



Eric Garault / Institut Paris Region

ÉNERGIE

Octobre 2023 • [www.institutparisregion.fr](http://www.institutparisregion.fr)

**92 %**

DES ÉMISSIONS TERRITORIALES FRANCILIENNES DE GAZ À EFFET DE SERRE LIÉES À L'ÉNERGIE

**17,5 TWh**

D'ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DE RÉCUPÉRATION (ENRR) PRODUITES, DONT :

91 % DE CHALEUR (DÉCHETS, BOIS, GÉOTHERMIE...)

8 % D'ÉLECTRICITÉ (SOLAIRE, DÉCHETS, HYDRAULIQUE...)

1 % DE GAZ (MÉTHANISATION)

**9 %**

DES CONSOMMATIONS D'ÉNERGIES FRANCILIENNES COUVERTES PAR LES ENRR LOCALES (19 % À L'ÉCHELLE NATIONALE)

**250 ha**

DE SURFACE AU SOL DÉDIÉS À LA PRODUCTION D'ENRR<sup>1</sup>

(Année de référence : 2020)

## LE DÉVELOPPEMENT DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DE RÉCUPÉRATION À L'ÉPREUVE DU ZAN

LA MASSIFICATION DES INSTALLATIONS DE PRODUCTION D'ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DE RÉCUPÉRATION, PEU CARBONÉES, FAIT PARTIE DES SOLUTIONS POUR RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE ET ACCROÎTRE L'AUTONOMIE ÉNERGÉTIQUE DES TERRITOIRES. DANS UNE RÉGION AUX NOMBREUSES CONTRAINTES, ENTRE L'ACCÈS AU FONCIER ET LA RÉDUCTION DE L'ARTIFICIALISATION DES SOLS, COMPRENDRE ET IDENTIFIER LES AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DE CHAQUE MODE DE PRODUCTION D'ÉNERGIE EN MATIÈRE D'EMPRISE SPATIALE APPARAÎT ESSENTIEL.

L'objectif « Zéro émission nette » (ZEN) à l'horizon 2050 instauré par l'Accord de Paris sur le climat (2015) et inscrit dans la loi Climat Énergie (2019) requiert la réduction des consommations d'énergie ainsi que le développement d'énergies renouvelables et de récupération (EnRR) pour remplacer les énergies fossiles. Mais le déploiement de nouvelles infrastructures énergétiques présente des risques de conflits d'usage de l'espace, questionnant ainsi leur impact sur la biodiversité et l'atteinte d'un autre objectif, l'objectif « Zéro artificialisation nette » (ZAN) à horizon 2050, promulgué par la loi Climat et résilience (2021). La loi d'accélération de la production d'énergies renouvelables (2023 – lire encadré p. 2) encourage les territoires à développer les EnRR tout en assurant une bonne intégration paysagère, environnementale et sociale des installations. Les communes doivent définir des « zones d'accélération » favorables à l'accueil des projets d'énergies renouvelables, en concertation avec les habitants. Or aujourd'hui, en raison du manque de recul sur le développement de ces nouvelles filières et de la diversité des projets, il existe peu d'informations fiables, partagées et accessibles aux collectivités et aux gestionnaires de patrimoine (entreprises privées, foncières...) sur l'emprise au sol des EnRR. Ces informations sont pourtant primordiales pour bâtir une stratégie globale et transversale d'allocation des ressources foncières et de contribution aux objectifs ZEN et ZAN.

**LA LOI D'ACCÉLÉRATION DE LA PRODUCTION D'ÉNERGIES RENOUVELABLES**

Face à la crise énergétique et au dérèglement climatique, un projet de loi relatif à l'accélération de la production d'énergies renouvelables a été adopté par l'Assemblée nationale le 10 janvier 2023, afin de rattraper le retard de la France dans ce domaine. En 2020, la France était le seul pays à ne pas avoir atteint l'objectif de 23 % d'énergies renouvelables fixé par l'Union européenne. Le texte de loi s'articule autour de trois axes :

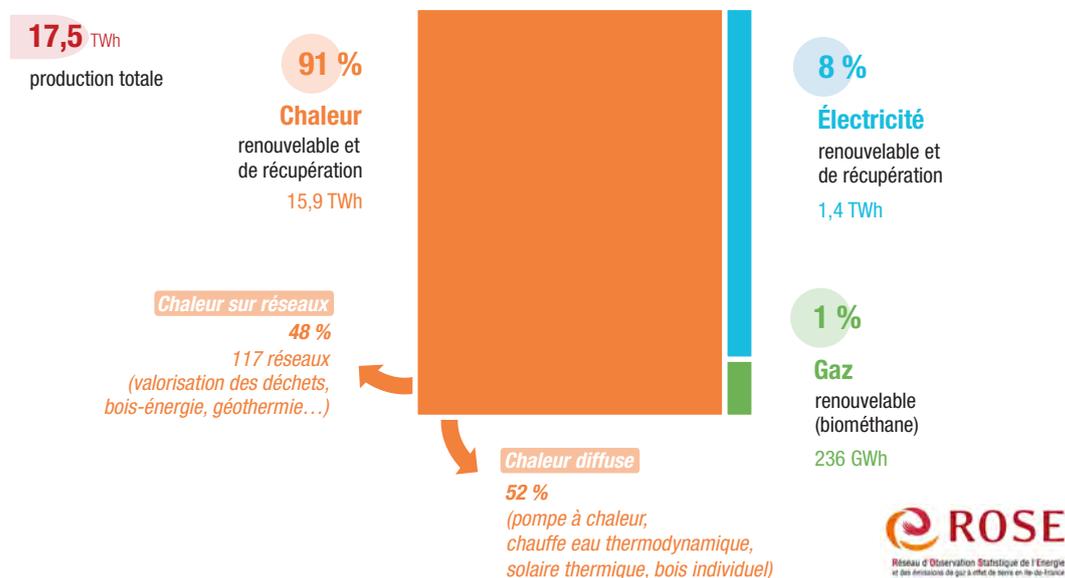
- simplifier les procédures afin de raccourcir les délais de développement des projets ;
- mobiliser des espaces délaissés ou dégradés au profit du solaire et de l'éolien ;
- mieux partager la valeur des énergies renouvelables avec les territoires.

**ENR'CHOIX : UN OUTIL D'AIDE À LA DÉCISION**

La démarche EnR'Choix, portée par la Direction régionale Île-de-France de l'Ademe depuis 2012, accompagne les territoires et les gestionnaires de patrimoine dans leur stratégie énergétique en tenant compte des potentiels et des priorités définis dans le Schéma régional Climat-Air-Énergie (SRCAE).

EnR'Choix guide vers la sobriété et l'efficacité énergétique, la mutualisation des besoins, la priorisation des énergies renouvelables pour le chauffage, le refroidissement et l'eau chaude sanitaire des bâtiments. EnR'Choix met également à disposition un centre de ressources : exemples d'opérations, guides et cahiers des charges, bonnes pratiques, cartes de potentiel des besoins et des sources EnRR... [www.enrchoix.idf.ademe.fr](http://www.enrchoix.idf.ademe.fr)

**Panorama de la production d'énergie renouvelable et de récupération en Île-de-France en 2020**



s'élève à 195 TWh<sup>3</sup>, dont 68 % sont imputables aux bâtiments (secteurs résidentiel et tertiaire) et 22 % aux transports routiers. Une part majoritaire (60 %) de ces consommations provient de la combustion directe d'énergies fossiles polluantes (produits pétroliers, gaz naturel et charbon). L'autre part est composée de 32 % d'électricité (dont 67 % issue du nucléaire), 5,5 % de chauffage urbain (dont 53 % d'EnRR) et 2,5 % de bois-énergie. La dépendance régionale à des territoires extérieurs pour s'approvisionner en énergie est forte : les EnRR locales ne couvrent que 9 % de l'énergie totale consommée.

La chaleur constitue le principal vecteur de production renouvelable et de récupération en Île-de-France (91 %), également répartie en deux segments : la chaleur sur réseaux (valorisation des déchets, géothermie, chaufferies biomasse...) et la chaleur diffuse (pompes à chaleur, chauffe-eaux thermodynamiques, solaire thermique et bois-énergie). Le reste de la production d'EnRR francilienne est assuré par les filières électriques (valorisation des déchets, éolien, solaire photovoltaïque...) et gaz (méthanisation).

Accroître l'autonomie énergétique francilienne et diminuer les émissions régionales pour atteindre l'objectif ZEN supposent de réduire les consommations énergétiques d'une part (via la sobriété<sup>4</sup> et l'efficacité<sup>5</sup>) et de développer les EnRR d'autre part. Au-delà du fait de contribuer à atteindre l'objectif ZEN, le déploiement de telles énergies doit permettre de réduire la dépendance de l'Île-de-France non seulement aux énergies fossiles, mais plus largement aux régions voisines et aux pays exportateurs de ressources énergétiques, afin de sécuriser l'alimentation de la région en énergie.

Le recours massif aux différents modes de production d'énergie décarbonée est, par conséquent, souhaitable et nécessaire. Il s'inscrit dans un contexte francilien de qualité de l'air dégradée, d'acceptabilité sociale modérée et de rareté foncière accentuée par l'objectif ZAN.

Pour tenir compte de ces contraintes, les nouvelles infrastructures énergétiques franciliennes devront être performantes, compactes et déployables dans les zones urbanisées, et favoriser la conciliation de plusieurs usages sur un même espace.

**EMPRISE SPATIALE DES ENRR : LES CHIFFRES ET LES USAGES**

Au regard de leur gisement disponible et de leur haut degré de maturité pour un développement massif sur le territoire francilien, cinq filières d'EnRR sont susceptibles d'occuper d'importantes emprises au sol : la méthanisation, l'éolien, le solaire photovoltaïque, la géothermie profonde et les chaufferies biomasse (bois-énergie).

À ce jour, l'impact spatial des EnRR est assez faible en Île-de-France : environ 250 hectares d'emprise au sol sont consommés par ces installations<sup>6</sup> (soit 0,02 % de la superficie régionale), principalement des unités de méthanisation et des centrales photovoltaïques au sol.

La géothermie et les chaufferies biomasse se distinguent par leur caractère compact (très haut niveau de production de chaleur par unité de surface) et leur capacité d'intégration dans le tissu déjà urbanisé. Le déploiement de la géothermie profonde présente les avantages de ne pas



## Présentation et emprises au sol des EnRR franciliennes



### La géothermie profonde

La géothermie profonde est une technique qui vise à exploiter la chaleur puisée dans le sous-sol profond (au-delà de 200 mètres), sans transport ni combustion. En fonction des calories captées, l'eau chaude est valorisée pour des installations de chauffage des bâtiments *via* des réseaux de chaleur.

La ressource géothermique profonde est présente sur une partie importante du territoire francilien, notamment à travers les aquifères du Trias et du Dogger. Les installations de géothermie qui valorisent cette ressource peuvent fonctionner tous les jours de l'année, 24 heures sur 24, indépendamment des conditions météorologiques, et sont particulièrement adaptées aux zones urbaines denses. Elles requièrent environ 5 000 m<sup>2</sup> d'emprise au sol destinés à la plateforme de forage et d'exploitation.



### Les chaufferies biomasse (bois-énergie)

Avec 6 TWh produits en 2020 sur 17,5 TWh, la filière bois-énergie est la première source d'énergie renouvelable en Île-de-France. En tant que sous-produit de l'exploitation du bois, complémentaire au bois d'œuvre et au bois d'industrie, son utilisation contribue à la structuration et à la pérennisation de la filière bois. Elle participe également à l'économie circulaire par la valorisation énergétique des bois en fin de vie et par la valorisation agronomique des cendres de bois.

Les chaufferies biomasse collectives et industrielles sont des installations compactes (entre 300 et 900 m<sup>2</sup>/MW, selon l'échelle de puissance). Elles présentent également l'avantage de se déployer dans le tissu déjà urbanisé pour produire de la chaleur à haute température valorisable *via* les réseaux de chaleur.



### Solaire photovoltaïque

Les panneaux photovoltaïques produisent de l'électricité grâce au rayonnement solaire. Cette filière est prioritairement à développer en toiture et en ombrière de parking, compte tenu du gisement important et non exploité sur les espaces bâtis et de la richesse particulière des terres agricoles franciliennes, qui nécessite leur préservation.

Avec une emprise de 1 300 ha/TWh observée en Île-de-France, les centrales photovoltaïques au sol présentent l'intérêt d'être modulables et de s'adapter aux contraintes topographiques. Elles permettent un co-usage avec l'activité agricole (agrivoltaïsme – lire encadré ci-dessous).

### L'AGRIVOLTAÏSME, UNE FILIÈRE À LA CROISÉE DES ENJEUX ALIMENTAIRES ET ÉNERGÉTIQUES

L'agrivoltaïsme correspond à une installation de production d'électricité utilisant l'énergie radiative du soleil dont les modules sont situés sur une parcelle agricole où ils permettent de maintenir ou de développer durablement une production agricole.

Ces installations sont une opportunité pour produire de l'énergie sans consommer de l'espace au sol. Cependant, elles relèvent encore de l'innovation et nécessitent une analyse de leurs performances dans la durée. Le contexte agricole francilien et certains principes de précaution conduisent à envisager le développement d'un agrivoltaïsme arboricole et sur vigne.

## Méthanisation

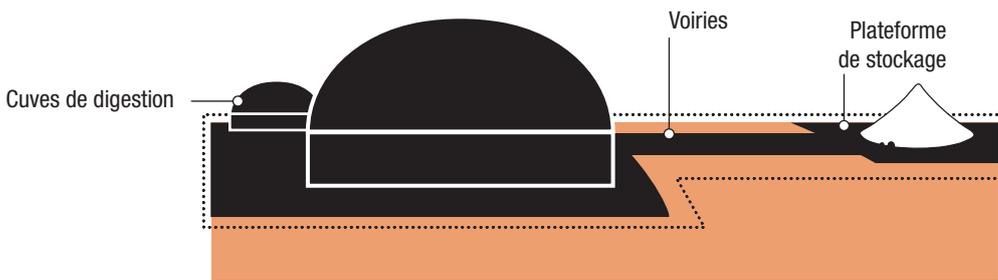
La méthanisation est un procédé biologique de dégradation de matières organiques en condition anaérobie (sans oxygène) permettant de valoriser des matières organiques en énergie renouvelable et de produire un résidu qui peut servir d'amendement organique ou de fertilisant. Au carrefour des secteurs de l'énergie, des déchets et de l'agriculture, elle présente de nombreux atouts. Pour assurer l'injection de biométhane dans les réseaux de gaz, l'emprise minimale d'une unité de méthanisation (incompatible avec un co-usage naturel, agricole et forestier-NAF) est évaluée à deux hectares. Les contraintes d'accessibilité (foncier et gisement) et d'urbanisme (distance minimale aux habitations) favorisent un déploiement de la filière dans les espaces agricoles. En moyenne, en Île-de-France, près de la moitié de l'emprise totale des unités de méthanisation en fonctionnement est couverte par une surface perméable : ce niveau d'artificialisation permet certains services écosystémiques du sol (infiltration des eaux et accueil de la biodiversité).



Eric Garault/L'Institut Paris Region

### Indicateur de perméabilité des sols

Exemple de la méthanisation



- Surface perméable**  
Surface de sol laissant s'infiltrer une partie plus ou moins importante des précipitations incidentes
- Surface imperméabilisée**  
Surface artificialisée recouverte de manière permanente de matériaux non poreux (cuves, bâtiments, plateformes et lagune de stockage de matière, voiries bitumées...)
- Surface d'emprise totale, incompatible avec un co-usage NAF (artificialisation)**  
Surface nécessaire au fonctionnement de l'unité de méthanisation, ne permettant pas une autre utilisation (agriculture, forêt, espace naturel)

© L'INSTITUT PARIS REGION, AREC, 2023  
Source : AREC, 2023  
pictogrammes © 123rf / Jeremy



## Éolien

Une éolienne produit de l'énergie électrique à partir de l'énergie cinétique du vent. Fixées en haut du mât, les pales mises en rotation par le vent autour du moyeu entraînent un générateur qui produit l'électricité. L'ensemble des éoliennes d'un parc sont raccordées entre elles puis au réseau électrique par l'intermédiaire d'un transformateur.

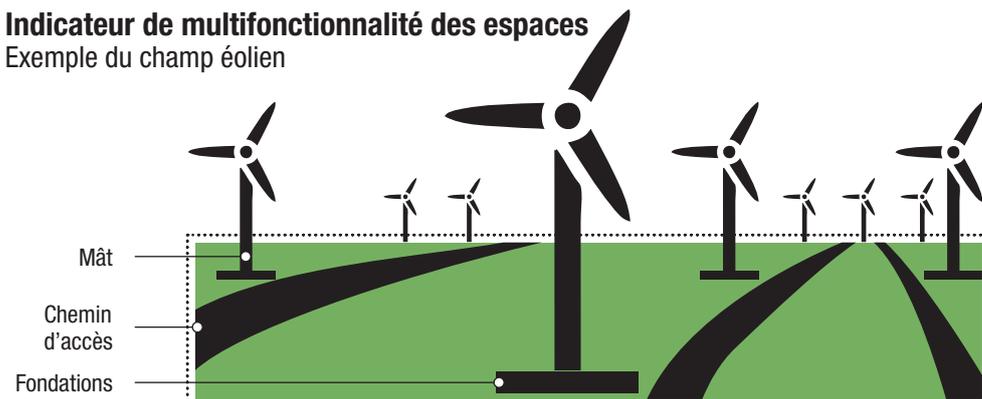
Avec une surface au sol dédiée d'en moyenne 3 800 m<sup>2</sup> par éolienne (incluant la plateforme et son accès), l'implantation des éoliennes peut être envisagée dans les zones agricoles et naturelles sous réserve de respecter les dispositions fixées dans le Code de l'urbanisme : notamment être compatible avec l'exercice d'une activité agricole, pastorale ou forestière du terrain sur lequel elles sont implantées, et ne pas porter atteinte à la sauvegarde des espaces naturels et des paysages.



Eric Garault/L'Institut Paris Region

### Indicateur de multifonctionnalité des espaces

Exemple du champ éolien

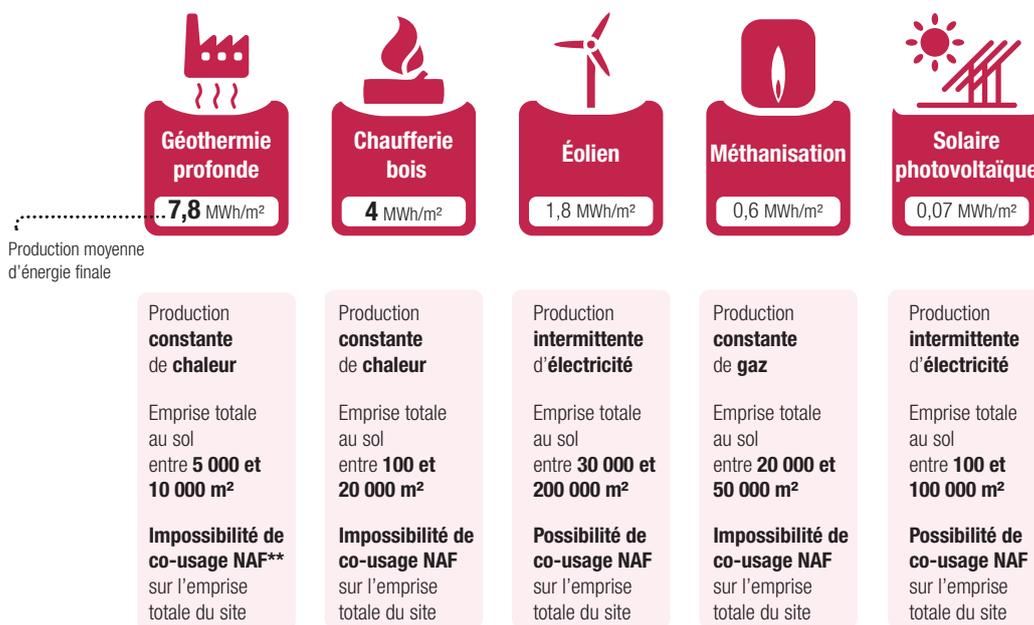


- Surface permettant un co-usage NAF**  
Surface à l'intérieur de la surface totale sur laquelle une autre utilisation est possible (agriculture, forêt, espace naturel)
- Surface imperméabilisée, incompatible avec un co-usage NAF**  
Surface artificialisée recouverte de manière permanente de matériaux non poreux (mâts éoliens, fondations et chemins d'accès)
- Surface d'emprise totale**  
Surface nécessaire à l'installation d'un système énergétique

© L'INSTITUT PARIS REGION, AREC, 2023  
Source : AREC, 2023  
pictogrammes © 123rf / Jeremy



## Production d'énergie par unité de surface au sol\*



\* Cette approche statistique de la production d'énergie par unité de surface est mobilisable pour appréhender le développement des énergies renouvelables sur un territoire ou un patrimoine. Elle ne se substitue pas à une étude plus globale et détaillée.

\*\* NAF : naturel, agricole et forestier

© L'INSTITUT PARIS REGION, AREC, 2023  
Source : L'Institut Paris Region, AREC, 2022  
pictogrammes © 123rf / leremy



## MÉTHODOLOGIE

Nos données sont issues d'une analyse qui croise deux observations : les surfaces réelles des installations EnRR franciliennes, mesurées à partir des images satellites, et la quantité annuelle d'énergie produite de ces mêmes installations, consolidée dans le cadre du Réseau d'observation statistique de l'énergie et des gaz à effet de serre en Île-de-France (ROSE). Cette approche permet d'appréhender le développement des EnRR sur un territoire ou un patrimoine (bâti ou foncier). Avec les évolutions technologiques (puissance et rendement), les valeurs pour les filières éolienne et solaire photovoltaïque sont vouées à augmenter. Par exemple, les parcs solaires au sol en développement projettent une production par unité de surface de l'ordre de 0,13 MWh/m², soit presque le double des parcs existants.

dégrader la qualité de l'air et de valoriser une ressource thermique non délocalisable et abondante en Île-de-France.

Les chaufferies biomasse sont des installations modulables, avec une large gamme d'emprises au sol, qui peuvent varier de 100 à 20 000 m² en fonction de la puissance installée.

Également déployés pour un usage collectif ou industriel, la méthanisation et l'éolien, qui produisent respectivement du gaz et de l'électricité renouvelables, disposent d'un haut niveau de production énergétique par unité de surface. Ces deux filières présentent des contraintes qui guident principalement leur déploiement en zone rurale. Au-delà de la mobilisation de biomasse agricole, les perspectives de développement de la filière méthanisation sont renforcées par l'obligation du tri à la source des biodéchets au 1<sup>er</sup> janvier 2024, qui augmentera de façon conséquente la quantité valorisable des déchets alimentaires de l'important bassin de consommation francilien.

Alors que les champs éoliens et les centrales photovoltaïques présentent un régime de production électrique intermittent (dépendant notamment des conditions météorologiques), leur surface totale d'emprise au sol peut permettre un co-usage des sols par le maintien d'une activité agricole ou sylvicole.

La valorisation de ces productions d'EnRR locales s'accompagnera également du développement de nouvelles infrastructures de transformation (production d'hydrogène vert), de stockage, de transport et de distribution d'énergie (électricité, chaleur ou gaz), dont les emprises spatiales sont également à considérer dans le cadre de la trajectoire ZAN.

## LES ÉNERGIES RENOUVELABLES VALORISENT LES RESSOURCES DES TERRITOIRES

La substitution des énergies fossiles par les énergies renouvelables permet de réduire nos émissions de gaz à effet de serre pour répondre à l'urgence climatique. Les EnRR jouent un rôle important dans la maîtrise à long terme de la facture énergétique et permettent de relocaliser notre production d'énergie, en produisant et en valorisant les ressources locales, plutôt que d'importer des énergies fossiles dont la volatilité des cours est une source de tensions.

Le Schéma régional Climat-Air-Énergie (SRCAE) trace le chemin vers un mix énergétique décarboné mobilisant toutes les EnRR. Les Plans Climat-Air-Énergie (PCAET) territoriaux précisent les priorités et les objectifs de développement de chaque filière. Pour les collectivités et les gestionnaires de patrimoine, l'objectif ZAN apporte une contrainte spatiale, en privilégiant des filières énergétiques

## ARTIFICIALISATION DES SOLS : DÉFINITIONS ET IMPACTS

L'artificialisation des sols est définie comme « l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage » (loi Climat et résilience). L'imperméabilisation constitue le niveau le plus impactant d'artificialisation, avec des conséquences multiples ainsi que de nombreux risques pour la biodiversité et le climat. De la destruction d'habitats naturels et de continuités écologiques à la diminution des capacités d'absorption du CO<sub>2</sub>, la réduction des terres naturelles, agricoles et forestières implique des changements immédiats et à long terme.

compactes, déployables dans les zones déjà artificialisées et dont les co-usages NAF sont possibles. Au regard de son potentiel exceptionnel en Île-de-France, de sa capacité à s'insérer dans les espaces urbanisés et de son haut niveau de production d'énergie par surface au sol consommée, la géothermie profonde apparaît comme un atout clé pour la transition énergétique francilienne.

La diversité ainsi que les contraintes géographiques et démographiques du territoire francilien imposent des réflexions transversales autour de la massification des EnRR et de leurs impacts fonciers, environnementaux, paysagers et sociaux. Avec 22 % de sa superficie d'ores et déjà artificialisée ainsi qu'une augmentation de près de 4 % de sa population entre 2009 et 2019, les défis sont grands. Au croisement des objectifs ZAN et ZEN, mieux lutter contre l'artificialisation des sols agricoles, des zones humides et des espaces forestiers est essentiel afin de préserver la biodiversité et les spécificités paysagères de la région, tout en luttant contre le réchauffement climatique. ■

Théo Klein et Lucas Sittler, ingénieurs,  
avec l'appui de **Thomas Hemmerdinger**, chargé de projet transition énergétique  
département Énergie et climat AREC (*Christelle Insergueix, directrice*)

## RESSOURCES

- Muriel Adam, Jean Béné et Laurie Gobled, « Mos 2021 : une sobriété foncière bien établie malgré une reprise des extensions », *Note rapide* n° 943, L'Institut Paris Region, juin 2022.
- Stéfan Bove, Damien Delaville, Gianluca Marzilli et Régis Dugué, « Le ZAN au défi de la connaissance des sols », *Note rapide* n° 956, L'Institut Paris Region, octobre 2022.
- Martin Hervouët, Erwan Cordeau, Sophie Dedieu et Sandra Garrigou, « Quels leviers activer pour accélérer la transition bas-carbone de l'Île-de-France ? », *Note rapide* n° 942, L'Institut Paris Region, mai 2022.
- Thomas Cormier, Damien Delaville, Gianluca Marzilli et Régis Dugué, « Le « MOS+ », un premier pas vers une observation moins binaire du ZAN », *Note rapide* n° 855, L'Institut Paris Region, juin 2020.
- Stratégie Énergie-Climat de la Région Île-de-France, juillet 2018.
- « Objectif "Zéro artificialisation nette" : quels leviers pour protéger les sols ? », France Stratégie, juillet 2019.
- « Comment concilier sobriété foncière et développement urbain en Île-de-France », Observatoire régional du foncier en Île-de-France, octobre 2022.
- « Énergies renouvelables : réussir la transition énergétique de mon territoire », Ademe, juin 2023.
- Portail cartographique des énergies renouvelables, IGN et Cerema.

1. Précision méthodologique : estimation réalisée en additionnant les surfaces au sol des filières significatives en Île-de-France (unités de méthanisation, centrales solaires photovoltaïques, éoliennes, chaufferies biomasse et plateformes géothermiques), hors transformation, transport et distribution de l'énergie.
2. Scope 1 : émissions directes (secteur résidentiel, activités tertiaires, activités industrielles, déchets, transport routier de personnes ou de marchandises, et agriculture). Scope 2 : émissions indirectes liées à la consommation d'énergie (électricité et chaleur des réseaux de chauffage urbain).
3. Consommations d'énergie finale, à climat réel (source : ROSE-Airparif, inventaire 2019-juin 2022), en térawattheure-TWh (= 1 milliard de kilowattheures-kWh).
4. Sobriété énergétique : démarche qui vise à réduire les consommations d'énergie par des changements de comportement, de mode de vie et d'organisation collective, volontaires et organisés.
5. Efficacité énergétique : démarche qui vise à réduire les consommations d'énergie nécessaires à la satisfaction d'un même besoin, en s'appuyant sur la performance d'un objet ou d'un système.
6. Estimation considérant les surfaces au sol des filières significatives en Île-de-France (unités de méthanisation, centrales solaires photovoltaïques, éoliennes, chaufferies biomasse et plateformes géothermiques), hors transformation, transport et distribution de l'énergie.

### DIRECTEUR DE LA PUBLICATION

Nicolas Bauquet, DG  
**COORDINATION DES ÉTUDES**  
Sébastien Alavoine, DGA

### DIRECTION DE LA COMMUNICATION

Cédric Lavallart (intérim)

### RÉDACTION EN CHEF

Laurène Champalle

### MAQUETTE

Jean-Eudes Tilloy

### INFOGRAPHIE/CARTOGRAPHIE

Claire Vogel  
**MÉDIATHÈQUE/PHOTOOTHÈQUE**  
Julie Sarris

### FABRICATION

Sylvie Coulomb

### RELATIONS PRESSE

Sandrine Kocki  
33 (0)1 77 49 75 78

### L'Institut Paris Region

15, rue Falguière  
75740 Paris cedex 15  
33 (0)1 77 49 77 49

ISSN 2724-928X  
ISSN ressource en ligne  
2725-6839



institutparisregion.fr

