surfaces des sols dégradés et imperméabilisés ont augmenté (Ademe). Les labours profonds pratiqués en agriculture, les intrants et le tassement par les engins lourds déstructurent les sols et empêchent la biodiversité nécessaire à leur bon fonctionnement de se développer. Les sols nus sont plus sensibles à l'érosion par le vent et la pluie ; le tassement des sols peut drastiquement réduire leur perméabilité. Ils infiltrent mal les eaux pluviales avec pour conséquence des ruissellements qui peuvent entraîner une érosion des sols et des inondations dans les secteurs périurbains. En stockant la chaleur et en contribuant à assécher l'air, les sols imperméabilisés participent aussi à l'effet d'îlot de chaleur en milieu urbain tandis qu'un sol perméable permet au contraire de rafraichir par évaporation. Enfin, les sols sont sensibles aux épisodes de sécheresses rendant les forêts, les cultures et la végétation de manière générale vulnérables au changement climatique.

Les sols – étant donné leur composition, leur structure, le type de couvert, leur occupation... –, **jouent un rôle central dans l'appréciation des vulnérabilités potentielles à la sécheresse**. Selon leur nature, ils vont atténuer ou accentuer le phénomène, parfois de manière contraire selon les cibles et les enjeux : un sol argileux sera plus favorable pour la végétation mais moins pour le bâti (risque RGA), un sol sableux inversement. L'Île-de-France dispose d'une majorité de sols limoneux assez profonds (plateaux de grandes cultures) en principe assez résilients, mais avec une grande diversité locale de sols. L'hétérogénéité des précipitations, la diversité des sols et l'occupation du sol – dont l'imperméabilisation – se combinent pour créer une grande diversité de situations.

**Les sols agricoles franciliens, devenus très sensibles par l'appauvrissement en matière organique (MO), peuvent accroître les impacts des précipitations extrêmes.** L'évolution des pratiques culturales (utilisation d'éléments fertilisants minéraux, absence de fertilisation organique en relation avec la disparition de l'élevage, exportations importantes des résidus de cultures, mécanisation importante) a progressivement réduit les teneurs en MO entraînant une dégradation physique des sols. En effet, sans cohésion assurée par la MO, les agrégats de sols limoneux sont peu stables vis-à-vis de l'eau, ce qui entraîne des problèmes de battance, de ruissellement, voire d'érosion, ainsi que de mauvaises levées de cultures<sup>9</sup>.

L'impact du changement climatique **sur la teneur en carbone et la vulnérabilité du sol** est un second registre d'attention en lien avec l'atténuation. Le sol est, par excellence, un domaine où les registres des mesures d'atténuation et d'adaptation se complètent et se rejoignent. Un sol végétalisé et en bonne santé permet d'atténuer le changement climatique ; les végétaux, pour leur croissance, captant le carbone atmosphérique et en stockant une partie dans le sol. Mais les facteurs et processus impliqués dans le bilan carbone du sol résultent d'un ensemble complexe d'interactions (par exemple, interaction climat/sol/plante ou interaction température/CO<sub>2</sub>). Ainsi, le changement d'un facteur climatique donné peut avoir simultanément des effets différenciés sur la teneur en carbone des sols. Par exemple, l'augmentation de la température favorise la séquestration de carbone de l'atmosphère

<sup>9</sup> Claire Chenu, in "Une métropole à ma table : l'Île-de-France face aux défis alimentaires, Les Cahiers de L'Institut n°173, 2017

via l'augmentation de la photosynthèse et conséquemment de la biomasse végétale, ainsi que la perte de carbone du sol via l'augmentation de la minéralisation.

Les systèmes de cultures favorisant les rotations, couvrantes pour le sol et restituant des résidus de culture importants, ont une capacité de stockage de carbone supérieure. A l'inverse, les systèmes de cultures qui laissent le sol en partie découvert – susceptible de se réchauffer – et irriguées favorisent l'activité microbienne, la minéralisation et donc le déstockage de carbone (selon le projet Climator<sup>10</sup>).

Tous les sols n'ont donc pas les mêmes capacités de stockage : les tourbières ou les terres de pâturage ont par exemple une grande capacité de stockage, contrairement aux sols en agriculture conventionnelle. Concernant les tourbières, le changement climatique pourrait entraîner un assèchement de celles-ci provoquant une minéralisation rapide et une libération importante du carbone stocké (AEE).

Les épisodes extrêmes de pluies, de sécheresses et de canicules vont augmenter en Île-de-France, il est donc essentiel de renaturer les sols en favorisant la matière organique et la vie du sol pour maintenir la capacité à stocker l'eau et limiter les besoins en irrigation dans un contexte où la tension sur la ressource sera forte. Des aménagements structurants du paysage, dépendant de la biodiversité pour leur persistance, telles que les haies armées, protègent des vents violents liés aux orages. De même, les talus, zones d'expansion des crues, mares et fossés apportent de la résilience face aux précipitations extrêmes. Il s'agit aussi de faire évoluer les pratiques agricoles et sylvicoles vers des modèles agroécologiques dans le but de favoriser la multifonctionnalité des sols, et ainsi de participer à l'adaptation et à l'atténuation du changement climatique (initiative « 4 pour 1000 »). Cette initiative s'inscrit dans le cadre du Plan mondial d'action pour le climat (GCAA) adopté par la UNFCCC à la COP22 qui fait suite au Plan d'action Lima-Paris de la COP21. L'agriculture de conservation des sols (maintien des sols couverts en permanence et de l'intégrité des sols) et l'agroforesterie permettent notamment de mieux stocker le carbone et de préserver les sols cultivés (érosion). De même qu'en forêt, maintenir un sous-étage feuillu dans les peuplements de résineux, favoriser le mélange d'essences et l'activité biologique par des éclaircissements diffus permet aussi de favoriser une bonne qualité des sols (CRPF).

### 2.3.2 - La vulnérabilité de la ressource en eau

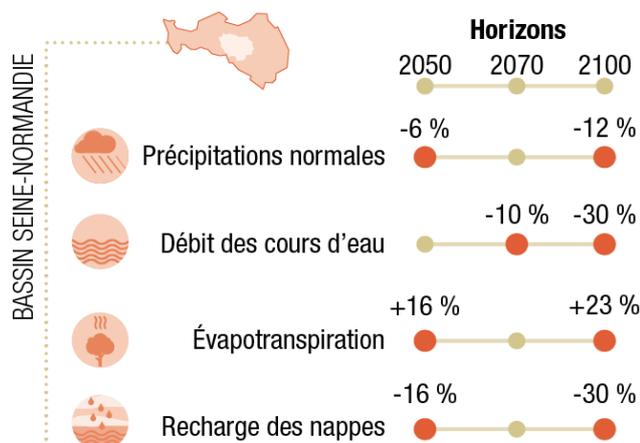
Le réseau hydrographique, très dense bien que caractérisé par de **faibles débits**, ainsi que les nappes souterraines, sont largement alimentés par les régions en amont, qui bénéficient de précipitations plus abondantes. Si les débits des cours d'eau sont faibles, **les aquifères sont puissants**. Avant l'aménagement des Grands Lacs, il était assez courant de traverser la Seine à gué en été dans Paris et en certains points. L'Île-de-France, région carrefour, ne présente **pas une pluviométrie homogène** : l'Est est nettement plus arrosé que l'Ouest. Les grands massifs forestiers (Rambouillet, Fontainebleau) augmentent localement la pluviométrie. Par ailleurs, **l'eau est rare en surface** en Beauce (pour des raisons naturelles – faibles précipitations et socle calcaire très drainant – accentuées par l'exploitation agricole) et dans l'agglomération centrale (pour des raisons artificielles – imperméabilisation et effacement du réseau hydrographique naturel). Un réseau de « **rivières sèches** » entaille le plateau de Beauce – Gâtinais. Il s'agit de rivières dont la partie amont du cours est tarie et tend à reculer au fil des années (par exemple la Juine, l'Essonne, l'Ecole et leurs affluents). Lors d'étés particulièrement humides (2000, 2016...), ces cours d'eau peuvent se rétablir temporairement.

---

<sup>10</sup> Changement climatique, agriculture et forêt en France : simulations d'impacts sur les principales espèces, INRA, projet ANR 2007-2010

Les données recensées pour le bassin Seine-Normandie par le Comité de bassin (Stratégie d'adaptation au changement climatique, 2016) et le projet de Sdage 2022-2027 font état d'une **augmentation de 3°C de la température des eaux de surface, d'une baisse des précipitations d'environ 12%, d'une baisse des débits des cours d'eau de 30%, d'une augmentation de l'évapotranspiration de 23%, et d'une baisse de recharge des nappes de 30%** d'ici 2100. L'ensemble s'accompagne d'une augmentation des **sécheresses exceptionnelles** et de **fortes pluies à certaines périodes**.

**Illustration 8 : Synthèse des éléments de projection climatique pour le bassin Seine-Normandie**



© L'INSTITUT PARIS REGION, 2021 / Sources : DRIAS, GREC ÎdF, AESN, SDAGE

Sur le bassin Seine-Normandie, 93% des nappes sont en bon état quantitatif, en légère baisse par rapport à 2013. Toutefois, des secteurs de nappes présentent des équilibres quantitatifs fragiles, notamment en Île-de-France, de même que quelques masses d'eau de surface. Les ressources en eau du bassin restent peu abondantes au regard de sa population et de ses activités. Si les prélèvements en eau sont globalement stables mais importants, le changement climatique devrait entraîner la diminution des ressources en eau d'ici 2050, avec des conséquences sur leur qualité, alors même que la demande augmentera (Projet de Sdage 2022-2027).

De fait, les différents impacts à court et moyen terme du changement climatique sur les ressources en eau de l'Île-de-France – tensions quantitative et qualitative, sécheresse des sols, ruissellement – **augmentent donc sensiblement les points de vulnérabilité actuels** et renforcent notamment les enjeux suivants :

- **L'usage rationnel de l'eau pour l'être humain et les activités économiques** (économie et gestion des conflits d'usage) ; la question des conflits d'usage nécessitera des arbitrages sur les priorités d'usages, à l'exemple d'un projet du ministère de la Transition écologique (2010-2012) qui, pour avancer sur l'évaluation des stratégies d'adaptation en France (Explore 2070), avait retenu les priorités d'usage suivantes : l'approvisionnement en eau potable en 1, le débit seuil pour l'écologie, la sécurité nucléaire, la navigation en 2, les transferts interbassins en 3, l'énergie en 4, l'industrie en 5 et l'agriculture en 6.
- La maîtrise de l'équilibre entre infiltration naturelle, recharge des nappes et stockage ainsi que réutilisation des eaux pluviales (disponibilité et maîtrise des risques) ; l'enjeu de **l'imperméabilisation des sols**, en particulier en zone dense, est au cœur du sujet.
- **Le maintien de la qualité de la ressource pour la biodiversité et pour les Franciliens** (température, effet de dilution et contaminations) ; l'adaptation notamment des systèmes d'assainissement et de production d'énergie est un enjeu associé.

**Cette partie montre que les liens entre climat et biodiversité sont étroits et que l'un influence autant l'autre. Plus les écosystèmes se portent bien, plus le territoire sera résilient. C'est pourquoi la biodiversité doit aujourd'hui être vue comme la priorité dans la lutte contre le changement climatique, que ce soit du point de vue de l'adaptation ou de l'atténuation. Les Solutions d'adaptation fondées sur la Nature (SafN), étant des solutions multifonctionnelles, sans regret et avec de nombreux co-bénéfices, doivent être généralisées dans la planification et massivement encouragées sur les territoires.**

## 3 - Les impacts sur les activités économiques et les grands services collectifs

Comme évoqué en introduction de ce chapitre, l'objectif est d'apporter un éclairage sur les perturbations générées par le changement climatique sur les activités économiques et les grands services urbains et ruraux en Île-de-France, ces derniers assurant les besoins vitaux de la région (eau, énergie, transport). Des analyses complémentaires sur l'agriculture et la sylviculture seront opérées pour compléter le volet sur l'approvisionnement alimentaire notamment.

### 3.1 - Les activités économiques

Dans le domaine économique, les impacts climatiques s'exprimeront à la fois sur la santé des travailleurs (stress thermique), sur les modes et pratiques associées aux métiers (travail de nuit pour éviter les fortes chaleurs) et sur le cadre dans lequel s'opère cette activité économique (confort thermique dans les structures touristiques, tensions sur les sites de loisirs aquatiques).

Les aléas considérés sont, ici, principalement relatifs aux vagues de chaleur.

L'Organisation Internationale du Travail <sup>11</sup> a analysé les conséquences de l'élévation de la température à l'échelle planétaire et des extrêmes climatiques chauds sur la santé des travailleurs d'ici 2030. Ces événements vont générer de manière plus fréquente du « stress thermique », risque prégnant pour la santé au travail (capacités et fonctions physiques du travailleur réduites, capacité de travail et productivité impactées). La productivité au travail diminue à des températures supérieures à 24-26°C. À 33-34°C, et pour une intensité de travail modérée, la performance du travailleur chute de 50%. L'exposition à des niveaux de chaleur excessifs peut entraîner des coups de chaleur, parfois mortels. Tous les secteurs économiques sont touchés mais plus particulièrement les professions exigeant plus d'efforts physiques et/ou s'exerçant à l'extérieur. Ces emplois se trouvent généralement dans les secteurs de l'agriculture, des biens et services environnementaux (gestion des ressources naturelles), de la construction, de la collecte des déchets, des travaux de réparation urgents, des transports, du tourisme et des sports. Cette étude, à caractère international, indique que la construction ne représentait que 6% du total des heures de travail perdues en raison du stress thermique en 1995. Cette part devrait passer à 19% d'ici à 2030. Il est à noter que la plupart des heures de travail perdues en raison du stress thermique en Amérique du Nord, en Europe occidentale, en Europe du Nord et du Sud et dans les États arabes sont concentrées dans le secteur de la construction. Si une telle étude n'est aujourd'hui pas déclinée pour l'économie francilienne, on peut supposer de potentiels impacts au regard des projections climatiques présentées en première partie de ce document.

Pour illustration, le secteur de la construction en Île-de-France représente près de 300 000 emplois qui seront directement concernés par ces phénomènes climatiques. Sachant que ce secteur porte de nombreux chantiers stratégiques (Grand Paris, rénovation énergétique) et génère un effet d'entraînement pour l'économie francilienne, se pose la question de l'acculturation de ces acteurs à l'adaptation au changement climatique, des modes et pratiques associées à ces métiers.

Si le secteur de la construction est illustratif des métiers exposés au changement climatique, « les emplois de bureau » le seront tout autant. La région est essentiellement marquée par une économie tertiaisée et les impacts s'en feront ressentir également, que ce soit à l'échelle des travailleurs (87 % des emplois salariés) ou à l'échelle du bâti (confort thermique associé). A ce titre, notons que le tertiaire représente en Île-de-France environ 40% des surfaces totales du bâti à rénover (c'est-à-dire ne correspondant pas aux classes énergétiques A et B). Le Schéma Régional Climat Air Energie fixait déjà en 2012 comme objectif la rénovation de 8 millions de m<sup>2</sup> de bâti tertiaire par an. La question est de savoir si la rénovation énergétique est toujours associée à celle du confort thermique d'été, car non intégrée dans les normes thermiques en vigueur.

Dans le cadre des activités tertiaires, l'Île-de-France se caractérise aussi par une place particulière du tourisme. La consommation touristique s'élevait à 21,8 milliards d'euros en 2018. L'Île-de-France se distingue par la présence d'un patrimoine historique et culturel de premier plan. La dynamique des Jeux Olympiques en 2024 pourrait renforcer cet attrait touristique (probablement à pondérer au regard des effets de la crise sanitaire).

---

<sup>11</sup> OIT « Travailler sur une planète plus chaude », 2019

L'attractivité touristique en Île-de-France n'étant pas liée à l'évolution climatique interannuelle, la sensibilité des acteurs du secteur aux impacts du changement climatique est très faible. Néanmoins, trois éléments principaux peuvent retenir l'attention :

- Le caractère essentiellement urbain du tourisme en Île-de-France le rend potentiellement vulnérable aux canicules : la dégradation du confort thermique de l'hébergement et dans les transports pourrait s'avérer négatif pour l'attractivité de la région. Berlin ou la Californie sont d'ores et déjà en train de s'adapter pour préserver leur cadre de vie et rester attractif ;
- La vulnérabilité potentielle des sites touristiques aux impacts du changement climatique : les espaces verts urbains, les parcs (Versailles, etc.) mais aussi les zones de baignade, qui constituent des lieux privilégiés du tourisme estival en Île-de-France. Leur dégradation possible dans le cadre d'une réduction de la disponibilité des ressources en eau pourrait également avoir un impact sur l'attractivité touristique ;
- L'impact éventuel du changement climatique sur le patrimoine historique bâti reste encore très incertain.

## 3.2 - L'énergie

*« Pour l'énergie, l'augmentation des températures entraîne essentiellement une baisse de la consommation d'énergie pour le chauffage. D'autres effets comme les inondations et les vagues de chaleur entraînent des conséquences ponctuelles sur les systèmes électriques. La modification du rayonnement, encore incertaine dans les scénarios climatiques, pourrait entraîner un changement dans le gisement solaire. » - GREC IDF*

Les évolutions climatiques fragilisent ainsi ponctuellement les systèmes électriques, potentiellement la production nucléaire par les centrales hors Île-de-France (combinaison sécheresse et canicule), et les réseaux et systèmes franciliens de transport et de distribution de l'électricité (zones de fragilité électrique aux inondations, impact des chaleurs extrêmes).

Les acteurs de l'énergie sont d'ores et déjà engagés dans l'adaptation des réseaux au changement climatique. Par exemple, RTE (Réseau de Transport d'Electricité) a lancé en 2019 une étude sur l'évolution du système électrique intitulée « Futurs énergétiques 2050 » qui alerte sur les risques du changement climatique pour les infrastructures du système électrique.

### 3.2.1 - Concernant la production nucléaire et l'approvisionnement de l'Île-de-France

Compte tenu des besoins actuels en électricité et du développement des usages électriques, l'Île-de-France importe majoritairement de l'électricité en provenance de plusieurs centrales nucléaires (réseau interconnecté). Si le dysfonctionnement de quelques centrales peut être compensé par le système d'interconnexion, la répétition et hauteur de certains événements climatiques extrêmes obligent à prévenir les impacts locaux.

D'après l'étude RTE précitée, les périodes de forte chaleur et de sécheresse impacteront plus régulièrement les centrales nucléaires situées en bord de fleuve. La sensibilité des nouveaux réacteurs nucléaires à ces aléas climatiques pourra être minimisée en privilégiant certains sites (en bord de mer ou en bord de fleuves faiblement contraints en matière de débits et de température seuil) et grâce aux aëroréfrigérants imposés pour les futures centrales en bord de fleuve.

Pour les centrales nucléaires qui prélèvent dans les cours d'eau afin de refroidir leurs installations et assurer leur sûreté, l'eau est ensuite rejetée plus chaude qu'elle n'a été prélevée sous forme liquide ou gazeuse. Lors d'une période prolongée de sécheresse ou de canicule, le niveau des cours d'eau est généralement plus bas (période d'étiage) et leur température plus élevée. Ces centrales nucléaires doivent alors adapter leur fonctionnement à cette contrainte afin de ne pas perturber les écosystèmes. Par ailleurs, les exploitants des centrales nucléaires doivent être en mesure de faire face à l'élévation de la température ambiante dans les locaux contenant des équipements importants pour la sûreté.

C'est la combinaison d'une canicule prolongée associée à une sécheresse (température de l'eau plus élevée, niveau des cours d'eau minimal et leur débit plus faible) qui entraîne des contraintes d'exploitation (limitation des rejets d'effluents) et de sûreté les plus fortes.

En cas de canicule ou de sécheresse, EDF vérifie que la température et le niveau de l'eau restent compatibles avec le bon fonctionnement des systèmes de sûreté. En 2018, malgré les températures élevées atteintes dans certains cours d'eau, il n'y a pas eu de phénomène d'étiage perturbant l'exploitation ou mettant en cause la sûreté des réacteurs.

Pendant les vagues de chaleur qui ont touché la France en été 2019, l'IRSN et l'ASN ont suivi de près l'impact des fortes températures et des débits d'eau réduits des sources froides (rivière, fleuve ou canal) sur le fonctionnement des centrales nucléaires, et ont notamment demandé à EDF de mesurer les températures dans les locaux contenant des matériels importants pour la sûreté. Les températures retenues à la conception des réacteurs pour le dimensionnement des circuits de ventilation et de conditionnement thermique des locaux qui abritent des matériels importants pour la sûreté avaient en effet été dépassées en 2003 et 2006. Parmi les matériels les plus importants pour la sûreté d'un réacteur nucléaire, les groupes électrogènes de secours (ou « diesels ») assurent l'alimentation électrique des matériels de sauvegarde en cas d'accident. Leur fonctionnement peut être perturbé par de fortes températures extérieures. Pour vérifier les améliorations apportées (meilleure tenue à des températures élevées), EDF a ainsi réévalué les températures extérieures à considérer pour chaque site en 2019, en prenant en compte l'impact du changement climatique (référentiel dit « grands chauds », pour chaque type de réacteurs). A l'issue de son analyse, l'IRSN a estimé qu'EDF devait revoir en partie sa méthode d'évaluation des températures extérieures à considérer et évaluer, voire améliorer si besoin, la capacité des installations à faire face à certaines situations accidentelles d'occurrence rare résultant de défaillances multiples.

Sur le sujet des projections, le projet de Recherche Explore 2070 a étudié les impacts dans le domaine de l'énergie des prélèvements avec des inquiétudes pour le refroidissement des centrales thermiques et nucléaires pouvant générer un risque sur leur potentiel de production. La comparaison entre 2006 et 2070 (tendanciel et suivant les stratégies d'adaptation) montrent des difficultés dans le secteur de la Bassée et Amont de la centrale de Nogent-sur-Seine : environ 10% des besoins et prélèvements associés seraient non satisfaits pour l'énergie en année quinquennale sèche (demande potentielle en énergie non assouvie de 30 à 50 mm<sup>3</sup>).

Des dispositions sont donc à suivre en cas de sécheresse, en tenant compte des spécificités des sites, qui concernent la limitation des prélèvements d'eau, la surveillance de la température des eaux rejetées (limites de température de l'eau à l'aval des centrales fixées par la réglementation) et la gestion des effluents radioactifs et chimiques (Institut de Radioprotection et de sûreté nucléaire, IRSN). (Note de l'IRSN, effets de la canicule sur la production et la sûreté des centrales nucléaires, 27 juin 2019).

### **3.2.2 - Concernant les systèmes et réseaux et de transport et de distribution d'électricité**

L'événement de canicule de 2003 est riche d'enseignement sur la vulnérabilité potentielle des systèmes électriques aux chaleurs extrêmes. À Paris, la chaleur des sols a entraîné une recrudescence d'incidents sur le réseau souterrain de distribution, avec au total 237 000 clients d'ENEDIS (ex-ERDF) en Île-de-France qui ont été touchés par des coupures momentanées sur le réseau de distribution d'électricité.

Selon une estimation du groupe EDF, la canicule de 2003 aurait coûté environ 300 millions d'euros au groupe, comprenant « l'acquisition ou à la rémunération des moyens matériels et humains sollicités, mais aussi la nécessité pour l'opérateur d'acheter à l'étranger de l'électricité à des prix très élevés »<sup>12</sup>.

Les zones de fragilités électriques aux inondations – surtout par débordement - sont par ailleurs inventoriées et font l'objet d'une prise en compte au titre de risques systémiques d'une crue centennale (L'Institut Paris Region).

D'après l'étude RTE « Futurs énergétiques 2050 »<sup>13</sup>, le changement climatique a des effets importants sur les moyens de production et d'acheminement de l'électricité. Le stock hydraulique nécessitera une gestion différente compte tenu de la fonte des glaces et des sécheresses plus fréquentes.

---

<sup>12</sup> « La France et les Français face à la canicule : les leçons d'une crise », Rapport d'information n° 195 (2003-2004) de Mme Valérie LÉTARD, MM. Hilaire FLANDRE et Serge LEPELTIER, Sénateurs, fait au nom de la mission commune d'information, déposé le 3 février 2004, <http://www.senat.fr/rap/r03-195/r03-195.html>

<sup>13</sup> RTE, « Futurs énergétiques 2050 », 2021

### 3.3. - Les transports et infrastructures

Les phénomènes extrêmes en augmentation (vagues de chaleur, pluies extrêmes) ont des conséquences potentielles pour les transports et les infrastructures, créant potentiellement des ruptures de réseaux et des dommages dans les infrastructures.

#### 3.3.1 - Infrastructures de transport et vagues de chaleur

L'événement de canicule de 2003 donne un aperçu de la vulnérabilité potentielle des infrastructures de transport franciliennes aux très fortes vagues de chaleur. La **sensibilité du réseau routier** (usure plus rapide des surfaces bitumées exposées, notamment à l'origine de formation d'ornières) s'est traduite avant tout dans l'enjeu financier associé pour l'entretien et la maintenance des routes.

En revanche, la **sensibilité du réseau ferroviaire** aux vagues de chaleur a été plus marquée. La déformation des rails au sud de Corbeil a rendu impossible la circulation des trains sur la ligne D du RER pendant 3 semaines. Plus globalement, la régularité des trains a chuté de 10% durant cette période, avec des pertes comprises entre 1 et 3 millions d'euros, découlant des remboursements en relation avec la garantie de ponctualité (Létard, 2004 ; SNCF, 2012).

Les vagues de chaleurs peuvent ainsi affecter le réseau ferré et perturber la circulation des trains ; les dégradations de confort thermique sont également préjudiciables pour les usagers (dans les enceintes et dans les trains), et ce, d'autant que le nombre moyen annuel de jour de vagues de chaleur devraient fortement augmenter (de 3 à 4 fois plus selon les villes en Île-de-France, d'après données DRIAS, projection 4.5 de forçage radiatif).

Les rails en acier, en période de chaleur extrême, sont sujets à l'accumulation de chaleur (jusqu'à dépasser les 55 degrés et même atteindre 70 degrés en pleine canicule), à l'origine de phénomène de dilatation. Le risque de déformation de la voie peut conduire à préventivement ralentir les trains voir à interrompre les circulations. En 2019, par exemple, les infrastructures ferroviaires ont ainsi souffert, touchant notamment les trains à grande vitesse (comme le Thalys). Sur les lignes électrifiées, les câbles d'alimentation des trains ont aussi tendance à se détendre sous l'effet de la chaleur, risquant de toucher le toit du train et ainsi de provoquer un arc électrique. Des feux peuvent aussi être déclenchés par des étincelles au passage des trains.

Les acteurs des services ferroviaires ont depuis 2003 travaillé à mieux prévenir cette vulnérabilité. Le plan d'adaptation de la SNCF, par exemple, anticipe sur les mesures à prendre : l'opération de maintenance spécifique ATS (« Autres travaux systématiques avant la saison chaude »), la surveillance renforcée des matériels et des infrastructures (tournées faites à pied pour vérifier les voies, les caténaires, les talus), et la réduction de vitesse. Pour compléter le dispositif, SNCF Réseau a commencé en 2019 à installer des capteurs sur ses rails pour en surveiller la température en temps réel. Le contrôle de la climatisation est également prévu. Tous les TGV et trains Intercités sont climatisés et 61% des trains franciliens le sont. Un service d'assistance téléphonique spécifique a été mise en place pour répondre aux agents en cas de problème de climatisation, ainsi que des packs d'eau à bord des trains et des stocks stratégiques (bouteilles d'eau...) dans les gares.

#### 3.3.2 - Infrastructures de transport et précipitations extrêmes

En dehors du risque majeur d'inondation par débordement de la Seine, aux impacts systémiques hors normes (Cf. Cas de la crue centennale), les crues éclair et inondations pluviales associées aux précipitation extrêmes ne sont pas à exclure et peuvent impacter localement les infrastructures de transport.

Par ailleurs, le changement climatique peut également avoir des impacts substantiels sur les infrastructures de transport, et notamment les ouvrages en terre (déblais, remblais). Ceux-ci sont particulièrement vulnérables aux contrastes météorologiques, entre les longues périodes de sécheresse et des épisodes de pluies intenses. Il est donc nécessaire de procéder à une identification des faiblesses sur le réseau et de préparer, comme c'est déjà le cas, des scénarios de réactions possibles en cas d'incident. Des scénarios ont par exemple été préparés en cas de crue de la Seine. Une étude des points de vulnérabilité a aussi été menée sur l'axe Paris Saint-Lazare – Le Havre.

Le risque ruissellement - les crues d'orage étant difficiles à prévenir - ne représenterait pas un risque majeur direct pour les réseaux d'Île-de-France (système Vigie Crue fiable) mais participerait potentiellement au risque d'inondation comme en mai-juin 2016. L'Île-de-France a en effet été marquée ces dernières années par des inondations significatives atypiques (les crues en Île-de-France interviennent généralement pendant la période hivernale), mêlant débordement et ruissellement, au

début de l'été 2016. D'après la SNCF, ces crues éclair se traduisent par de nombreuses inondations de voies et de systèmes de signalisation, ainsi que par des glissements de terrain. Le RER C fut fermé pendant une vingtaine de jours en 2016. SNCF Gare et Connexions a également souligné le risque d'inondations des souterrains donnant accès aux voies pouvant aller jusqu'à la condamnation de quais et, par conséquent, la réduction du trafic. De nombreuses écoles ont également dû être fermées, notamment du fait des perturbations de ramassage scolaire.

Pour les responsables de réseaux, les outils opérationnels à mettre en œuvre pour modérer les impacts sont les plans de protection contre les inondations et les plans de continuité d'activités. L'objectif est de mettre en sécurité les emprises, d'activer les systèmes de pompes d'eau. Des investissements pour réduire les vulnérabilités sont également nécessaires avec l'enjeu d'améliorer l'étanchéité des bâtiments, des sous-stations et de conforter le maillage sur certains éléments du réseau. L'assurance de résilience du réseau oblige aussi à disposer de référentiels d'exploitation remis à jour et adaptés aux situations rencontrées tout en tenant compte de l'évolution du climat.

## **3.4 - L'approvisionnement en eau potable et l'assainissement**

### **3.4.1 - AEP - Prélèvements pour l'eau potable (2/3 du total des prélèvements)**

Les prélèvements pour la distribution publique de l'eau potable – pour les Franciliens mais également pour les activités économiques – comptent pour environ les deux tiers du total des prélèvements.

Parmi les deux sources principales pour l'alimentation en eau potable, celle relative aux cours d'eau principaux (Oise, Seine et Marne) s'avère peu vulnérable grâce au soutien d'étiage substantiel de la Seine et de la Marne (Grands lacs de Seine). Néanmoins, une grande partie de la grande couronne ne s'alimente pas à partir d'eau de surface.

La seconde source d'alimentation – les nappes d'eau souterraines captées hors de la zone agglomérée parisienne – est davantage vulnérable du fait des tensions quantitatives en période d'étiage. Lors des périodes de basses eaux, elles soutiennent majoritairement le débit des cours d'eau. L'impact du changement climatique (sécheresse hydrogéologique, notamment) renforce pour l'avenir cette fragilité potentielle liée à ce mode d'approvisionnement.

L'existence, en revanche, d'un plan de prévention – le plan régional d'alimentation en eau potable de la région Île-de-France (PRAEP) – permet de travailler à la réduction de la vulnérabilité des réseaux de production et de distribution de l'eau et de mobiliser les acteurs des territoires, notamment en gestion de crise lors des conditions climatiques exceptionnelles.

### **3.4.2 - Assainissement (débit d'étiage/effet dilution des pollutions résiduelles)**

L'Île-de-France présente des disparités entre des zones denses en population, souvent très imperméabilisées, et des zones rurales, avec comme conséquence un système d'assainissement domestique très concentré : la station Seine-Aval à Achères traite près de la moitié des effluents des 12,2 millions de Franciliens. Ces rejets très concentrés ont un impact important sur les milieux naturels, nécessitant des traitements poussés et un suivi constant.

Ce système d'assainissement, majoritairement unitaire (réseaux mélangeant les effluents domestiques et les eaux de pluie), est vulnérable aux pluies d'orage et à la baisse des débits des rivières annoncés par le changement climatique. En effet, le besoin de traitement est encore plus fort si les rivières n'ont plus de capacité de dilution. À l'inverse, les très fortes pluies peuvent lessiver les surfaces imperméables et faire déborder les réseaux unitaires dans les milieux naturels, augmentant les pollutions.

Les projections indiquent que les pollutions en azote, phosphore et matière organique issues des stations d'épuration augmenteront du fait de la baisse des débits d'étiage et des rejets par temps de pluie (L'état des lieux 2019 du bassin Seine-Normandie).

L'enjeu d'une gestion intégrée de l'eau en ville est ainsi accentué par la densité urbaine et le changement climatique. La promotion des pratiques économes et circulaires en eau (réutilisation d'eau de pluie, d'eaux grises...), la désimperméabilisation et gestion de la pluie par des techniques alternatives aux réseaux, dont les atouts dépassent la dimension strictement hydraulique (soutien au développement de la biodiversité, création d'îlots de fraîcheur, amélioration de la qualité des espaces publics...) font partie des solutions.

## 3.5 - L'agriculture

### 3.5.1 - Altération des rendements par la sécheresse et les vagues de chaleur

Les pertes de récoltes en Europe liées aux sécheresses au cours des 50 dernières années (1961 - 2018) ont été multipliées par 3 selon la FAO. La grande sécheresse historique de 1976 s'est caractérisée par un quasi-arrêt des pluies à partir d'avril et une longue canicule estivale. Elle a conduit à des ruptures agricoles dans le nord de la France (fort recul du maïs, arrêt de l'écobuage et exploitation de la paille notamment).

Historiquement, **le bassin Seine-Normandie a connu peu de situations de sécheresse**, mais des zones de tensions existent, dont certaines classées en zone de répartition des eaux (ZRE). Les arrêts sécheresses sont de plus en plus récurrents, et les sécheresses devraient s'intensifier (projet de Sdage 2022-2027). En cas de sécheresse « normale », les grandes cultures franciliennes subissaient des baisses de rendement relativement faibles par rapport à d'autres régions. Plus récemment, une **tendance observée à la répétition de ces événements** (2003, 2009, 2018, 2019 et 2020) réinterroge la vulnérabilité potentielle de l'agriculture francilienne comme le soulignent les 24 arrêtés de sécheresse en 2019 (8 en vigilance, 10 en alerte, 3 en alerte renforcée, 3 en crise) et la **sécheresse de l'été 2020** qui a eu un très fort impact en Île-de-France en ébranlant beaucoup d'agriculteurs déjà fragilisés : d'une part, les exploitations de grandes cultures en blé, orge, cultures protéagineuses et colza, et d'autre part, les éleveurs qui ont souffert du manque de fourrage, des surcoûts liés à leur approvisionnement et qui ont dû ressemer les prairies brûlées par la sécheresse. Les aides régionales ont atteint plus de 2 millions d'euros.

Les effets de la sécheresse sont multiples : hétérogénéité de levée des semis, chutes de rendements, pertes de récoltes, abandon ou régression de certaines cultures, impact sur les prairies, manque de fourrages... De nombreux légumes (par exemple la salade, le cresson ou les haricots verts) sont très sensibles aux variations de température et ont un besoin en eau assez important. L'augmentation des températures et la diminution des ressources en eau, en particulier lors de périodes de sécheresse et de canicules, impacteront la production maraîchère, et par conséquent la rentabilité de telles exploitations. On remarquera cependant que, même parmi les espèces exigeantes en eau (maïs, tomate), il existe des variétés plus résistantes.

### 3.5.2 - Altération des rendements par les effets oxydants de l'ozone

En outre, avec la prospective climatique d'augmentation des températures et des vagues de chaleur, la vulnérabilité actuelle aux effets d'un polluant atmosphérique - l'ozone - sur la végétation (dépérissement de plantes et stress, pertes de rendement des cultures...) est aussi réinterrogée. L'objectif de qualité pour la protection de la végétation est dépassé en Île-de-France tous les ans (sur toutes les stations d'Airparif en 2018 comme en 2019, notamment). Le constat de dépassement est généralement prononcé dans les zones rurales et périurbaines visées par ce seuil de protection, où les teneurs ont été jusqu'à environ 3 fois supérieures à la norme en 2019 (Airparif, Bilan de l'année 2019).

Au cours des quinze dernières années, **le rendement du blé en région parisienne a été réduit en moyenne d'environ 10%** par rapport à une situation non polluée. Ce constat actualisé d'Airparif provient d'une approche encore très approximative (relation statistique entre la perte de rendement et l'indice AOT40 d'exposition à l'ozone qui rend compte des fortes concentrations et de la durée d'exposition des plantes). Cet ordre de grandeur était déjà mentionné par le 1er Plan Régional pour la Qualité de l'air en Île-de-France de 2001.

L'ozone est un oxydant puissant, qui réagit directement avec les composés chimiques présents à la surface des cellules végétales (parois et membranes). Les produits issus de ces réactions sont encore mal connus, mais certains peuvent également être toxiques pour les plantes. Au-delà des **dégâts foliaires** (taches ou nécroses à la surface des feuilles) qui s'observent habituellement après un pic de

pollution, des **dommages plus conséquents** peuvent survenir quand le métabolisme de la plante est perturbé par les effets de l'ozone (réduction de la photosynthèse, consommation des sucres pour fournir l'énergie nécessaire à la réparation des tissus abîmés, accroissement de la sénescence soit le vieillissement plus rapide des feuilles) **conduisant à une diminution de la croissance ou de la productivité des cultures.**

La plupart des espèces sont sensibles à l'ozone, mais **cette sensibilité s'exprime à des degrés très différents d'une espèce à l'autre** et même entre individus d'une même espèce. D'après les études expérimentales, les espèces **les plus vulnérables – outre le blé – sont la laitue, l'oignon, la tomate, le tournesol et certaines légumineuses comme le haricot.** La pomme de terre, le tabac, le colza et la betterave paraissent un peu moins sensibles, tout comme le maïs. Des espèces comme l'orge, le seigle et quelques arbres fruitiers comme le prunier semblent bien résister à l'ozone.

### 3.5.3 - Restrictions d'usage de l'eau/prélèvements agricoles et irrigation

**L'irrigation, pour l'essentiel à partir de nappes souterraines (92%), est une pratique mesurée à l'échelle du bassin Seine-Normandie.** Sur le bassin Seine-Normandie, 93% des nappes sont en bon état quantitatif, en légère baisse par rapport à 2013. Des secteurs de nappes présentent des équilibres quantitatifs fragiles, notamment en Île-de-France, de même que quelques masses d'eau de surface qui ont un fragile équilibre quantitatif (Projet de Sdage 2022-2027).

En Île-de-France, les surfaces irrigables représentent environ 10% de la surface agricole utilisée, celles effectivement irriguées fluctuant dans une fourchette de 3 à 6% de la surface agricole en fonction de la pluviométrie annuelle. Cette pratique est aussi mesurée, les prélèvements d'eau pour l'irrigation représentant en 2015 comme en 2016 environ 17% du total des prélèvements du Bassin avec des volumes respectivement de 30 Mm<sup>3</sup> et 19 Mm<sup>3</sup> pour ces 2 années aux pluviométries contrastées (Enquête structure des exploitations agricoles 2016, Agreste Île-de-France). Si l'on considère l'ensemble des usages de l'eau prélevée dans le milieu naturel (hors barrages), l'irrigation agricole ne représente que 1,6% des prélèvements franciliens (8,5% en France métropolitaine). Les besoins franciliens le sont majoritairement pour les cultures de betterave (77 500 ha en 2016, avec un taux d'irrigation de 18%), devant les légumes frais (surface bien inférieure de 2 520 ha mais avec un taux d'irrigation quasi total de 96%). Arrivent ensuite le maïs grain, les pommes de terre et les autres céréales. La Seine-et-Marne a de loin le plus de surfaces irriguées, les plus gros prélèvements se faisant à l'extrême sud ainsi qu'au centre est du département, suivi par l'Essonne et les Yvelines, avec des prélèvements très concentrés aux extrêmes sud de ces 2 départements (d'après Enquête structure des exploitations agricoles 2016, Agreste Île-de-France).

**Dans la grande couronne,** les prélèvements agricoles dans les eaux souterraines pour l'irrigation sont en croissance (DRIEE, 2020) et peuvent représenter une pression importante en période critique pour les milieux de certains bassins versants ; Ainsi, dans la Beauce, territoire le plus irrigué de France (70% pour l'agriculture), les prélèvements ont conduit à la **dégradation des débits des cours d'eau.** Les débits d'étiage des cours d'eau exutoires de la **nappe de Beauce** ne respectent pas l'objectif réglementaire de 8 années sur 10 sans restriction d'usage.

**La masse d'eau Calcaires tertiaires libres et craie sénonienne de Beauce est en état médiocre du point de vue quantitatif,** c'est-à-dire que les prélèvements y dépassent la capacité de renouvellement de la ressource. **Seule masse d'eau concernée en Île-de-France,** les raisons en sont doubles : la baisse tendancielle du niveau piézométrique de plus de 2 cm par an (d'après chronique de données de 30 ans, 1981-2010, DRIEE) et les intenses prélèvements qui ont conduit à la dégradation des débits des cours d'eau. Cette masse d'eau, délimitée par la Marne au nord et par la Seine au sud, couvre le centre de la Seine-et-Marne, les secteurs est du Val-de-Marne et extrême nord-est de l'Essonne, et comprend notamment l'aquifère du Champigny.

Trois nappes franciliennes **sont classées en zones de répartition des eaux (ZRE)<sup>14</sup>,** les ressources étant dans des secteurs où des déséquilibres structurels ont été identifiés et quantifiés, et où des règles de gestion spécifiques ont été appliquées. En dehors de la ZRE de **la nappe profonde de l'Albien** (nappe captive), les deux autres ZRE concernent des nappes souterraines plus sujettes aux sécheresses hydrogéologiques potentielles : **la nappe du Champigny et la nappe de Beauce.** Si l'on ajoute les secteurs où l'équilibre quantitatif a été défini comme fragile en étiage dans l'état des lieux

<sup>14</sup> Zones présentant une insuffisance, autre qu'exceptionnelle, des ressources par rapport aux besoins.

du SDAGE – sur les eaux souterraines et sur les eaux superficielles (têtes de bassins versants) – l’Île-de-France est ainsi fragilisée sur plus de la moitié de son territoire, en particulier en grande couronne.

L’agriculture pourrait être marquée **par l’augmentation tendancielle de l’évapotranspiration avec le changement climatique, et en conséquence une diminution des volumes d’eau naturellement disponibles et une possible demande croissante d’irrigation.**

Le Projet Explore 2070 (2010-2012), ayant aussi mis en avant pour l’Île-de-France les risques de fort recul de débits moyens annuels et de sévérité des étiages d’ici 2070, a exploré une simulation de report de l’irrigation au nord de la Loire – avec **conversion de 20% du blé tendre sec en blé tendre irrigué** – selon différentes stratégies nationales (intermédiaire, besoins). Dans ce cas, toutes se traduiraient par une pression accrue sur les nappes d’eau souterraines **du Champigny et de Beauce : le rapport prélèvement/recharge annuelle évoluerait pour une année quinquennale sèche de 20-25% actuellement à plus de 35-40% en 2070.**

Plusieurs mesures sont d’ores et déjà conseillées par le ministère de la Transition écologique et l’INRAE pour rendre l’agriculture plus économe en eau (Agence parisienne pour le climat) :

- Limiter l’irrigation à « la bonne dose au bon moment » (par endroit cela diminuerait la consommation de 30 %) et améliorer le matériel d’irrigation ;
- Diversifier les espèces et les systèmes de culture ;
- Adapter les systèmes de culture, en privilégiant les cultures pluviales d’hiver et les cultures d’été à cycles courts ;
- Choisir des cultures moins consommatrices d’eau (légumineuses, racines, tubercules, tournesols...) ;
- Étudier des variétés plus tolérantes à la sécheresse.

### 3.5.4 - Productions agricoles/modification des conditions météorologiques saisonnières

Selon les travaux du projet Climator, les élévations de températures, du fait de l’évolution du climat en Île-de-France, vont rendre plus fréquents les jours échaudants sur la période avril-juin impactant la croissance des plantes autour de la floraison et au cours du remplissage des grains. Le cycle des cultures va s’accélérer, les différents stades de développement seront plus précoces (germination, développement des tiges feuilles et pousses secondaires, épiaison, floraison, formation des fruits, maturation fruits-graines). La durée de remplissage des grains devrait se réduire, pouvant impacter sensiblement les rendements des cultures.

**Tableau 1 : Raccourcissement de la date de récolte (en jours), à conduite de culture inchangée, sur des sites de type Versailles (source : étude Climator)**

Futur proche (2020-2050)						Futur lointain (2070-2100)					
Blé	Mais	Colza	Tournesol	Sorgho	Vigne	Blé	Mais	Colza	Tournesol	Sorgho	Vigne
-9.0	-32.9	-3.3	-15.3	-16.0	-29.3	-18.1	-51.9	-14.4	-28.6	-33.7	-43.4

**Les cultures d’hiver** subissent essentiellement une anticipation de la floraison, mais peu de réduction de la phase de remplissage des grains et une arrivée à maturité légèrement anticipée pour les variétés précoces. Néanmoins pour ces cultures, des semis précoces se heurteront à une sécheresse des sols à l’automne. Le recours à des variétés plus précoces serait sans doute plus efficace.

A l’inverse, pour **les cultures de printemps**, il faut s’attendre à une réduction sensible de la phase de remplissage, préjudiciable pour les rendements et une anticipation de la maturité plus forte pour les variétés à cycle long. Afin de contourner les risques d’échaudage, les semis pourraient être avancés.

Pour ce qui concerne la culture du blé tendre, principale culture en Île-de-France, les prévisions seraient, finalement, plutôt positives : augmentation de 10 à 12% des rendements par fixation du CO2 plus important, en particulier pour les variétés précoces (moindre impact des jours échaudants et du

stress hydrique en fin de cycle) et par réduction des pertes liées aux maladies du blé (conditions climatiques moins favorables aux maladies fongiques). La culture du colza se heurtera à plus de difficultés, n'entraînant pas d'augmentation des rendements mais une stagnation : difficulté de levée liée à la sécheresse des sols en été (faibles peuplements) et difficulté d'absorption de l'azote des sols par faible flux transpiratoire, malgré une disponibilité accrue de l'azote minéral du sol (stimulation de la minéralisation de la matière organique par le réchauffement). Une irrigation en début de cycle pourrait lever ces difficultés. Enfin, les simulations du projet Climator indiquent que le climat de la région Île-de-France deviendrait à moyen terme favorable à la culture de la vigne (cépage merlot et chardonnay). Les conditions thermiques seraient favorables à des productions de qualité, avec par ailleurs un risque faible à modéré vis-à-vis du Botrytis.

« Par ailleurs, malgré la diminution du nombre de gels, du fait de l'avance de la saison de croissance, **la probabilité de gels, notamment tardifs, en période de croissance augmente.** » - GREC IDF

L'événement froid d'avril 2021 a été particulièrement marquant : des températures minimales journalières exceptionnellement basses, -7°C au lever du jour, ont été enregistrées en Île-de-France, particulièrement dans le sud, une semaine après un épisode de températures records en mars sur la France, entraînant un démarrage précoce de la saison de croissance et laissant les nouvelles feuilles exposées à cet épisode de gelées noires (masses d'air froid qui ont pénétré au long de la nuit dans les arbres). De graves dommages ont été observés pour les arbres fruitiers en fleurs (pertes de récolte estimées à 80-90 % pour les poires et pommes et jusqu'à 100 % pour les prunes, cerises et abricots), les plantes de pépinières et autres plantes sensibles au gel. S'agissant des grandes cultures, la betterave sucrière a le plus souffert (avec certaines parcelles proches de 100% de perte). Des inquiétudes ont également concerné les jeunes cultures (les jeunes orges de printemps, le blé dur, le colza) (Chambre d'agriculture de Région Île-de-France, CARIDF).

Enfin, **les risques indirects liés à l'apparition de bioagresseurs** peuvent mettre en danger les surfaces agricoles occupées par les grandes cultures où ne sont représentées que quelques espèces (monoculture de blé tendre, par exemple). La multiplicité d'espèces aux sensibilités différentes au sein même des fermes fait aisément obstacle à la prolifération d'éventuels insectes nuisibles et agents pathogènes, contrairement à la monoculture. L'association de l'élevage à la polyculture peut – quant à elle – aussi contribuer à renforcer la résilience des écosystèmes de production agricole, les animaux domestiques et les plantes cultivées n'étant généralement pas atteints pareillement par les diverses perturbations climatiques (Marc Dufumier, Cahiers de L'Institut).

### 3.5.5 - Conséquences pour l'approvisionnement alimentaire de la région

La dégradation des conditions de production, de distribution et de stockage des produits alimentaires susceptible de remettre en cause l'approvisionnement de l'Île-de-France était mentionnée dans l'Étude des impacts socio-économiques de l'adaptation au changement climatique (Région Île-de-France, Ademe, 2012).

A l'exception de quelques productions emblématiques comme le blé ou la salade, l'approvisionnement alimentaire provient pour une petite partie seulement de la région Île-de-France. La production francilienne couvre moins de 10% de notre consommation de fruits et légumes, et autour d'1% pour le lait et la viande. L'essentiel des produits arrivent du Bassin parisien (légumes du Val-de-Loire), du reste de la France (fruits du Roussillon) et du monde entier. L'Île-de-France est un important bassin de consommation mais possède une surface agricole utile limitée, un nombre restreint d'agriculteurs et manque de certains maillons de filière, notamment la première transformation. L'approvisionnement de l'Île-de-France ne reposant ainsi que minoritairement sur son propre territoire, sa résilience doit être évaluée à l'aune des impacts du changement climatique sur les productions des autres régions de France, d'Europe et du monde et sur les conditions d'acheminement des denrées vers l'Île-de-France. Les impacts du changement climatique sur le système de distribution au sein de la région et sur les conditions de stockage restent malgré tout un enjeu identifié, les leviers étant entre les mains des acteurs franciliens. L'essor des filières courtes de proximité est un des leviers. Au niveau territorial, la mise en place de Projets alimentaires territoriaux (PAT) peut participer aux réflexions concernant les enjeux climatiques. Le PAT de Grand Paris Sud Est Avenir (GPSEA) est d'ailleurs un des volets de son Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET).

### 3.5.6 - Vers des enjeux à partager

L'enjeu premier est la **recherche d'économies d'eau**, éventuellement par des modifications de pratiques ou systèmes culturaux. Celui du développement de la connaissance locale des volumes maximaux prélevables dans les zones tendues est souligné par le projet de Sdage 2022-2027, avec l'encadrement de la création de retenues (impact potentiel de ces retenues sur la réalimentation des nappes).

**La promotion et le soutien des pratiques non polluantes en agriculture** ont pour objectif de diminuer le risque de perte de ressources exploitables (via, par exemple, des partenariats collectivités-agriculteurs engagés dans des systèmes non polluants à l'image d'Eau-de-Paris pour la protection des sources de la Voulzie...). Les apports de l'agroécologie, de la limitation du travail du sol par les techniques culturales simplifiées (TCS), de l'augmentation du taux de matière organique du sol, de l'amélioration de la structure du sol par les cultures intermédiaires, de l'ombrage et coupe-vent des haies sont également à valoriser.

**Les apports de la diversification des cultures et de la sélection variétale** pour augmenter les chances de résistance aux impacts de la sécheresse, de l'ozone, des nouveaux parasites, ravageurs et maladies sont aussi à considérer.

## 3.6 - La sylviculture

Les forêts franciliennes sont en majorité considérées par l'inventaire forestier de l'IGN comme des « forêts de production », en tant que forêts de plaine, par opposition aux forêts littorales ou de montagne qui sont des forêts « de protection ». Dans la réalité, les forêts franciliennes sont principalement vouées à l'accueil du public, au moins pour les forêts publiques, ainsi qu'une partie des forêts privées non clôturées, fréquentées de fait par le public. La plupart des forêts privées, extrêmement morcelées, sont assez peu gérées sauf pour le bois énergie ou la chasse. La politique forestière française vise de longue date à concilier les 3 fonctions principales de la forêt à l'échelle des massifs : protection, production, récréation ou accueil du public. Les documents de planification récents (stratégie régionale pour la forêt et le bois 2018-2021 et programme régional de la forêt et du bois 2019-2029) visent à rééquilibrer la gestion forestière en augmentant la fonction de production des forêts franciliennes et en constituant une filière bois locale, tout en préservant la biodiversité et en favorisant l'adaptation au changement climatique.

Les forêts franciliennes sont composées à 94% de feuillus (chênes, châtaigniers, peupliers) gérées principalement en futaies régulières et en taillis sous futaies. Pour la filière sylvicole, depuis 2010, 69% des prélèvements sont issus des forêts privées. La moitié, seulement, de la production biologique est prélevée chaque année. Ces prélèvements se répartissent pour près de la moitié en autoconsommation, le reste est commercialisé et préférentiellement destiné au bois énergie (70%).

Moins d'1% de la production des forêts d'Île-de-France est transformé sur le territoire francilien (une seule usine de transformation) et le bois d'œuvre utilisé pour la construction, principalement le résineux, provient d'autres forêts françaises ou d'Europe (Fibois idF).

Les contraintes liées à l'accueil du public dans les forêts publiques et le manque de gestion dans les forêts privées font que la forêt francilienne est plutôt vieillissante. Si cela permet d'exprimer une certaine richesse en termes de biodiversité, cela renforce la vulnérabilité aux tempêtes (cf. les dégâts provoqués par la grande tempête de 1999).

Par ailleurs, les pratiques sylvicoles ne sont pas sans conséquence pour la biodiversité, levier de résilience des milieux forestiers aux effets du changement climatique. De l'amont à l'aval de la filière, les lieux de coupes, selon le choix des matériels et méthodes utilisées ont un impact certain sur les écosystèmes. Ainsi, choisir des pratiques dites « naturalistes » en optant pour une diversité écosystémique, spécifique et génétique avec des stations pluristratifiées et des zones protégées, sera bénéfique pour la biodiversité forestière. Laisser des souches et rémanents sur place ainsi que du bois mort sur pied et/ou au sol, créer des îlots, réseaux et continuités de sénescence et encourager la régénération spontanée des massifs sont aussi des solutions de résilience (PRFB).

A noter que l'Office national des forêts (ONF) est aujourd'hui déjà engagé dans une transition de ces modes de gestion dits « intensifs » vers une gestion en futaies irrégulières plus respectueuse des écosystèmes forestiers naturels (ARB IDF, 2019).

La gestion sylvicole identifie le renouvellement des essences comme un moyen d'action efficace, à déployer rapidement, pour améliorer la résilience de l'écosystème forestier francilien (et par conséquent sa capacité de séquestration de carbone). Les actions de renouvellement se concentrent sur les ressources feuillues de chênes pédonculés ou de hêtres dépérissants, ou des peuplements de châtaigniers présentant des cas de maladies de l'encre relativement nombreux. Le PRFB est compatible avec le Plan National d'Adaptation au Changement Climatique (PNACC), comportant un objectif dédié à augmenter la résilience de la forêt aux changements climatiques, notamment via la diversification des peuplements. Les estimations de vulnérabilités aux feux de forêts relèvent, pour l'Île-de-France, du long terme (2050 voire plus) : cet enjeu n'est pas encore identifié comme prioritaire. Il convient cependant d'en rappeler les mécanismes, évolutions probables, et dangers potentiels dès aujourd'hui. Ce renouvellement, enfin, doit également permettre, dans une moindre mesure, d'améliorer l'adéquation entre la ressource de bois et la demande (aujourd'hui, principalement orientée vers les résineux). L'innovation technique s'attachera à trouver de nouveaux débouchés pour la ressource feuillue car l'augmentation de la proportion de résineux est envisagée uniquement de manière marginale pour l'Île-de-France.

Au niveau des territoires à dominante de forêts publiques, il s'agit d'inciter les collectivités à porter des démarches de concertation telles que les Chartes forestières de territoire, ou d'autres types de stratégies locales de développement forestier, afin de mettre en œuvre un programme pluriannuel d'actions de valorisation de la forêt et du bois. La concertation vise à créer les conditions d'un consensus social sur des pratiques de gestion durable répondant aux enjeux locaux.

Au niveau des territoires constitués majoritairement de forêts privées avec un potentiel de production de bois, les propriétaires sont incités à élaborer des documents de gestion durable dans le cadre de démarches collectives ou groupées. Ces dernières ont pour but de planifier et de réaliser des programmes pluriannuels de coupes et des travaux d'amélioration des peuplements conduisant à améliorer progressivement la qualité des bois et les capacités d'adaptation et d'atténuation des forêts aux changements climatiques (CRPF).

## 4 - Les effets systémiques des extrêmes climatiques

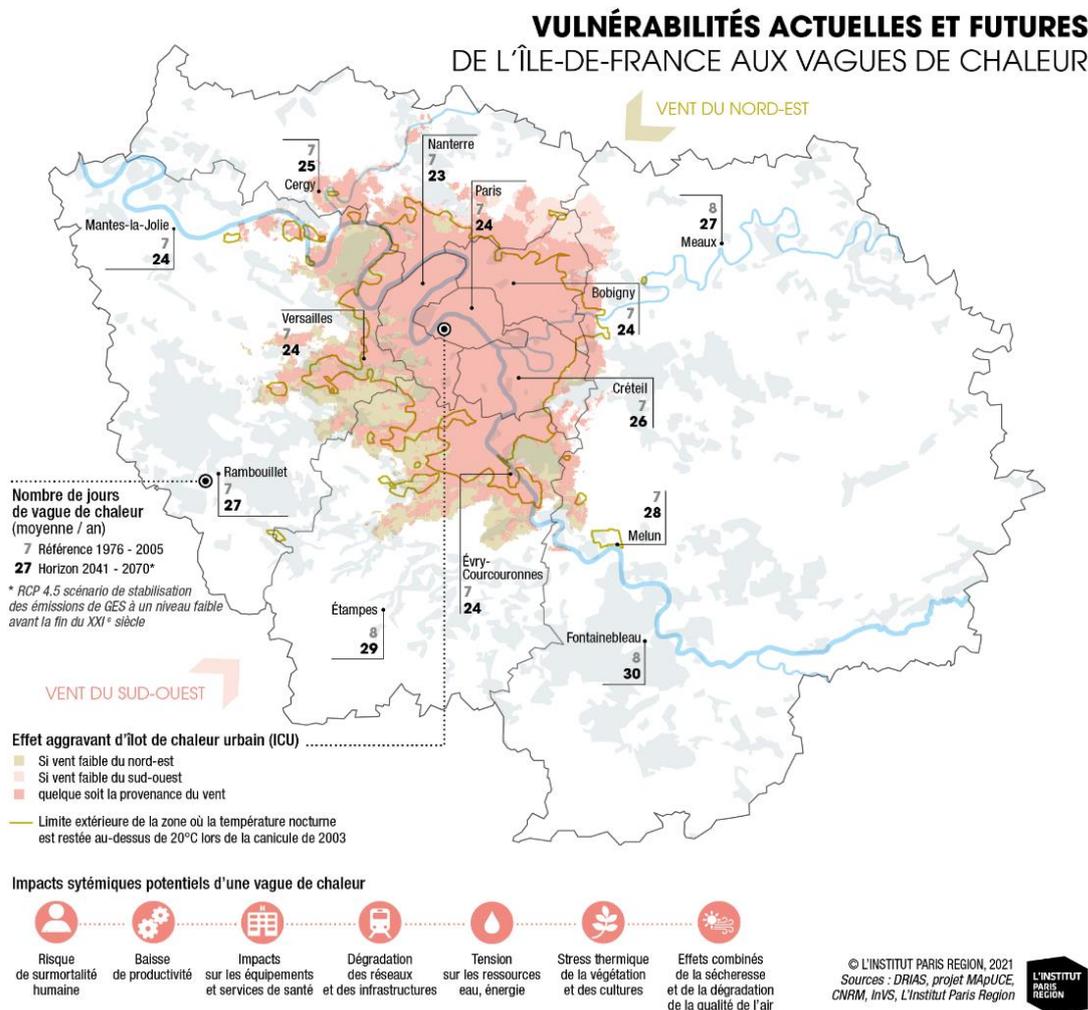
L'un des concepts dédiés à l'adaptation renvoie à la notion de « système » ou d'effets systémiques. L'approche systémique s'appuie sur une approche globale des problèmes ou des systèmes que l'on étudie et se concentre sur le jeu des interactions entre leurs éléments. Dans le cadre du changement climatique, l'approche systémique s'entend comme :

- Une manière d'appréhender de multiples effets engendrés par la survenance d'un aléa sur les différents éléments composant et qualifiant le territoire ;
- Leurs interactions potentielles : on parlera notamment d'effet domino quand l'impact d'un composant du « système » (par exemple les transports) peut, par sa défaillance, entraîner des réactions en chaînes sur d'autres composantes (par exemple difficulté à réparer les infrastructures liées à l'énergie si incapacité à se déplacer pour atteindre les sites).

En Île-de-France, deux événements majeurs (avéré ou probable) illustrent ces effets systémiques : la vague de chaleur et la crue centennale. Comme évoqué en plusieurs points dans ce document, la vague de chaleur, dans sa survenue, peut aujourd'hui et à l'avenir, être directement corrélée à l'évolution du climat. La crue centennale s'inscrit dans le domaine des risques naturels, et le changement climatique (au regard de l'évolution des régimes précipitations, de l'intensité de ces précipitations) peut s'entendre comme un effet exacerbant ce risque naturel.

## 4.1 - Le cas des vagues de chaleur

Illustration 9 : Les impacts systémiques des vagues de chaleur en Île-de-France



Si la vulnérabilité des villes du cœur dense de l'Île-de-France aux vagues de chaleur estivales constitue un enjeu fort de santé publique, elle interroge plus largement tout l'écosystème métropolitain : disponibilité de la ressource en eau, approvisionnement énergétique pour la climatisation, dégradation de la qualité de l'air (ozone) et du confort thermique, altération de la nature en ville, fragilisation du bâti et des infrastructures.

Les impacts sanitaires associés à cet extrême climatique chaud, renforcés par les problématiques d'ozone, généreront des tensions supplémentaires sur les systèmes de santé. Les problématiques de dilatation des rails dans les transports ferroviaires perturberont l'organisation économique (difficulté pour les travailleurs de se déplacer). Ces exemples « sommaires » donnent à voir sur les effets en cascade lors de la survenue d'un aléa et sur le fait que cet aléa concerne de multiples domaines et entraîne des dysfonctionnements à résoudre dans un même pas de temps.

## 4.2 Le cas de la crue centennale

En 1910, Paris et sa région ont connu une crue centennale qui a atteint 8,62m au niveau du pont d'Austerlitz. Depuis, quatre lacs réservoirs ont été construits en amont du bassin de la Seine, complétés, notamment à Paris, par des protections locales. Ces différents ouvrages ne pourront cependant pas empêcher une crue exceptionnelle de se produire et de causer de graves inondations à l'échelle de la métropole francilienne. Les travaux menés par l'Institut ont permis d'en évaluer les conséquences suivantes :

- 578 km<sup>2</sup> de surfaces inondées, soit 4,9 % de l'Île-de-France hors lit mineur ;
- 1 160 000 personnes concernées et 485 000 logements exposés ;
- 740 000 emplois exposés ;
- 50 établissements hospitaliers exposés ;
- Dans le champ scolaire, 62 lycées, 86 collèges et 493 écoles fermés.

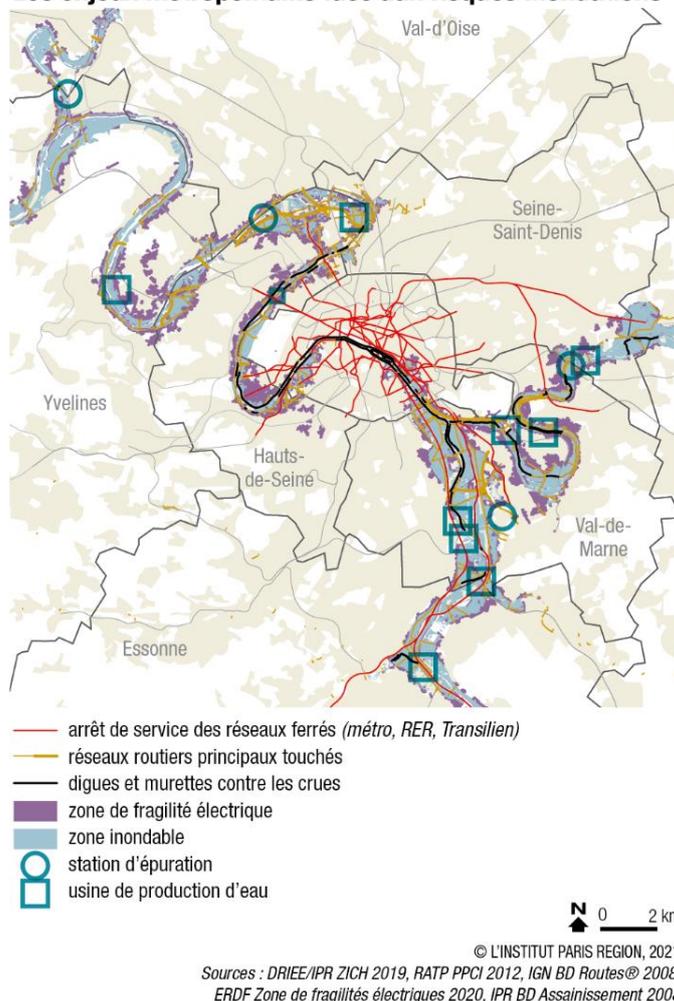
Le coût estimé, pour les dommages, d'une crue centennale serait de l'ordre de 17 à 20 milliards d'euros (et plus du double en tenant compte de la dégradation des réseaux et des pertes d'exploitation des entreprises). Plusieurs dizaines de milliers d'établissements (grandes entreprises, PME, PMI, commerces...) implantés dans la zone inondable verraient leur activité affectée ou interrompue. Au-delà des conséquences directes, l'ensemble du fonctionnement de l'agglomération serait bouleversé, avec des répercussions allant bien au-delà des seules zones inondées et un risque de paralysie partielle pour une durée de plusieurs semaines à plusieurs mois. Les dysfonctionnements affecteraient aussi bien l'approvisionnement en énergie, l'alimentation en eau potable, l'assainissement des eaux usées, les déplacements des personnes ou la logistique. Ils occasionneraient une vaste détérioration des services, a fortiori, quand ces différents réseaux sont interconnectés les uns aux autres (réseau électrique au service du réseau d'eau potable, des transports ferroviaires...).

Cet événement exceptionnel met en relief la spatialisation des impacts associés au risque d'inondation au-delà de la zone directement concernée par la crue. La notion de temporalité est également prégnante car elle renvoie au temps nécessaire pour retrouver un « fonctionnement normal » de la vie socio-économique francilienne.

L'approche systémique s'entend non seulement par la compréhension des différents impacts lors de la survenance d'un événement majeur mais également par le jeu d'acteurs associés et des interactions possibles. Ceci implique une vision partagée des risques subis par le territoire et des niveaux d'acceptabilité associés. Sont en jeu le déploiement d'actions pour prévenir et gérer les risques.

Illustration 10 : Les impacts systémiques d'une inondation majeure en Île-de-France

### Les enjeux métropolitains face aux risques inondations



# Conclusion

Dans cette étude, nous apportons des éléments de réponse aux interrogations sur les vulnérabilités de l'Île-de-France face au changement climatique concernant :

- Les aléas climatiques et événements associés auxquels le territoire francilien est et sera particulièrement sensible et exposé ;
- La nature des impacts associés à la survenance de ces aléas, en différents domaines et à différentes échelles de temps ;
- En première lecture, les effets systémiques pour la région.

Ces éléments de connaissance invitent à considérer l'Île-de-France dans tous ces environnements (milieux urbain, rural et naturel), car l'expression des impacts climatiques est intimement liée aux caractéristiques physiques et socio-économiques des territoires infra.

La question de l'adaptation oblige à l'articulation de différentes échelles territoriales au regard des jeux de compétences associées et des problématiques traitées (exemple de l'eau à l'échelle du bassin versant).

Elle concerne tant la sphère publique que les acteurs socio-économiques. L'adaptation au changement climatique invite à organiser les espaces d'échanges, de décisions pour faciliter cette vision commune des enjeux et organiser l'action.

Les solutions seront de plusieurs ordres : techniques, organisationnelles, sociétales. Les solutions fondées sur la nature y prennent toute leur place. Et concernant ces dernières, l'UICN lors du Congrès mondial de la Nature et de la COP26 ou le GIEC et l'IPBES lors de leur dernier rapport commun, soutiennent que « les crises climatiques et de la perte de biodiversité sont étroitement liées et se renforcent mutuellement ». Il s'agit donc de développer des solutions rapides et ambitieuses, comme par exemple, protéger et restaurer les écosystèmes riches en carbone, changer les pratiques impactant la biodiversité tout en créant des emplois et revenus.

L'adaptation doit se penser aussi dans un souci de ne pas aggraver des inégalités et vulnérabilités déjà existantes, car les populations les plus vulnérables seront probablement celles dont les capacités d'adaptation seront les plus limitées.

La complémentarité des solutions d'adaptation avec l'atténuation est requise pour éviter de tomber dans les travers de la « maladaptation » (comme le recours massif à la climatisation). Selon A. Magnan (2013), cette dernière peut prendre diverses formes : environnementale, socioculturelle ou économique. Elle traduit l'idée de ne pas aggraver une situation dans le futur en menant des actions impactant les milieux naturels de manière irréversible, en entravant les capacités de financement à l'avenir ou en aggravant des inégalités. A. Magnan part du constat « que l'un des grands enjeux de la mise en œuvre de l'adaptation passe par commencer par bien faire ce que l'on fait mal ».

L'adaptation au changement climatique s'exprime aussi dans la temporalité des actions pouvant être déployées : des actions de court/moyen terme (le renforcement des capacités d'accueil dans les hôpitaux) aux actions s'inscrivant sur des décennies (adaptation de la forêt).

Les efforts sur l'atténuation doivent aussi se poursuivre pour rester dans les limites des capacités à faire face.

Développer et consolider les connaissances et données reste plus que jamais nécessaire tant le changement climatique se manifeste par un grand nombre d'aléas, qui ont des répercussions sur presque tous les secteurs. C'est un des piliers de la toute nouvelle stratégie européenne sur l'adaptation au changement climatique. Plus la connaissance initiale du territoire et des effets du changement climatique sera fine, plus les solutions mise en place seront efficaces et éviteront la maladaptation.



**L'INSTITUT PARIS REGION**  
ASSOCIATION LOI 1901.

15, RUE FALGUIÈRE - 75740 PARIS CEDEX 15 - TÉL. : 01 77 49 77 49