



HAL
open science

Changement climatique et transition énergétique en région Île-de-France

Philippe Drobinski, Jordi Badosa, Isabelle Bilger, Benjamin Brigaud, Patricia Crifo, Antoine Esnos, Louis-Gaëtan Giraudet, Marion Gosselin, Mathias Guerineau, Jean-François Guillemoles, et al.

► **To cite this version:**

Philippe Drobinski, Jordi Badosa, Isabelle Bilger, Benjamin Brigaud, Patricia Crifo, et al.. Changement climatique et transition énergétique en région Île-de-France. Groupe régional d'expertise sur le changement climatique et la transition écologique en Île-de-France (GREC Francilien). 2022. hal-03871752

HAL Id: hal-03871752

<https://hal.science/hal-03871752v1>

Submitted on 28 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les carnets

du **GREC** francilien

Changement climatique et transition énergétique en région Île-de-France

Philippe Drobinski • Jordi Badosa • Isabelle Bilger • Benjamin Brigaud
Patricia Crifo • Antoine Esnos • Louis-Gaëtan Giraudet • Marion Gosselin
Mathias Guerineau • Jean-François Guillemoles • Florence Habets
Jean-Pierre Lévy • Julie Mayer • Bertrand Quelin • Florian Raymond
Daniel Suchet • Qiqi Tao • Alexis Tantet • Vincent Viguié



GREC
francilien

Groupe régional d'expertise sur le changement climatique
 et la transition écologique en Île-de-France

• Points clefs •

Alors même que les engagements pris par les États sur les questions climatiques peinent à se concrétiser, les villes et les communes, à l'international comme au niveau local, ont compris le rôle central qu'elles auront à jouer dans la transition énergétique et le levier que cette dernière peut représenter en termes de création d'emplois. D'ailleurs, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte a renforcé le rôle des territoires. Pour la région Île-de-France, les enjeux de la transition énergétique sont importants.

Regroupant 20% de la population française sur 2% du territoire métropolitain, la région, dont la consommation énergétique repose à 67% sur les énergies fossiles, ne produit localement que 10% de son approvisionnement énergétique (7.4% sources renouvelables et récupération d'énergie). Représentant 10% des émissions de gaz à effet de serre nationales, la région Île-de-France doit résoudre l'équation énergétique sous des contraintes importantes comme sa forte densité, sa dépendance énergétique, sa vulnérabilité au changement climatique.

La consommation énergétique en Île-de-France est majoritairement associée aux besoins en chaleur des bâtiments, puis vient ensuite le secteur des transports.

Habitat et déplacements sont deux dimensions complémentaires de la précarité énergétique : les dépenses énergétiques sont réalisées pour le logement (notamment le chauffage) mais également pour les déplacements (notamment les trajets domicile-travail). 7,5% de ménages franciliens sont vulnérables énergétiquement, c'est-à-dire que leurs dépenses énergétiques dépassent 8 % de leurs revenus.

L'Île-de-France est une zone favorable aux énergies renouvelables.

En particulier, la densité de l'Île-de-France et sa géologie sont des atouts majeurs permettant des projets de géothermie importants. La région dispose également d'une ressource forestière importante faisant de la filière bois-énergie la première source d'énergie renouvelable en Île-de-France, cependant encore sous-exploitée moyennant le respect de recommandations encadrant l'intensification potentielle des récoltes de bois pour la production d'énergie en substitution des énergies fossiles. Le potentiel de développement en méthanisation ou en énergie solaire est également important.

En Île-de-France, le changement climatique devrait principalement avoir une incidence sur la consommation énergétique. Le réchauffement régional associée à une augmentation de la fréquence et de la sévérité des canicules devrait diminuer les besoins en chauffage. La climatisation devrait en revanche représenter un poste croissant de la consommation, tendance déjà observable depuis quelques années. L'énergie totale consommée par la climatisation pendant les canicules n'est pas extrêmement élevée, car la durée totale des canicules ne représente que quelques semaines par an. Cependant, durant ces journées, la surconsommation potentielle d'énergie est particulièrement importante, et peut mettre le réseau sous stress. À terme, les ménages pourraient utiliser la climatisation pendant les jours sans canicule, une fois leur maison équipée entraînant une augmentation future des émissions de gaz à effet de serre et une augmentation de la température en ville. Des solutions d'adaptation sont donc à trouver pour limiter globalement l'usage de la climatisation. Le changement climatique devrait en revanche affecter de façon

marginale la production locale d'énergie renouvelable (à l'exception peut-être des centrales thermoélectriques et hydrauliques) et le risque pour le réseau de transport et de distribution d'énergie ne devrait pas évoluer.

Des stratégies d'adaptation bien planifiées doivent aider à limiter la consommation énergétique pour la climatisation et à atténuer ses effets négatifs. Ces actions passent par le développement d'espaces verts, la rénovation des bâtiments, le développement d'éco-quartiers dits « intelligents » et la modification des comportements pour la maîtrise de la demande. Dans un contexte de changement climatique, elles peuvent contribuer à retarder l'usage de la climatisation nécessaire pour assurer le confort thermique et limiter ainsi la consommation énergétique. Cela met en évidence le lien profond entre adaptation et atténuation, et montre que l'adaptation peut jouer un rôle important dans la sécurisation d'une trajectoire à faible émission de carbone à long terme.



Table
des
matières

00

Points
clefs

01

La question
énergétique en île-
de-France

02

Impact du
changement
climatique sur le
système énergétique
francilien

03

Adaptation
systémique

• Préambule •

La région Île-de-France regroupe 20% de la population française sur 2% du territoire métropolitain, représente 10% des émissions de gaz à effet de serre nationales, ne produit que 10% de son approvisionnement énergétique et sa consommation énergétique repose à 67% sur les énergies fossiles.

La région Île-de-France doit résoudre l'équation énergétique sous des contraintes importantes comme sa forte densité, sa dépendance énergétique, sa vulnérabilité au changement climatique.

La région Île-de-France avec ses nombreuses structures (Institut Paris-Région, Réseau francilien d'observation statistique de l'énergie et des gaz à effet de serre...) et directions (Direction régionale et interdépartementale de l'Environnement et de l'Énergie en Île-de-France) possède des données considérables sur la consommation énergétique, les émissions de gaz à effet de serre, la qualité de l'air, la production énergétique, la précarité énergétique...

Par ailleurs, depuis plusieurs années, la région a élaboré des plans d'action avec en 2018 sa stratégie énergie-climat¹ et en 2022 son plan de protection, de résistance et d'adaptation face au changement climatique². Ce rapport dresse un tableau holistique de la question de la transition énergétique en Île-de-France, en s'appuyant sur des sources endogènes (données, publications...) disponibles *via* les agences et directions régionales et exogènes provenant de la littérature scientifique.

Cette publication n'est ni exhaustive, ni prescriptive et vise par un large corpus de sources à compléter et consolider la compréhension des forces, faiblesses, menaces et opportunités de la région face au défi de la transition énergétique.

¹ <https://www.iledefrance.fr/sites/default/files/medias/rapports/RAPCR%202018-016RAP.pdf>

² https://www.iledefrance.fr/sites/default/files/medias/2022/09/CR2022-058_0.pdf

01

La question énergétique
en Île-de-France

En 2018, la consommation énergétique en Île-de-France est majoritairement associée au secteur du bâtiment (66 % dont 38% pour le résidentiel, 28% pour le tertiaire) et sert pour les deux tiers environ, à couvrir les besoins en chaleur des bâtiments (eau chaude et chauffage). Puis

vient ensuite le secteur du transport routier, responsable de 21 % des consommations. Entre 2005 et 2017, la consommation d'énergie en Île-de-France est passée de à 242 à 211 TWh³.

1.1 Consommation énergétique, les bâtiments et les transports en tête

En 2018, la consommation énergétique en Île-de-France est majoritairement associée au secteur du bâtiment (66 % dont 38% pour le résidentiel, 28% pour le tertiaire) et sert pour les deux tiers environ, à couvrir les besoins en chaleur des bâtiments (eau chaude et chauffage). Puis vient ensuite le secteur du transport routier, responsable de 21 % des consommations. Entre 2005 et 2017, la consommation d'énergie en Île-de-France est passée de à 242 à 211 TWh⁴.

Habitat et peuplement en Île-de-France

En 2018, la région Île-de-France comptait 5,8 millions de logements dont 90% de résidences principales. Depuis 1968 le

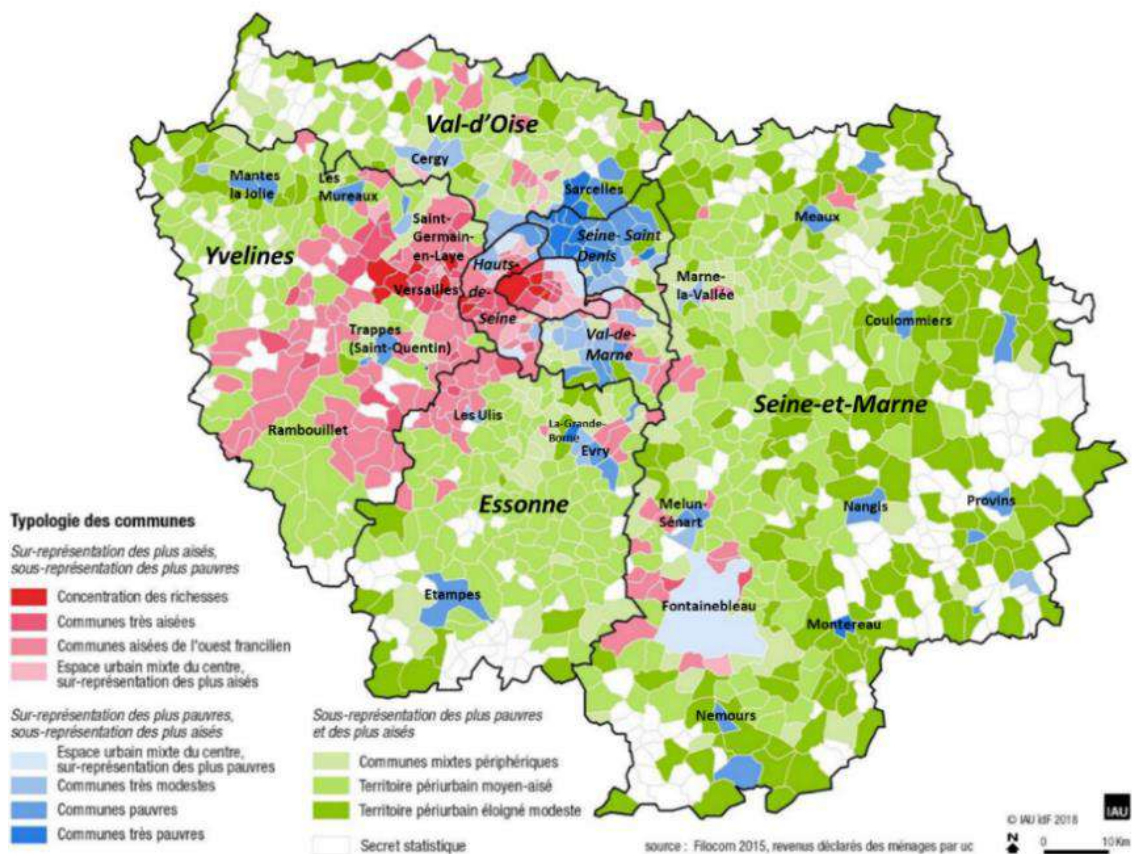
nombre total de logements régional a augmenté de 63%. Cette augmentation est inégale selon les départements, elle est très forte en grande couronne (+135%), moins élevée en petite couronne (+55%) et faible à Paris⁵. Elle est également inégale selon les statuts d'occupation : entre 1988 et 2013, le parc en accession à la propriété s'est accru de 41%, celui du locatif social de 45% pendant que le parc locatif privé diminuait de près de 1%. Cette évolution traduit un fort engouement pour l'accession à la propriété quelle que soit sa catégorie sociale. Il en résulte une distribution très inégale du nombre de logements, de leurs caractéristiques et de leur occupation selon leur localisation, notamment entre les trois couronnes régionales.

³ Données du ROSE : <https://www.roseidf.org/>

⁴ Données du ROSE : <https://www.roseidf.org/>

⁵ Chaput K., Mosny E. (2021), « En Île-de-France, depuis 50 ans, le nombre de logements a plus

fortement augmenté en grande couronne », Insee *Flash Île-de-France*, 59, Septembre.



Géographie sociale des Franciliens selon le profil des revenus des ménages en 2015⁶.

La capitale regroupe 22% des logements régionaux. Du fait de leur ancienneté, les immeubles sont essentiellement collectifs et denses. Les appartements exigus et majoritairement en location sont généralement occupés par des étudiants ou des jeunes couples aisés sans enfants. Les grands appartements en accession à la propriété sont situés dans les arrondissements centraux et Ouest. Les logements sociaux constituent 20% du parc parisien (18% de la région) et se situent majoritairement à la périphérie, notamment dans les 19^e, 20^e et 13^e arrondissements.

Le parc immobilier des trois départements de la première couronne regroupe 37%

des logements régionaux. Leur peuplement traduit en partie la morphologie de l'habitat. Les secteurs les plus populaires se trouvent à l'Est et au Nord de cette couronne composée à 36% de logements sociaux qui constituent 18% de ceux de la région. Le Val-de-Marne est le département le plus mixte, tant du point de vue de la morphologie de l'habitat que de son occupation sociale. Les Hauts-de-Seine est le plus valorisé, mais il n'est pas homogène. Son peuplement est à la fois composé d'habitants de communes où domine l'accession à la propriété, mais également d'une minorité de résidents de communes populaires ayant connu des politiques de logements sociaux soutenues. Reste

⁶ IAU (Institut d'Aménagement et d'Urbanisme) - Île-de-France, 2019 : « Gentrification et paupérisation au cœur de l'Île-de-France : Évolutions 2001-2015 », p. 19.

qu'une grande partie des communes populaires de la première couronne est soumise à une intense gentrification entamée depuis les années 1980, provoquant une augmentation du foncier et des loyers en repoussant les plus fragiles vers l'habitat indigne des communes les plus vulnérables. De plus, les trois quarts du parc de logements collectifs de la région se situent à Paris et en première couronne. Ils constituent d'ailleurs la quasi-totalité des logements de la capitale (99%) et 80% de ceux de la Seine-Saint-Denis, des Hauts-de-Seine et du Val-de-Marne. Les 20% restants relèvent pour l'essentiel d'un parc pavillonnaire ouvrier construit dans l'entre-deux guerres, notamment dans les communes Est et Nord de la proche banlieue et particulièrement en Seine-Saint-Denis.

La seconde couronne regroupe 41% du parc immobilier régional. Elle s'est initialement développée par la construction des Grands Ensembles dans les années 1960 et 1970 devenus aujourd'hui le symbole spatial de la crise sociale. La création des Villes Nouvelles a également contribué à sa densification. Plus récemment, la seconde couronne est devenue le lieu de l'extension métropolitaine par le développement de lotissements de maisons en accession à la propriété⁷. Ce mouvement a d'abord eu pour effet d'englober les Grands Ensembles périphériques dans la métropole qui constituent aujourd'hui l'essentiel des poches de pauvreté disséminées dans la grande couronne. Enfin, l'installation des

couches moyennes et supérieures en seconde couronne ayant provoqué une hausse du foncier, les couches populaires désirent devenir propriétaires se sont vues contraintes d'acheter, à partir des années 1990, des maisons dans les zones les plus lointaines de Paris, peu équipées et moins bien desservies par les transports en commun, parfois aux limites voire à l'intérieur des zones rurales.

Consommation des bâtiments et précarité énergétique

Cette géographie socio-morphologique de l'habitat permet d'interpréter les consommations énergétiques régionales⁸. En effet, 42% de la totalité de la consommation énergétique normale d'Île-de-France (corrigée des variations climatiques) relèvent du secteur résidentiel (89 TWh sur 211) et principalement du chauffage. De plus, les immeubles collectifs consomment moins que les maisons⁹, et les logements construits avant 1975 (date de la première réglementation thermique) sont d'autant plus énergivores qu'ils sont anciens. Il peut donc exister des écarts importants entre la distribution résidentielle et la répartition spatiale des intensités de consommation qui dépendent fortement de la densité du parc immobilier et de ses caractéristiques. Ainsi, alors que les logements collectifs de la ville de Paris constituent près du quart du parc immobilier régional, ils ne pèsent que pour 16% de sa consommation totale. D'après l'enquête nationale logement 2013¹⁰, la première couronne regroupe 37% du parc immobilier régional (72%

⁷ Berger M. (2004), *Les périurbains de Paris. De la ville dense à la métropole éclatée ?*, Paris, CNRS Éditions, Espaces et Milieux

⁸ Les chiffres et les cartographies sur la consommation énergétique, les émissions de Gaz à Effet de Serre et d'Oxyde d'Azote reposent sur un traitement secondaire des données fournies par Airparif en 2018

(<https://www.airparif.asso.fr/surveiller-la-pollution/les-emissions#>).

⁹ Cependant, la réglementation environnementale 2020 (RE2020) donne des seuils de consommation d'énergie primaire par m² plus importants pour les logements collectifs que pour les maisons individuelles (85 vs 75 kWh/m²/an).

¹⁰ Enquête Nationale Logement 2013, INSEE, synthèse dans rapport ADEME-CSTB (2016) intitulée « La précarité énergétique à la lumière de l'Enquête Nationale Logement 2013 – Synthèse », 979-10-297-0692-9 - Novembre 2016.

d'appartements). Elle consomme le tiers de la consommation totale et 36% de la consommation résidentielle régionale. La seconde couronne qui regroupe 40% du parc total représente 40% de la consommation totale mais 48% de la consommation résidentielle (comprenant bois, électricité, gaz, fuel, chaleur urbaine), notamment du fait du poids du parc individuel¹¹.

Les secteurs pavillonnaires (lotissements) de la seconde couronne consomment donc davantage que les quartiers collectifs denses du centre et de la première couronne. Pour autant, ces écarts ne relèvent pas simplement des conceptions des immeubles, mais également des usages du logement¹². Ainsi, le niveau d'équipement, les intensités et les régulations de consommation (notamment du chauffage) sont logiquement proportionnelles à la taille du logement et à celle du ménage qui l'occupe. Du fait de la présence d'enfants, les familles consomment davantage car elles sont plus présentes à leur domicile, chauffent plus de pièces et prennent plus de bains ou de douches. Elles sont également davantage équipées en gros appareils électro-ménagers (four, plaque électrique, lave-linge, lave-vaisselle, sèche-linge, congélateur...) comme en petits (micro-onde, hotte, gazinière...) qu'elles utilisent de façon intensive.

Il existe cependant des exceptions à ces liens entre types de logement, structures familiales, taux d'équipement et niveaux

de consommation énergétique. La première concerne l'existence d'une forte consommation et d'une faible régulation dans l'habitat individuel occupé par des ménages âgés sans enfants, notamment à la grande périphérie de la Seine-et-Marne. Cela s'explique par un effet du cycle de vie, c'est-à-dire qu'il n'existe pas d'adaptation des usages énergétiques aux évolutions de la structure familiale. En d'autres termes, les couples âgés propriétaires d'une maison maintiennent leur comportement énergétique alors que les enfants ont quitté le domicile familial¹³. L'autre exception concerne des familles modestes occupant des appartements qui, malgré la présence d'enfants, régulent fortement leur consommation pour réduire les dépenses.

Les propensions à réguler les consommations sont associées au niveau de précarité énergétique des ménages franciliens. Cette précarité relève tout d'abord des caractéristiques de construction des bâtiments dont le niveau d'isolation impacte l'intensité des consommations et leur coût. Les premières normes thermiques de construction datent de 1975 et la plupart des logements produits avant cette date sont mal isolés. En Île-de-France, les données du Diagnostic de Performance Énergétique (DPE) montrent qu'une résidence principale sur trois est considérée comme très énergivore¹⁴. Si l'on s'attache aux étiquettes énergétiques, 55% des maisons sont en catégorie E, F ou G (énergivore ou très énergivore) pour 44% des logements collectifs privés et 34% du parc

¹¹ Données Airparif de consommations 2018 par secteur et source d'énergie à l'échelle départementale.

¹² Pellegrino M., Lévy J.-P. (2022), « Les comportements énergétiques des ménages franciliens : modélisation et spatialisation », dans Coutard O. et Gallez G. (eds) *Vers une Île-de-France post-carbone ? Freins et leviers d'une transition énergétique régionale*, Paris, Édition de l'Œil d'or, collection Critiques et cités du Labex Futurs Urbains, à paraître.

¹³ Lévy J.-P. et Belaïd F. (2018), "The determinants of domestic energy consumption in France: Energy modes, habitat, households and life cycles", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, n°81.

¹⁴ Allard T., Bayardin V., Bidoux P.-E., Lebeau F., Clovis H., Monier P., Le Carrer M., Pagès E. (2018), « Se chauffer en Île-de-France : la petite taille des logements atténue le coût d'une performance énergétique médiocre », *Insee Analyses*, 92, Décembre.

social qui est plus récent¹⁵. Du point de vue de la répartition spatiale, les « passoires énergétiques » se situent donc d'une part à Paris, dont le parc est très ancien, et d'autre part aux franges de la seconde couronne dans les secteurs dont le parc individuel ancien est de mauvaise qualité (Est de la Seine-et-Marne et Sud de l'Essonne notamment). Cependant, la précarité énergétique ne relève pas directement des caractéristiques du bâtiment occupé. Ainsi, selon la loi sur la Transition Énergétique pour une Croissance Verte, les ménages sont en situation de précarité énergétique lorsque leurs dépenses énergétiques dépassent 8% de leurs revenus (taux d'effort énergétique). Or, Paris, les Hauts-de-Seine, les Yvelines, l'Essonne et la Seine-et-Marne se classent parmi les dix départements les plus riches de France métropolitaine¹⁶. À l'opposé, la Seine-Saint-Denis est le département le plus pauvre. Il n'est donc pas surprenant de constater que la part de ménages franciliens en situation de précarité énergétique (7,5%) est inférieure de moitié à celle du niveau national¹⁷, même si une grande part des logements sont des « passoires énergétiques ». Néanmoins, comme pour

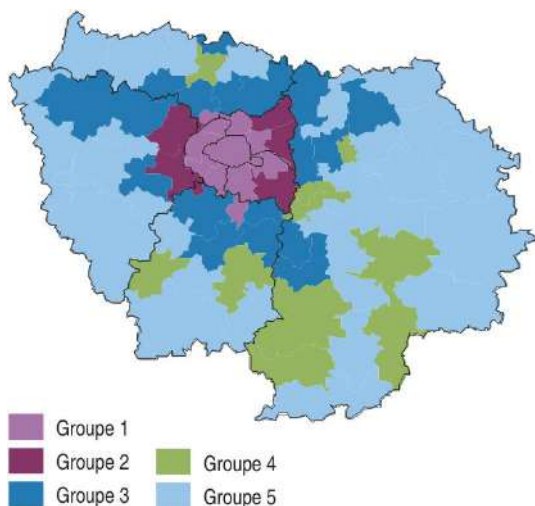
la consommation énergétique, elle varie sensiblement selon les départements : entre 5,3% pour les Hauts-de-Seine à près du double en Seine-et-Marne (9,9%) et en Seine-Saint-Denis (9,3%). Pour ce dernier, la pauvreté des habitants explique en grande partie ce taux. En revanche, en Seine-et-Marne il tient essentiellement à la qualité du logement : le parc immobilier des franges Est et Sud du département (parfois aux limites ou dans l'espace rural) est majoritairement composé de maisons dont la plupart sont de grande taille, construites avant 1975 (parfois avant 1948). Elles sont souvent mal isolées et, de surcroît, chauffées au fioul dont le coût est élevé. Leurs occupants sont majoritairement des ménages âgés, seuls ou en couple, stabilisés dans leur logement après la décohabitation des enfants¹⁸. Au final, la précarité énergétique ne relève pas uniquement de la qualité des logements (Paris, Hauts-de-Seine), pas plus que du seul revenu (Seine-et-Marne), même si les ménages pauvres occupant des « passoires énergétiques » sont évidemment ceux dans la situation de précarité énergétique la plus extrême (Seine-Saint-Denis).

¹⁵ SRCAE IdF (Schéma Régional Climat, Air, Énergie d'Île-de-France) (2012), document élaboré par les Services déconcentrés de l'État et la Région Île-de-France, approuvé le 14 décembre 2012 par le Préfet de la Région Île-de-France et la Présidence de la Région Île-de-France.

¹⁶ Estimé à partir des revenus médians disponibles par unité de consommation (INSEE, 2022).

¹⁷ Allard T., Bayardin V., Bidoux P.-E., Lebeauupin F., Clovis H., Monier P., Le Carrer M., Pagès E. (2018), « Se chauffer en Île-de-France : la petite taille des logements atténue le coût d'une performance énergétique médiocre », *Insee Analyses*, 92, Décembre.

¹⁸ Le Carrer M. (2019), *Diagnostic régional sur les tissus pavillonnaires franciliens*, Repères, 11, Paris, DRIHL.



Ménages vulnérables : cinq groupes de territoires¹⁹.

C'est ce que montre la carte de la répartition des profils de ménages en situation de précarité énergétique selon les caractéristiques du logement et des ménages. Dans le centre de l'agglomération (groupe 1) ce sont des ménages pauvres occupant de petits logements collectifs anciens. Aux franges de ces territoires (groupe 2), ce sont de jeunes ménages occupant des logements collectifs construits après-guerre mais avant 1975. La vulnérabilité d'une partie des ménages résidant en seconde couronne (groupe 3) est provoquée par leur situation familiale (familles nombreuses ou monoparentales). Les ménages du groupe 5 sont les ménages vulnérables aux revenus les plus élevés d'Île-de-France. Il s'agit de ménages âgés, seuls ou en couples, sans enfants occupant de grandes maisons anciennes (souvent construites avant 1948). Quant aux ménages du groupe 4, ils sont urbains ou ruraux et ont des profils intermédiaires à l'ensemble des autres groupes, tant au niveau du logement que de leurs caractéristiques socio-démographiques.

¹⁹ Allard T., Bayardin V., Bidoux P.-E., Lebeauupin F., Clovis H., Monier P., Le Carrer M., Pagès E. (2018), « Se chauffer en Île-de-France : la petite taille des logements atténue le coût d'une performance énergétique médiocre », *Insee Analyses*, 92, Décembre.

Consommation dans les transports

La précarisation de l'emploi dans la société salariale a conduit à l'accession à la propriété dans toutes les couches sociales à l'exception des plus pauvres²⁰. De ce fait, le rapprochement du lieu d'emploi n'est plus la cause principale de la localisation résidentielle des ménages. Les facteurs liés au logement, et notamment le désir d'accéder à la propriété, sont devenus primordiaux dans les choix résidentiels. L'autonomisation de la sphère résidentielle par rapport à l'emploi est la principale cause du desserrement urbain de la région et de sa périurbanisation. Celle-ci implique le recours à la voiture pour accéder au travail et aux ressources urbaines centrales.

Le nombre de déplacements et les tendances modales varient donc en fonction des zones d'habitations. Les déplacements se font majoritairement en dehors de Paris, à près de 70% : ils se font en premier lieu à l'intérieur de la grande couronne (15M de déplacements y sont réalisés chaque jour), puis en petite couronne (11,9M). Pourtant, 80% des déplacements sont intra-départementaux, alors que les trajets entre Paris et la banlieue ne représentent que 10% des déplacements quotidiens. La grande couronne est dominée par les déplacements en voiture alors que la marche est majoritaire en petite couronne et à Paris. 13,2 M de déplacements en voiture particulière ont lieu en dehors de Paris, c'est-à-dire 9 déplacements en voiture sur 10, principalement en grande couronne (8,5M). Les déplacements en voiture dans Paris ne représentent qu'environ 2,5% (0,4M) des déplacements et les

²⁰ Lévy J.-P. (2009) « Mobilité urbaine : des pratiques sociales aux évolutions territoriales », dans Dureau F. et M.-A. Hily, *Les mondes de la mobilité*, Rennes, PUR, pp-107-136.

trajets radiaux banlieue-Paris (0,9M), 6%²¹. Contrairement au centre et à la première couronne bien desservis par les transports en commun, la principale

source de consommation énergétique et le principal émetteur de GES en seconde couronne sont le transport routier (35%) loin devant le résidentiel (24%).

1.2 Un territoire de déploiement des énergies renouvelables et de récupération

Les énergies renouvelables et la récupération d'énergie représentent moins de 8% de l'énergie finale consommée sur le territoire francilien²². Les principales sources renouvelables en Île-de-France sont actuellement les déchets pour la production de chaleur et d'électricité, la biomasse pour le chauffage domestique et la géothermie profonde²³. Le potentiel maximum installable²⁴ pour la production électrique est d'environ 0,1 GW pour les ordures ménagères 4,5 GW pour l'éolien, 1,5 GW pour les fermes photovoltaïques et 27,2 GW pour les installations photovoltaïques sur toiture²⁵.

Chauffage

Le besoin d'énergie thermique est en Île-de-France (chaleur, eau chaude sanitaire et climatisation) d'environ 90 TWh. En 2018-2019, la production de chaleur dans les réseaux de chaleur est couverte à 51% par des énergies renouvelables du terri-

toire francilien (7,4 TWh dont 27% de chaleur fatale, 11% par la géothermie, 10% par la biomasse). Les énergies renouvelables et de récupération représentent 40% de la production de chaleur individuelle (soit 5,8 TWh provenant essentiellement du solaire thermique, des pompes à chaleur et du bois individuel)^{26,27}. En 2020, l'Île-de-France compte plus de 120 chaufferies biomasse, 50 installations de géothermie en exploitation, 30 installations de méthanisation dont 119 injectent le biogaz directement au réseau de gaz.

En Île-de-France, deux grands types de géothermie, utilisant différentes technologies d'exploitation, sont actuellement en service : la géothermie de très basse énergie (ou de surface) exploitant la ressource superficielle du sous-sol (inférieur à 200 m de profondeur) et la géothermie de basse énergie (ou profonde) exploitant l'eau

²¹ OMNIL & IDF Mobilités, La nouvelle enquête globale transport, Assises de la mobilité en Île-de-France (2019).

²²

https://www.roseidf.org/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Event/20210608_ROSE_Webinaire_Inventaire_Prod_Energif.pdf

²³ <https://www.driat.ile-de-france.developpement-durable.gouv.fr/energies-renouvelables-et-de-recuperation-a3432.html>

²⁴ Il intègre l'évaluation préliminaire du potentiel en fonction de la ressource naturelle disponible et prend en compte contraintes topologiques et sociétales.

²⁵ <https://librairie.ademe.fr/recherche-et-innovation/2881-mix-electrique-100-renouvelable-analyses-et-optimisations.html>

²⁶ https://www.arec-idf.fr/fileadmin/DataStorageKit/AREC/Etudes/pdf/bilan_consommations_productions_2_.pdf

²⁷ Les estimations de 2020 fournies par l'AREC donnent une production de chaleur dans les réseaux de chaleur couverte à 52,6% par des énergies renouvelables du territoire francilien (soit 7,9 TWh dont 28% de chaleur fatale et issue des déchets, 11% par la géothermie, 7% par la biomasse). La production de chaleur individuelle est environ 8 TWh provenant essentiellement du solaire thermique, des pompes à chaleur et du bois individuel.

géothermale entre 500 et 2500 m de profondeur^{28,29}. La géothermie de très basse énergie utilise des ressources thermiques inférieures à 30°C, nécessitant l'emploi d'un système de pompe à chaleur (PAC) pour fournir de la chaleur ou de la fraîcheur. La climatisation des bâtiments par géothermie peut également s'effectuer sans PAC, par de simples échanges thermiques qui apportent directement la fraîcheur du sous-sol. En Île-de-France, près d'un millier d'installations de surface sont dénombrées. Elles peuvent équiper des maisons individuelles ou des logements collectifs, bâtiments tertiaires (école, hôpitaux, mairies, entreprises, supermarché...) ou encore des piscines³⁰. En 2018, la puissance installée de PAC pour particulier en France est estimée à 36 MW, représentant une production annuelle de 65 TWh, mais seule 1% des ventes a été réalisé en Île-de-France³¹. La ressource géothermique de très basse énergie exploitée par PAC pour des besoins individuels, collectifs et tertiaires est très largement sous-utilisée en Île-de-France et couvre une part négligeable de l'énergie nécessaire en chaleur ou production de fraîcheur de la région

(90 TWh). Elle pourrait couvrir théoriquement plus de la moitié de ces besoins³².

La géothermie de basse énergie utilise la ressource thermique du sous-sol, c'est-à-dire l'eau géothermale. Elle est exploitée dans le réseau de chaleur alimentant des bâtiments pour un chauffage collectif. La région Île-de-France dispose d'exceptionnelles ressources en énergie géothermique de basse énergie, exploitées dans deux aquifères principaux : les calcaires du Jurassique moyen, dits du « Dogger » et les sables ou grès du Crétacé inférieur^{33,34,35}. Cinquante-quatre forages géothermiques sont actifs en 2022 dans ces deux principaux réservoirs. La région Île-de-France concentre la plus forte densité au monde d'unités de production géothermique de basse énergie alimentant des réseaux de chaleur³⁶. Une unité de production conventionnelle exploitant l'aquifère du « Dogger » produit annuellement une énergie géothermale d'environ 40 GWh, assurant le chauffage de 5000 logements, l'ensemble des unités assure un chauffage collectif pour 230 000 logements dans la

²⁸ M. Le Nir, S. Bézègues, C. Ranquet, A. L. Szymanski, G. Darricau, and J. Lemale, « Ressources géothermiques du département de l'Essonne (91) », Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans, Rapport détaillé BRGM/RP-56966-FR, 2009.

²⁹ M. Analy, A. Bel, M. Bouzit, and M. Le Brun, « Évaluation des possibilités de développement de la géothermie sur le territoire de l'opération d'intérêt national de l'ÉPADESA », Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Orléans, Rapport final BRGM/RP-60953-FR, 2012.

³⁰ Métropole Grand Paris, ADEME, and BRGM, « Géothermie de surface Une énergie performante et durable adaptée à la Métropole du Grand Paris : 7 bonnes raisons de choisir la géothermie ». [Online]. Available:

<https://www.metropolegrandparis.fr/fr/Geothermie>

³¹ afpg, « La géothermie en France étude de filière 2019 », Association Française des professionnels de la géothermie. [Online]. Available:

http://www.afpg.asso.fr/wp-content/uploads/2019/09/AFPG_etude_marche_2019_BAT.pdf

³² BRGM, « Grand Paris : le potentiel de la

géothermie de surface cartographié », Jan. 27, 2022. <https://www.brgm.fr/fr/actualite/communiquer-presse/grand-paris-potentiel-geothermie-surface-cartographie> (accessed Mar. 05, 2022).

³³ S. Lopez *et al.*, « 40 years of Dogger aquifer management in Île-de-France, Paris Basin, France », *Geothermics*, vol. 39, no. 4, pp. 339–356, Dec. 2010, <https://doi:10.1016/j.geothermics.2010.09.005>

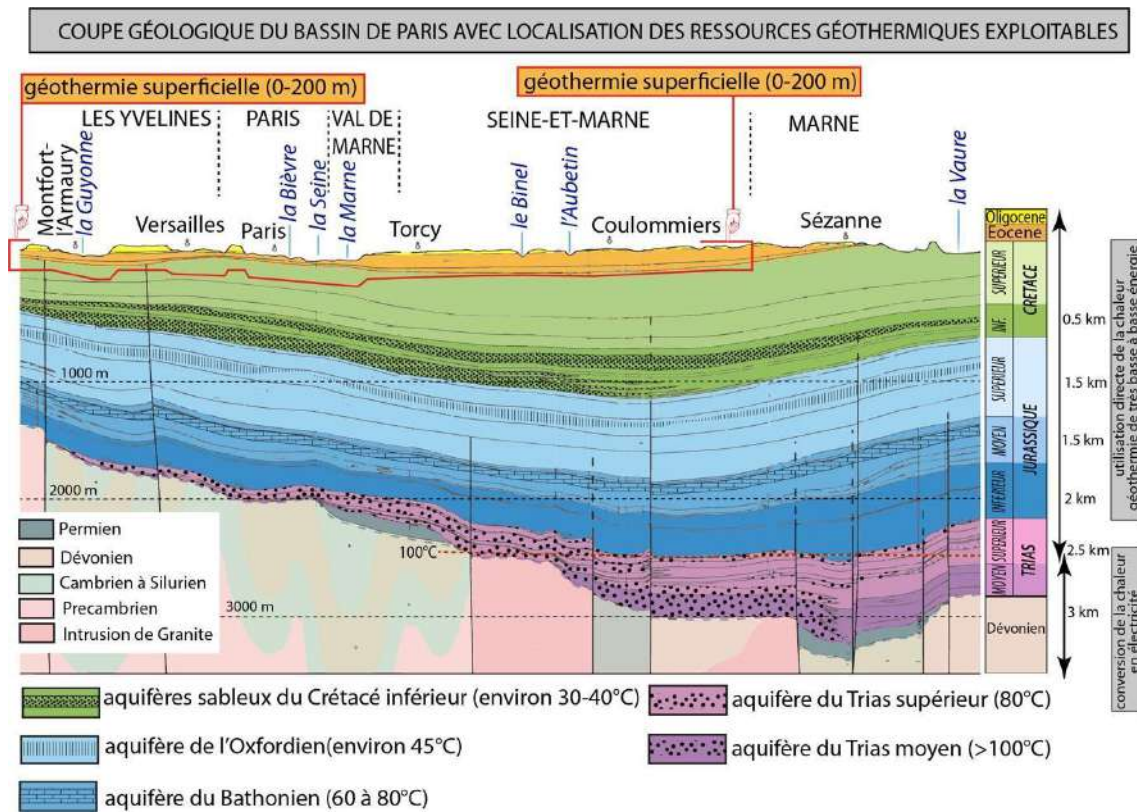
³⁴ A. Bel, A. Poux, O. Goyénèche, D. Allier, G. Darricau, and J. Lemale, « Étude préalable à l'élaboration du schéma de développement de la géothermie en Île-de-France », Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Rapport final RP-60615-FR, 2012.

³⁵ Les calcaires du Jurassique moyen, dits du « Dogger » sont situés entre 1,4 et 2 km de profondeur avec une gamme de température de 55-80°C et les sables ou grès du Crétacé inférieur sont situés entre 0,5 km et 0,8 km de profondeur à 30-38°C

³⁶ J. W. Lund and A. N. Toth, "Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review", *Geothermics*, vol. 90, p. 101915, Feb. 2021, <https://doi:10.1016/j.geothermics.2020.101915>

région. Avec 48 unités de chauffage géothermique produisant son eau géothermale, le « Dogger » est le principal aquifère exploité en région parisienne, et l'un des plus productifs au monde avec 1,7 TWh d'énergie produite par an, soit 11%

de l'énergie totale (15TWh)³⁷ délivrée par la centaine de réseaux de chaleur en région Île-de-France. Près de la moitié de la chaleur produite dans les réseaux de chaleur est d'origine fossile³⁸.



Coupe géologique du Bassin de Paris³⁹ avec les principaux niveaux dont l'eau géothermale est exploitable par doublets géothermiques.

³⁷ FEDENE, « Les chiffres clés des réseaux de chaleur 2017 ». 2018. [Online]. Available: <https://www.fedene.fr/les-chiffres-cles-des-reseaux-de-chaleur-et-de-froid-donnees-2017/>

³⁸ S. Beck, O. Ribon, and N. Riedinger, « Chiffres clés de l'énergie Édition 2021 », Ministère de la transition écologique.

³⁹ J.-P. Gély and F. Hanot, « Coupe géologique du Bassin parisien et du Fossé rhénan », in *Le Bassin parisien, un nouveau regard sur la géologie*, Association des Géologues du Bassin de Paris., vol. 9, Paris : Association des Géologues du Bassin de Paris, 2014, p. 1 plate.

L'aquifère « Dogger » étant exploité de manière intensive dans certaines parties de la région, l'objectif d'augmenter la géothermie de basse énergie alimentant les réseaux de chaleur d'un facteur 3⁴⁰ implique de cibler et prospecter de nouvelles zones autour de Paris, notamment dans sa partie ouest (Hauts-de-Seine, Yvelines), ou d'autres aquifères.

Le retour d'expérience des opérations récentes a soulevé des verrous techniques et/ou scientifiques à lever pour une exploitation plus efficace et durable des doublets géothermiques, tels que (1) le risque élevé mais non quantifié de faible perméabilité / faible épaisseur du réservoir, (2) le risque d'interférence entre systèmes géothermiques ou (3) le risque de percée thermique précoce⁴¹.

Le bois est également une source d'énergie de chauffage importante en Île-de-France⁴². Depuis une quinzaine d'années, le bois-énergie est en effet promu comme source d'énergie renouvelable en substitution aux combustibles fossiles, au titre des stratégies pour limiter les émissions de gaz à effet de serre, notamment le CO₂.

En moyenne chaque année, plus de 2 millions de m³ de bois sont consommés pour se chauffer en Île-de-France. Parmi ces derniers, environ 360 000 m³ de plaquettes forestières, destinées principalement aux chaufferies collectives et industrielles, dont 130 000 m³ proviennent des forêts franciliennes sont utilisés en chauffage biomasse. Le reste du bois énergie consommé est utilisé pour le chauffage des particuliers : il s'agit de 57 000 t de granulés non-franciliens et de 1,8 million de m³ de bois bûche, dont le quart vient d'Île-de-France.

Plus de la moitié du bois énergie consommé en Île-de-France provient des régions avoisinantes ou de territoires plus lointains. Concernant la ressource en Île-de-France, 742 000 m³ de bois sont prélevés chaque année, ce qui correspond à 53% de la production biologique de la forêt. La région dispose donc d'une ressource forestière importante et sous-exploitée, notamment du fait de sa très faible activité industrielle de première transformation, dont les produits connexes (chutes, sciures, écorces...) pourraient être utilisés comme combustible.

⁴⁰ V. Péresse, *Stratégie Énergie-Climat de la Région Île-De-France*, vol. Rapport n°CR 2018-016. 2018.

⁴¹ Le fluide, lorsqu'il est réinjecté dans l'aquifère est plus froid. La réinjection a donc pour conséquence de créer une bulle froide aux alentours du puits de

réinjection. Une croissance de cette bulle froide entraîne le refroidissement de la ressource ce qui peut remettre en question son exploitation à terme.

⁴² <http://www.fibois-idf.fr/les-chiffres-cles-du-bois-energie-en-ile-de-france>



1^{ère}

source de production d'énergie renouvelable (6TWh en 2017)



119

chaufferies collectives et industrielles en Île-de-France



2,2 M

de m³ de bois consommés pour la production de chaleur en Île-de-France



1 / 6

1 francilien sur 6 utilise du bois de chauffage



742 000

m³ de bois prélevés chaque année en Île-de-France



915 000

logements se chauffent au bois énergie en Île-de-France (individuel et collectif)

dont 457 000 m³ de bois bûche & 130 000 m³ de plaquettes forestières*

Schéma régional biomasse, programme régional Forêt-Bois, ROSE, Ipsos/Préfecture d'Île-de-France - Enquête sur le chauffage au bois – Octobre 2020. *La plaquette forestière est le résultat du broyage des restes des arbres qui sont inutilisables pour l'exploitation forestière, hormis pour le bois-énergie.

Les entreprises spécialisées dans la récolte de bois-énergie pour la production de plaquettes forestières ont adopté des systèmes d'exploitation mécanisée permettant le prélèvement de toutes les parties de l'arbre, jusqu'aux plus petits branchages (appelés « menus bois ») ou aux souches, qui traditionnellement étaient

maintenus en forêt (et appelés « rémanents »). Ce type d'exploitation conduit à des exports accrus de biomasse, incluant les menus bois et le feuillage, particulièrement riches en éléments minéraux⁴³ dont le retour au sol et la dégradation par les micro-organismes du sol sont cruciaux pour la fertilité des sols. Leur exploitation

⁴³ Landmann, G., Augusto, L., Pousse, N., Gosselin, M., Cacot, E. et al., 2018. *Recommandations pour une récolte durable de biomasse forestière pour*

l'énergie – Focus sur les menus bois et les souches, Ademe – Angers, Ecofor – Paris, 43 p. + annexes.

répétée pourrait entraîner, à terme, une baisse de fertilité des sols^{44,45}. Les effets de cet export supplémentaire sur la fertilité des sols forestiers dépendent des quantités d'éléments minéraux exportés par rapport aux stocks d'éléments minéraux préexistants dans le sol⁴⁶. Ils sont donc d'autant plus marqués et mettront d'autant plus de temps à s'estomper que la quantité totale de biomasse coupée est grande et inclut une forte proportion de petites tiges, de branches et de feuilles et que le sol de la parcelle est chimiquement pauvre. D'après l'indicateur de terrain de sensibilité des écosystèmes forestiers à l'export accrue de biomasse INSENSE et les observations de sols réalisées sur plus de 1000 points par l'IGN, la moitié des sols forestiers de la région sont considérés comme fortement sensibles, seuls 10% étant faiblement sensibles⁴⁷. Outre les impacts sur la teneur minérale des sols, la circulation répétée des engins pour abattre et sortir les arbres avec leur houppier risquent aussi d'entraîner un tassement du sol et un raclage du parterre de coupe avec des impacts potentiels sur la biodiversité dans le sol et la croissance des arbres.

Enfin, l'export de menus bois, de souches, ou la fragmentation des bois morts préexistants par la circulation des engins risquent de modifier à court et moyen termes la quantité et le profil de bois mort, qui est un support crucial de biodiversité forestière – un quart des espèces forestières en dépendent^{48,49}.

Les impacts à long terme et à l'échelle du paysage de l'exploitation forestière sont mal connus. Il importe donc de suivre les effets de ces pratiques sur la biodiversité et, par précaution, de raisonner la récolte de ces compartiments^{50,51}. En Île-de-France, compte-tenu des connaissances disponibles et dans un objectif de préservation et de valorisation de la biodiversité, des sols et de la ressource en eau, le Programme Régional de la Forêt et du Bois (PRFB) ne fixe pas d'objectif de mobilisation supplémentaire des menus bois... tout en soulignant que dans l'état actuel des techniques d'exploitation du bois énergie pour la production de plaquette forestière, cette catégorie de bois est incluse dans les objectifs de mobilisation du bois énergie et bois industrie⁵².

⁴⁴ Nord-Larsen, T., 2002. "Stand and site productivity response following whole-tree harvesting in early thinnings of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.)". *Biomass and Bioenergy* 23, 1 - 12.

⁴⁵ Stokland, Siitonen, Jonsson, B.G., 2012. *Biodiversity in deadwood*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 524 p. Tamminen, P., Saarsalmi, A., Smolander, A., 2012. "Effects of logging residue harvest in thinnings on amounts of soil carbon and nutrients in Scots pine and Norway spruce stands". *Forest Ecology and Management* 263, 31–38.

⁴⁶ Adams, M.B., Burger, J.A., Jenkins, A.B., Zelazny, L., 2000. Impact of harvesting and atmospheric pollution on nutrient depletion of eastern US hardwood forests. *Forest Ecology and Management* 138, 301-319.

⁴⁷ Augusto, L., Pousse, N., Legout, A., Seynave I., Jabiol, B., Levillain, J., 2018. *INSENSE : Indicateurs de SENSibilité des Écosystèmes forestiers soumis à une récolte accrue de biomasse. Livret terrain de diagnostic*. [Rapport de recherche] Bordeaux Science Agro ; ONF. fihal-03023023.

⁴⁸ Stokland, Siitonen, Jonsson, B.G., 2012. *Biodiversity in deadwood*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 524 p. Tamminen, P.,

Saarsalmi, A., Smolander, A., 2012. "Effects of logging residue harvest in thinnings on amounts of soil carbon and nutrients in Scots pine and Norway spruce stands." *Forest Ecology and Management* 263, 31–38.

⁴⁹ Bouget, C., Brustel, H., Zagatti, P., Noblecourt, T. (2019). Catalogue commenté et illustré des coléoptères saproxyliques de France. Éditions MNHN.

⁵⁰ Landmann, G., Augusto, L., Pousse, N., Gosselin, M., Cacot, E. *et al.*, 2018. Recommandations pour une récolte durable de biomasse forestière pour l'énergie – Focus sur les menus bois et les souches, Ademe – Angers, Ecofor – Paris, 43 p. + annexes.

⁵¹ Departe, A. (Ed.), 2020. *Récolte durable de bois pour la production de plaquettes forestières : enjeux et bonnes pratiques : focus sur la préservation des sols*. ADEME, Angers. www.ADEME.fr/mediatheque
⁵² <https://driaaf.ile-de-france.agriculture.gouv.fr/le-programme-regional-de-la-foret>

Des forêts domaniales comme celle de Fontainebleau proscrivent aussi la récolte de rémanents ou d'arbres entiers, pour les mêmes raisons. Le PRFB invite aussi à structurer la part de filière locale bois-

bûche, dont les impacts environnementaux sont moindres, pour la rendre plus performante sur les plans énergétique, économique et environnemental.

ÉVITER de généraliser les récoltes arbres-entiers ou de menus bois à toutes les coupes.

LAISSER une part de menus bois au sol et espacer les récoltes destinées à la production de plaquettes.

MAINTENIR à l'échelle du paysage, des secteurs riches en menus bois mort, quitte à prélever plus ailleurs, plutôt que d'en appauvrir partout la quantité.

ÉPARGNER les zones d'intérêt pour la biodiversité : zones cœurs de parcs nationaux, sites dédiés à la protection d'espèces dépendant du bois mort (réserves naturelles, arrêtés préfectoraux de protection de biotopes...), zones de protection spéciales et zones spéciales de conservation, îlots de vieux bois, espaces naturels sensibles, zones centrales de réserves de biosphère, Znieff de type 1 et Zico...

RÉCOLTER les rémanents en priorité dans des peuplements présentant des risques phytosanitaires.

RÉSERVER la récolte de souches aux cas particuliers de récoltes sanitaires, en présence de pourritures racinaires.

MAINTENIR une proportion de souches (10 % au moins) non récoltées, en l'absence de risques phytosanitaires.

MAINTENIR les pièces de bois mort préexistantes (chandelles, gros bois mort au sol, souches), sauf cas de force majeure lié à la sécurité ou aux risques sanitaires.

LAISSER le bois mort des chandelles, qui seraient éventuellement abattues pour raison de sécurité, se décomposer sur place.

Recommandations pratiques pour la filière bois-énergie encadrant l'intensification potentielle des récoltes de bois pour la production d'énergie en substitution des énergies fossiles.

Électricité

La production électrique régionale se répartit entre méthanisation et éolien. En 2020, 9 installations de méthanisation produisent de l'électricité. Seulement moins de 10 parcs éoliens sont en exploitation, en Essonne, Seine-et-Marne et dans les Yvelines, totalisant près de 40 éoliennes

pour une puissance installée de plus de 100 MW. L'utilisation des énergies renouvelables peu émettrices est marginale en Île-de-France, à cause notamment de la densité et du taux d'urbanisation laissent peu de place au développement des parcs éoliens et photovoltaïques (PV)⁵³.

⁵³ Boussad N., Chaput K., Tissot I (2022), *Objectifs du développement durable : regards sur l'Île-de-France*, Paris, Insee Dossier Île-de-France, Janvier.

Le solaire photovoltaïque permet la conversion directe de la lumière du Soleil en électricité, à la différence du solaire thermique, qui produit de l'eau chaude. Les panneaux solaires PV commerciaux ont des rendements typiques de 20% dans les conditions normales d'opération⁵⁴. Avec un facteur de charge⁵⁵ régionale de 10% (contre 14% en moyenne nationale), une installation photovoltaïque produit de l'ordre de 200 kWh par an et par m² de panneaux déployés, ou 1 MWh par an et par kWc⁵⁶ installé - sans considération d'ombrage par l'environnement, ni des contraintes d'intégration paysagère. Sur les 12 000 km² de l'Île-de-France, 20% sont déjà artificialisés, offrant des perspectives pour un déploiement important du photovoltaïque sans artificialisation supplémentaire. La surface disponible en toiture représente ainsi 140 millions de m² sur la région – soit un gisement d'environ 20 TWh

de production électrique par an⁵⁷. Cette surface est répartie entre Paris (10%), la petite couronne (30%) et la grande couronne (60%). Elle est très majoritairement liée à des toits de moyenne surface (entre 20 m² et 5000 m²), et portée par des habitats individuels (34% des surfaces) ou collectif (18%) ainsi que des bâtiments tertiaires ou commerciaux (26%)^{58,59}. On compte par ailleurs plus de 42 millions de m² de friches en Île de France – soit un gisement d'environ 5 TWh par an⁶⁰. Pourtant, seule une petite moitié des projets d'installation au sol en Île de France prévoient d'utiliser des sites dégradés. Des innovations testées depuis 2021 en Isère de photovoltaïque linéaire vertical pourraient également valoriser du foncier déjà mobilisé, tout en préservant ses autres usages⁶¹.

⁵⁴ <https://solairepv.fr/>

⁵⁵ Le facteur de charge est le rapport entre l'énergie effectivement produite et l'énergie que l'unité de production d'énergie aurait pu générer à puissance nominale pendant un temps donné.

⁵⁶ Le watt-crête (Wc) est l'unité de mesure de puissance d'un panneau solaire. Il correspond à la délivrance d'une puissance électrique de 1 Watt, sous un ensoleillement de 1000 W m⁻² et une température de 25°C.

⁵⁷ AREC (Institut Paris Région, ENERPLAN), ADEME

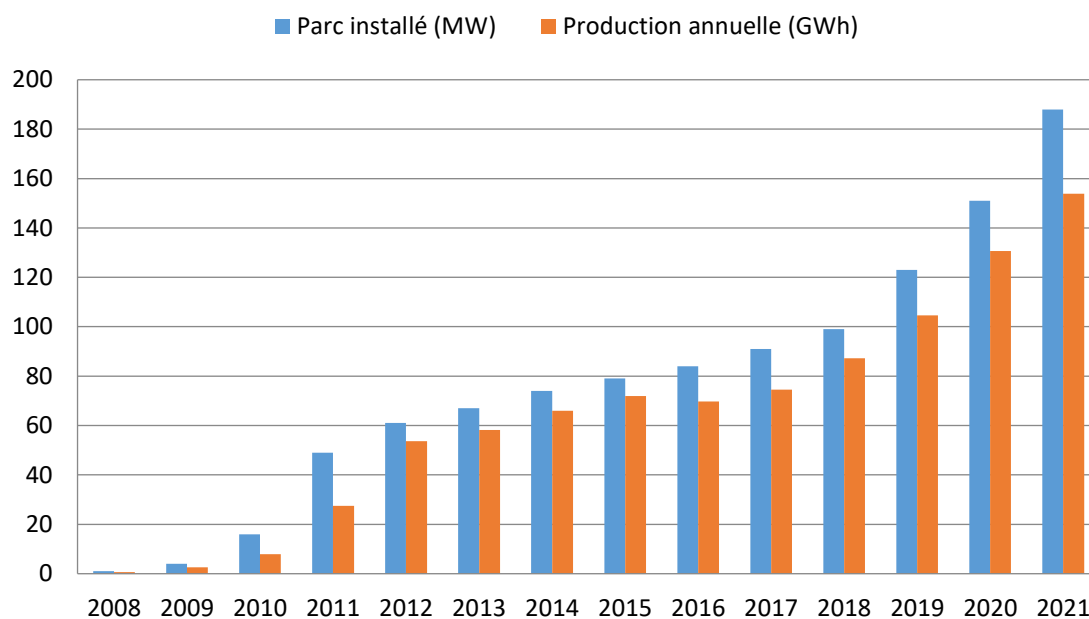
⁵⁸ <https://monpotentielsolaire.smartidf.services/fr>

⁵⁹ https://cartoviz.institutparisregion.fr/?id_appli=psidf

⁶⁰ Institut Paris Région,

<https://cartofriches.cerema.fr/cartofriches/>

⁶¹ Deboutte G., 2021 : CNR innove avec un premier démonstrateur PV linéaire bifacial vertical. PV magazine. <https://www.pv-magazine.fr/2021/12/10/cnr-innove-avec-un-premier-demonstrateur-pv-lineaire-bifacial-vertical/>



Capacités photovoltaïques installées (bleu) et production annuelle en Île-de-France.

En 2021, le parc photovoltaïque installé en Île-de-France représente 190 MWc, et a produit 156 GWh sur l'année – soit 0.2% de la consommation électrique de la région, contre 3% en moyenne nationale. Ce parc est le plus petit parc régional en valeur absolue, mais surclasse quatre régions en valeur relative à la surface du territoire (16 kW/km²). On compte environ 20 000 installations dans la région. Les installations de faible puissance (moins de 36 kVA), diffuses, représentent l'immense majorité en nombre (19 000), et environ 40% de la production. Les installations de haute puissance sont peu nombreuses, mais produisent à peu près le même volume d'énergie. Seule une fraction des installations permet l'autoconsommation (26 MWc, dont 3 MWc seulement en autoconsommation sans injection dans le réseau du surplus de production)⁶².

L'investissement représente environ 80% du coût complet de production, et représente en moyenne entre 800€/kWc (installation au sol) et 1100€/kWc (toitures, ombrières). Le faible facteur de charge régional impacte la rentabilité des projets, mais il est compensé par un coût de raccordement relativement faible par rapport à d'autres régions (quote-part de raccordement 1,58 €/kWc pour un coût total de raccordement d'environ 90€/kWc)⁶³. Les projets actuellement en cours de développement représentent une capacité supplémentaire de 130 MWc – environ 100 MWc portés par 17 projets de haute puissance, et 20 MWc portés par 800 projets de basse et moyenne puissance. L'intégration de ces puissances au réseau électrique ne pose aucune difficulté particulière, et le Schéma Régional de Raccordement au Réseau des Energies Renouvelables (S3REnR) réserve actuellement 694

⁶² <https://data.enedis.fr/pages/accueil/?id=dataviz-le-mix-par-enedis-projets>

⁶³ Schéma régional de raccordement au réseau des énergies renouvelables Île-de-France État technique

et financier de la mise en œuvre du schéma à fin 2020.

MW de capacité aux énergies renouvelables. Cette dynamique est à comparer aux objectifs fixés par la région : l'actuel Schéma Directeur de la Région Île-de-France (SDRIF) vise ainsi une division par quatre ses émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050. Cette ambition se traduit

pour la filière photovoltaïque par une production espérée de 517 GWh en 2020 (contre 130 GWh effectivement produits) et un objectif de 9 550 GWh produits en 2050. Le nouveau schéma qui sera adopté en 2023, le SDRIF-E, pourrait réévaluer ces objectifs à la hausse.

1.3 Impacts sur les émissions de gaz à effet de serre

Selon les données d'Airparif (2018) estimées en tonnes d'émissions, le secteur résidentiel (30%) constitue avec le transport routier (29%) le principal émetteur de gaz à effet de serre (GES) dans la région, devant le secteur tertiaire (17%) et l'industrie (13,4%). Ainsi, les caractéristiques du parc immobilier et leur localisation sont déterminantes dans la répartition des taux d'émissions de GES. La capitale émet 12% des émissions régionales, la première couronne 43% et la seconde couronne 45%. Cela s'explique par l'origine des émissions : le secteur résidentiel est le principal émetteur à Paris (44%) et en première couronne (33%) devant le tertiaire (respectivement 35% et 18%).

En revanche, en seconde couronne le principal émetteur est le transport routier (34%) devant le résidentiel (23%) et l'industrie (10%), notamment du fait du recours à la voiture pour les déplacements professionnels et quotidiens. Il peut également exister de fortes disparités entre les départements d'une même couronne. Par exemple, la part de GES émis par le résidentiel en Seine-et-Marne est la moins importante de la région (17%). En effet, dans ce département, la proportion des émissions produites par l'industrie (25%) est

supérieure de 15 points à celle de la seconde couronne. Cela est notamment dû à la présence de la raffinerie TotalEnergies de Grandpuits, de l'usine chimique Boréal à Quiers et de la sucrerie Lesaffre, toutes trois situées dans le secteur de la Brie-Nangissienne.

Comme pour les consommations énergétiques, ces disparités régionales relèvent à la fois de la densité urbaine, des caractéristiques du logement (type, date de construction...) et des énergies utilisées pour alimenter le chauffage domestique. Les énergies fossiles, le fioul et le gaz en premier lieu, sont donc de loin les principales émettrices de GES à l'échelle de la région du fait du déploiement encore marginal des énergies renouvelables.

Près de la moitié des immeubles collectifs franciliens sont chauffés à l'électricité. Dans le parc individuel, le type d'énergie le plus utilisé est le gaz de ville ou de réseau qui chauffe près d'une maison sur deux⁶⁴. L'électricité est le second type d'énergie utilisée pour le chauffage pour en moyenne 30% des maisons. L'utilisation du fioul est la plus marginale avec 10% des bâtiments individuels, davantage dans les communes rurales.

⁶⁴ Le Carrer M. (2019), *Diagnostic régional sur les tissus pavillonnaires franciliens*, Repères, 11, Paris, DRIHL.

Les émissions de GES du secteur résidentiel sont aussi dépendantes de la qualité de l'isolation des bâtiments. Les maisons sont plus consommatrices que les immeubles collectifs et les bâtiments sont d'autant plus énergivores qu'ils sont anciens. Ainsi, la capitale concentre 22% des résidences principales de la région, mais elle n'émet que 18% des émissions résidentielles de GES.

Cela s'explique notamment par le caractère dominant des immeubles collectifs (99%), même si plus de 80% ont été construits avant 1975 (dont les trois quarts avant 1948) et sont essentiellement chauffés au gaz (hors électricité). En première couronne, les émissions globales de GES correspondent au poids du parc immobilier dans la région (48% des émissions pour 47% des logements essentiellement collectifs). En revanche, les émissions de GES globales des résidences de seconde couronne sont supérieures à leur proportion en Île-de-France (34% pour 31% du parc). Cela peut paraître logique car, en dehors des villes nouvelles, des quartiers des grands ensembles et d'une partie du centre des pôles urbains secondaires, le parc est exclusivement composé de maisons dont la moitié ont été construites avant 1975 (une sur deux avant 1948). Ces logements sont aux deux tiers chauffés au gaz de ville et pour un tiers au fioul généralement associé au GPL ou au bois. Ce constat est donc le calque de celui effectué pour les intensités de consommation.

Les caractéristiques des immeubles et les combustibles utilisés expliquent que les maisons de la seconde couronne sont les principales émettrices régionales de GES en volume total. En revanche, la situation est inversée si l'on s'attache à la distribution des émissions par km². Dans ce cas, la densité de l'urbanisation à Paris et en première couronne fait que le taux de GES/km² est plus élevé dans le centre de la région qu'à sa périphérie, excepté lorsqu'il existe des industries fortement consommatrices d'énergie.

02

Impact du changement
climatique sur le système
énergétique francilien

2.1 Consommation énergétique

Dans la région d'Île-de-France, la baisse attendue des consommations de chauffage avec le changement climatique devrait constituer à l'avenir un facteur important de décroissance de la consommation d'énergie. En parallèle, une augmentation de la consommation d'électricité pour la climatisation est à attendre.

Pour l'instant, la consommation résidentielle liée à l'utilisation de climatisation dans la région parisienne est encore très faible puisque le taux d'équipement de l'air conditionné est faible. Mais, comme cela se produit dans de nombreux pays, suite à une succession d'étés chauds, le nombre d'installations de climatisation dans les habitations en France est en forte augmentation (la fraction de ménages possédant un climatiseur est ainsi, au niveau national, passée de 5% en 2005 à 13% en 2016⁶⁵). Selon le cinquième rapport du GIEC, il est presque certain que le risque de vagues de chaleur augmentera sur la plupart des terres émergées au cours du 21^e siècle. Et comme la climatisation est un outil particulièrement efficace pour réduire les impacts des canicules sur le confort et la santé, son utilisation va probablement continuer à se répandre.

Vagues de chaleur en Île-de-France

Le microclimat qui existe en ville (l'effet d'îlot de chaleur urbain) joue un rôle déterminant sur les températures ressenties

en période de canicule. Il est important de connaître l'évolution de celui-ci afin d'anticiper l'augmentation de consommation d'énergie due à la possible généralisation de la climatisation. Or, d'ici la fin du siècle, la fréquence et l'intensité des vagues de chaleur devraient augmenter fortement. Entre 1960 et 1989, 9 canicules sont survenues en région parisienne. À la fin du siècle actuel (2070-2099), les projections climatiques suggèrent l'occurrence d'une ou deux canicules chaque année⁶⁶.

À l'échelle globale, l'augmentation des températures, des extrêmes en particulier a pour implication un usage croissant des climatiseurs, à la fois dans les économies émergentes chaudes et humides où les revenus augmentent, et dans les économies industrialisées avancées où les attentes des consommateurs en matière de confort thermique ne cessent de croître. La consommation d'énergie finale pour la climatisation dans les bâtiments résidentiels et commerciaux a plus que triplé entre 1990 et 2016. La part du refroidissement dans la consommation totale d'énergie des bâtiments est passée d'environ 2,5 % à 6 % au cours de la même période. La majeure partie de l'énergie utilisée pour la climatisation des locaux est sous forme d'électricité. Le refroidissement représentait 18,5 % de la consommation totale d'électricité dans les bâtiments, contre 13 % en 1990. Au cours des trois prochaines dé-

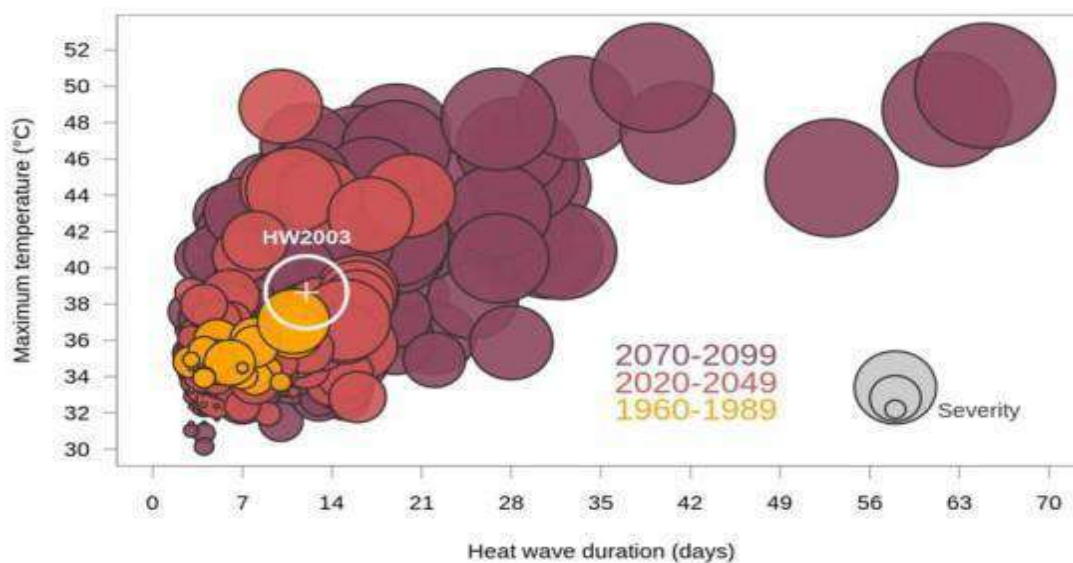
⁶⁵ « Modes de vie et pratiques environnementales des Français », avril 2018, rapport du commissariat Général du développement durable du ministère de l'environnement (<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Th%C3%A9ma%20-%20Modes%20de%20vie%20et%20pratiques%20environnementales%20des%20Fran%C3%A7ais.pdf>).

⁶⁶ A. Lemonsu *et al.* "Vulnerability to heat waves: Impact of urban expansion scenarios on urban heat island and heat stress in Paris (France)". In: *Urban Climate* 14 (Dec. 2015), pp. 586–605. issn: 22120955. <https://doi:10.1016/j.uclim.2015.10.007>

cennies, l'utilisation des climatiseurs devrait très fortement augmenter, devenant l'un des principaux moteurs de la demande mondiale d'électricité⁶⁷. En France, les vagues de chaleur étant de plus en plus fréquentes et longues, de nombreux ménages et entreprises se sont équipés en climatisation pour plus de confort. En 2020, et pour la première fois, le nombre d'équipements vendus a dépassé les 800 000 unités alors que celui-ci était stabilisé autour de 350 000 par an précédemment. Près de 25% des particuliers seraient équipés en 2020 contre 14% en 2016/2017 avec des disparités liés au type d'habitation (31% des propriétaires de maisons in-

dividuelles contre 20% des ménages en logement collectif), à la catégorie socio professionnelle (37 % des professions libérales, cadres et professions intellectuelles supérieures contre seulement 19% des ménages dont la personne de référence est sans emploi ou inactive) et le lieu d'habitation (47% des habitants du Sud-Est et de la Corse contre seulement 11% en Bretagne).

En 2020, le taux de climatisation de la zone climatique correspondant à la région Île-de-France est de 17% et représente 10% de la consommation électrique résidentielle nationale pour la climatisation⁶⁸.



Nombre cumulé de jours de canicule par an sur la période (1960-1989) et deux périodes futures (2020-2049 et 2070-2099) pour Paris. La taille des cercles correspond à l'intensité moyenne des canicules⁶⁹.

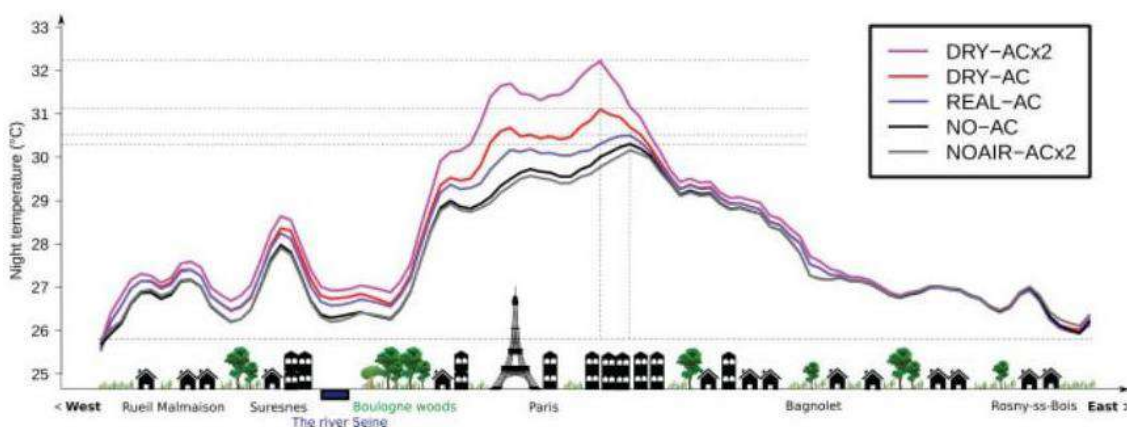
⁶⁷ IEA, 2018 : *The Future of Cooling Opportunities for energy-efficient air conditioning*. IEA Technology report - May 2018.

⁶⁸ <https://presse.ademe.fr/2021/06/la-climatisation-vers-une-utilisation-raisonnee-pour-limiter-limpact-sur-lenvironnement.html>

⁶⁹ Viguié V. *et al.*, 2020 : "Early adaptation to heat waves and future reduction of air-conditioning energy use in Paris." *Environ. Res. Lett.*, 15, 075006.

Les systèmes de climatisation actuellement utilisés à Paris dans le secteur résidentiel sont pour la plupart de petits systèmes de refroidissement (de 6 à 70 kW par unité) et rejettent la chaleur résiduelle dans l'air. L'augmentation de l'utilisation de climatisation causera une chaleur résiduelle amplifiant dans un cercle vicieux l'effet d'îlot de chaleur urbain. Le développement de la climatisation pourrait contribuer à l'augmentation de la température de 0.5 à 2°C à Paris selon la technologie et l'évolution du nombre de climatiseurs installés, même si la structure de la ville ne

change pas (cet impact sur la température extérieure est plus important la nuit que la journée.)⁷⁰. Enfin, ces appareils utilisent des fluides réfrigérants qui sont de puissants gaz à effet de serre ayant un potentiel de réchauffement jusqu'à 4000 fois celui du CO₂ en cas de fuite lors de la fabrication ou de la maintenance, même si la réglementation européenne F-Gaz vise à réduire progressivement leur emploi et si certains réfrigérants de plus en plus utilisés ont des pouvoirs réchauffant réduits.



Profils de température montrant l'îlot de chaleur urbain de Paris pour une section d'ouest en est de Paris sous différents scénarios⁷¹ : (1) sans climatisation pour permettre de se référer à un référentiel (NO-AC), (2) avec les types actuels de systèmes de climatisation coexistant en ville, tours aéroréfrigérantes sèches et évaporatives et systèmes de free cooling (REAL-AC), (3) avec tous systèmes de climatisation actuels convertis en systèmes de refroidissement sec (DRY-AC), (4) une projection future de la climatisation, avec un doublement des rejets de chaleur résiduelle sèche (DRY-ACx2), (5) une projection future de la climatisation avec le même puissance frigorifique comme dans le scénario DRY-ACx2 mais sans évacuation de la chaleur résiduelle dans l'air, ce qui implique l'utilisation de méthodes alternatives d'évacuation de la chaleur (NOAIR-ACx2).

Conséquence sur l'utilisation de la climatisation

Bien que l'énergie totale consommée pendant la canicule soit un indicateur pertinent pour apprécier les performances de scénarios d'adaptation, du point de vue

décisionnel, la prédiction du pic de demande énergétique lors d'un événement extrême est un indicateur d'autant plus utile qu'il est très difficile de fournir à une ville beaucoup d'énergie en très peu de temps⁷². Si la climatisation est supposée

⁷⁰ Tremeac B., et al., 2012 : "Influence of air conditioning management on heat island in Paris air street temperatures." *Applied Energy*, 95, 102–110.

⁷¹ de Munck C., Pigeon G., Masson V., Meunier F., Bousquet P., Tréméac B., Merchat M., Poefcand P., Marchadier C., 2013 : "How much can air

conditioning increase air temperatures for a city like Paris, France?" *Int. J. Climatol.*, 33, 210-227

⁷² C. de Munck et al. "Evaluating the impacts of greening scenarios on thermal comfort and energy and water consumptions for adapting Paris city to climate change". In: *Urban Climate* 23 (Mar. 2018),

utilisée uniquement lors des vagues de chaleur pour refroidir l'ensemble des logements et bureaux d'Île de France (en maintenant une température de 23°C) avec une hypothèse optimiste pour l'efficacité du climatiseur, la consommation énergétique potentielle supplémentaire journalière augmente de 81% par rapport à la consommation quotidienne moyenne des logements et des bureaux à Paris. Si les ménages décident d'utiliser la climatisation pendant les jours sans canicule, la consommation d'énergie totale supplémentaire au cours de l'année due à la climatisation sera très importante. Néanmoins, en Europe, l'effet du changement climatique sur le chauffage domine l'effet sur la climatisation, entraînant une diminution

2.2 Évolution du potentiel en ressources renouvelables dans un contexte de changement climatique

L'évolution des variables géophysiques telles que la vitesse de vent, la température de l'air et de l'eau, la nébulosité, les précipitations du fait du changement climatique peut affecter les ressources énergétiques renouvelables régionales. Les informations les plus précises spatialement que l'on peut avoir sur les projections climatiques et leur impact sur les ressources renouvelables sont de l'ordre de 100 km², ce qui constitue une limite pour intégrer l'hétérogénéité spatiale de la région. Néanmoins, il est maintenant largement démontré qu'il n'y a pas d'accord entre les

nette de la demande totale d'énergie finale sous un réchauffement modéré et un désaccord sur le changement attendu sous un réchauffement important⁷³.

Conséquence sur le traitement des eaux potables

La consommation d'eau potable augmente sensiblement lors des canicules, et le besoin de traitement de cette eau peut être amplifié du fait du phénomène de développement d'algues en période de sécheresse. La consommation d'énergie associée à cette activité augmente et s'ajoute au besoin liée à la climatisation.

modèles sur la direction du changement (c'est-à-dire augmentation ou diminution) de la ressource et la production éoliennes dans la région. Le changement climatique n'aura donc pas d'impact significatif sur le facteur de charge moyen des parcs éoliens franciliens, actuellement de l'ordre de 21%, quel que soit le scénario de réchauffement climatique⁷⁴. La production éolienne dans la région sera essentiellement contrôlée par la capacité installée à la fois en termes de moyenne et de variabilité et les améliorations technologiques⁷⁵.

pp. 260–286. issn: 22120955.

<https://doi:10.1016/j.uclim.2017.01.003>

⁷³ van Ruijven B., de Cian E., Wing I., 2019 :

Amplification of future energy demand growth due to climate change. Nature Communications, 10,

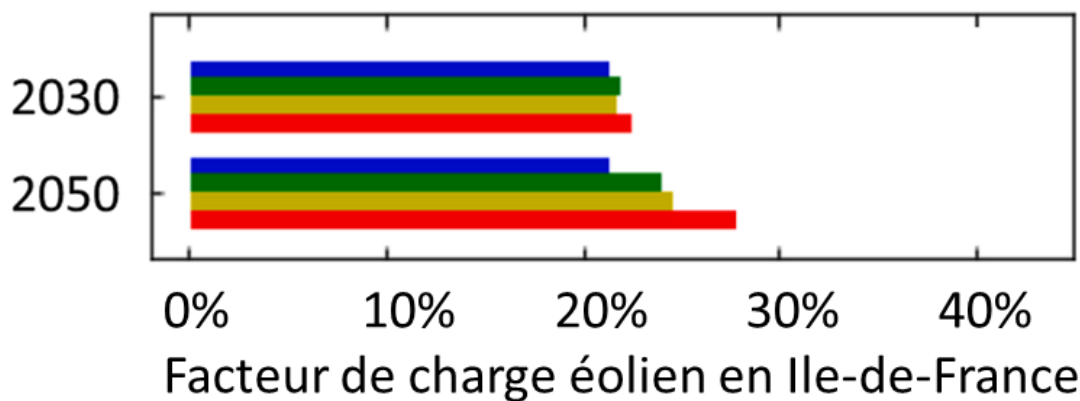
<https://doi:10.1038/s41467-019-10399-3>

⁷⁴ Cai Y., Bréon F.M., 2021 : "Wind power potential and intermittency issues in the context of climate

change." *Energy Conversion and Management*, 240, 114276.

⁷⁵ Tobin I., Jerez S., Vautard R., Thais F., van Meijgaard E., Prein A., Déqué M., Kotlarski S., Fox Maule C., Nikulin G., Noël T., Teichmann C., 2016: "Climate change impacts on the power generation potential of a European mid-century wind farms scenario." *Environ. Res. Lett.* **11** 034013.

- Statut quo 2020
- Évolution des hauteurs de moyeu
- Evolution de la densité de puissance
- Évolution des hauteurs de moyeu + densité de puissance



Facteur de charge éolien francilien, intégrant évolution de la hauteur du moyeu (vert), de la puissance (jaune) et des effets combinés (rouge), par rapport à l'état actuel en 2020 (bleu)⁷⁶.

Les trajectoires d'évolution du potentiel de production photovoltaïque sont incertaines avec comme pour l'éolien, un désaccord entre les modèles sur la direction du changement pour la région Île-de-France⁷⁷.

Les cours d'eau franciliens sont indispensables au refroidissement de centrales thermoélectriques et des centrales nucléaires (centrale nucléaire de Nogent, limitrophe à la région Île-de-France), ainsi qu'à la production électrique par les centrales hydro-électriques, comme le projet de centrale hydroélectrique mené par TotalEnergies au niveau du barrage de Port-à-l'Anglais dans le Val de Marne (1 575 kW

installés, production de 10 500 MWh)⁷⁸. Pour les centrales nucléaires sur cours d'eau ainsi que pour la production thermique avec refroidissement par l'eau, un débit minimum et une température maximale de l'eau sont requis⁷⁹. En 2050, la température de l'eau dans la région pourrait augmenter de 1.5 à 2°C, quant au débit, il pourrait diminuer de -5 à -20%⁸⁰. Selon une étude plus locale, la baisse moyenne du débit de la Seine à son exutoire à Poses pourrait atteindre -29% du débit moyen actuel, valeur bien supérieure à l'incertitude. Cette baisse est déjà largement acquise à l'horizon 2050 et s'exprime sur les hautes et les basses eaux, avec une baisse relative maximale en

⁷⁶ Cai Y., Bréon F.M., 2021 : "Wind power potential and intermittency issues in the context of climate change." *Energy Conversion and Management*, 240, 114276.

⁷⁷ Jerez S., Tobin I., Vautard R., Montavez J.P., Lopez-Romero J.M., Thais F., Bartok B., Bøssing Christensen O., Colette A., Déqué M., Nikulin G., Kotlarski S., van Meijgaard E., Teichmann C., Wild M., 2015 : "The impact of climate change on photovoltaic power generation". *Europe. Nat. Commun.* 6:10014

⁷⁸ <https://www.val-de-marne.gouv.fr/content/download/19044/129248/file>

<e/rapport%20et%20conclusions%2028%2008%202020.pdf>

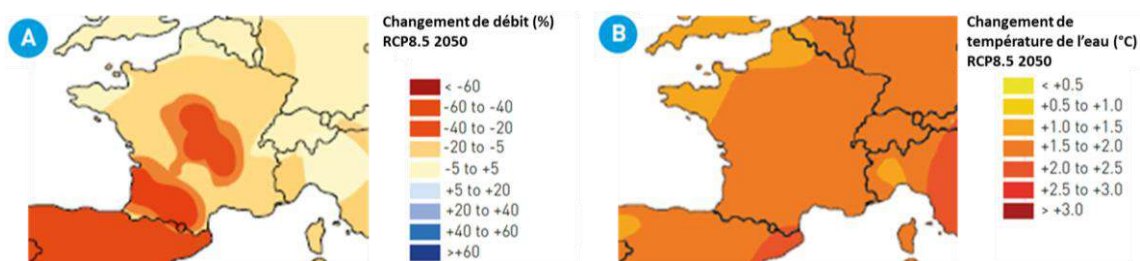
⁷⁹

https://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-centrales-nucleaires/impact-secheresse-centrale/Pages/Impact-secheresse-fonctionnement-centrales.aspx#.YkGsBzU69ao

⁸⁰ van Vliet M.T.H., Wiberg D., Leduc S., Riahi K., 2016 : "Power-generation system vulnerability and adaptation to changes in climate and water resources." *Nat. Clim. Chang.* 6, 375–380.

étiage et une incertitude maximale en hautes eaux (hiver), quand les différents scénarios hydrologiques ne s'accordent pas sur le signe de l'évolution des débits⁸¹. Cette incertitude est plus grande en milieu de siècle qu'en fin de siècle. Si ces dernières années, plusieurs centrales ont dû être arrêtées pour cause de débits trop bas, la condition sur la température des cours d'eau peut faire l'objet de dérogation. En 2020, la centrale nucléaire de Chooz sur la Meuse dans le Nord de la France a dû être arrêtée⁸². Une telle fermeture n'a jusqu'à présent jamais eu lieu pour la centrale nucléaire de Nogent, à la

limite orientale de l'Île-de-France. Une diminution de l'énergie hydraulique de 5 à 10% et de la production thermoélectrique de plus 10% d'ici à 2050 est projetée dans la région. Par ailleurs, la fraîcheur de l'eau de la Seine est utilisée pour produire du froid, notamment dans les musées et grands magasins parisiens. Cela requiert un débit minimum et une température la plus fraîche possible. Cette production de froid est économe en énergie. Si elle devait être moins efficace, des productions de froid plus consommatrices d'énergie pourraient prendre la place.



Impacts du changement climatique sur le débit moyen annuel (a) et la température de l'eau (b) pour le scénario le plus émissif RCP8.5 pour 2040-2069 (années 2050) par rapport à 1971-2000⁸³.

⁸¹ Ducharne A., Sauquet E., Habets F., Déqué M., Gascoin S., Hachour A., Martin E., Oudin L., Page C., Terray L., Thiery D., Viennot P., 2011 : « Évolution potentielle du régime des crues de la Seine sous changement climatique », *La Houille Blanche*, 1, 51-57

⁸²

<https://www.lalsace.fr/environnement/2020/08/25/le-debit-de-la-meuse-est-trop-faible-la-centrale-nucleaire-de-chooz-arretee>

⁸³ Drobinski P., Azzopardi B., Ben Janet Allal H., Bouchet V., Civel E., Creti A., Duic N., Fylaktos N., Mutale J., Pariente-David S., Ravetz J., Taliotis C., Vautard R., 2020: "Energy transition in the Mediterranean". In: "Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future", *First Mediterranean Assessment Report* [Cramer W, Guitt J, Marini K (eds.)] Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, pp. 265-322

Le changement climatique impacte également les milieux forestiers et donc potentiellement la biomasse servant à la production d'énergie. Ces changements ont globalement des effets négatifs mais aussi quelques effets positifs sur la production de biomasse des peuplements forestier. Ils affectent la survie et la croissance des arbres, la répartition spatiale et la diversité des espèces à l'échelle du territoire national et des parcelles, la compétition entre espèces et les interactions entre arbres et pathogènes. Le bilan de ces impacts complexes et de leurs interactions est difficile à prévoir à l'heure actuelle. En premier lieu, l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO₂ stimule la croissance chez certaines espèces. Ainsi la période de croissance des arbres est plus longue^{84,85} et conduit à une augmentation de la production primaire de bois pour plusieurs essences fortement présents en Île-de-France, en parallèle de la hausse des températures qui favorise la croissance^{86,87}, jusqu'à un certain seuil. En contrepartie, le débourrement plus précoce des bourgeons expose davantage les arbres au risque de gel tardif. De plus, l'augmentation des températures et des périodes de sécheresse induit des stress hydriques plus fréquents entraînant la diminution de la productivité de certaines essences forestières.

Cependant, les espèces de feuillus qui constituent 93% du peuplement forestier en Ile de France craignent moins le stress hydrique que les espèces résineuses. Les dégâts causés par les fortes chaleurs accentuent les crises de dépérissements, surtout pour les arbres en limite de leur aire de répartition^{88,89}. Les aires climatiques potentielles des espèces, en France, pourraient se déplacer. Les espèces présentes à l'ouest ou au sud (pin maritime et chêne pubescent par exemple) pourraient s'étendre en Île de France. Enfin, les arbres stressés par le changement climatique seront d'autant plus vulnérables et faciles à attaquer. Une augmentation des risques d'incendie est également à prévoir, bien que les modifications du rapport entre les conifères et les feuillus pourraient influencer sur la probabilité d'occurrence ou la gravité des incendies⁹⁰. En fait, le risque d'incendie va surtout augmenter dans les peuplements résineux de pins sylvestre et pin maritime. La région Ile de France n'est donc pas celle qui sera la plus impactée par ce facteur. Le pin sylvestre est déjà un peu présent en Ile de France et le pin maritime pourrait être introduit en plantation dans certains secteurs de la région. On trouve des peuplements de pin sylvestre en forêt de Fontainebleau. Ce massif est donc concerné par l'augmentation du risque incendie⁹¹. Parallèlement, le réchauffement cli-

⁸⁴ Menzel A., Fabian P., 1999: "Growing season extended in Europe". *Nature*, 397, 659.

⁸⁵ Roman-Amat B., 2007 : *Préparer les forêts françaises au changement climatique*. Rapport à MM. les Ministres de l'Agriculture et de la Pêche et de l'Écologie, du Développement et de l'Aménagement Durables, 125.

⁸⁶ Keller T., Édouard J.L., Guibal F., Guiot J., Tessier L., Vila, B., 2000 : « Impact d'un scénario climatique de réchauffement global sur la croissance des arbres », *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie*, 323, 913-924.

⁸⁷ Bréda N., Garnier A., Aussenac G., 2000 : « Évolution possibles des contraintes climatiques et conséquences pour la croissance des arbres », *Revue Forestière Française*, 52, 73-90.

⁸⁸ Legay M., Ladier J., 2008 : « La gestion forestière face aux changements climatiques : premières orientations d'adaptation en forêt publique (le cas des forêts méditerranéennes) », *Forêt méditerranéenne*, 29, 221-234.

⁸⁹ SFCC (Société Forestière de Franche-Comté), 2012, « Les forêts de Franche-Comté face au changement climatique ».

⁹⁰ Thuiller W., Lavorel S., Sykes M.T., Araújo M.B., 2005: "Using niche-based modelling to assess the impact of climate change on tree functional diversity in Europe", *Biodiversity research - Diversity and Distributions*, 12, 49-60.

⁹¹ <https://www.leparisien.fr/info-paris-île-de-france-oise/feux-de-forets-comment-les-pompiers-d-île-de->





matique peut aggraver les risques sanitaires en favorisant certains pathogènes ou insectes ravageurs mais il peut égale-

ment avoir un effet bénéfique en éliminant certains agents ne tolérant pas les sécheresses.

2.3 Résilience régionale des systèmes énergétiques aux extrêmes climatiques

L'Île-de-France, qui représente 15% de la consommation électrique nationale, ne produit qu'environ 10% de l'électricité qu'elle consomme. Elle importe environ 90% de son approvisionnement d'autres régions. L'Île-de-France dépend donc de la solidarité électrique des régions voisines. Les réseaux de transport et de distribution d'électricité en Île-de-France sont donc d'une importance stratégique : ils apportent la puissance nécessaire à l'alimentation de la métropole. Avec l'électrification

de nombreux usages de l'énergie dans le contexte de la transition énergétique, la pression qu'ils subissent va augmenter^{92,93}. La sécurité de l'approvisionnement en électricité est source d'inquiétude croissante puisque plusieurs éléments constituant ces infrastructures sont particulièrement sensibles aux aléas climatiques tels que les vents violents, les précipitations intenses, la neige collante, les vagues de chaleur ou les incendies.

	Chaleurs extrêmes Froids extrêmes Amplitude thermique	Précipitation neigeuse Crues, inondations	Vents violents / Tempêtes	Feux de forêt
 Lignes électriques	● Surchauffe ou contraction (givre) des câbles	● Dommages sur les pylônes et câbles	● Dommages sur les pylônes et câbles	● La chaleur, la fumée et les cendres peuvent couper les lignes de transmission
 Transformateurs	● Réduction de la capacité, vieillissement accéléré et rupture	● Court-circuit (infiltration d'eau) et explosion	● Court-circuit (chute d'objets) et explosion	● Destruction (équipements généralement peu exposés)
 Postes électriques (disjoncteurs, sectionneurs, ...)	● Rupture, vieillissement accéléré	● Panne, fragilisation et rigidification des isolants	● Court-circuit (chute d'objets)	● Destruction (équipements généralement peu exposés)
 Équipements électroniques et télécoms	● Surchauffe ou gel	● Dommages liés à l'humidité ou infiltration d'eau	● Dommages (chute d'objets)	● Destruction (équipements généralement peu exposés)

● Sensibilité faible ● Sensibilité moyenne ● Sensibilité forte

Sensibilité aux aléas climatiques des principaux éléments des réseaux électriques⁹⁴.

[France-se-preparent-au-pire-21-10-2020-8404292.php#](https://france-se-preparent-au-pire-21-10-2020-8404292.php#)

⁹² En 2050, l'électricité pourrait représenter environ un tiers de l'énergie finale consommée.

⁹³ https://assets.rte-france.com/prod/public/2021-10/Futurs-Energetiques-2050-principaux-resultats_0.pdf

⁹⁴ <https://www.carbone4.com/article-reseaux-electriques-resilience-climatique>

Des études sur l'évolution des aléas susceptibles d'affecter le réseau électrique existent à l'échelle de l'Europe avec des informations climatiques à haute résolution spatiale (10 km) qui permettent d'évaluer le risque au niveau de l'Île-de-France. Les principaux aléas pouvant endommager les systèmes énergétiques, sont les tempêtes de vent, les vagues de chaleur, les précipitations neigeuses et la crue des fleuves majeurs et affluents de la région. Néanmoins, les changements des épisodes de vent violent pouvant statistiquement ne se produire que tous les 10 ou 100 ans, sont négligeables jusqu'à 3°C de réchauffement climatique, ($<0.3 \text{ m s}^{-1}$) ou non robustes dans la région^{95,96,97,98}.

Comme vu précédemment, l'augmentation en intensité, fréquence et durée des vagues de chaleur avec un épisode tous les deux ans en moyenne pourrait atteindre

dans la région jusqu'à un voire deux épisodes moyens par an à la fin du 21^e siècle selon le scénario, pour une durée comprise entre 6 et 12 jours en moyenne, atteignant même de 5 à 9 semaines pour les plus extrêmes⁹⁹, en cohérence avec des résultats obtenus à l'échelle nationale^{100,101}. Enfin, l'occurrence d'épisodes favorables à la formation de neige collante ou de pluie verglaçante pouvant fortement endommager les lignes électriques, est projetée à la baisse partout en France, jusqu'à 55% dans le scénario le plus émissif¹⁰².

En ce qui concerne les épisodes pluvieux intenses pouvant provoquer des inondations et impacter les systèmes de production d'énergie, le risque associé est probablement modéré¹⁰³. Ce résultat, beaucoup moins inquiétant que la baisse générale des ressources en eau projetée en parallèle¹⁰⁴, qui pourrait également occasionner une rupture d'approvisionnement

⁹⁵ Spinoni, J., Formetta, G., Mentaschi, L., Forzieri, G., Feyen, L., *Global warming and windstorm impacts in the EU*, EUR 29960 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2020, ISBN 978-92-76-12955-4. <https://doi.org/10.2760/039014.JRC118595>

⁹⁶ Tobin, I., Vautard, R., Balog, I., Bréon, F.M., Jerez, S., Ruti, P.M., Yiou, P., 2015. "Assessing climate change impacts on European wind energy from ENSEMBLES high-resolution climate projections". *Climatic Change*, 128, 99-112.

⁹⁷ Moemken, J., Meyers, M., Feldmann, H., Pinto, J.G., 2018. "Future Changes of Wind Speed and Wind Energy Potentials in EURO-CORDEX Ensemble Simulations". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 6373-6389.

⁹⁸ Vautard, R., Gobiet, A., Sobolowski, S., Kjellström, E., Stegehuis, A., Watkiss, P., Mendlik, T., Landgren, O., Nikulin, G., Teichmann, C., Jacob, D., 2015. "The European climate under a 2°C global warming". *Environmental research letters*, 9, 034006

⁹⁹ Lemonsu, A., Beaulant, A.L., Somot, S., Masson, V., 2014. "Evolution of heat wave occurrence over the Paris basin (France) in the 21st century". *Climate Research*, 61, 75-91.

¹⁰⁰ Bador, M., Terray, L., Boé, J., Somot, S., Alias, A., Gibelin, A.L., Dubuisson, B., 2017. "Future summer mega-heatwaves and record-breaking temperatures

in a warmer France climate". Environmental Research Letters, 12, 074025.

¹⁰¹ Ouzeau, G., Soubeyroux, J.-M., Schneider, M., Vautard, R., Planton, S., 2016. "Heat waves analysis over France in present and future climates: Application of a new method on the EURO-CORDEX ensemble". *Climate Services*, 4, 1-12.

¹⁰² Kämäräinen, M., Hyvärinen, O., Vajda, A., Nikulin, G., van Meijgaard, E., Teichmann, C., Jacob, D., Gregow, H., Jylhä, K., 2018. "Estimates of present-day and future climatologies of freezing rain in Europe based on CORDEX regional climate models". *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123, 291-304.

¹⁰³ Ducharne A., Sauquet E., Habets F., Déqué M., Gascoin S., Hachour A., Martin E., Oudin L., Page C., Terray L., Thiery D., Viennot P., 2011 : « Évolution potentielle du régime des crues de la Seine sous changement climatique ». *La Houille Blanche*, 1, 51-57.

¹⁰⁴ Ducharne A., Habets F., Déqué M., Evaux L., Hachour A., Lepaillier A., Lepelletier T., Martin E., Oudin L., Page C., Ribstein P., Sauquet E., Thiery D., Terray L., Viennot P., Boé J., Bourqui M., Crespi O., Gascoin S., Rieu J., 2009 : *Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et la*

énergétique, doit cependant être regardé avec beaucoup de précautions, vu les fortes incertitudes. Des études réalisées pour des bassins européens proches de celui de la Seine ont conclu à un changement non significatif des crues^{105,106,107}. En effet, la réponse des débits de crue est étroitement liée à la réponse de précipitations hivernales dont l'évolution est l'élément le plus incertain des projections du changement climatique. Une inondation de grande ampleur, plus probable en période hivernale, se produirait donc à une période où la demande en chauffage peut être importante. Cette inondation serait alors certainement accompagnée par une forte remontée de nappe, et donc, par des inondations de cave, même loin des rivières. Un risque singulier peut alors être envisagé pour tous les particuliers se chauffant au fioul, avec des cuves renversées et des pollutions associées.

Somme. Rapport final du projet REXHySS, Programme GICC. 62 pp.

¹⁰⁵ Goderniaux P., Brouyère S., Fowler H. J., Blenkinsop S., Therrien R., Orban P., Dassargues A., 2009 : "Large scale surface–subsurface hydrological model to assess climate change impacts on groundwater reserves". *J. Hydrol.*, 373 122-138

¹⁰⁶ Moatar F., Ducharne A., Thiery D., Bustillo V., Sauquet E., Vidal J.P., 2010 : « La Loire à l'épreuve du changement climatique », *Géosciences*. 12 78-87.

¹⁰⁷ Ducharne A., Baubion C., Beaudoin N., Benoit M., Billen G., Brisson N., Garnier J., Kieken H., Lebonvallet S., Ledoux E., Mary B., Mignolet C., Poux X., Sauboua E., Schott C., Théry S., Viennot P., 2007 : "Long term prospective of the Seine river system : Confronting climatic and direct anthropogenic changes." *Science of the Total Environment*. 375 292-311.

03

Adaptation systémique

Les mouvements de contestation autour de la mise en place d'écotaxes en France (« bonnets rouges » en 2013, « gilets jaunes » en 2018) illustrent les difficultés auxquelles est et sera confrontée l'action publique dans la lutte contre le changement climatique. Dans ce contexte, les acteurs locaux, comme les villes et métropoles ont un rôle majeur à jouer et multiplient les initiatives en faveur du climat ces dernières années autant à l'échelle nationale qu'internationale. Les villes se sont par exemple beaucoup mobilisées au moment de la COP21 lors d'un « Sommet des 1 000 maires » organisé par la Ville de Paris, et au sein du C40¹⁰⁸ pour développer des synergies et échanger leurs meilleures pratiques.

3.1 Efficacité énergétique et confort thermique en Île-de-France

Les actions d'adaptation alternatives à la climatisation pour éviter l'augmentation de consommation énergétique peuvent être regroupées en différentes catégories¹⁰⁹ dont trois ont fait l'objet d'études spécifiques pour la région (infrastructure verte, infrastructure physique et comportement) agissant à trois échelles (à l'échelle de la ville, à l'échelle du bâtiment individuel et au niveau du ménage)¹¹⁰. Ces actions se concentrent sur la réduction de la demande énergétique et sur l'amélioration du confort thermique des habitants et laissent de côté les actions de type gestion de crise, telles que les systèmes d'alerte ou les interventions ciblées vers les personnes particulièrement vulnérables (ex. : relocalisation en période estivale).

La reconfiguration urbaine conduisant à l'ajout de nombreux parcs et espaces verts dans l'agglomération parisienne est une des principales politiques de lutte contre la canicule dans les plans d'adaptation au changement climatique de Paris et de sa région, même si cette action est contrainte par le prix élevé du foncier en milieu urbain^{111,112}. L'évolution des normes françaises de construction pour les bâtiments neufs et, dans une moindre mesure, pour les bâtiments existants, intégrant des exigences de confort est une politique à l'échelle du bâtiment fondamentale en matière d'adaptation^{113,114}, même si de nombreux enjeux économiques et politiques en font un sujet complexe¹¹⁵. Enfin, établir des recommandations sur l'utilisa-

¹⁰⁸ C40 est un réseau de maires de près de 100 grandes villes mondiales qui collaborent pour mettre en œuvre l'action nécessaire pour faire face à la crise climatique.

¹⁰⁹ Biagini B., Bierbaum R., Stults M., Dobardzic S., McNeeley S.M., 2014 : "A typology of adaptation actions: a global look at climate adaptation actions financed through the global environment facility." *Glob. Environ. Change*, 25, 97–108.

¹¹⁰ Viguié V. et al., 2020 : "Early adaptation to heat waves and future reduction of air-conditioning energy use in Paris". *Environ. Res. Lett.*, 15, 075006.

¹¹¹ SRCAE, 2012 : *Schéma régional du climat, de l'Air et de l'Énergie de l'Île-de-France. Tech. Rep. Région Île-de-France* (http://srcae-idf.fr/IMG/pdf/12-SRCAE-IDF_Adaptation_changement_climatique_cle041782.pdf)

¹¹² PCAET, 2018 : *Plan Climat Air Énergie de Paris. Tech. Rep.*, Ville de Paris (<https://api-site.paris.fr/images/76270>).

¹¹³ <https://cegibat.grdf.fr/reglementation-energetique/re-2020-grands-principes>

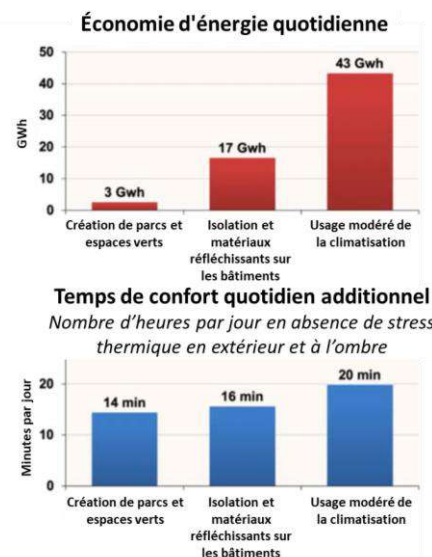
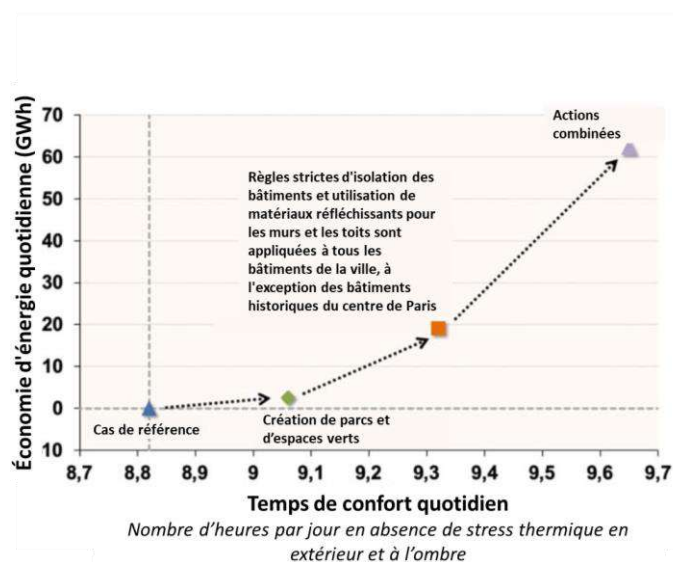
¹¹⁴ Huteau H., 2016 : « La RT2020 prendra-t-elle en compte le confort des habitants ? » *La Gaz. Communes*

(<https://lagazettedescommunes.com/432435/la-rt-2020-prendra-t-elleen-compte-le-confort-des-habitants/>)

¹¹⁵ Giraudet L.G., Bourgeois C., Quirion P., Glotin D., 2018 : « Évaluation prospective des politiques de réduction de la demande d'énergie pour le chauffage résidentiel. » *Tech. Rep.* 84 104452.

tion de la climatisation est également nécessaire pour minimiser les externalités environnementales négatives (réchauffement de l'air extérieur, émissions de gaz à effet de serre par le système de réfrigération)¹¹⁶. La combinaison de ces trois actions, supposant 10 % de la surface de la ville consacrée à de nouveaux parcs, des règles strictes d'isolation des bâtiments et l'utilisation de matériaux réfléchissants pour les murs et les toits et l'application d'une température de consigne de 28°C dans les bâtiments résidentiels et de 26°C dans les bureaux, permettent un refroidissement important de l'air extérieur (jusqu'à 4,2°C la nuit). Cependant, ces actions

ne peuvent se substituer totalement à la climatisation car elles ne réduisent la durée du fort stress thermique à l'intérieur des bâtiments que d'environ une heure et demie par jour. Un peu plus de six heures par jour devraient encore être passées dans des conditions de stress thermique élevé dans les bâtiments si aucun climatiseur n'était utilisé. Autre conséquence positive, ces actions permettent de réduire la consommation d'énergie de l'ordre de 60% et d'atténuer la dégradation du confort thermique extérieur provoqué par le chauffage extérieur de l'habitat par les climatiseurs.



Comparaison des efficacités des actions d'adaptation. Toutes les valeurs sont par jour de vague de chaleur. La consommation d'énergie potentielle du cas de référence pour la climatisation est de 103 GWh par jour de canicule, la mise en œuvre de toutes les actions d'adaptation réduit donc cette consommation d'environ 60%¹¹⁷.

La création de parcs et d'espaces verts à travers la ville diminue la température de l'air, principalement par un effet de refroidissement direct dû à l'évapotranspiration.

Cependant, cet effet n'est pas suffisant pour avoir un impact significatif sur la consommation potentielle d'électricité. De plus, l'effet de refroidissement est fortement dépendant de l'eau disponible

¹¹⁶ Papadopoulos S., Kontokosta C.E., Vlachokostas A., Azar E., 2019 : "Rethinking HVAC temperature set points in commercial buildings: The potential for zero-cost energy savings and comfort improvement in different climates." *Build. Environ.*, 155, 350-359.

¹¹⁷ Vigié V. *et al.*, 2020 : "Early adaptation to heat waves and future reduction of air-conditioning energy use in Paris". *Environ. Res. Lett.*, 15, 075006.

pour la végétation. Les impacts environnementaux de l'arrosage de tous les parcs pendant tous les jours de canicule peuvent être importants et doivent être pris en compte, voire réduits ou éliminés par exemple par récupération systématique des eaux de pluie, systèmes de stockage enterrés, micro-irrigation, etc. dans l'évaluation d'une telle action, en plus des nombreuses conséquences économiques, sociales et environnementales, positives ou négatives, des modifications du tissu urbain nécessaires pour créer plus de parcs et d'espaces verts^{118,119}.

L'amélioration de l'isolation des bâtiments a un impact beaucoup plus important sur la consommation d'énergie potentielle pour la climatisation des bâtiments (-17 %) et conduit à une baisse de la température de l'air dans la ville due à la diminution de l'usage des climatiseurs. La modification des toitures pour les rendre réfléchissantes contribue également à lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain. Au-

delà des jours de canicule, les impacts d'une telle action sont difficiles à évaluer simplement car elle peut augmenter la demande de chauffage en hiver en raison d'une perte des avantages passifs du réchauffement solaire du toit¹²⁰. Enfin, le changement de comportement (augmentation de la température de consigne du climatiseur d'un degré) a le plus grand impact sur la consommation potentielle d'énergie pour la climatisation (-43 %), et diminue significativement la température de l'air extérieur (20 min de moins par jour passé sous un fort stress thermique) car il annule une grande partie de la chaleur dégagée par la climatisation dans les rues. Les impacts élevés de cette action, en ligne avec d'autres études récentes^{121,122}, soulignent l'importance, au-delà des changements d'infrastructures, des actions ciblant les adaptations du comportement des habitants et des organisations dans les politiques climatiques¹²³.

3.2. Éco-conception des quartiers et villes intelligentes

Depuis une décennie, la révolution numérique et le changement climatique donnent naissance à des villes aux formes inédites. Les villes repensent en effet leurs fondations pour s'adapter aux grands défis de notre époque dans des projets de « villes intelligentes » (*smartcities*).

Elles emploient des technologies (numériques ou autres) pour optimiser leurs fonctions vitales (l'alimentation, la mobilité, le logement, le recyclage des déchets, etc.), réduire leur empreinte environnementale, contribuer au progrès social et renforcer leur résilience.

¹¹⁸ Viguié V. Hallegatte S., 2012 : "Trade-offs and synergies in urban climate policies." *Nat. Clim. Change*, 2, 334-337.

¹¹⁹ Bolund P., Hunhammar S. 1999 : "Ecosystem services in urban areas." *Ecol. Econ.*, 29, 293-301.

¹²⁰ Akbari H. et al., 2016 : "Local climate change and urban heat island mitigation techniques, the state of the art." *J. Civil Eng. Manage.* 22 1-16.

¹²¹ Papadopoulos S., Kontokosta C.E., Vlachokostas A., Azar E., 2019 : "Rethinking HVAC temperature set

points in commercial buildings: The potential for zero-cost energy savings and comfort improvement in different climates." *Build. Environ.*, 155, 350-359.

¹²² Lim J., Yun G., 2017 : "Cooling energy implications of occupant factor in buildings under climate change". *Sustainability*, 9, 2039.

¹²³ Creutzig F. et al., 2018 : "Towards demand-side solutions for mitigating climate change". *Nat. Clim. Change*, 8, 268-71.

Une transition urbaine aux résultats mitigés

Il existe différentes formes de villes intelligentes, variables selon les enjeux de chaque municipalité, et toutes ne sont pas durables. Cependant, la crise sanitaire a contribué à rationaliser ces projets. Tous azimuts à leurs débuts avec 4,4 milliards d'investissements sur plus de 250 projets entre 2008 et fin mars 2020, les investissements sont à présent davantage concentrés avec 1,1 milliard sur les 40 premières agglomérations françaises entre 2020 et 2023¹²⁴, d'autant que les premiers retours d'expérience en France présentent des résultats mitigés.

Les projets les plus technophiles ne se sont pas avérés produire les villes les plus intelligentes. En plus de sa complexité d'application et de son besoin de législation, la technologie -si elle est un levier indispensable à la construction des villes de demain- est devenue source de préoccupations sur la finalité et de l'utilisation des données collectées, ou sur les émissions de gaz à effet de serre du numérique. Celles-ci, représentant 4% des émissions mondiales, devraient doubler d'ici 2025¹²⁵.

La sobriété numérique et énergétique, la qualité de vie, la vitalité des écosystèmes naturels, mais aussi sociaux doivent être au centre des réflexions dans une vision quasi « symbiotique » entre la ville et ses habitants. En effet, la moitié des collectivités territoriales n'ont aucun projet en matière de sobriété, et près d'un tiers ignore de quoi il s'agit¹²⁶. La technologie doit donc être utilisée à bon escient car elle présente aussi de formidables opportunités en termes d'efficacité énergétique (éclairage public intelligent, maintenance

prédictive). À titre d'exemple, Issy-les-Moulineaux, fer-de-lance de la « ville intelligente » en France, avance en ayant désormais recentré sa stratégie autour de la lutte contre le réchauffement climatique.

Exemple réussi d'Issy-les-Moulineaux

La Ville d'Issy-les-Moulineaux (92) présentait le 28 mars 2019 un bilan d'IssyGrid, le premier réseau urbain intelligent de production et de gestion d'énergie déployé à l'échelle d'un quartier. Ce projet avait été lancé en 2012¹²⁷. Il a permis aux différents acteurs industriels impliqués d'expérimenter une méthode de gestion collaborative.

Les réseaux intelligents installés concernaient la gestion la chaleur, le gaz et l'électricité et d'objets connectés LoRa. Quatorze systèmes d'information et de stockage interconnectés, des compteurs communicants Linky ont été déployés, ainsi qu'un poste de distribution publique intelligent, pilotable à distance et permettant d'optimiser les échanges entre consommations, production et stockage.

Concernant l'électricité, trois installations de production photovoltaïque ont été installées dont une raccordée au réseau des objets connectés LoRa ainsi que deux systèmes de stockage d'énergie composés de batteries de seconde vie issues de véhicules électriques et de batteries de stockage. Pour l'éclairage public, un détecteur de présence dans trois rues permet d'optimiser la consommation.

Des campagnes de sensibilisation, de communication et des efforts de pédagogie ont été déployés afin d'intégrer au projet les décideurs des collectivités locales, les

¹²⁴ Cabinet Xerfi Innov, 2020.

¹²⁵ Shift project, 2020.

¹²⁶ *Sobriété numérique et collectivités territoriales*, Cabinet Espelia pour GreenIT, 2020.

¹²⁷ <https://www.issy.com/issygrid>

instances légales, les citoyens pour en faire des « consom'acteurs ». Du point de vue de la protection des données, IssyGrid reçoit les données de consommation heure par heure de l'éclairage, du chauf-

fage, de l'eau et des prises électriques, bâtiment par bâtiment, sans connaître le détail par logement, grâce à la collaboration avec la CNIL assurant le respect de la vie privée des habitants.



Le quartier d'affaires Seine Ouest est l'un des trois couverts par le smartgrid à Issy-les-Moulineaux.

Finalement, 861 logements (sur les 2000 connectés) ont été équipés de compteurs communicants par Enedis, certains bâtiments produisent aujourd'hui jusqu'à 50% de leur consommation d'énergie, le reste étant apporté par le réseau traditionnel d'Enedis. L'École de Formation du Barreau (EFB) est énergiquement autonome. L'éclairage public muni des détecteurs de présence permet une économie de consommation d'environ 30%.

D'après les entreprises du consortium, les objectifs, fixés en amont, d'empreinte carbone, de développement technologique et d'efficacité opérationnelle ont été atteints. Cependant, aucun élément quantitatif n'est fourni dans le rapport qu'elles ont publié en 2019. IssyGrid aurait donc permis d'expérimenter des « solutions »,

mais le bilan énergétique et environnemental est flou. De plus, si les clients sont sensibilisés aux éco-gestes, ils ne sont pas passés en phase « acteurs ». Enfin, un certain nombre de verrous réglementaires et tarifaires ont limité la portée du projet. En effet, 50% de l'électricité consommée viennent de la production renouvelable locale. L'une des raisons est que les parties prenantes d'IssyGrid ne peuvent pas assurer le transfert d'électricité entre les membres du réseau car la réglementation n'autorise pas encore des transferts d'énergie entre bâtiments dans l'espace public. Pour la consommation collective, les mécanismes prévus par cette réglementation se révèlent complexes à mettre en œuvre, pour des gains financiers très modestes à l'arrivée. Du point de vue des perspectives, les industriels du consortium

ont développé des compétences dans la gestion de smartgrids via cette expérimentation, vont à présent entrer en compétition pour proposer leurs outils de pilotage énergétique aux gestionnaires des différents immeubles impliqués dans le projet. Connecté à IssyGrid, et lauréat « Smart City » en 2016 de la COP22, le Fort d'Issy est un modèle de quartier éco-responsable et connecté¹²⁸. Lieu de vie construit sur le site d'une ancienne forteresse du 19^e siècle, puis démilitarisée en 2009, le quartier domine l'agglomération parisienne. Cet éco-quartier compte plus de 1600 logements (dont 300 logements sociaux) de conception bioclimatique, plus de 3500 habitants et près de 1500 m² de commerces de proximité. Tous les logements sont reliés au très haut débit, grâce à la fibre optique, dotés d'un écran de commande tactile pour agir à distance (réguler l'éclairage et la température, actionner l'ouverture et la fermeture des volets, etc.), équipés d'un affichage de toutes les consommations en temps réel (eau, électricité, etc.), connectés à l'intranet du Fort d'Issy, qui centralise les informations utiles à la vie du quartier.

Enfin, le système de chauffage/climatisation se régule automatiquement en fonction de la température. L'eau chaude et le chauffage sont produits par géothermie

grâce à un puits creusé à 700 m de profondeur, complété par des pompes à chaleur réparties dans chaque immeuble et 60% des besoins énergétiques des logements sont satisfaits grâce aux énergies renouvelables. La consommation énergétique des logements est optimisée par un équipement domotique, mais aussi à l'échelle du quartier par un raccord au smartgrid d'IssyGrid.

En matière de gestion écologique de l'eau, le Fort d'Issy la récupère du ruissellement de toiture. Il met en œuvre une collecte pneumatique des déchets par aspiration *via* 1200 mètres de tuyaux sous la voirie et 85 bornes d'aspiration en pied d'immeuble, déployé pour la première fois en France. En matière de bien-être et d'inclusion et mixité sociale, une école et une piscine Feng Shui ont été bâties en paille et en bois, des jardins et vergers partagés sont mis à disposition et enfin 4,4 hectares d'espaces verts et 350 arbres fruitiers ont été plantés dans le quartier.

Enfin en matière de mobilité, un parking partagé est accessible à tous, un suivi en temps réel du bus est possible grâce à son smartphone, et des stations Vélib' et Autolib' ou encore un local à vélos dans chaque résidence sont mis à disposition.

¹²⁸ <https://www.urbanera.fr/fort-dissy/>



Fort d'Issy - Quartier à énergie intelligente - UrbanEra. © Laurent Zylberman.

Un an après la livraison, un sondage destiné à mesurer la satisfaction des résidents (323 répondants), des commerçants (9 interrogés implantés dans le Fort) et des Isséens (46 répondants n'habitant pas le quartier) à l'égard de l'éco-quartier du Fort d'Issy a montré que :

- 95 % des occupants du quartier se déclarent fiers de vivre au fort d'Issy.
- 70 % des résidents disent avoir réalisé des économies sur leur facture énergétique grâce à ce réseau de chaleur géothermique permettant, par ailleurs, d'éviter l'émission de près de 2000 tonnes de CO₂ par an.
- 95 % des personnes sondés se disent satisfaits des réductions de nuisances apportées par le dispositif de collecte pneumatique des déchets.

- 68 % des résidents utilisent les équipements publics mis à disposition (piscine, école, espace d'animation culturelle, boulodrome, un centre sportif).

Six ans après la livraison, l'éco-quartier du Fort d'Issy est la cinquième ville la plus riche de France en termes de revenus par tête et 20 % de ses logements sociaux seraient essentiellement occupés par d'autres catégories sociales que celles initialement ciblées (i.e. catégories sociales plus aisées)¹²⁹. Le projet d'Issy les Moulineaux a offert l'opportunité de développer des activités économiques liées aux *grids* d'énergie. Sur la base de ce premier réseau, Nanterre Cœur Université, Lyon Eurêka Confluence ou l'éco-quartier des Capucins à Brest sont des éco-quartiers que de nombreuses métropoles françaises ont lancés¹³⁰.

¹²⁹ <https://www.streetpress.com/sujet/1582896177-fort-issy-ecoquartier-qui-ne-veut-pas-trop-se-melanger>

¹³⁰ <https://www.usine-digitale.fr/article/l-exemple-d-issygrid-inspire-de-nombreux-projets-de-smart-city.N823970>

L'Île-de-France, territoire de recherche expérimentale sur les villes intelligentes

L'Île-de-France concentre un potentiel d'innovation très important grâce à un tissu productif et économique très dense et diversifié, et une population nombreuse (19 % de la population française métropolitaine), cosmopolite et fortement diplômée. Le capital humain et financier régional en matière de recherche et développement est également très riche avec 30 000 doctorants (39 % des doctorants de France), ainsi que de nombreux établissements d'enseignement supérieur et organismes de recherche de dimension internationale. La présence de nombreuses « plateformes d'innovation » combinant recherche publique et privée, entreprises et collectivités territoriales favorise les réflexions et le développement de solutions pour les villes intelligentes et durables. La présence de centres de recherche expérimentale sur les villes intelligentes en est une traduction.

Sans être exhaustif, on peut citer le dispositif expérimental Concept Grid d'EDF R&D sur le site des Renardières à Écuellen (Seine-et-Marne), qui comprend un réseau de distribution intelligent étendu sur trois hectares, intégrant des fonctions de types smart grid, un quartier d'habitations composé de cinq maisons de 20 m² chacune avec des équipements actuels ou anticipant les usages futurs (compteurs intelligents, appareils électroménagers pilotables à distance, pompes à chaleur réversibles, micro-éoliennes, panneaux photo-

voltaïques, bornes de recharge de véhicules électriques, solutions de stockage). Ce quartier d'habitations témoins regroupe ainsi des technologies nouvelles en matière d'énergies renouvelables, de stockage ou encore de mobilité électrique¹³¹.

À l'est de Paris, Efficacity, institut français de recherche et développement créé en 2014, fédère une trentaine d'acteurs publics et privés dédiés à la transition énergétique et écologique des villes pour développer et mettre en œuvre des solutions innovantes pour construire une ville efficiente énergétiquement et massivement décarbonée. Efficacity est situé au cœur du campus de la Cité Descartes¹³². Au sud de Paris, sur le plateau Paris-Saclay¹³³, le campus de l'Institut Polytechnique de Paris, au travers de son centre Energy4Climate (E4C)¹³⁴ qui fédère 26 laboratoires de recherche et des acteurs privés de tailles variées (startups, PME et grands groupes), développe des démonstrateurs de bâtiments intelligents (3 smartgrids électriques et 1 smartgrid thermique/électrique) incluant mobilité électrique pour optimiser le service rendu par ces bâtiments (empreinte carbone, facture énergétique, bien-être intérieur...) avec le soutien de l'Europe et de la région Île-de-France en collaboration avec des startups (DotVision, Elum Energy, CLEM, Luceor, Evolution Energie), et des grands groupes comme TotalEnergies et EDF. Ces équipements expérimentaux servent également des objectifs de formations initiales (cycle ingénieur, masters) et professionnelles en proposant des projets immersifs au cœur de la transition énergétique.

131

[https://www.edf.fr/sites/default/files/EDF Recherche/Developpement/Actualites/2021.04.29ree_article_edf_lab_les_renardières.pdf](https://www.edf.fr/sites/default/files/EDF_Recherche/Developpement/Actualites/2021.04.29ree_article_edf_lab_les_renardières.pdf)

132 <https://efficacity.com/>

133 « Paris-Saclay : l'aménagement d'un territoire d'économie du savoir. » *Archibooks*, 2022.

134 <https://www.e4c.ip-paris.fr>



Un des smartbuildings du campus de l'Institut Polytechnique de Paris connecté à une borne en charge et décharge d'un véhicule électrique en autopartage, avec la ferme photovoltaïque située sur le toit du bâtiment, constituée de panneaux de 6 technologies différentes et 3 types d'agencements. © Jordi Badosa.

Par ailleurs, le territoire francilien est également un territoire de démonstration pour de nouvelles applications des systèmes énergétiques et en particulier les fermes agrivoltaïques. L'agrivoltaïsme fournit une énergie propre et représente un instrument important pour réaliser une économie alimentaire durable et circulaire dans les communautés semi-rurales et agricoles de l'Île-de-France. Sur un territoire fortement artificialisé, la construction de panneaux photovoltaïques au-dessus des champs cultivés permet d'éviter la

concurrence entre l'énergie solaire et l'agriculture dans l'utilisation des terres, et peut aider à atténuer l'impact du changement climatique sur la productivité des cultures, affectée par les épisodes de canicules et sécheresses plus nombreuses et intenses. Le centre E4C développe une ferme agrivoltaïque et étudie le potentiel de ce système énergétique dans un contexte péri-urbain en synergie avec les bâtiments et quartiers intelligents.

3.3 Transition vers la sobriété énergétique dans les villes

La sobriété énergétique, consistant à modérer les recours à l'énergie en rééquilibrant les besoins et en transformant les usages, est un enjeu majeur dans la transition énergétique et écologique¹³⁵. Bien que ses définitions soient multiples et mouvantes (cf. tableau 1 ci-dessous), un consensus académique se dessine autour

de la nécessité de ramener le niveau des activités humaines, à tous les échelons, dans le cadre des « limites planétaires »¹³⁶, dont certaines ont déjà été franchies : la sobriété peut être ainsi considérée comme une recherche d'un « juste assez » pour un « mieux-vivre » soutenable¹³⁷, à différentes échelles.

La sobriété énergétique est une démarche qui vise à réduire les consommations d'énergie par des changements de comportement, de mode de vie et d'organisation collective. La sobriété énergétique consiste tout d'abord à nous interroger sur nos besoins, puis à adapter nos usages à ces besoins.

Source : Haut Conseil pour le Climat.

La « sobriété » renvoie à des démarches multiples, dont le dénominateur commun est une recherche de « moins », de modération des biens et des services produits et consommés, tout en recherchant un « mieux ».

Source : ADEME (2019) Rapport « Panorama sur la notion de sobriété », nov. 2019.

L'ensemble des stratégies collectives et individuelles pour changer la nature des services énergétiques que nous consommons et cesser ou réduire le recours à ceux qui sont intrinsèquement les plus intensifs en énergie.

Source : Toulouse E., Le Dù M., Gorge H., Semal L., "Stimulating energy sufficiency: barriers and opportunities", Actes de la conférence eceee Summer Study, 2017.

Quelques définitions de la sobriété énergétique.

¹³⁵ Semal L., Szuba M., Villalba B., 2014 : « Sobriétés (2010-2013) : une recherche interdisciplinaire sur l'institutionnalisation de politiques locales de sobriété énergétique. » *Natures Sciences Sociétés*, 22, 351-358.

¹³⁶ Rockström J., Steffen W., Noone K., Persson Å., Chapin, III F.S., Lambin E., Lenton T.M., Scheffer M., Folke C., Schellnhuber H., Nykvist B., De Wit C.A., Hughes T., van der Leeuw S., Rodhe H., Sörlin S.,

Snyder K., Costanza R., Svedin U., Falkenmark M., Karlberg L., Corell R.W., Fabry V.J., Hansen J., Walker B., Liverman D., Richardson K., Crutzen P., Foley. J., 2009 : "Planetary boundaries:exploring the safe operating space for humanity". *Ecology and Society*, 14, 32.

¹³⁷ Guérineau M., Mayer J., 2021 : Rapport « Organiser la sobriété ».

Vers la sobriété dans les villes : considérations génériques

Cette nécessité conduirait ainsi à inscrire l'action climatique comme priorité stratégique dans la planification urbaine¹³⁸. La sobriété urbaine s'inscrit également dans la notion de ville « anthropocène »¹³⁹, décrivant un état des villes confrontées à un environnement géologique perturbé¹⁴⁰, dans lequel la sobriété permettrait de limiter la dépendance à des ressources raréfiées et mises sous tension¹⁴¹. Enfin, elle répond à des considérations éthiques et philosophiques, nouvelles ou renouvelées, d'éco-centrisme et de justice sociale, considérant la modération des besoins humains comme une condition à l'harmonie entre les humains et entre les espèces, y compris au sein des écosystèmes urbains^{142,143}. Considérant que la surconsommation est l'une des causes des tensions entre les vivants, la sobriété est alors considérée comme un vecteur de création d'un lien plus harmonieux et juste entre les occupants d'un même territoire¹⁴⁴.

En France, la sobriété est inscrite dans la loi de transition énergétique depuis 2015, et est considérée dans la plupart des scénarios prospectifs comme un levier essentiel pour atteindre les objectifs de diminution de la consommation énergétique finale à horizon 2030 et 2050^{145,146,147}. Malgré cette ambition affichée, parfois réitérée dans les feuilles de routes territoriales telles que le SRADDET (schémas régionaux d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires) au niveau régional ou les PCAET (plan climat air-énergie territorial) au niveau local, la sobriété reste encore peu mise en œuvre^{148,149}, générant parfois des craintes ou des difficultés quant à son potentiel d'acceptation, de faisabilité et de création de valeur. Le lien ambigu que la sobriété entretient avec l'idée de décroissance alimentaire également une certaine méfiance, en particulier politique¹⁵⁰.

La sobriété porte toutefois une promesse de création de valeur, par la recherche d'un « mieux-vivre » (amélioration du confort, renforcement des liens sociaux, réduction des inégalités, résilience territoriales)¹⁵¹ : il s'agirait alors de trouver, à l'échelle d'un territoire, l'équilibre du

¹³⁸ Bulkeley H., 2021 : "Climate changed urban futures : environmental politics in the anthropocene city." *Environmental Politics*, 30, 266-284.

¹³⁹ Zalasiewicz J., Waters C., Williams M., 2017 : « Les strates de la ville de l'Anthropocène. » *Annales. Histoire, Sciences Sociales*, 72, 329-351.

¹⁴⁰ ADEME, 2022 : *La ville low-tech. Vers un urbanisme du discernement*. Rapport final.

¹⁴¹ Lorrain D., Halpern C., Chevauché C., 2018 : *Villes sobres. Nouveaux modèles de gestion des ressources*. Science Po Les Presses.

¹⁴² Clergeau P., 2008 : Préserver la nature dans la ville. In *Annales des Mines-Responsabilité et environnement*, 4, 55-59.

¹⁴³ Bally F., 2017 : « Quels services écosystémiques culturels sont produits par des citoyens et quelles valeurs y associent-ils ? » *Environnement Urbain*, 11.

¹⁴⁴ Wirz, Hans. 2018. « Décroissance et sobriété : une nouvelle mission pour l'urbanisme ?' *Tous urbains* N° 22 (2) : 26-29.

¹⁴⁵ RTE, 2021 : *Futurs énergétiques 2050*. RTE, Octobre 2021.

¹⁴⁶ ADEME, 2021 : *Transition(s) 2050. Choisir maintenant Agir pour le climat*. Rapport.

¹⁴⁷ Negawatt (2021), Scénarios Negawatt 2022. Synthèse.

¹⁴⁸ Toulouse E., Sahakian M., Bohnenberger K., Lorek S., Leuser L., Bierwirth A., 2019 : *Energy sufficiency: how can research better help and inform policy-making?* Actes de la conférence eceee Summer Study.

¹⁴⁹ Zell-Ziegler C. et al., 2021 : "Enough? The role of sufficiency in European energy and climate plans." *Energy Policy*, 157, 112483.

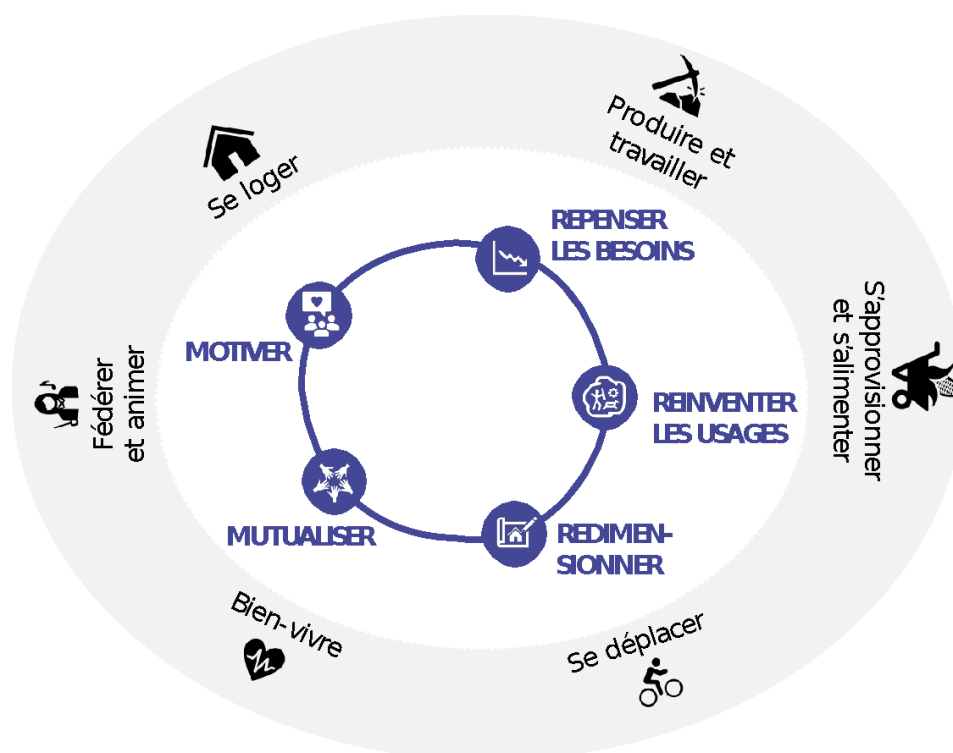
¹⁵⁰ Sinaï A., Löwy M., 2019 : *Décroissance, écosocialisme : comment répondre à la question écologique ?* *Ballast*, 7, 54-69.

¹⁵¹ Villalba B., Semal L., 2018 : « Sobriété énergétique : Contraintes matérielles, équité sociale et perspectives institutionnelles. » *Quae*.

« juste assez », entre diminution de la consommation et l'accès équitable à un certain niveau de confort et de bien-être¹⁵².

À l'échelle des villes, un ensemble d'actions et de co-bénéfices associés à la sobriété ont déjà été mis en évidence¹⁵³. Mais au-delà d'une série d'actions isolées, une ville sobre est entendue ici de façon plus systémique, comme une ville qui or-

ganise la sobriété sur son territoire, au travers de cinq types de pratiques. Afin de brosser un portrait global d'un territoire « sobre », cinq domaines sont retenus, correspondant à des grandes problématiques de gestion urbaine : se loger, produire et travailler, s'approvisionner et s'alimenter, se déplacer et bien-vivre. Un sixième domaine transverse « fédérer et animer » peut y être ajouté.



Cinq types de pratiques pour un territoire sobre.

La sobriété dans les villes franciliennes

Les ambitions territoriales en matière de sobriété en Île-de-France se déclinent notamment dans la feuille de route du plan de relance écologique de 192 propositions pour une région « ZAN, ZEN et circulaire »,

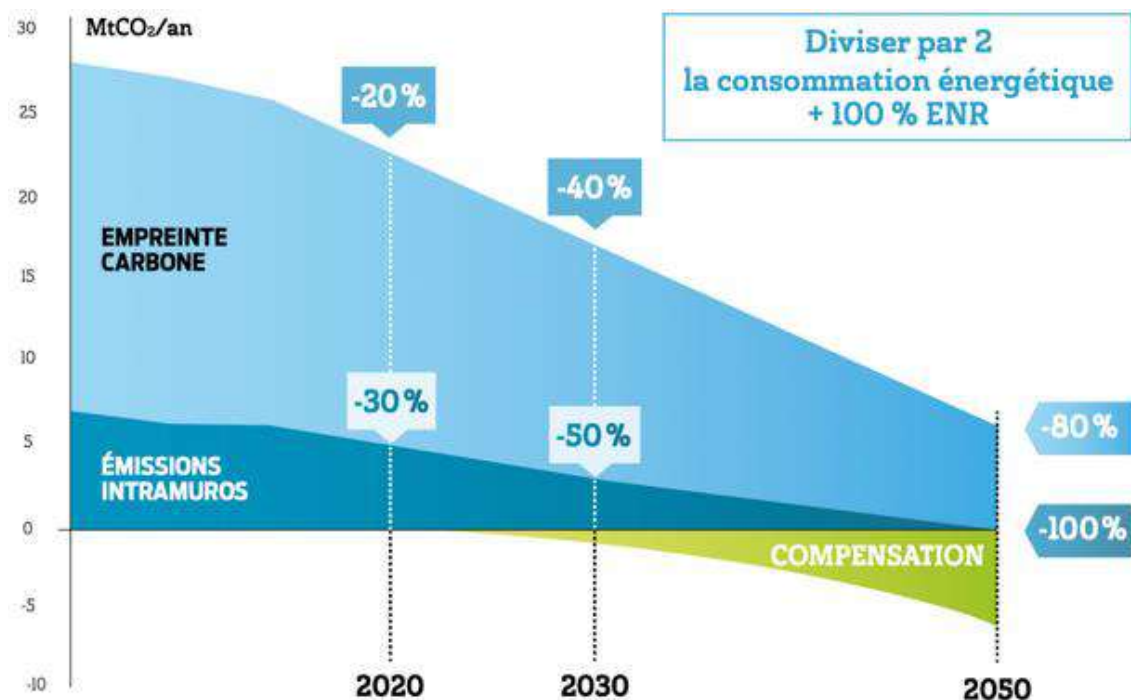
à l'issue de la première COP régionale, visant à atteindre une région « zéro émission nette », « zéro artificialisation nette » et « circulaire » d'ici 2050. À l'échelle des villes, la sobriété constitue une dimension plus ou moins importante des feuilles de route de la transition écologique, en particulier les plans climats, les Agenda 21 et

¹⁵² Bornarel A., Gauzin-Müller D., Madec P., 2018 : *Manifeste pour une frugalité heureuse et créative*. <https://www.frugalite.org/fr/le-manifeste.html>

¹⁵³ Niccoloso B, 2021 : *Petit traité de sobriété énergétique*. Charles Leopold Mayer - Eclm Poche.

les PCAET. Par exemple, le plan climat de la ville de Paris ambitionne, en cohérence avec les objectifs fixés par la SNBC (stratégie nationale bas carbone), une division par deux de la consommation énergétique

à horizon 2050. Cette diminution repose à la fois sur l'efficacité (amélioration de la performance des dispositifs énergétiques) et sur la sobriété.

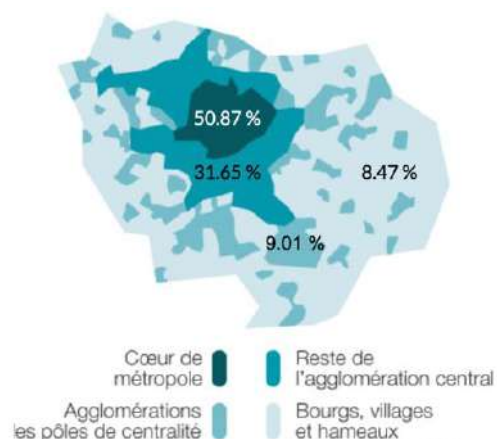


Extrait du plan climat de la ville de Paris planifiant une division par deux de la consommation énergétique à horizon 2050.

Pour aborder la sobriété à l'échelle d'une ville sans l'opposer à ses enjeux de développement et de bien-être, elle doit être mise au regard de son « profil » énergétique et de ses besoins territoriaux, et s'organiser autour d'un véritable projet de société. Ces ambitions de sobriété s'inscrivent ainsi dans les spécificités du territoire francilien, en particulier sa forte densité,

soit 20% de la population française sur 2% du territoire métropolitain¹⁵⁴, sa population majoritairement urbaine. La consommation énergétique sur le territoire en 2020 témoigne d'un découpage territorial marqué entre le cœur de métropole, les agglomérations proches (petite et grande couronne), et le reste du territoire.

¹⁵⁴ INSEE Flash Île-de-France n°62, *Population légale de l'Île-de-France*, 29/12/2021.



Part des consommations par grandes entités géographiques : total Île-de-France 205 TWh, non corrigée des variations climatiques.

En 2004, l'empreinte écologique d'Île-de-France a été évaluée à 5,58 hectares globaux par an et par habitant. En 2014, cette empreinte écologique s'est améliorée pour s'établir en moyenne à 4,81 hectares globaux par an et par habitant, tout en restant supérieure à la moyenne de la France (4,66 hectares globaux par an et par habitant)¹⁵⁵. (Le territoire est marqué par des inégalités sociales, qui se traduisent sur le plan énergétique. En 2013, 727 200 ménages franciliens (soit 1 735 900 personnes) déclaraient être en situation de « précarité énergétique » telle que définie par l'Observatoire National de la Précarité Énergétique (ONPE), c'est-à-dire éprouvant dans leur logement des difficultés particulières à disposer de la fourniture d'énergie nécessaire à la satisfaction de leurs besoins élémentaires. Si ces foyers ne sont donc pas a priori la cible d'efforts de sobriété, la mise en place d'une stratégie plus globale de sobriété à l'échelle territoriale peut conduire à une réflexion plus systémique autour d'une redistribution des ressources énergétiques, potentiellement en faveur de ce type de publics. Sont

¹⁵⁵ Note rapide sur le développement durable, n°403, décembre 2005, Institut Paris Région.

¹⁵⁶ Faburel G., Gueymard S., 2008 : « Inégalités environnementales en région Île-de-France : le rôle

à prendre en compte également les tendances sociétales liées aux usages énergétiques et plus largement aux modes de vie, pour favoriser son appropriation par les acteurs du territoire et éviter les résistances (sensibilité à l'écologie, mixité sociale, précarité, etc.).

Ainsi, la définition d'une ou de sobriété(s) urbaine(s) en Île-de-France dépendra des caractéristiques territoriales propres à chaque ville, dont les contraintes et les leviers de sobriété peuvent différer d'un contexte à l'autre¹⁵⁶. Recenser de façon exhaustive les actions de sobriété sur un territoire tel que l'Île-de-France est complexe, en raison, d'une part, du flou autour de la définition et du périmètre de la sobriété – rendant le spectre d'actions potentiellement très large –, et d'autre part, du caractère implicite de la sobriété dans de nombreuses actions qui l'incarnent (ex. : économie circulaire).

La littérature sur le sujet n'a pas encore entrepris une telle synthèse, mais le repérage des initiatives de sobriété en vue de l'élaboration d'une cartographie est en cours au sein des ateliers de la Fabrique francilienne. Sont listées ci-dessous quelques exemples d'actions emblématiques identifiées sur le territoire en lien avec les domaines et dimensions de la sobriété présentées précédemment. Ces actions visent davantage à illustrer la nature des instruments de transition vers la sobriété qu'à dresser un panorama exhaustif, et proviennent essentiellement du recensement réalisé dans le cadre de la Fabrique francilienne coordonné par l'AREC Île-de-France, complétée par une veille par les auteurs.

structurant des facteurs négatifs de l'environnement et des choix politiques afférents. » *Espace populations sociétés. Space populations societies*, 2008/1, 159-172.

SE LOGER	<ul style="list-style-type: none"> • Outil « Territoires pilotes de sobriété foncière » du programme Action Cœur de Ville (Communauté d'Agglomération Rambouillet Territoires) • Projets Zéro Artificialisation Nette (ZAN) (écoquartier Victor Hugo à Bagneux) • Démarche BIMBY (Build in My Back Yard) de limitation de l'étalement urbain (PNR Vexin) • Projets d'habitats participatifs (CAHP-IDF, association Éco Habitat Groupé, Maison des Babayagas) • Projet d'éco-construction « 100 quartiers innovants et écologiques » (Ferme du Rail) • Appels à projets urbains « Réinventer Paris » (Ferme du rail, Paris 19^e) • Construction de Tiny Houses (Ma Petite Maison Verte, Massy) • Actions de sensibilisations aux économies d'énergie (Défis Déclics, Conseillers France Rénov, ALEC, Communauté d'Énergie Citoyenne « Les Économes »)
PRODUIRE ET TRAVAILLER	<ul style="list-style-type: none"> • Projet « 1000 cafés » de développement de cafés multiservices de proximité (Atelier d'Andy à Crisenoy) • Appel à projets d'économie circulaire (ParisFabrik) • Espaces de co-working (CœurWorking de Cœur d'Essonne Agglomération) • Organismes de formation et incubateurs d'entrepreneuriat local à impact (Le Bastion en Essonne), à l'éco-construction (Ghara à Paris) • Espaces d'enseignement et d'expérimentation de la transition écologique (Campus de la Transition à Forges) • Dispositif Éco Énergie Tertiaire (obligation nationale) • Plateforme OPERAT (Observatoire de la Performance Énergétique, de la Rénovation et des Actions du Tertiaire) (ADEME)
SE DÉPLACER	<ul style="list-style-type: none"> • Développement de l'offre de transports communs de proximité (Proxi'bus dans les communes de l'Orée de la Brie) • Développement des pistes cyclables et zones piétonnes • Développement des infrastructures de covoiturage et d'autopartage (Free2Move à Paris) • Bornes de recharges partagées (WattPark en Essennes) • Garages et vélos solidaires (Mobilhub à la Courneuve) • Développement du télétravail
S'APPROVISIONNER ET SE NOURRIR	<ul style="list-style-type: none"> • Ville du ¼ d'heure (projet Paris Ville du ¼ d'heure) • Agriculture urbaine et permaculture urbaine (Cité maraichère de Romainville, V'île Fertile) • Circuits courts (AMAP) • Défis Déclics Zéro Déchets et Alimentation
BIEN-VIVRE	<ul style="list-style-type: none"> • Buanderies collectives (expérimentation pour l'extinction nocturne à Bois-le-Roi) • Habitats collectifs (maison des Babayagas à Montreuil) • Tiers-lieux, recycleries, ressourceries, repairs cafés (Cité Fertile à Pantin)
FÉDÉRER ET ANIMER	<ul style="list-style-type: none"> • Étude « Imaginaires de la sobriété en IDF » (AREC IDF) • Récit prospectif « La ville low tech en 2040 », piloté par L'Institut Paris Région et l'Adeup • Cycles de conférences « Fabrique Francilienne de la sobriété » (AREC IDF) • Réseau ROSE et réseau ACTIFS • Expérimentation « (Dé)formons nos élus » sur la sobriété, dans le cadre du programme TIFA porté par la région Île-de-France

Exemples d'actions et d'instruments de sobriété à l'échelle des villes repérés en Île-de-France.

Au-delà des actions existantes, de nombreuses recommandations pour conduire une transition vers la sobriété ont été récemment formulées par diverses institutions. Les scénarios avec une forte dominante de sobriété, notamment ceux de Negawatt et de l'Agence de la transition écologique (ADEME), incluent des recommandations de mesures dont certaines pourraient s'appliquer à l'échelle des villes franciliennes (rénovation performante des bâtiments, mobilité accessible à tous, anticiper et préparer les mutations industrielles et professionnelles, etc.). Les rapports publiés par le Shift Project (2021) développent également une série d'actions ou d'instruments de sobriété concernant l'habitat et la mobilité, ainsi que des recommandations sectorielles¹⁵⁷.

De manière générale, ces recommandations soulignent le besoin de politiques transverses et cohérentes, et d'action à une échelle plus collective et systémique¹⁵⁸. Mais la construction d'une vision systémique d'une ville sobre reste encore peu éprouvée, car l'application de la sobriété à l'échelle des territoires fait l'objet d'interprétations et d'acceptation très variées. Par exemple, l'ADEME dresse le portrait de plus d'une dizaine d'imaginaires de ville dites « low-tech », intégrant un principe de sobriété : la smart-city, la ville créative, inclusive, nature, résiliente, fabricante, la ville des proximités, la ville circulaire, sobre ou encore frugale. L'étude Zen 2050 souligne ainsi que « la mobilisation conjointe des pouvoirs publics nationaux et locaux, des entreprises et des citoyens-consommateurs, leur adhésion à un récit

partagé paraissent une condition d'acceptation des efforts nécessaires. » (p.7). Plus particulièrement, le CESER (conseil économique, social et environnemental régional) a récemment suggéré à la Région Île-de-France plusieurs actions de sobriété dans différents domaines, par exemple, sur la mobilité¹⁵⁹ :

- tendre vers un Pass Navigo multimodal combinant les tarifs en matière de transports en commun, mais aussi de location de vélos ;
- favoriser l'acquisition et l'usage des mobilités actives en renforçant les moyens du programme Veligo ;
- repenser l'espace public, notamment en termes de déplacements et d'aménagement en faveur des mobilités sobres comme le vélo ou la marche, dans une perspective de réduction du besoin de moyens de transports classiques.

157

<https://theshiftproject.org/category/publications/reports/>

158 [http://www.acclimaterra.fr/wp-](http://www.acclimaterra.fr/wp-content/uploads/2018/05/Rapport-AcclimaTerra.pdf)

[content/uploads/2018/05/Rapport-AcclimaTerra.pdf](http://www.acclimaterra.fr/wp-content/uploads/2018/05/Rapport-AcclimaTerra.pdf)

159 CESER (2020), Avis et Rapport *Sobriété énergétique : Quelles actions concrètes en Île-de-France ?* Avis n°2020-05, présenté au nom de la commission Environnement et transition énergétique par Hélène RAMAJO.



Les carnets du GREC francilien

Changement climatique
et transition énergétique
en région Île-de-France

Photo
Jordi Badosa, LMD-IPSL

Maquette et mise en pages
Marie Pinhas, ICoM-IPSL

© GREC francilien, 2022