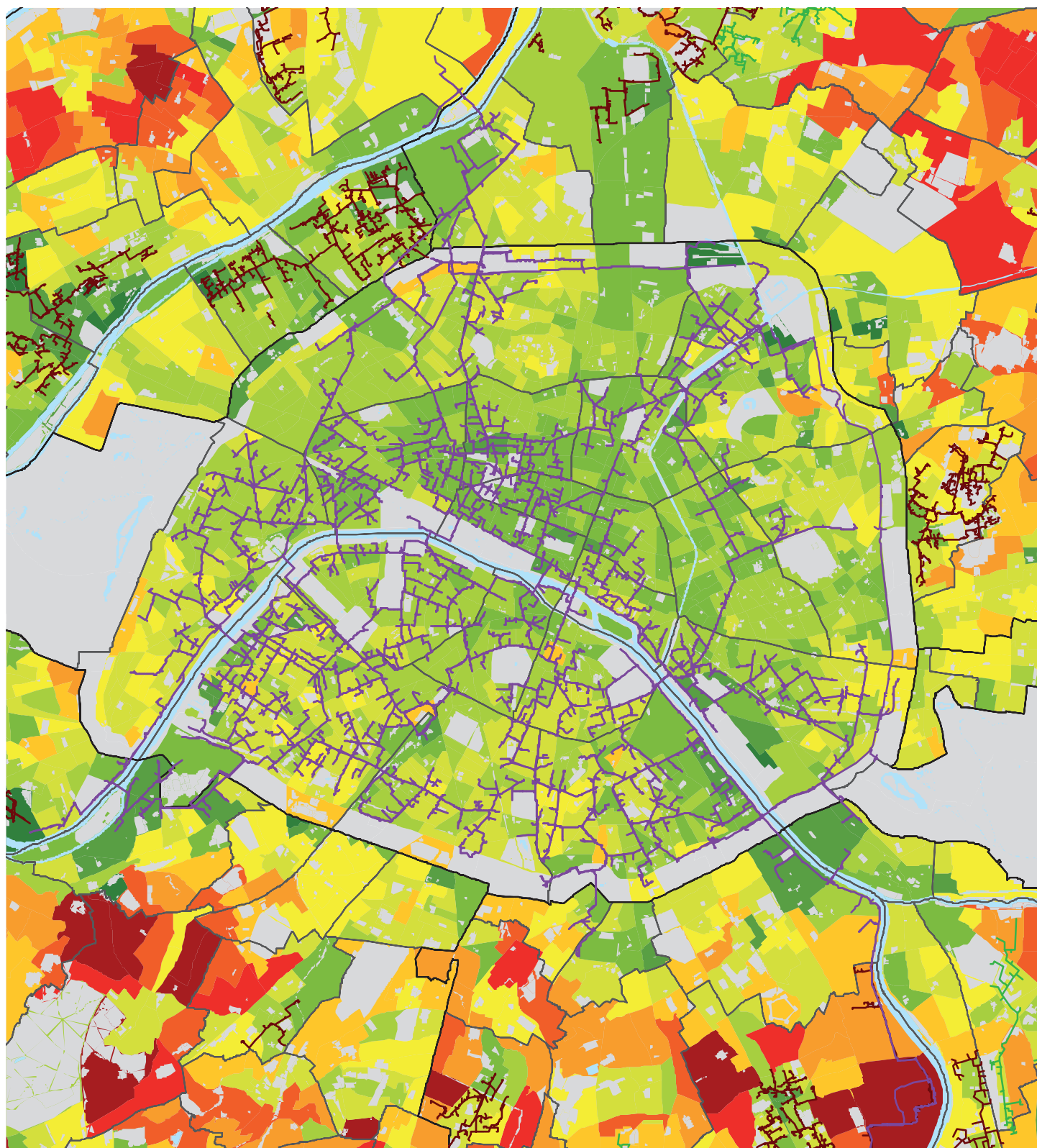


# Paris : un Plan Local Énergie

Adaptation au changement climatique  
et scénarios pour la transition énergétique



Directrice de la publication : Dominique Alba  
Étude réalisée par : Julien Bigorgne, Olivier Richard, Gabriel Senegas et Dounia Yassin  
Sous la direction de : André-Marie Bourlon  
Cartographie : Christine Delahaye, Anne Servais  
Traitement de données : Stéphane Ribes  
Photos : Apur sauf mention contraire  
Mise en page : Apur  
[www.apur.org](http://www.apur.org)



# Sommaire

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Préambule : les objectifs pour Paris et comment les atteindre .....             | 4         |
| <b>1 — Données de cadrage.....</b>                                              | <b>7</b>  |
| Les grands chiffres de l'énergie pour Paris .....                               | 8         |
| État des systèmes énergétiques et de leur problématique .....                   | 10        |
| Six indicateurs .....                                                           | 12        |
| <b>2 — La rénovation du bâti résidentiel.....</b>                               | <b>21</b> |
| Une modélisation thermique du bâti .....                                        | 22        |
| Consommations d'énergie du bâti résidentiel parisien .....                      | 26        |
| Stratégies d'intervention et réduction des consommations d'énergie.....         | 27        |
| Sensibilité du modèle aux mesures ponctuelles de réhabilitation .....           | 31        |
| Construction de scénarios pour Paris.....                                       | 33        |
| Enseignements .....                                                             | 36        |
| <b>3 — Les ENR&amp;R pour optimiser et sécuriser le système énergétique... </b> | <b>39</b> |
| Les réseaux et les ressources globales .....                                    | 40        |
| Évaluation des gisements locaux d'ENR&R.....                                    | 44        |
| <b>4 — Renforcer les synergies énergétiques dans la ville .....</b>             | <b>57</b> |
| Les « tertiaires » : caractéristiques et localisation.....                      | 58        |
| Identifier des îlots mixtes pour initier des démonstrateurs.....                | 63        |
| Conclusion et perspectives .....                                                | 66        |

# Préambule : les objectifs pour Paris et comment les atteindre

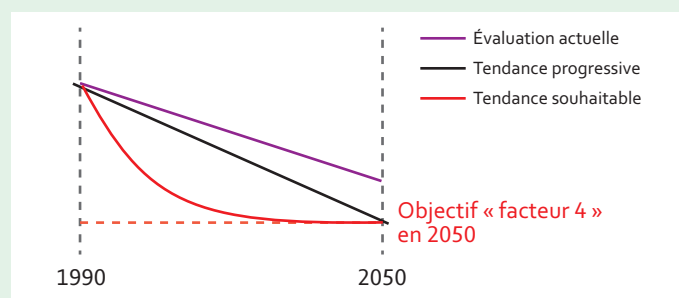
À Paris, comme pour l'ensemble de la Métropole et de la Région, les objectifs du SRCAE et les engagements nationaux pour l'horizon 2050 sont à la fois une division par deux des consommations d'énergie et une division par 4 des émissions de gaz à effet de serre. La Ville de Paris a de son côté approuvé son premier plan Climat en 2007 avec comme objectifs une baisse de 25 % des consommations énergétiques et des émissions de GES entre 2004 et 2020 (-75 % de GES d'ici 2050), un taux d'ENR&R de 25 % dans la consommation énergétique. Ces chiffres sont portés à 30 % pour les équipements publics parisiens. Ces objectifs ont été confirmés lors de la dernière actualisation du Plan Climat en 2012.

La Métropole du Grand Paris voit le jour au 1er janvier 2016. La Métropole du grand Paris compte l'environnement parmi ses compétences, avec, en particulier, la charge d'élaborer un plan climat air énergie (PCAEM) au niveau de la métropole. Celui-ci devra constituer un cadre de référence pour les PCAET des 12 Territoires de la Métropole dont celui qui concerne le territoire parisien. Par ailleurs, la Métropole devra mettre en œuvre un schéma de cohérence des réseaux de distribution d'électricité, de gaz, de chaleur et de froid. A noter que les réseaux restent communaux ou gérés par les syndicats actuels.

Depuis 2012, l'Apur avec ses partenaires a engagé plusieurs études autour du métabolisme urbain de Paris et de la Métropole et en particulier autour du thème un Plan Local d'Énergie pour Paris et la Métropole. Ces travaux apportent des éléments pour atteindre ces objectifs. L'objet de la présente étude est à la fois de détailler cette approche sur Paris et d'apporter un regard particulier lié aux spécificités de la capitale en matière de densité et de mixité urbaines. Après un bref rappel de quelques données de cadrage et d'indicateurs des spécificités du territoire parisien, le document propose trois actions :

- les possibilités d'amélioration des performances thermiques des enveloppes des bâtiments de logement parisiens, combinées à l'amélioration au fil de l'eau des systèmes de chauffage ;
- le potentiel de développement et de verdissement des réseaux de chaleur ainsi que le verdissement des réseaux d'électricité et de gaz. Combinées aux résultats de la première partie, ces actions amènent des scénarios d'évolution des émissions de gaz à effet de serre. Elle détaille également les potentiels des différentes sources d'ENR&R (énergies renouvelables et de récupération) mobilisables à Paris ;
- les opportunités d'optimisation d'usages partagés de l'énergie à l'échelle de l'îlot ou d'un micro quartier en s'appuyant sur la mixité des fonctions et la diversité des usages de l'énergie.

## Le facteur 4 et les émissions de Gaz à effet de Serre



Le facteur 4 est un objectif complexe à atteindre :

- la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2050 passe par une baisse des consommations d'énergie et une augmentation de la part des énergies renouvelables ;
- la tendance actuelle est insuffisante par rapport à la tendance linéaire qui répartirait l'effort de réduction de façon constante au cours du temps. Or cette tendance linéaire est elle-même insuffisante dans la mesure où chaque gramme de gaz à effet de serre émis reste présent dans l'atmosphère pendant des siècles. La tendance souhaitable devrait donc suivre une trajectoire hyperbolique avec une massification rapide de toutes mesures conduisant à cette baisse des émissions. Ce sont les premières mesures appliquées au bâti, ou aux réseaux, qui amènent la plus grande efficacité en matière d'économie d'énergie et d'émission de gaz à effet de serre.

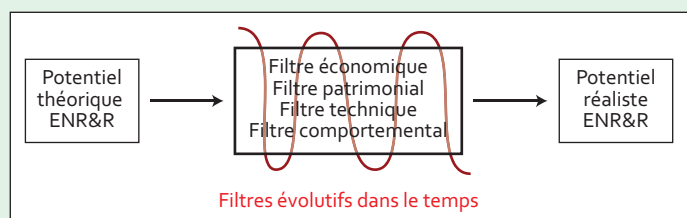
## Du potentiel théorique ENR&R au potentiel réaliste

De nombreux paramètres vont influencer sur la faisabilité réelle de mobilisation des ressources ENR&R identifiées ci-dessus. Ainsi par exemple le potentiel solaire déterminé par le cadastre solaire devra faire l'objet d'une expertise plus fine qui précisera ce qui est réellement disponible compte tenu de l'encombrement des toits (fenêtres de toit, antennes, ventilations...).

Le facteur comportemental intervient également fortement, par exemple dans la capacité à trier et à valoriser les déchets. Par ailleurs, dans les secteurs patrimoniaux comme c'est le cas dans une grande partie de Paris, les contraintes patrimoniales peuvent présenter un frein vis-à-vis de solutions qui ont un impact significatif en matière de paysage.

Enfin, le filtre le plus important est le filtre économique : de nombreuses filières théoriquement très séduisantes n'émergent pas si elles offrent un temps de retour sur investissement trop long. Mais ce dernier peut fortement varier dans le temps, en fonction à la fois du développement des techniques qui peut entraîner une baisse des coûts, et aussi du prix de l'énergie, tout renchérissement de celle-ci contribuant à rendre plus rentables des solutions innovantes.

En outre tous les potentiels n'offrent pas les mêmes caractéristiques en matière de capacité d'intégration à un réseau de chaleur, de type de chaleur fournie, de prise en compte du confort d'été, d'effacement de la pointe électrique et de maturité technique et économique. Le tableau ci-dessous croise ces 5 critères avec les énergies utilisées ou produites ou les solutions techniques proposées.



Une grille d'analyse pour passer du potentiel à la réalité

| <div> <div></div> <div>Oui</div> <div></div> <div>Oui mais</div> <div></div> <div>Sans effet</div> <div></div> <div>Non</div> </div> | Intégration à un réseau |       | Type de chaleur fournie |                     |                   | Prise en compte du confort d'été | Effacement de la pointe électrique | Maturité technique et économique |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------|-------------------------|---------------------|-------------------|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
|                                                                                                                                      | Global                  | Local | Basse temp. (35°)       | Moyenne temp. (50°) | Haute temp. (65°) |                                  |                                    |                                  |
| Électricité issue de sources renouvelables                                                                                           | ●                       | ●     | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ●                                  | ●                                |
| Électricité                                                                                                                          | ●                       | ●     | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ●                                  | ●                                |
| Gaz                                                                                                                                  | ●                       | ●     | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ○                                  | ●                                |
| Biogaz                                                                                                                               | ●                       | ●     | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ○                                  | ●                                |
| Incinération                                                                                                                         | ●                       | ●     | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ○                                  | ●                                |
| Géothermie profonde                                                                                                                  | ●                       | ●     | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ○                                  | ●                                |
| Géothermie de surface                                                                                                                | ●                       | ●     | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ○                                  | ●                                |
| Valorisation eaux grises                                                                                                             | ●                       | ●     | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ○                                  | ●                                |
| Solaire thermique                                                                                                                    | ●                       | ●     | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ○                                  | ●                                |
| Autres énergie fatales                                                                                                               | ●                       | ●     | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ○                                  | ●                                |
| Chauffage électrique                                                                                                                 |                         |       | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ●                                  | ●                                |
| Ch. gaz à condensation                                                                                                               |                         |       | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ○                                  | ●                                |
| Ch. gaz à micro-cogénération                                                                                                         |                         |       | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ●                                  | ●                                |
| Branchement réseau de chaleur                                                                                                        |                         |       | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ○                                  | ●                                |
| PAC* électrique (géothermie, eaux grises, air)                                                                                       |                         |       | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ●                                  | ●                                |
| Recours à une PAC* hybride                                                                                                           |                         |       | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ○                                  | ●                                |
| PAC* gaz                                                                                                                             |                         |       | ●                       | ●                   | ●                 | ●                                | ○                                  | ●                                |

\* PAC : pompe à chaleur



# 1 - Données de cadrage

À Paris, la consommation d'énergie du bâti (résidentiel et tertiaire) représente environ 34 tWh/an, ce qui correspond à la quasi-totalité de la consommation totale hors transports à Paris (97%), soit plus d'un tiers de la consommation de la métropole. À l'échelle régionale, la consommation du bâti représente 64 % de la consommation totale en incluant transports terrestres et industrie. Il s'agit du premier champ d'action pour réduire les consommations énergétiques et les émissions de GeS.

La connaissance du stock bâti, autant du point de vue des consommations que de la capacité à accompagner l'essor des énergies renouvelables et de récupérations, et la valorisation des réseaux sont les éléments structurants pour mener une politique massive vis-à-vis de la réduction de la consommation en énergie primaire.

6 indicateurs du stock bâti sont proposés pour mener ces travaux :

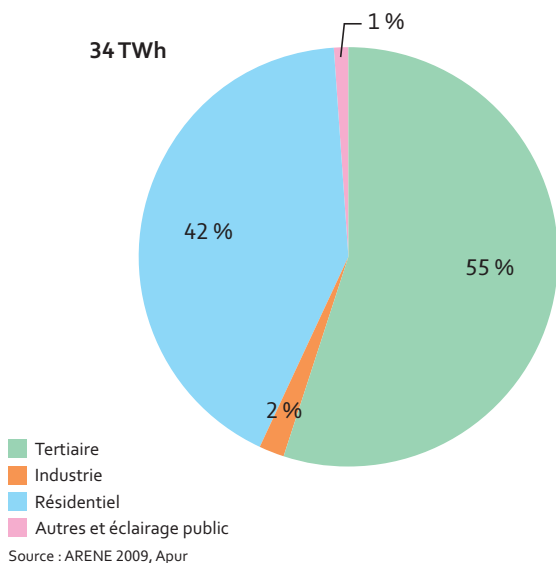
- la datation du bâti,
- la typologie de l'habitat,
- la densité bâtie,
- le statut de la propriété,
- la mixité des fonctions,
- la précarité énergétique.

Les géographies urbaines différentes qui en découlent induisent des réponses et des stratégies énergétiques adaptées.

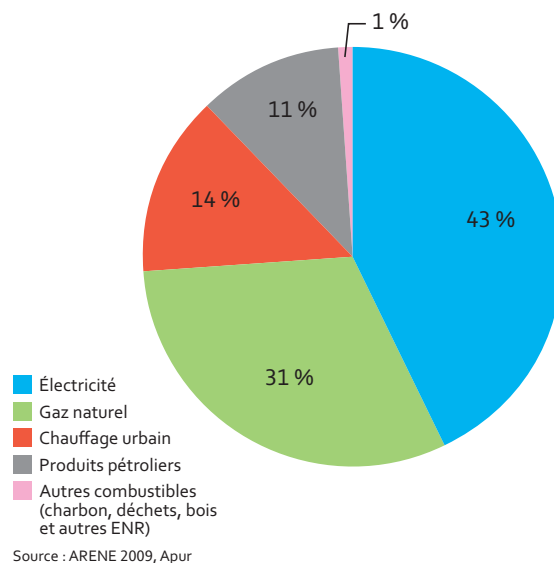


# Les grands chiffres de l'énergie pour Paris

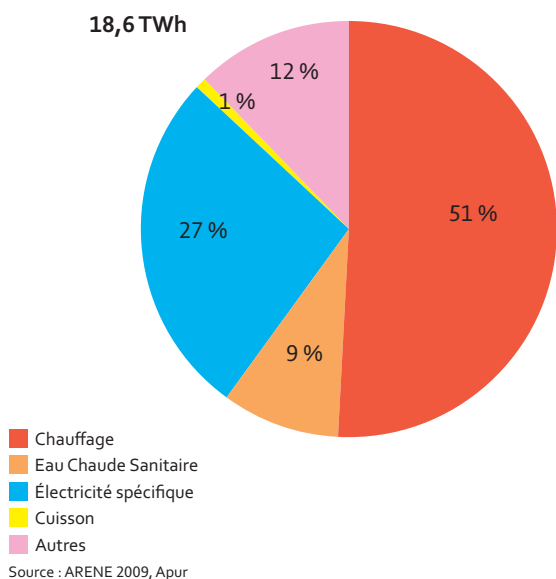
**Part des différents secteurs dans la consommation d'énergie à Paris (hors transport)**



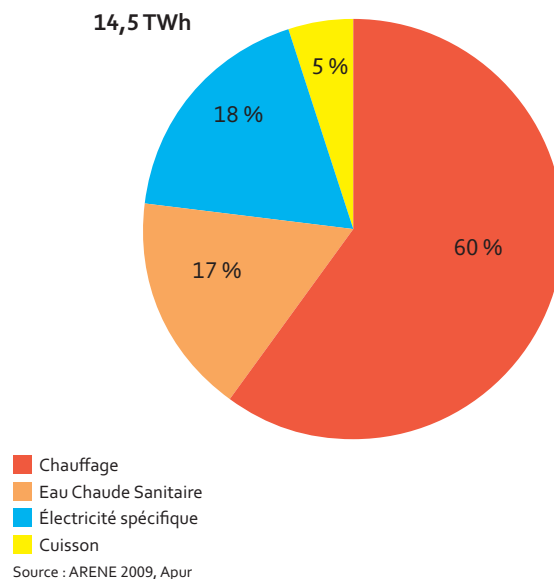
**Les sources d'énergie utilisées à Paris, hors transport, 2009**



**Consommations du tertiaire par usage à Paris**



**Consommations du résidentiel par usage à Paris**

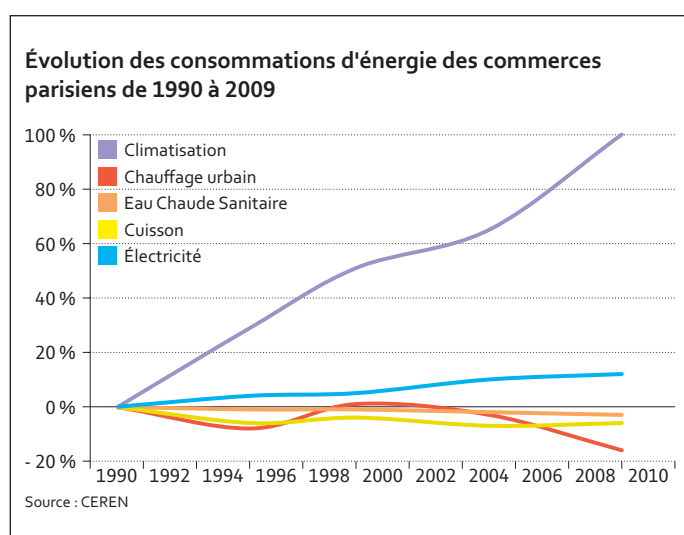
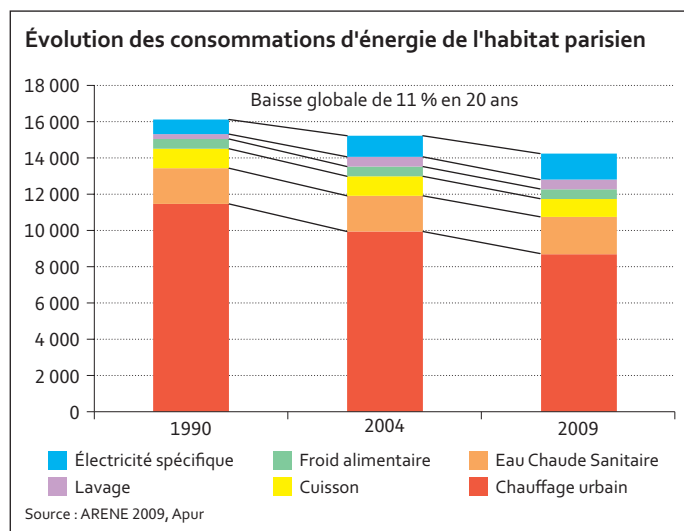


La consommation énergétique parisienne, hors transport, représente 34 TWh en 2009, soit 20 % de la consommation régionale et près d'un tiers de la consommation métropolitaine. Elle est quasi intégralement liée au bâti résidentiel ou tertiaire\* (97 %). La répartition par secteurs des différents usages montre une part plus importante du secteur tertiaire (18,6 TWh) par rapport au résidentiel (14,5 TWh), et par rapport à la répartition au niveau de la Métropole. Cela s'explique par la surreprésentation des activités tertiaires à Paris par rapport au reste du territoire métropolitain.

La source d'énergie la plus représentée est l'électricité (42 %) suivie du gaz naturel (31 %), du chauffage urbain (14 %) et des produits pétroliers, le fioul en particulier (11 %). À noter que depuis le début des années 2000, la part du fioul recule surtout au profit du gaz.

En ce qui concerne les usages, c'est le chauffage qui prédomine avec 60 % de la consommation du résidentiel et 51 % du tertiaire. La part d'électricité spécifique, en croissance, atteint 18 % du résidentiel et surtout 27 % du tertiaire. À noter pour le tertiaire, l'important poste « Autres » qui, avec 12 % des consommations, intègre probablement le rafraîchissement des bureaux.

\* Bureaux, commerces et équipements.



En ce qui concerne le tertiaire, l'évolution de la consommation d'énergie des commerces parisiens de 1990 à 2009 met en exergue l'essor de la climatisation dont la consommation a doublé sur cet intervalle. La tendance pour le poste chauffage est, comme pour le résidentiel, à la baisse avec presque 20 % en moins sur ces deux décennies.

## → Une évolution des consommations et des usages liés à l'énergie à travers l'exemple du bâti parisien

De 1990 à 2009 la baisse des consommations d'énergies pour le bâti résidentiel est de 11 %. Ce constat révèle des tendances très contrastées comme :

- la forte baisse des consommations de chauffage due à la forte hausse des prix de l'énergie et à la diffusion d'équipements et de systèmes performants ;
- la forte augmentation de l'électricité domestique qui double en l'espace de 20 ans. L'avènement du numérique dans les modes de vie quotidiens se traduit par des dépenses énergétiques accrues en énergie grise (non comptabilisées ici).

Dans le présent rapport, les données présentées sont, sauf mention contraire, en énergie finale.

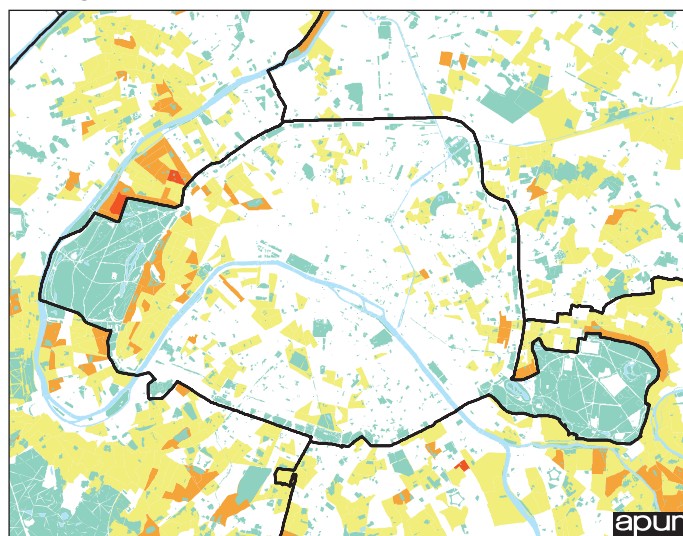
**Énergie finale** : L'énergie finale désigne l'énergie qui est achetée par les ménages et par les entreprises, après transformation, transport et pertes.

**Énergie primaire** : L'énergie primaire désigne l'ensemble des produits énergétiques non transformés, exploités directement ou importés tels que pétrole brut, schistes bitumineux, gaz naturel, combustibles minéraux solides, biomasse, énergie solaire, énergie hydraulique, énergie éolienne, géothermie, énergie nucléaire. Elle est utilisée pour produire l'énergie que reçoivent les consommateurs.

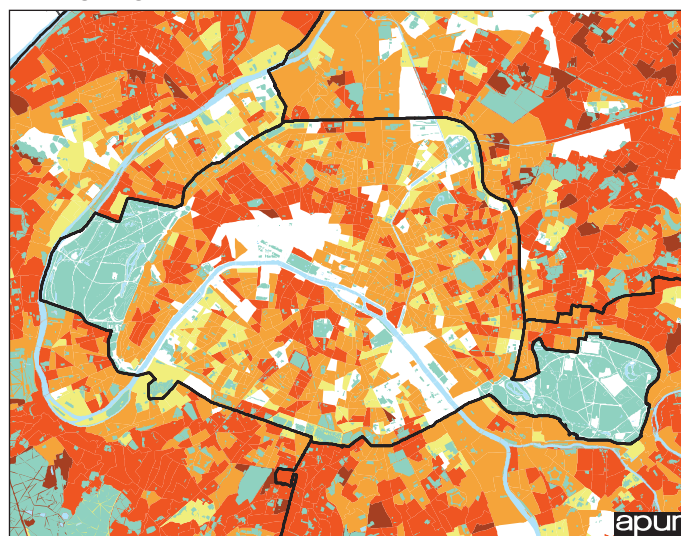
# État des systèmes énergétiques et de leur problématique

## Les modes de chauffage du secteur résidentiel

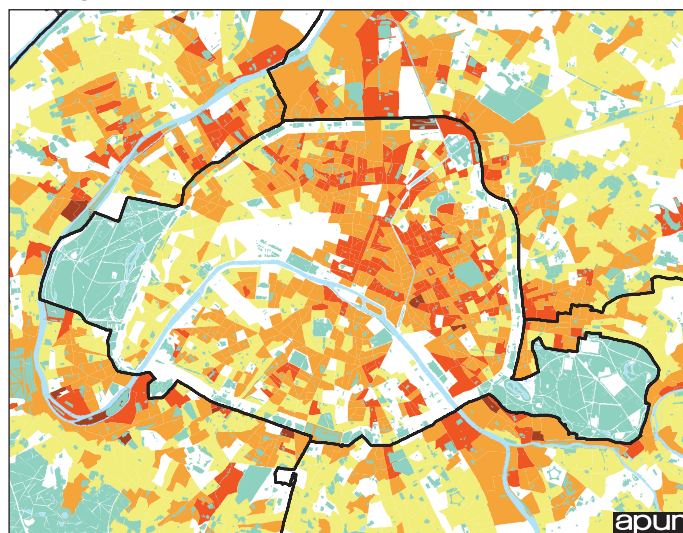
Chauffage au fioul



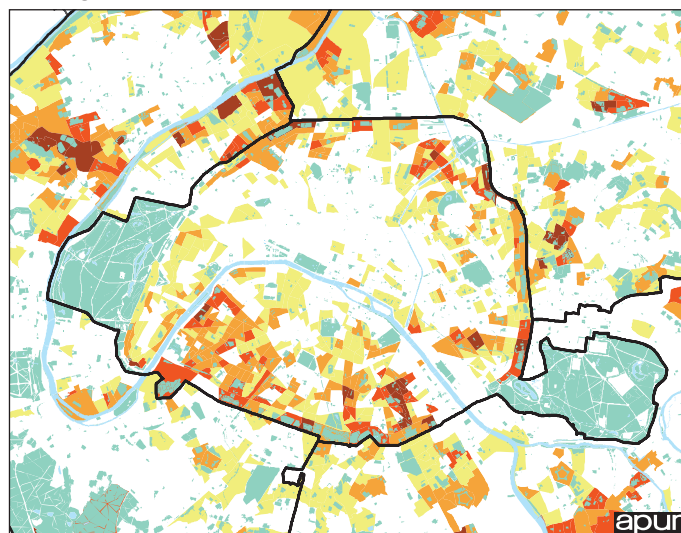
Chauffage au gaz



Chauffage électrique



Chauffage urbain



La connaissance de la répartition des types d'énergie utilisée pour le chauffage ainsi que la connaissance des types de chauffage (individuel ou collectif) sont des données clé. Elles permettent de transformer des besoins théoriques en chauffage en des consommations d'énergie qui peuvent ensuite être recalées sur des consommations réelles mesurées. Cette information est disponible à la maille de l'IRIS dans le recensement général de la population de 2010 de l'Insee. Le recensement donne par IRIS, un nombre de résidences principales par mode de chauffage et nombre de pièces de la résidence. Un exercice a été effectué afin de faire correspondre une surface à ces données. La méthodologie suivie repose sur l'extrapolation de surfaces moyennes, en fonction du nombre pièces dans chacun des départements de la Métropole.

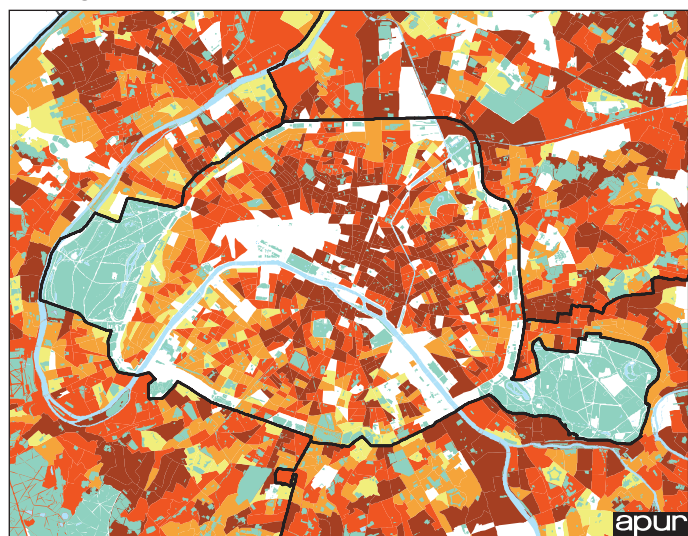
Le chauffage individuel (au gaz et électrique) équipe la majorité des résidences parisiennes avec près de 60 % des m<sup>2</sup> chauffés. La pénétration des équipements individuels est encore plus prégnante dans les tissus anciens des arrondissements centraux. À l'inverse, les

systèmes de chauffage collectifs sont davantage représentés sur les arrondissements périphériques, ce qui s'explique aisément par les typologies bâties moins anciennes où le chauffage central est d'ores et déjà prévu à la conception du bâtiment.

Le chauffage électrique (un tiers des surfaces chauffées) connaît donc une pénétration importante du parc résidentiel parisien, en particulier dans les bâtiments les plus anciens (quartiers centraux par exemple), mais aussi dans des typologies plus contemporaines, où, au gré des rénovations, le système de chauffage a pu évoluer vers de l'individuel électrique, en raison de son faible coût d'investissement.

Le gaz est la première source d'énergie pour le gaz avec une couverture de 40 % des surfaces chauffées, pour 1/3 de manière collective, pour les 2/3 restants à titre individuel. Présent quasiment sur l'ensemble du territoire parisien, il couvre de manière importante tous les quartiers. Les quartiers les moins représentés correspondants aux secteurs où le chauffage urbain offre une couverture importante.

### Chauffage individuel

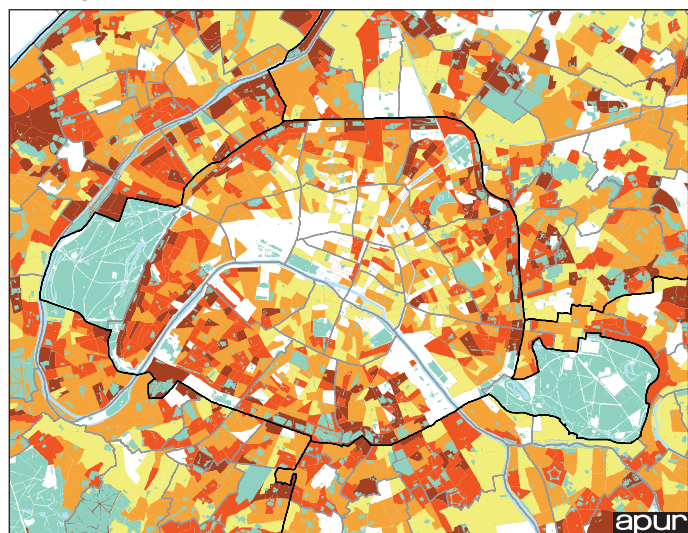


### Équipements de chauffage des résidences principales

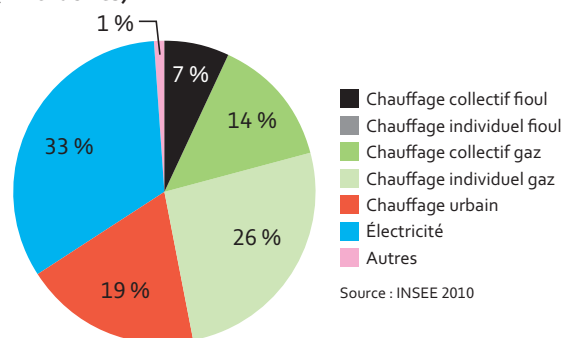


Source : INSEE 2010

### Chauffage collectif (y compris CU)



### Répartition des modes de chauffage pour le résidentiel à Paris (m² chauffés)



Le chauffage urbain présente une couverture très inégale du territoire parisien. Si le réseau de la CPCU, constitué historiquement à partir de la rive gauche s'est développé par la suite sur une partie de la rive droite, les secteurs résidentiels touchés par ce mode de chauffage demeurent très périphériques, avec la couronne de HBM, les secteurs de grands ensembles d'après-guerre à proximité des sites de production historiques (secteur Flandre-Villette, secteur de Reuilly). La rive gauche reste plus représentée avec une couverture importante en particulier des logements sociaux des 13<sup>e</sup> et 15<sup>e</sup> arrondissements.

Le chauffage au fioul tend à disparaître. Encore un peu présent dans l'ouest parisien (surtout dans le 16<sup>e</sup> arrondissement), le taux de pénétration du fioul a considérablement diminué durant les 15 dernières années, du fait principalement du renouvellement des systèmes de chauffage, et d l'intérêt croissant pour d'autres modes (gaz en particulier).



# Six indicateurs

## La datation du bâti



Note de lecture : Cette carte est réalisée en croisant la date de construction des bâtiments issue des enquêtes menées par l'Apur sur Paris et les données DGFI 2011 pour la Petite Couronne afin de déduire une période de construction à la parcelle. Elle concerne l'ensemble des bâtiments résidentiels et tertiaires.

La date de construction des bâtiments nous renseigne sur les techniques de construction et les matériaux utilisés. Ces données constructives sont déterminantes concernant les déperditions des bâtiments. Avant 1975, les bâtiments ne sont pas isolés, après 1975 le recours à l'isolation se généralise et se renforce d'années en années au fil des réglementations thermiques des bâtiments : en 1982, 1989, 2000 et 2005.

À Paris, le bâti date pour les 2/3 d'avant 1940 d'où une prédominance de matériaux de construction anciens (pierre calcaire, brique, bois). L'année 1975 correspond à la date d'application de la première réglementation thermique faisant suite au choc pétrolier de 1973.

Des cahiers d'analyse de la performance énergétique ont été réalisés pour les différentes périodes (cf. p. 22).

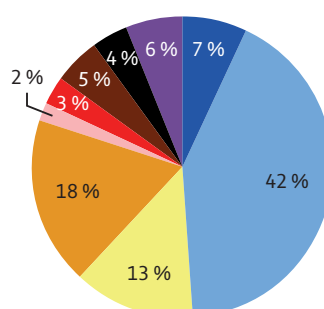
### Les données sur les logements

#### Paris (75)

1,3 millions de logements

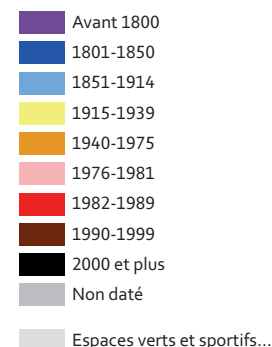
Surface habitable : 76 millions de m<sup>2</sup>

SHON : 95 millions de m<sup>2</sup>



Source : DGFI 2011, Apur

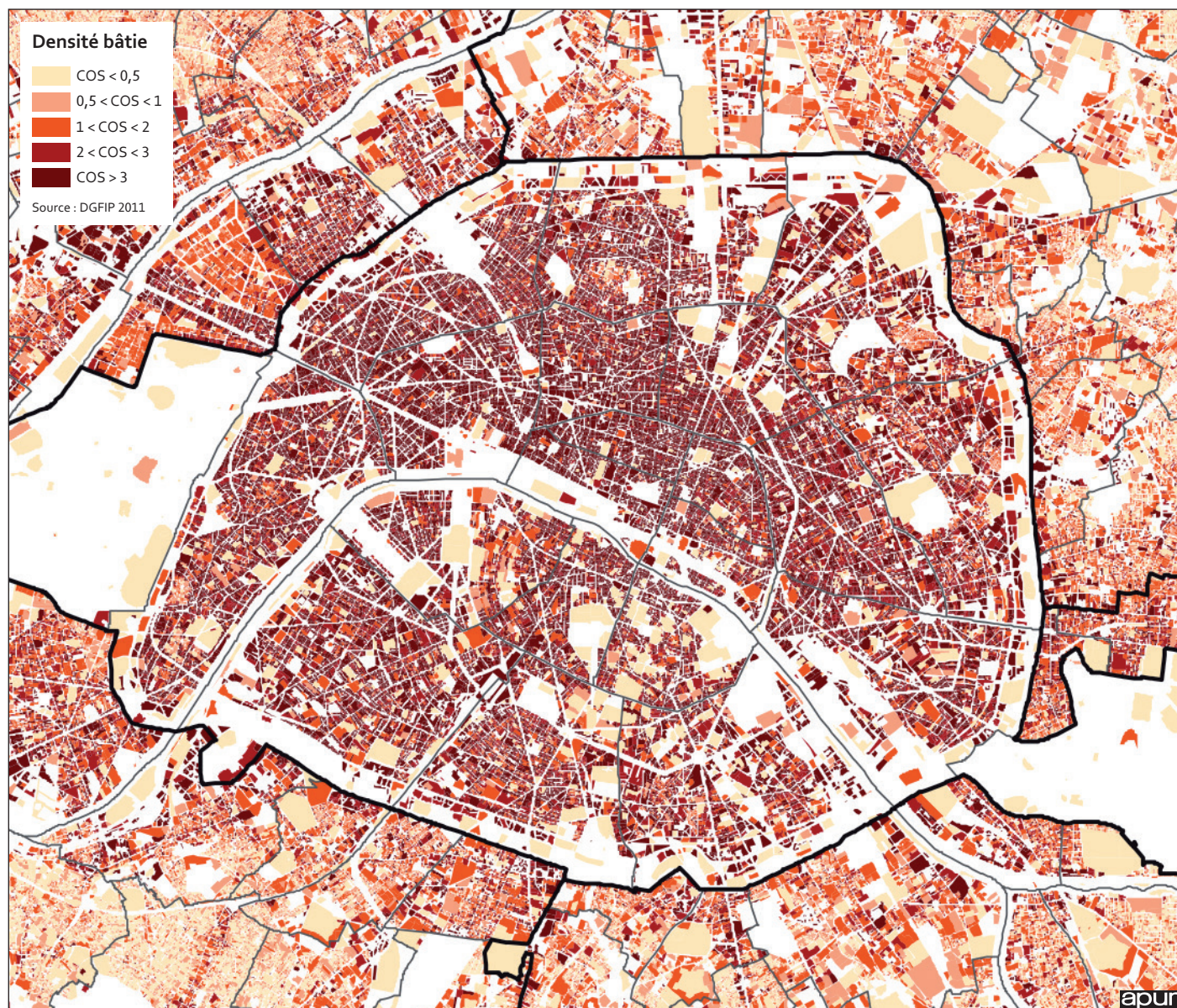
### Période de construction à la parcelle



Source : enquête Apur pour Paris, DGFI 2011 hors Paris



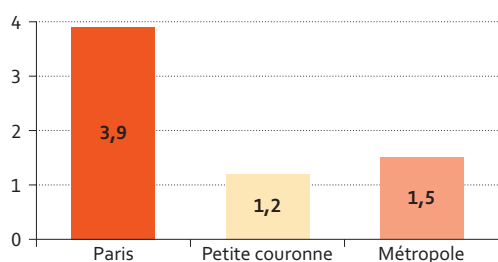
# La densité bâtie



La densité bâtie à la parcelle correspond au rapport entre la surface de plancher et la surface de la parcelle. Elle révèle la compacité de la forme urbaine et les mitoyennetés plus ou moins importantes dont dépendent les déperditions thermiques des bâtiments.

La densité bâtie moyenne à Paris est de 3,9 pour 1,2 en Petite Couronne, avec notamment de nombreuses parcelles pavillonnaires avec des densités bâties assez faibles, souvent inférieures à 0,5.

## Densité bâtie moyenne



Source : DGFIP 2011

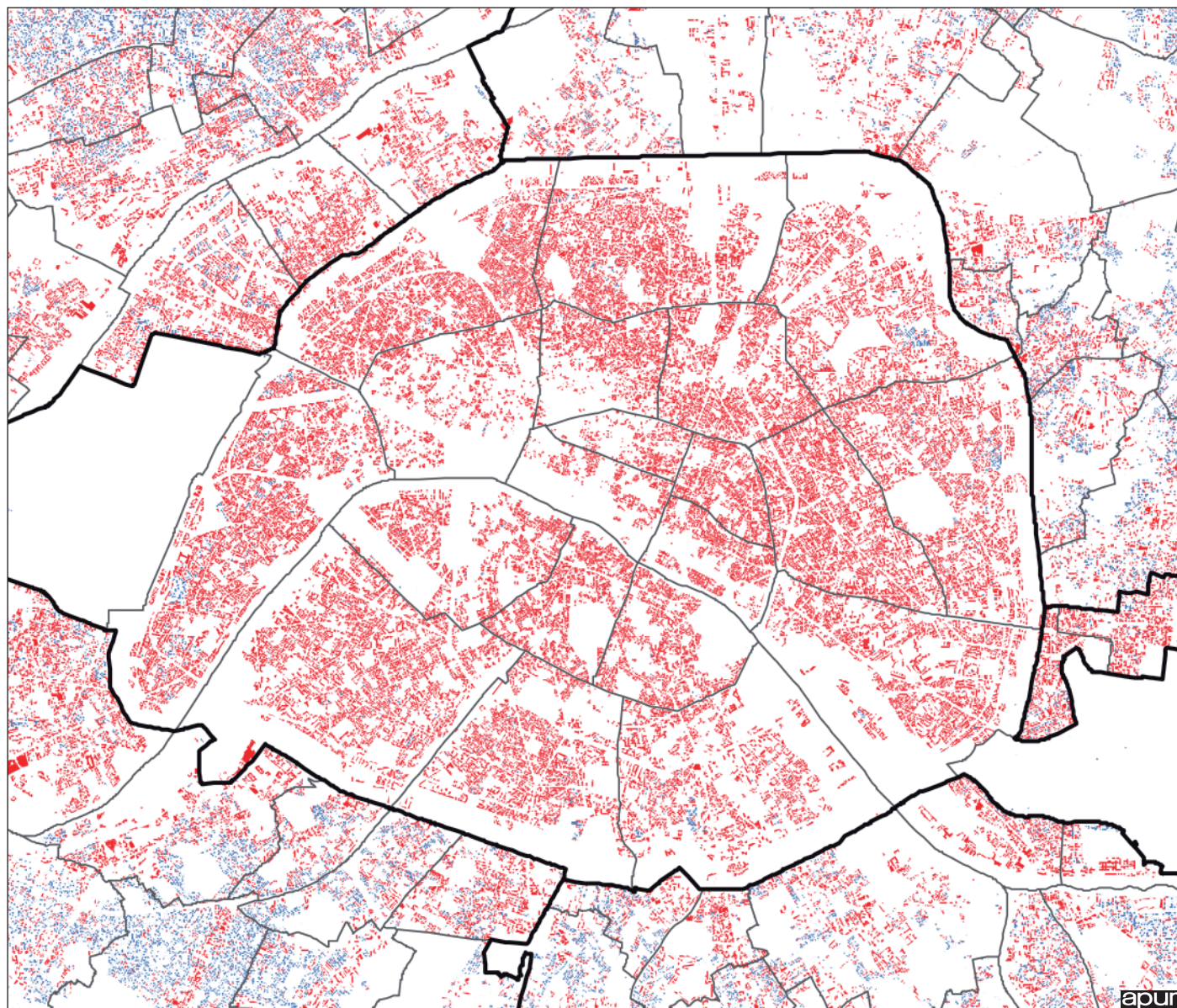
Note de lecture : Cette carte a été réalisée à partir des données DGFIP 2011. La densité bâtie ici représentée à la parcelle a été obtenue en divisant la surface de plancher par la surface de la parcelle.



La métropole dense



# Typologie de l'habitat



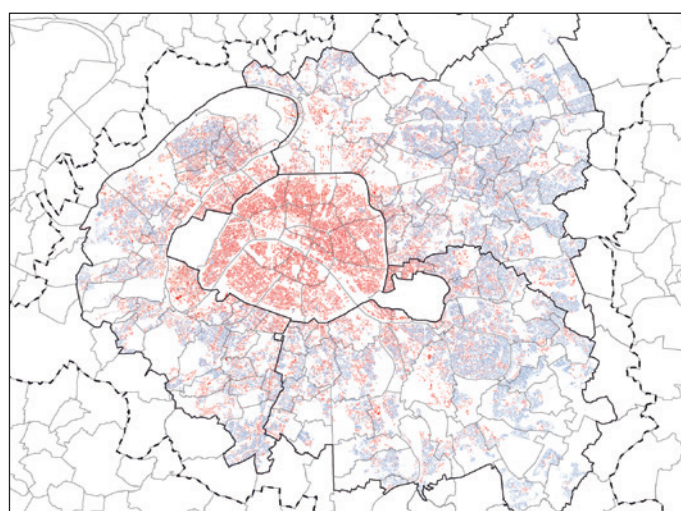
Note de lecture : cette carte permet de différencier à la maille du bâti l'habitat collectif de l'habitat individuel. Elle découle d'un croisement entre les couches graphiques des emprises bâties et les données DGFIIP à la parcelle (propriété, nombre de logements...). Les zones blanches correspondent aux espaces verts, emprises industrielles ou ferroviaires et bâtiments tertiaires ou industriels. En effet, seul le tissu résidentiel est représenté.

## Typologie bâtie

- Habitat collectif
- Habitat individuel

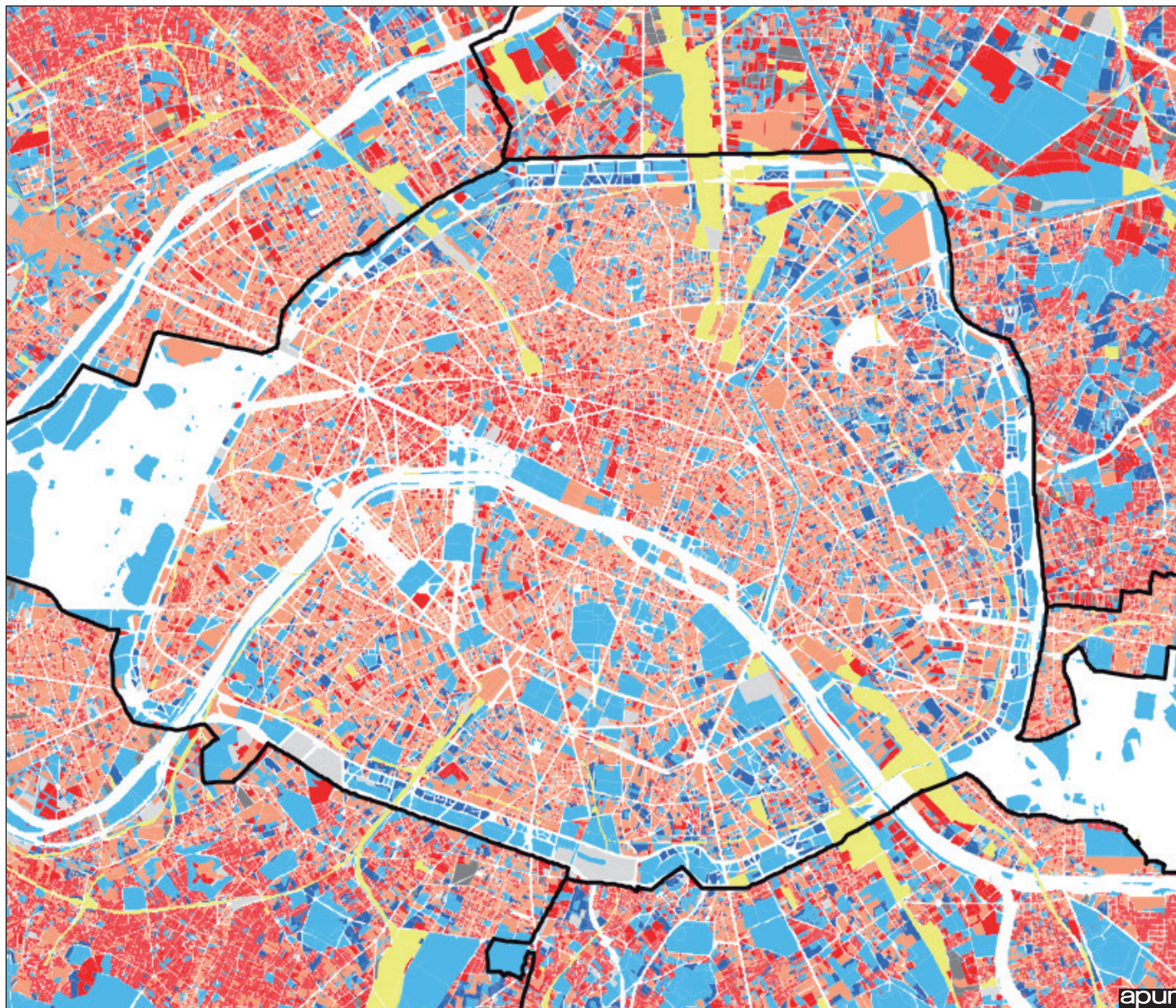
Source : DGFIIP 2011

Il existe un contraste net entre Paris, le centre de la Métropole et le reste du territoire métropolitain. En effet, dans la partie centrale de la Métropole le bâti individuel est quasi inexistant au profit du bâti collectif. À l'inverse, le reste du territoire est marqué par une part très importante de logements individuels. La part de l'individuel représente 9 % du nombre des logements de la métropole pour 37 % des emprises au sol des bâtiments. Quasi insignifiant sur Paris, la part de l'individuel pèse pour 15 % du nombre de logements et pour 50 % des emprises au sol sur les 3 départements de la Petite Couronne.





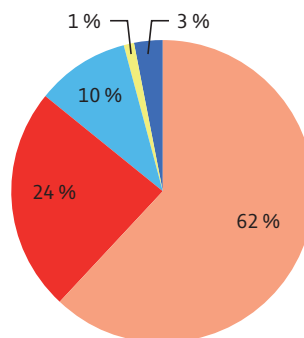
## Le statut de propriété



Note de lecture : La carte ci-dessus représente à la parcelle la typologie propriétaire établie par l'Apur sur la base des données DGFIP 2011. Elle concerne l'ensemble du bâti, qu'il soit résidentiel, tertiaire ou industriel. Les différentes classes de propriétaire sont agglomérées afin de ne représenter que celles présentes sur la carte. Le propriétaire (au sens DGFIP) est une personne physique, une personne morale ou une copropriété redevable des taxes foncières sur les propriétés bâties et non bâties.

Le statut de la propriété est un élément déterminant pour ce qui est des possibilités et des facilités d'intervention sur le bâti. On constate une forte prédominance des copropriétés pour Paris et sa périphérie immédiate.

**Paris (75)**  
75 767 parcelles



Source : DGFIP 2011, Apur

**Statut de la propriété**

- Copropriétés
- Monopropriétés privées
- Propriétés publiques
- EDF-GDF, SNCF, RFF, RATP, STIF, PAP
- Organisme HLM, hébergement social

Source : DGFIP 2011



# La mixité des fonctions et les potentialités d'échanges thermiques

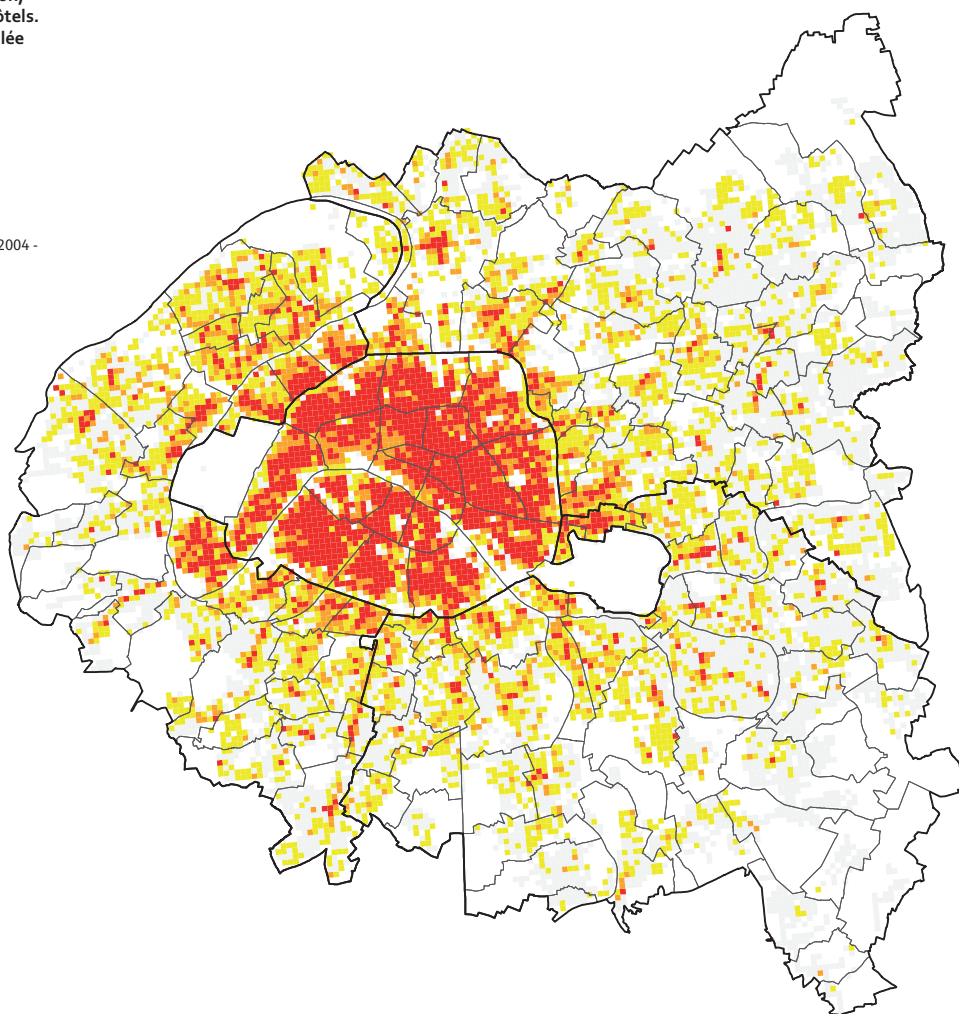
## Indice de mixité des fonctions

Critères utilisés : population, emplois, commerces et hôtels.

Méthode : moyenne calculée en fonction de Paris ou de la Métropole.

- 1 critère au dessus de la moyenne
- 2 critères au dessus de la moyenne
- 3 critères au dessus de la moyenne

Sources : Insee RP 2010, CLAP 2004 - Insee 2011, OTCP 2013

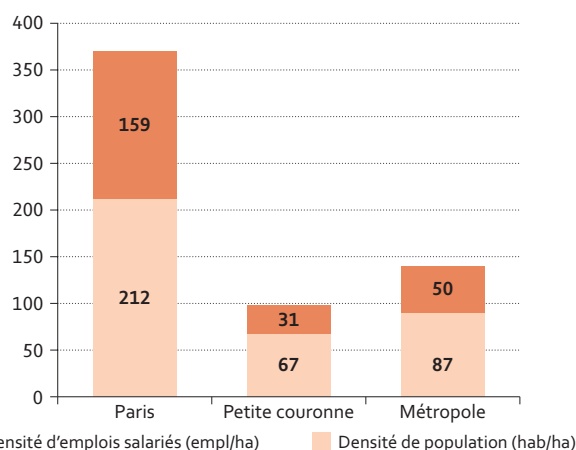


apur

Note de lecture : La carte ci-dessus représente un indice de la mixité des fonctions qui a été défini à partir des trois thématiques que sont la population, l'emploi et les commerces et hôtels. Pour chacun de ces thèmes, chaque maille dont le nombre d'habitants, d'emplois, ou d'employés des commerces ou hôtels est supérieur à la moyenne métropolitaine du thème a reçu un coefficient de 1, sinon 0. Ainsi, les mailles ayant un coefficient de 3 sont celles où les nombres des habitants, des emplois et des commerces et hôtels sont tous supérieurs aux moyennes métropolitaines. La densité et la mixité fonctionnelle de ces mailles sont importantes.

La mixité des fonctions au sein d'un même territoire permet d'envisager des solidarités énergétiques entre des bâtiments ayant des fonctions différentes. Ainsi des bureaux, surtout s'ils sont récents et donc bien isolés, produisent de la chaleur une bonne partie de l'année, chaleur dont pourraient bénéficier des immeubles de logements proches ou contigus. C'est vrai aussi des commerces de type grand magasin. Et les échanges peuvent également se faire entre équipements : le couplage piscine-patinoire en est un bon exemple. **Ces échanges thermiques peuvent s'envisager soit directement entre les bâtiments, soit indirectement par le biais de la géothermie de minime importance\* où la chaleur prise dans le sol ou la nappe phréatique pour chauffer des logements peut être restituée par des bureaux qui ont besoin d'être rafraîchis.**

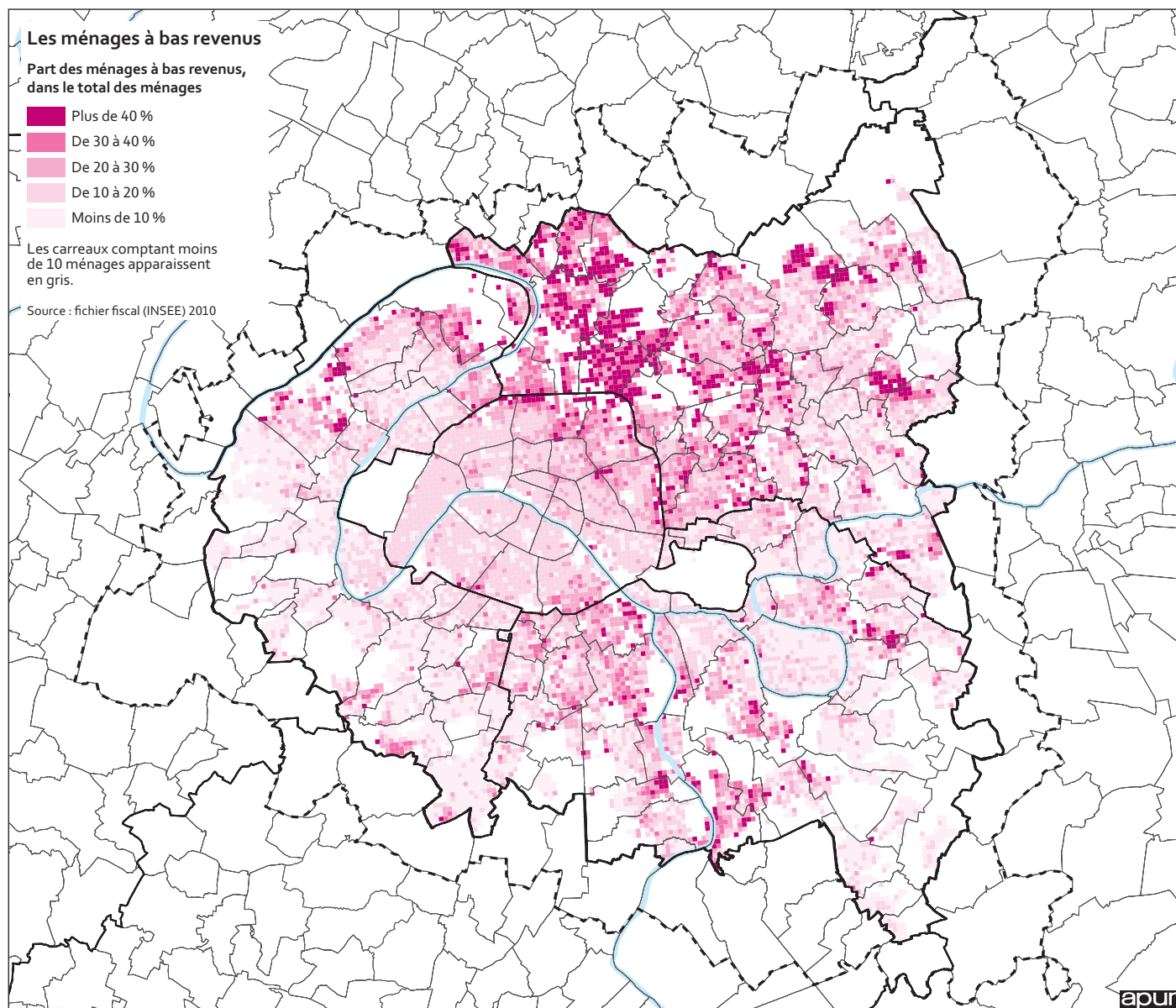
## Les densités cumulées d'habitants et d'emplois (population + emplois salariés par hectare)



Sources : INSEE 2010, CLAP 2009

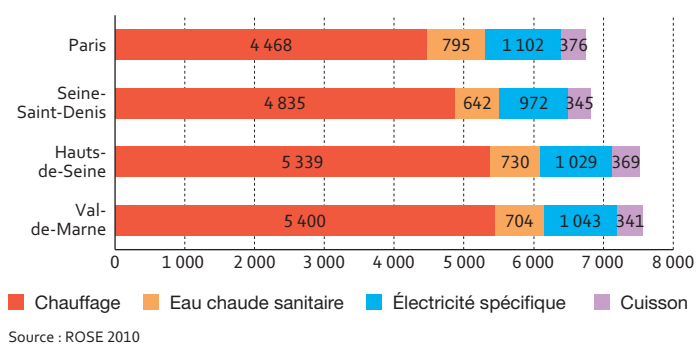
\* Géothermie fermée/sèche et géothermie ouverte sur nappe (voir p.48).

# La précarité énergétique, les ménages à bas revenus



La carte de la part des ménages à bas revenus\* est un bon indicateur de la précarité énergétique. Elle révèle une autre logique territoriale en opposant le centre-ouest de la Métropole peu impacté et le nord-est de la Métropole particulièrement concerné. Le croisement des caractéristiques des tissus urbains que sont par exemple le statut de la propriété, la datation du bâti, la nature du logement (maison individuelle, logement social...) avec cette cartographie des revenus est essentielle. Elle permet d'avoir une approche multi-composantes de la précarité énergétique et peut aider à la mise en place d'une stratégie d'aide et d'intervention. En 2010, ce sont plus de 400 000 ménages qui vivent sous le seuil de bas revenus dans le centre de l'agglomération, soit 15 % des ménages. L'analyse des consommations énergétiques par usage et par département montre une plus faible consommation pour le chauffage à Paris (effet de la compacité du bâti), par rapport à celles des départements des Hauts-de-Seine et du Val-de-Marne. En revanche, la consommation en Seine-Saint-Denis est également plus faible que dans les deux autres départements de Petite couronne alors que les tissus urbains sont de même nature : il faut là y voir une conséquence de forte concentration des ménages à bas revenus, révélateur d'une grande précarité-énergétique.

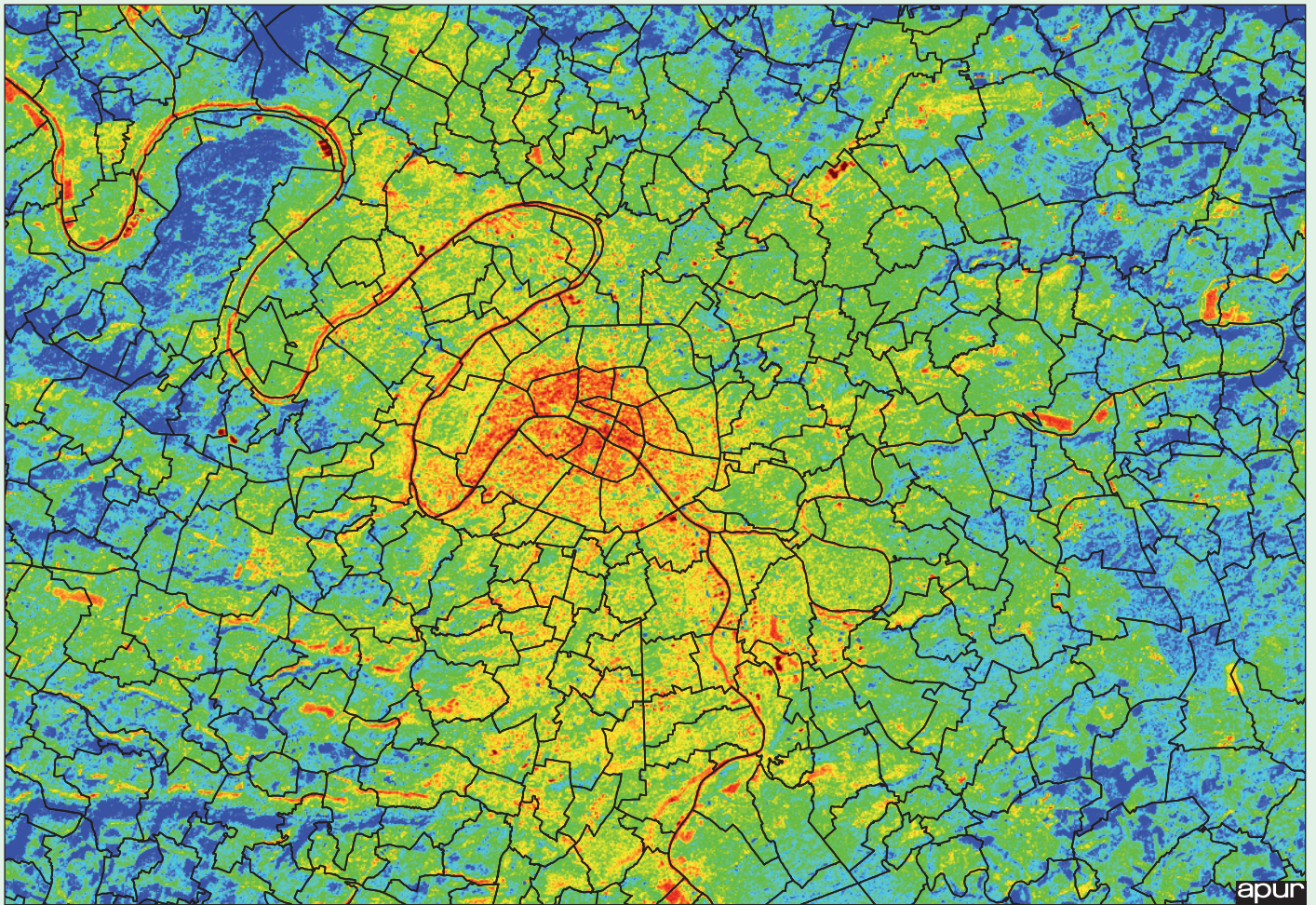
## Consommation d'énergie de l'habitat par habitant dans la métropole en 2010 (kWh/an, énergie finale)



\* Un ménage est considéré comme « à bas revenu » lorsque ses revenus sont inférieurs à 60 % du revenu médian par unité de consommation (UC) soit 956 euros/UC en 2010.



## Paris : un îlot de chaleur urbain



La question des consommations d'énergie se pose à Paris de façon particulière, liée à la nature des tissus urbains qui sont mitoyens et denses.

La mitoyenneté est la règle des modes de bâtir parisiens jusqu'à la première guerre mondiale. Cette mitoyenneté, qui correspond au partage des murs entre deux propriétés contiguës, a des conséquences importantes en termes de consommations d'énergie puisqu'elle minimise la surface de paroi donnant sur l'extérieur dans un même bâtiment.

L'autre caractéristique du tissu parisien est la densité : la densité urbaine est la caractéristique principale des villes qui se sont développées avant la deuxième moitié du <sup>xx</sup> siècle, avant l'utilisation de la voiture particulière. La densité parisienne est aussi la conséquence d'un deuxième fait majeur, celui d'une ville qui se développe à l'intérieur d'enceintes (Fermiers Généraux, Thiers, etc.). Cette densité a une conséquence énergétique forte qui se mesure à l'échelle urbaine par une modification locale du climat. La densité, qui minimise les espaces libres au profit des espaces bâtis, perturbe les écoulements d'air et donc protège la ville des mouvements d'air froids hivernaux (« rugosité urbaine »). Cette faible part d'espaces libres de la ville dense est aussi un moyen de protéger la ville du rayonnement des ciels clairs et froids des nuits d'hiver.

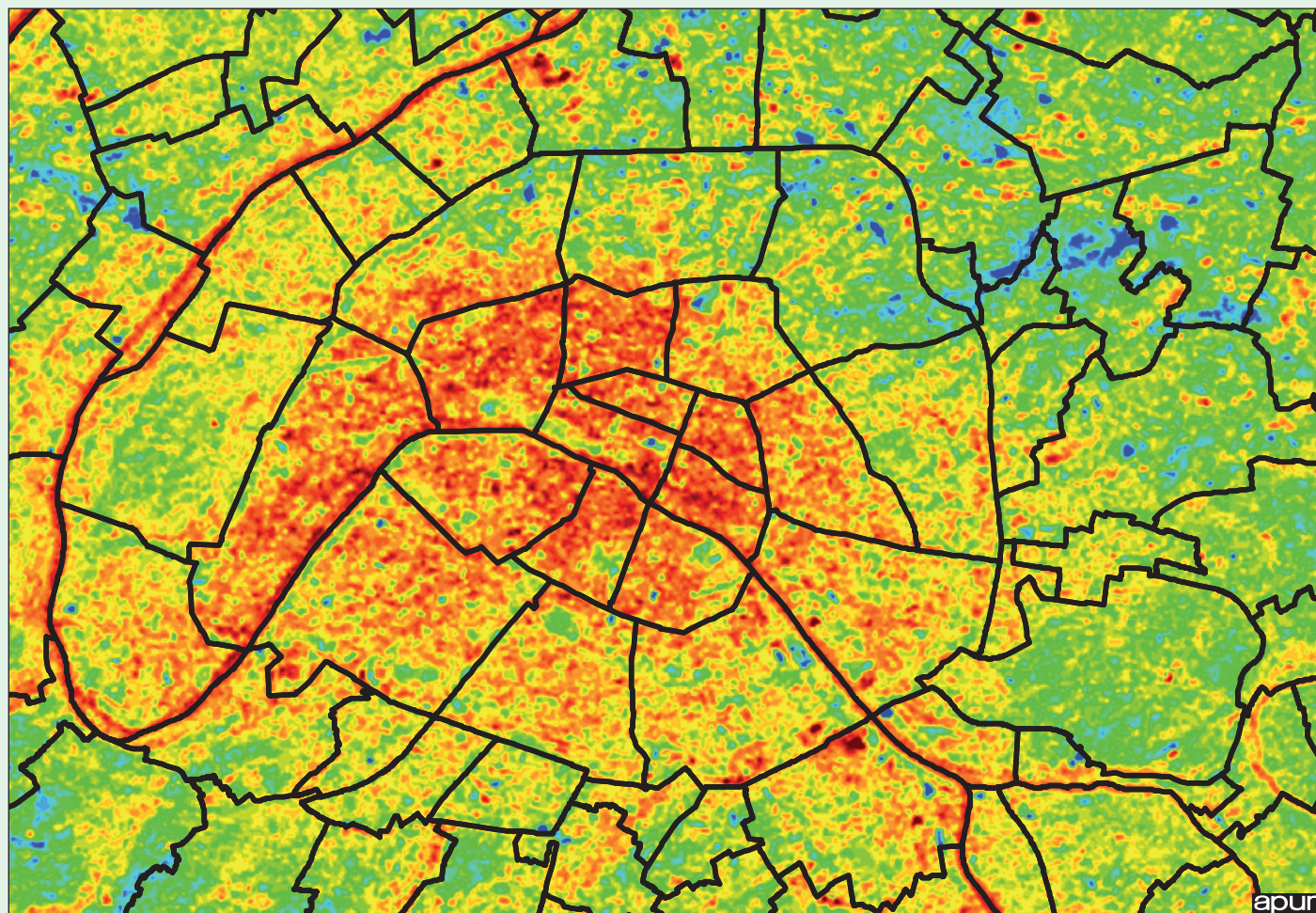
Thermographie d'hiver



Source : LANDSAT - 2012

De tout ceci on retiendra que la densité urbaine évite à la ville de trop perdre d'énergie, elle est en soi une façon énergétiquement vertueuse de concevoir la ville. Ainsi la zone dense est affectée d'un climat moins rigoureux que les zones périphériques non denses. Cette caractéristique est couramment qualifiée d'îlot de chaleur urbain. Aujourd'hui l'îlot de chaleur urbain se fait surtout remarquer en été mais sa présence est perpétuelle, et particulièrement bénéfique en hiver pour le bilan global énergétique de la ville, il modère naturellement les consommations d'énergie de Paris en hiver.



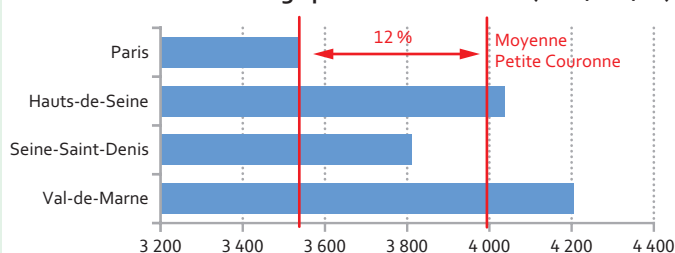


Les consommations d'énergie à des fins de chauffage sont donc fortement tributaires des types de ville, de leur densité et de leur rapport à la mitoyenneté. Les modes d'économie d'énergie que l'on mettra en œuvre dans le cadre de la transition énergétique doivent donc se faire en prenant en considération les morphologies des tissus. Ainsi, si l'isolation thermique extérieure apparaît à bien des égards comme un moyen de réduire les consommations d'énergie, sa mise en œuvre dépendra des configurations urbaines rencontrées.

Les consommations d'énergie de chauffage, lorsqu'on les rapporte à l'habitant, sont, comme nous l'avons montré, tributaires des caractéristiques morphologiques des territoires. Les statistiques montrent qu'en 2009 Paris consommait en moyenne 12 % d'énergie de chauffage en moins que ses départements limitrophes.

Cette statistique agglomère un certain nombre de paramètres parmi lesquels on trouve les différences morphologiques que nous avons documentées mais aussi des critères économiques comme les revenus des habitants et les modes de facturation de l'énergie (facturation individuelle ou collective) qui sont eux aussi déterminants. Les inégalités de revenus sur le territoire expliquent quant à elles le positionnement particulier de la Seine-Saint-Denis par rapport aux autres départements limitrophes de Paris (cf. page 21).

Consommation de chauffage par habitant en 2012 (kWh/hab/an)



Sources : ROSE-ARENE (2012), Insee









## 2 - La rénovation du bâti résidentiel

Mener une politique énergétique demande une connaissance des consommations énergétiques réelles des logements. Aujourd'hui, cette connaissance étant non publique (propriété des clients, des fournisseurs d'énergie), bâtir une politique de réduction des consommations d'énergie reste un exercice complexe. La seule information disponible aujourd'hui est la consommation d'énergie de la totalité du territoire parisien, agrégé une première fois en 2004 par le CEREN, puis réactualisé en 2009.

La modélisation énergétique est donc l'exercice pratiqué pour contourner l'absence de données et essayer de comprendre les raisons des niveaux de consommations et bâtir des politiques publiques d'inflexion de ces consommations. La modélisation possède ses limites puisqu'elle représente de façon conventionnelle la réalité en se basant sur les lois de la physique. Tout ce qui relève de la sociologie (volonté ou non d'économiser de l'énergie, niveau de responsabilisation vis-à-vis des charges de chauffage, etc.) ne peut faire l'objet d'une représentation mathématique simple, et les écarts entre le modèle et la réalité engendrés par les comportements peuvent être conséquents.

La modélisation énergétique peut se pratiquer à différentes échelles : s'il s'agit de comprendre la consommation d'énergie d'un seul bâtiment alors les modèles mis en œuvre pourront être relativement complexes et basés sur une expertise précise réalisée « in situ ». À l'inverse un modèle de grande échelle, capable de comprendre les consommations d'énergie d'une ville entière, pourra se satisfaire d'approximations statistiques afin de rendre le calcul possible. C'est cette approche qui sera explicitée ici au travers d'hypothèses diversifiées d'amélioration de l'enveloppe des bâtiments. L'objectif étant de comprendre à l'échelle d'une ville comme Paris les raisons des niveaux de consommation actuels et d'évaluer la pertinence de mesure d'économies d'énergie de long terme.



# Une modélisation thermique du bâti

La modélisation thermique du bâti résidentiel ici présentée sur Paris constitue un prolongement des travaux menés sur les thématiques énergie et cadre bâti depuis quelques années, et en particulier de l'étude sur la performance énergétique des logements parisiens ici rappelée.

En 2009, à la demande de la Ville de Paris, l'Apur a conduit une opération de thermographie de 505 bâtiments parisiens. En parallèle de nombreux diagnostics thermiques ont été menés par la Ville de Paris afin d'inciter les copropriétés à mener des travaux de réhabilitation thermique (l'opération « Copropriété objectif climat ») et l'opération programmée d'amélioration thermique et énergétique des bâtiments du 13<sup>e</sup>).

À la lumière de ces nombreux documents l'Apur a produit, en collaboration avec les services de la Ville de Paris (la Direction du Logement et de l'Habitat, la Direction de l'Urbanisme, la Direction du Patrimoine et de l'Architecture), des bailleurs sociaux (la Régie Immobilière de la Ville de Paris, Paris Habitat, la Société de Gérance des Immeubles Municipaux) et des investisseurs privés (La Mondiale, Gécina), une série de cahiers d'analyse retraçant l'évolution de la construction à Paris et analysant les performances énergétiques des différentes périodes.

- Cahier n° 1 : Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits avant 1800
- Cahier n° 2 : Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1801 et 1850
- Cahier n° 3 : Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1851 et 1914
- Cahier n° 4 : Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1918 et 1939
- Cahier n° 5 : Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1945 et 1974
- Cahier n° 6 : Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits entre 1975 et 2000



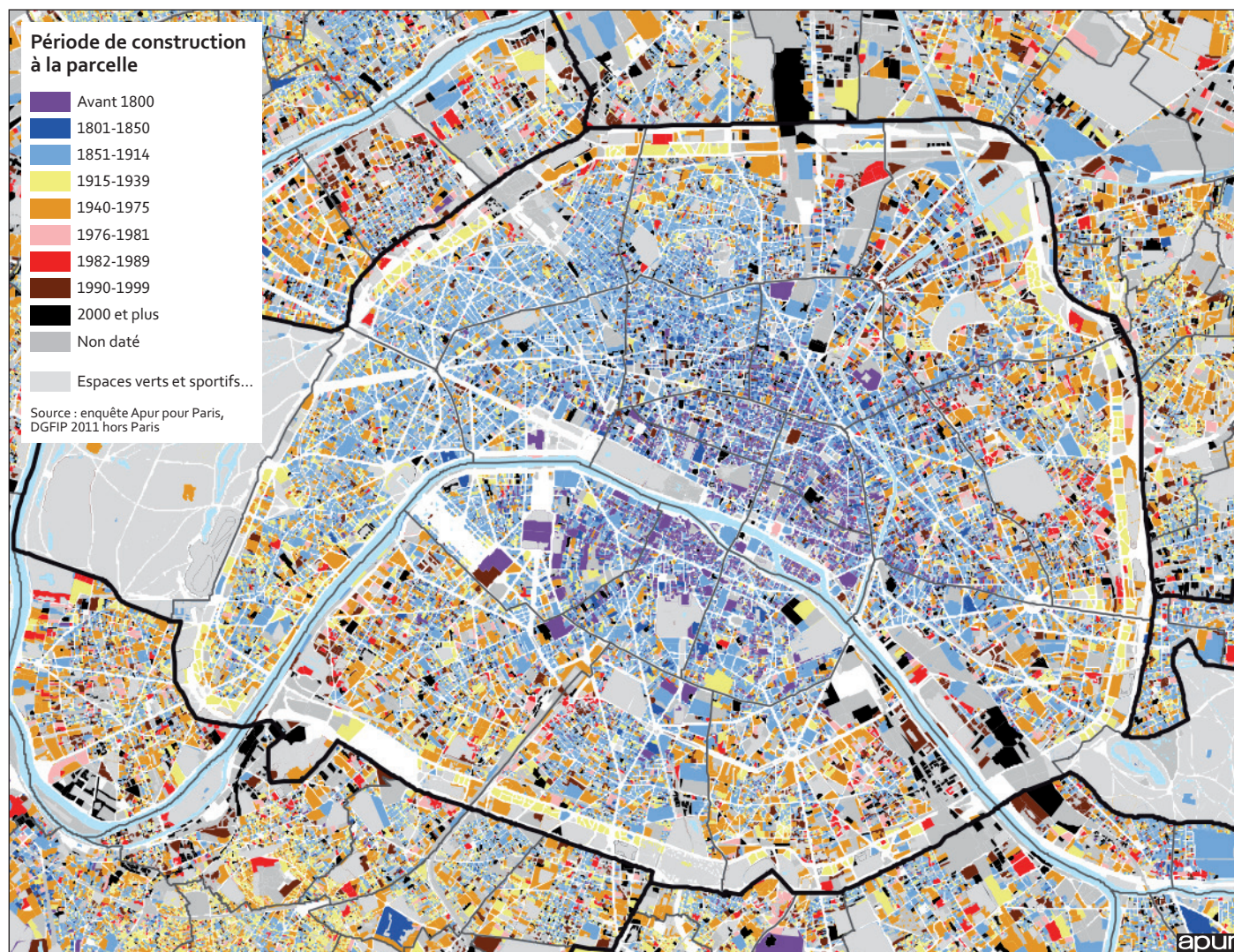
apur  
ANALYSE PARISIENNE  
URBAINES

## Analyse de la performance thermique des logements parisiens construits avant 1800

[http://www.apur.org/etude/  
analyse-performance-thermique-logements-parisiens](http://www.apur.org/etude/analyse-performance-thermique-logements-parisiens)



# Datation des bâtiments parisiens



La datation est l'une des premières clés de l'appréciation de la performance énergétique des édifices à Paris car la date de construction est généralement associée à des techniques constructives et des organisations spatiales bien particulières. Des techniques constructives se déduisent assez simplement des performances thermiques conventionnelles des bâtiments. On parlera souvent de « besoins énergétiques » pour qualifier l'énergie théoriquement nécessaire au maintien d'un bâtiment à 19 °C en hiver. Ainsi à l'échelle de tout Paris un calcul théorique peut être mené pour qualifier cette énergie globalement nécessaire pour chauffer les bâtiments. Notons que le calcul s'appuie sur la géométrie des formes urbaines, ainsi l'impact de la mitoyenneté se mesurera et on observera des besoins énergétiques plus bas pour les formes urbaines mitoyennes. Cette mitoyenneté est la règle avant 1914, ce qui confère aux quartiers anciens d'intéressantes performances malgré leur absence d'isolation thermique. Après 1945 la mitoyenneté est partiellement abandonnée à Paris au profit du « plan libre », puis on la réadoptera à partir de la fin des années 1970.

## → Les systèmes de chauffage

La seule connaissance des besoins énergétiques est insuffisante pour lire et interpréter les consommations d'énergie du territoire parisien. La performance des systèmes de chauffage (leur « rendement ») est

un facteur d'importance, ainsi que le comportement de l'utilisateur qui optera pour des niveaux de chauffe plus ou moins élevés selon ses goûts et sa capacité à réguler le niveau de chauffage du logement. Enfin, la connaissance des rendements des systèmes de chauffage et de comportements des usagers étant des sujets peu documentés, ils sont déduits en dernière instance à partir de l'écart entre les calculs conventionnels et les consommations d'énergie du territoire.

La répartition des systèmes de chauffage (gaz collectif, gaz individuel, électrique, fioul collectif, CPCU) sur le territoire est une donnée qui peut être reconstruite grâce au recensement réalisé par l'Insee. Cette donnée n'est aujourd'hui disponible qu'à l'échelle de l'IRIS (ensemble d'environ 2000 habitants). La perte d'information qui en résulte oblige à des approximations. En outre, les nouvelles éditions du recensement ont fait disparaître la datation des bâtiments d'« avant 1914 », tous les bâtiments anciens étant regroupés dans une classe « avant 1949 », alors que les bâtiments d'avant 1914 ont des comportements thermiques différents de ceux entre 1914 et 1949.



# Modélisation thermique

## Rendements des systèmes de chauffage et coefficients comportementaux

|                            | Rendements moyens des systèmes de chauffage (estimation pour 2009) | Rendements comportementaux (estimation selon prix de l'énergie pour 2009) |
|----------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| Chaudière individuelle gaz | 0,75                                                               | 1,35                                                                      |
| Chaudière collective gaz   | 0,75                                                               | 0,90                                                                      |
| Chaudière collective fioul | 0,90                                                               | 1,13                                                                      |
| Radiateur électrique       | 0,94                                                               | 1,65                                                                      |
| Sous-station CPCU          | 0,90                                                               | 0,92                                                                      |

$$\text{Consommations réelles} = \frac{\text{Besoins théoriques}}{(\eta \text{ système}) \times (\eta \text{ comportements})}$$

$\eta$  : rendement

### Légende

Seul l'effet combiné « rendements systèmes » et « rendements comportementaux » est connu. Le détail qui est donné l'est à titre indicatif, il respecte cependant certaines tendances que l'on s'attend à observer. Le chauffage électrique est considéré comme le plus économe, suivi du gaz individuel. Les modes collectifs CPCU et gaz sont les plus énergivores en raison de leur facturation collective. Le rendement comportemental idéal est fixé à 1, les valeurs supérieures à 1 traduisent des économies consenties par les usagers par rapport à la situation idéale, les valeurs inférieures à 1 traduisent une surconsommation par rapport à la situation idéale.

Deux anomalies doivent être constatées dans ce tableau : le fioul qui est en voie de disparition à Paris affiche des rendements comportementaux plus performants que les autres modes collectifs, la fiabilité de la donnée source peut être remise en question ici (est-on vraiment capable de compiler les consommations de fioul du territoire alors qu'elles sont facturées par une multitude d'acteurs?). Le rendement des sous-stations CPCU est lui aussi sujet à caution, pris arbitrairement égal à 0,9, il traduit une performance vraisemblablement surestimée des sous-stations en pieds d'immeuble.

## Une modélisation thermique basée sur la décomposition des différentes parois de l'enveloppe bâtie afin de pouvoir simuler les actions sur chacune d'entre elles

Sur la base des données géométriques et de la datation des bâtiments, un calcul de déperditions peut être mené sur tout Paris. La présente modélisation porte sur le chauffage des résidences principales. Une estimation des besoins conventionnels en kWh/m²/an peut être calculée pour chaque bâtiment sur la base du SIG de l'Apur. Les étapes suivantes supposent d'intégrer les approximations induites par la finesse des données de l'Insee et donc de se limiter à l'échelle de l'IRIS.

À l'avenir la création de « plateformes collaboratives de l'énergie » grâce auxquelles les syndicats de copropriétés seraient amenés à mentionner les types d'énergie employés dans le bâti devrait permettre une amélioration de la précision du calcul.

Ainsi, à l'échelle de l'IRIS, des besoins théoriques d'énergie pour le chauffage peuvent être modélisés. Ils doivent être recalés sur les consommations réelles en intégrant la performance des systèmes énergétiques et le comportement des consommateurs (notamment leur sensibilité au prix de l'énergie).

Le tableau ci-dessus donne une estimation des coefficients relatifs aux rendements des systèmes (production et distribution dans l'immeuble) ainsi qu'aux rendements comportementaux des usagers traduisant leur capacité ou non à économiser de l'énergie.

Le niveau du prix de l'énergie est le premier facteur expliquant les « comportements » des consommateurs.

Dans le cas du chauffage individuel, la corrélation est forte entre prix de l'énergie et niveau de consommation. Par contre dans le cas du chauffage collectif, seules des variations importantes du prix de l'énergie sont déclencheurs de mécanismes d'économie d'énergie en raison de la déresponsabilisation de l'utilisateur qui

s'acquitte de ses charges de chauffage via les charges collectives de l'immeuble.

De 2004 à 2009, la forte augmentation du prix du gaz (+40 %) a induit une forte baisse des consommations de chauffage gaz à Paris (-20 %). Deux mécanismes ont pu être notés :

- lorsque le prix de l'énergie augmente, une certaine compression des consommations de chauffage résultant d'une modération des températures de chauffage afin de minimiser la perte économique induite par l'augmentation du prix de l'énergie ;
- par contre quand l'augmentation perdure elle se traduit par des travaux d'économies d'énergie généralement associés à des travaux courant d'entretien des immeubles comme le ravalement.

Ces travaux peuvent alors être compris comme un investissement visant à répondre à l'augmentation du prix de l'énergie.

Les travaux d'isolation thermique sont une réponse assez courante à l'augmentation du prix de l'énergie. L'Apur a expertisé les permis de construire mentionnant les travaux d'isolation thermique de 2006 à 2012. Il ressort que l'isolation thermique extérieure (ITE) est très pratiquée sur les bâtiments des Trente Glorieuses. Sur les bâtiments plus anciens, notamment avant 1914, l'ITE est généralement partielle, elle est rarement menée sur rue, elle est courante sur cour ou sur les murs aveugles. L'absence de réalisations d'ITE des façades sur rue tient au caractère fortement patrimonial des typologies anciennes de Paris.

On notera que la peur du refus de l'obtention du permis de construire incite les copropriétés possédant des façades anciennes non ornementées (comme les typologies de faubourg ayant perdu leurs décors en plâtre) à ne pas solliciter l'ITE par peur de rallonger la procédure en cas de refus. Ainsi l'isolation thermique intérieure (ITI) est couramment pratiquée dans la recherche de la performance



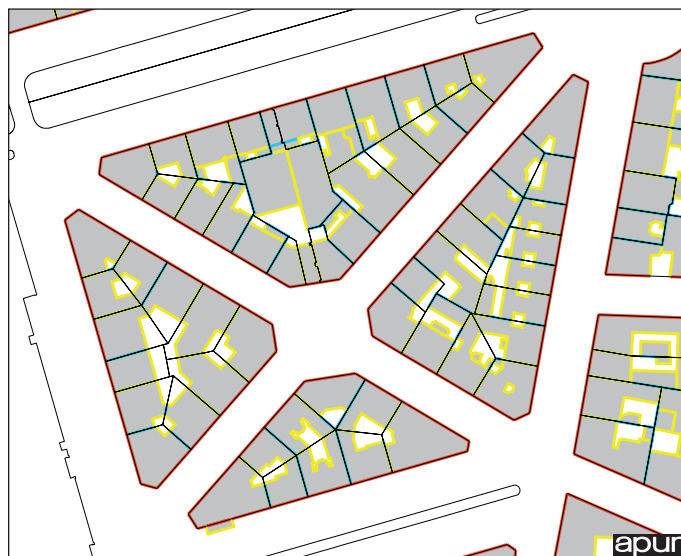
**Isolations thermiques extérieures (ITE) réalisées à Paris de 2006 à 2012 sur le bâti d'avant 1914**

- ITE sur cours
- ITE sur rue
- ITE sur mur aveugle pignon

énergétique des façades à valeur patrimoniale alors que sur cour l'ITE sera sollicitée. Ce constat montre des stratégies d'économie d'énergie différenciées selon les types de murs dans les typologies anciennes : murs sur cour, murs sur rue, pignons, héberges, etc. Alors que dans les typologies récentes cette différenciation n'apparaît pratiquement pas.

Sur la base de ce constat une classification des types de murs a été réalisée sur la base du plan SIG de l'Apur. Ainsi tous les murs de tous les bâtiments parisiens ont été affectés d'un qualificatif : mur sur rue, pignon sur rue, pignon sur parcelle (c.-à-d. à l'intérieur de l'îlot), etc. Cette classification sera décisive pour mesurer l'efficacité des mesures d'économies d'énergie à grande échelle.

Cette décomposition des murs est importante dans le diagnostic thermique initial de Paris car, dans les typologies d'avant 1914, les façades sur rue ont traditionnellement des qualités thermiques un peu meilleures que les façades sur cour. Les façades sur cour sont généralement réalisées selon les modes constructifs les plus économiques du moment (pans de bois et remplissage de coupes de moellons hourdées au plâtre, briques, pans de fer et briques, etc.). Pour chaque type de mur des performances thermiques standards peuvent être estimées, elles sont déduites des matériaux et techniques constructives employées pour chaque période et la typologie des murs pour les périodes d'avant 1914. Après 1914, on considère que ces distinctions disparaissent et que les murs sur cour et sur rue sont équivalents (la distinction entre la cour et la rue, lorsqu'elle existe, ne devient qu'ornementale et non constructive).



**Classification des murs parisiens pour le bâti d'avant 1914**

- Façade sur rue
- Mur aveugle (héberges, pignons)
- Mur mitoyen ou façade sur cour
- Limite parcellaire

**Valeurs retenues dans le calcul de la performance thermique des murs parisiens**

| Datations Insee | Type de mur         | U_mur (W/m². K) | Taux de vitrage du mur | Rapport entre la surface de double vitrage et la surface totale de vitrage |
|-----------------|---------------------|-----------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| Avant 1949      | pignon sur parcelle | 2               | 0                      | 0                                                                          |
|                 | héberge             | 2               | 0                      | 0                                                                          |
|                 | pignon sur rue      | 2               | 0                      | 0                                                                          |
|                 | façade sur rue      | 1,7             | 0,3                    | 0,4                                                                        |
|                 | façade sur cour     | 2               | 0,3                    | 0,6                                                                        |
| 1949-1974       | tout type de mur    | 2,9             | 0,5                    | 0,5                                                                        |
| 1975-1981       | tout type de mur    | 1,7             | 0,5                    | 0,5                                                                        |
| 1982-1989       | tout type de mur    | 1,15            | 0,4                    | 0,8                                                                        |
| 1990-1999       | tout type de mur    | 0,65            | 0,4                    | 0,9                                                                        |
| 1999-2004       | tout type de mur    | 0,5             | 0,4                    | 1                                                                          |
| après 2005      | tout type de mur    | 0,5             | 0,4                    | 1                                                                          |

| Datations Insee | U_toit | Inertie |
|-----------------|--------|---------|
| Avant 1949      | 0,65   | 3,6     |
| 1949-1974       | 2,9    | 2,1     |
| 1975-1981       | 0,65   | 2,1     |
| 1982-1989       | 0,65   | 2,1     |
| 1990-1999       | 0,65   | 2,1     |
| 1999-2004       | 0,5    | 2,1     |
| après 2005      | 0,5    | 2,5     |

| U simple vitrage |
|------------------|
| 4,65             |

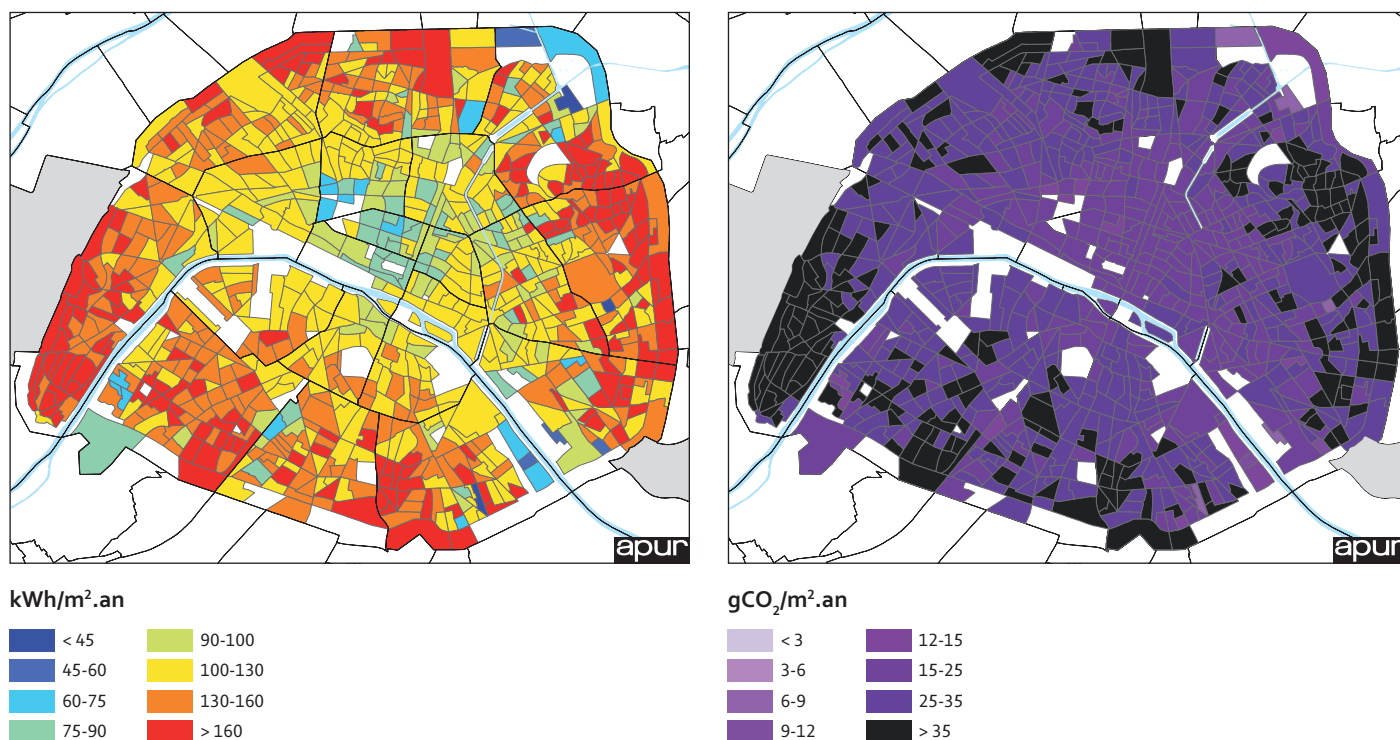
| U double vitrage |
|------------------|
| 2,6              |

Le découpage des types de mur est effectué pour toutes les périodes de construction à Paris. Seule la catégorie « avant 1949 » discrimine des performances thermiques différentes selon les types de murs. Les toitures des bâtiments d'« avant 1949 » sont considérées comme isolées, cette isolation est la conséquence de l'occupation des combles.

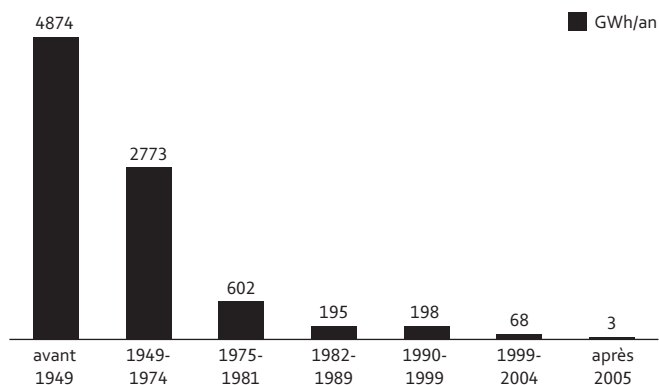


# Consommations d'énergie du bâti résidentiel parisien

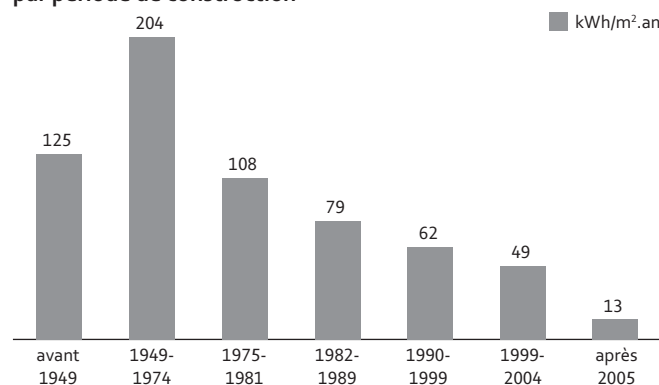
Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre surfaciques du chauffage pour le logement en 2009



Consommations de chauffage par période de construction



Consommations surfaciques de chauffage par période de construction



La consommation de chauffage du territoire parisien était en 2009 d'environ 8,7 TWh d'énergie finale. D'après le modèle, cette consommation se répartit comme suit en fonction des périodes de constructions.

Les périodes de constructions le plus anciennes sont aussi les plus représentées à Paris. Ainsi les bâtiments construits avant 1949 représentent 60 % des surfaces habitables parisiennes. Afin de comparer le poids respectif des différentes périodes de construction il convient de rapporter les consommations par mètre carré.

Ainsi les bâtiments de la reconstruction apparaissent comme les plus consommateurs en énergie de chauffage par mètre carré habitable. Ces consommations peuvent être aussi cartographiées à l'échelle de

l'IRIS, ce qui fait apparaître une territorialisation des consommations d'énergie. La représentation à l'IRIS moyenne les consommations d'énergie sur des ensembles d'environ 2000 habitants, la limite de cette représentation se heurte à la grande hétérogénéité des formes urbaines parisiennes, ce qui en limite la portée, même si ponctuellement certains enseignements peuvent être tirés. On notera que le centre historique est diagnostiqué à un niveau de performance supérieur à la moyenne parisienne. On retrouve ici l'effet du recourt systématique à la mitoyenneté dans des formes urbaines denses et l'usage du chauffage individuel. Les niveaux d'émissions de gaz à effet de serre les plus élevés concernent les logements possédant des systèmes de chauffage collectifs, en particulier ceux alimentés au fioul.

# Stratégies d'intervention et réduction des consommations d'énergie

Les niveaux de consommations d'énergie reflètent le rapport économique qui existe entre consommateurs finaux (les habitants) et les fournisseurs (ERDF, GRDF, CPCU, etc.). Le niveau de consommation des ménages est essentiellement commandé par le prix de l'énergie. La raréfaction des ressources énergétiques est un mécanisme qui entraîne une montée du prix de l'énergie selon des tendances imprévisibles (paliers, exponentiels, seuils, etc.) ce qui expose fortement les ménages (précarité énergétique, vulnérabilité, etc.). Si le concept de « transition énergétique » est le mécanisme qui permettrait de résoudre la question de la dépendance énergétique par des mécanismes de substitutions énergétiques (énergies locales) et des travaux entrepris à des fins d'économies d'énergie (comme l'isolation thermique), sa mise en œuvre reste tributaire des territoires dans lesquels elle sera mise en œuvre et des niveaux d'exigences requis concernant la performance énergétique. La mise en œuvre de la « transition énergétique » est aussi fortement tributaire de l'aléa « prix de l'énergie » qui n'est pas décidé localement puisque l'essentiel de l'énergie est l'objet d'importations (en tout cas pour les énergies fossiles). Les mécanismes

d'aide à la « transition énergétique » peuvent être ainsi fortement bousculés par des variations rapides du prix de l'énergie, voire jugés trop coûteux par l'État si la conjoncture économique évolue trop rapidement dans un sens défavorable. En guise d'illustration, on peut se référer à la politique d'aide au photovoltaïque qui a été complètement arrêtée suite à la crise de 2007.

Ainsi, dans les raisonnements qui vont suivre, il a semblé pertinent de se borner à étudier l'impact de mesures simples d'économies d'énergie qui pourront être décidées par les acteurs économiques si l'évolution du prix de l'énergie et les mécanismes d'aides associés s'y prêtent. Néanmoins le détail de ce que serait un contexte économique favorable à la massification des réhabilitations n'a pas été abordé. Les mesures proposées s'inspirent des pratiques actuelles de la réhabilitation et envisagent leur massification afin de quantifier les gains qu'elles peuvent apporter à l'horizon 2050 sans rupture technologique. Les mesures d'économies d'énergie que nous avons envisagées relèvent essentiellement d'interventions ponctuelles sur les bâtiments et les systèmes de chauffage et de ventilation.

## Avant 1914

Bâtiment post-haussmannien implanté sur une parcelle profonde – Persistance de l'écriture architecturale dans la première cour



Façade sur rue



Façade de la 1<sup>re</sup> cour



Façade sur cour

Rue des Filles du Calvaire (75011). Façade sur rue en pierre de taille. Persistance de l'écriture architecturale sur cour avec façade en brique enduite. Absence d'écriture architecturale dans les autres cours.

Photographies © Apur

La réhabilitation thermique, et en particulier l'isolation thermique extérieure (ITE) doit prendre en compte la période de construction et donc l'écriture architecturale de Paris.

Avant 1914, il existe dans la conception des bâtiments d'habitation une opposition nette entre l'écriture architecturale sur cour et sur rue. La façade sur rue bénéficie généralement d'une ornementation qualifiant le statut social de l'occupant initial. La pierre de taille calcaire a ainsi été très employée sur rue et taillée afin d'affirmer la catégorie sociale des occupants (N.B. : on distingue au moins trois classes de bâtiments haussmanniens selon la qualité ornementale des registres et le découpage des espaces intérieurs). Aujourd'hui ces façades sur rue en pierre de taille sont considérées comme patrimoniales et inaltérables tant elles sont associées à l'image de Paris. À l'inverse les façades sur cour ont souvent été édifiées sans consi-

dérations architecturales particulières, elles renvoient à l'espace privé, invisible depuis l'espace public et peu considérées jusqu'à la première guerre mondiale.

De nombreuses exceptions existent dans cette discrimination très courante à Paris entre façade sur rue et façade sur cour. Ainsi sur certaines parcelles profondes dans lesquelles plusieurs corps de bâtiments se succèdent formant plusieurs cours successives, l'écriture architecturale peut régresser de façon progressive à mesure de l'éloignement de la rue. Ainsi on trouvera dans certaines cours une persistance de l'écriture architecturale de la rue mais basée sur des matériaux jugés « moins nobles » et des « façades moins ornementées » mais formant tout de même une écriture architecturale à caractère patrimonial.

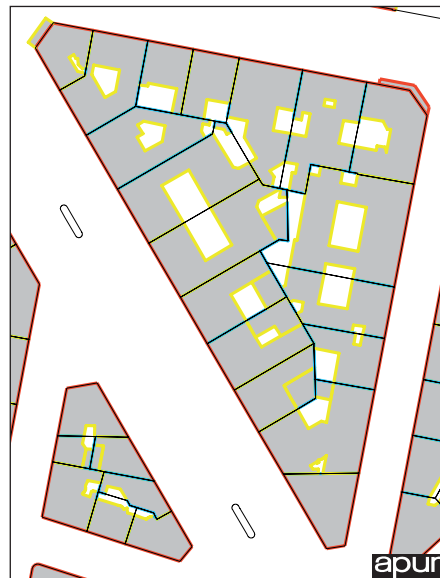


## Bâtiment datant de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle



Rue d'Aubervilliers (75019) – La disparition de l'écriture architecturale sur rue au fil des ravalements permet son isolation thermique par l'extérieur

## Rapport entre la surfaces de murs intérieurs (ou aveugles) et la surface totale de murs



Le rapport vaut 60 % pour les typologies haussmanniennes « triangulaires » – Ici rue Saint-Vincent de Paul (75010)



Le rapport vaut 75 % pour les typologies de l'Ancien Régime – Ici rue Quincampoix (75001)

À l'inverse dans certains quartiers, on trouvera des typologies bâties pour lesquelles les façades sur rue et sur cours sont équivalentes, sans aucune ornementation, ou aux ornements de plâtre disparus au fil des ravalements.

N.B. : les hôtels particuliers parisiens ne répondent pas non plus à la discrimination architecturale cour/rue mentionnée ci-dessus. Nombres d'entre eux n'ont plus de vocation résidentielle et sont utilisés par des institutions. Dans ce cas ils ne sont donc pas comptabilisés dans le calcul. Ceux qui par contre ont encore une vocation résidentielle seront par contre mal considérés par le modèle et représenteront un biais.

À l'échelle globale, on considérera dans une première approche que toutes les façades sur rue des bâtiments anciens d'avant 1914 ne peuvent être modifiées à des fins d'isolation thermique extérieure alors que les façades sur cour peuvent l'être. Comme mentionné ci-dessus, cette approche souffre de nombreuses exceptions que seule l'étude à l'échelle du bâtiment sera à même d'apprécier.

Les bâtiments d'avant 1914 ont très souvent recours à la mitoyenneté, chaque bâtiment s'appuie sur son voisin, et partage les murs

reposant sur les limites parcellaires. Les formes urbaines mitoyennes sont généralement des formes dites fermées, c'est-à-dire pour lesquelles il existe une séparation totale, orchestrée par les corps de bâtiments sur rue, entre l'espace privé intérieur et l'espace extérieur. Cette conception de la ville a été rationalisée par la forme urbaine haussmannienne qui réalisera selon ce schéma une optimisation foncière qui confèrera aux lotissements ainsi créés de fortes densités. Cette conception de ville mitoyenne conçue en îlots fermés a la particularité d'engendrer d'importantes surfaces de murs donnant sur les espaces intérieurs, ces murs ont très souvent des surfaces cumulées supérieures aux murs sur rue. Par exemple, dans les formes haussmanniennes composées selon des plans triangulaires, le rapport entre la surface de murs intérieurs et la surfaces totale de murs de l'îlot est d'environ 60 %, dans les formes plus anciennes de l'Ancien Régime ce rapport est encore plus élevé, par exemple l'îlot de la rue Quincampoix atteint les 75 %. Ainsi dans les formes urbaines anciennes les murs sur cour sont non seulement surreprésentés par rapport aux façades ornementées, mais ils sont aussi thermiquement moins performants et sont aussi peu contraints par les questions patrimoniales. Il est donc probable que les gains d'opérations d'isolation thermique seront plus importants en cœurs d'îlots, ils sont aussi plus acceptables d'un point de vue patrimonial.

## 1918-1939

L'entre-deux-guerres voit apparaître la première génération de logements sociaux, les logements de type HBM (Habitation à Bon Marché). Ces logements sont implantés selon des configurations dites « semi-ouvertes », qui correspondent à l'application des principes hygiénistes visant à faire pénétrer au mieux la lumière dans les logements. Ces logements possèdent une écriture architecturale qui abandonne la distinction cour/rue traditionnelle parisienne. Leur réhabilitation ne pourra donc être envisagée de façon ambitieuse dans le cadre d'ITE. Notons que l'accélération de la production de logements HBM constatée entre 1918 et 1939 se traduit aussi par une régression relative du vocabulaire architectural : disparition des briques polychromiques, des faïences, des éléments de décor en bois, etc. Néanmoins la persistance de l'usage de la brique tout au long de la période confère à tous ces ensembles un caractère urbain, et rend leur réhabilitation par l'extérieur difficilement envisageable. Les données de l'Insee agrègent d'un seul tenant toutes les constructions d'avant 1949, ce qui revient à assimiler les HBM à des bâtiments conçus entre mitoyens, il s'agit d'un biais pour le modèle.

### Habitations à bon marché de l'entre-deux-guerre – Implantation « semi-ouverte »



Porte de Bagnolet (75020)

© ph.guignard@air-images.net

## 1949-1975

De 1949 à 1975, Paris connaît une double logique d'implantation des bâtiments. L'implantation de type « plan libre » qui est celle préconisée par le ministère de la reconstruction et de l'urbanisme (MRU) s'applique pour les programmes d'HLM parisiennes, en particulier celles de la ceinture verte. L'implantation entre « deux mitoyens » reste la règle dans l'habitat privé jusque dans les années 1960. Ainsi le modèle de l'immeuble bourgeois entre deux mitoyens perdure à Paris assez tardivement en raison d'un règlement qui freine, durant l'immédiat après-guerre, l'adoption du plan libre. Ainsi, à Paris, coexistent deux types de formes urbaines pour les logements construits entre 1949 et 1975 : l'implantation entre deux mitoyens (affectée ou non d'un retrait d'alignement) et l'implantation de type « plan libre ».

Les qualités constructives et thermiques des logements de l'« après-guerre » sont souvent considérées, en France, comme faibles. Cette période a été un moment d'intense construction basé sur des techniques modernes industrielles encore peu éprouvées. Concernant Paris, il convient de nuancer ce propos. Si la production de logements HLM après-guerre correspond assez bien aux standards de la construction en France, la production de logements bourgeois applique peu les techniques constructives modernes et restera à l'écart des techniques de préfabrication assez tard.

Il est impossible à l'échelle macroscopique de prendre en compte toutes les nuances qui existent dans l'évolution des techniques constructives de cette période. Si avant 1949, il est aisé d'associer à chaque période un type constructif, après-guerre la rapidité d'évolution des techniques constructives et la grande hétérogénéité de leur mise en œuvre à Paris rend l'analyse complexe. À des fins de simplification, il a été considéré que les bâtiments construits entre 1949 et 1975 l'ont été selon des techniques constructives aux faibles performances thermiques. Il a de plus été considéré que la valeur patrimoniale des édifices sera plus l'exception que la règle et donc qu'en première approche tous les bâtiments de cette période peuvent faire l'objet de réhabilitations ambitieuses. Il s'agit bien sûr d'une simplification destinée à faciliter le calcul.

### Logements construits dans les années 1970



Rue d'Hautpoul (75019) – Logements pouvant faire l'objet d'une isolation thermique extérieure

© Apur



## Après 1975

L'implantation de type plan libre est largement abandonnée pour les bâtiments d'après 1975. On considérera dans le modèle que tous les bâtiments construits entre 1975 et 1990 pourront être réhabilités de façon ambitieuse. On considérera en première approche que l'architecture de ces édifices n'est pas un obstacle à leur réhabilitation. Les bâtiments d'après 1990 ne sont pas concernés par les scénarios de réhabilitation.

## Logements construits dans les années 1980



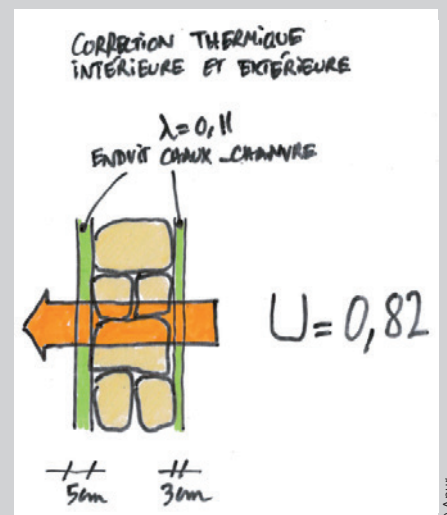
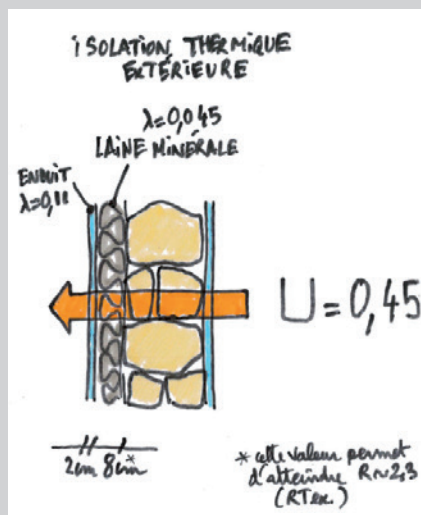
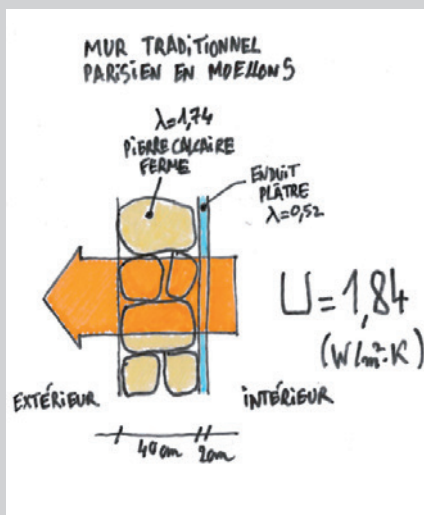
ZAC St. Charles (75015) – Logements pouvant faire l'objet d'une isolation thermique extérieure

### Précisions sur le coefficient U

Le coefficient U désigne la conductivité thermique, c'est la capacité qu'a un mur à laisser passer l'énergie. Plus la valeur de U est faible, plus performant est le mur. Le mur traditionnel parisien possède un U relativement élevé, pris égal à 1,84 dans l'exemple qui suit. Les stratégies de réhabilitation consisteront à isoler le mur pour améliorer sa performance. À titre d'exemple, deux pistes sont illustrées ici :

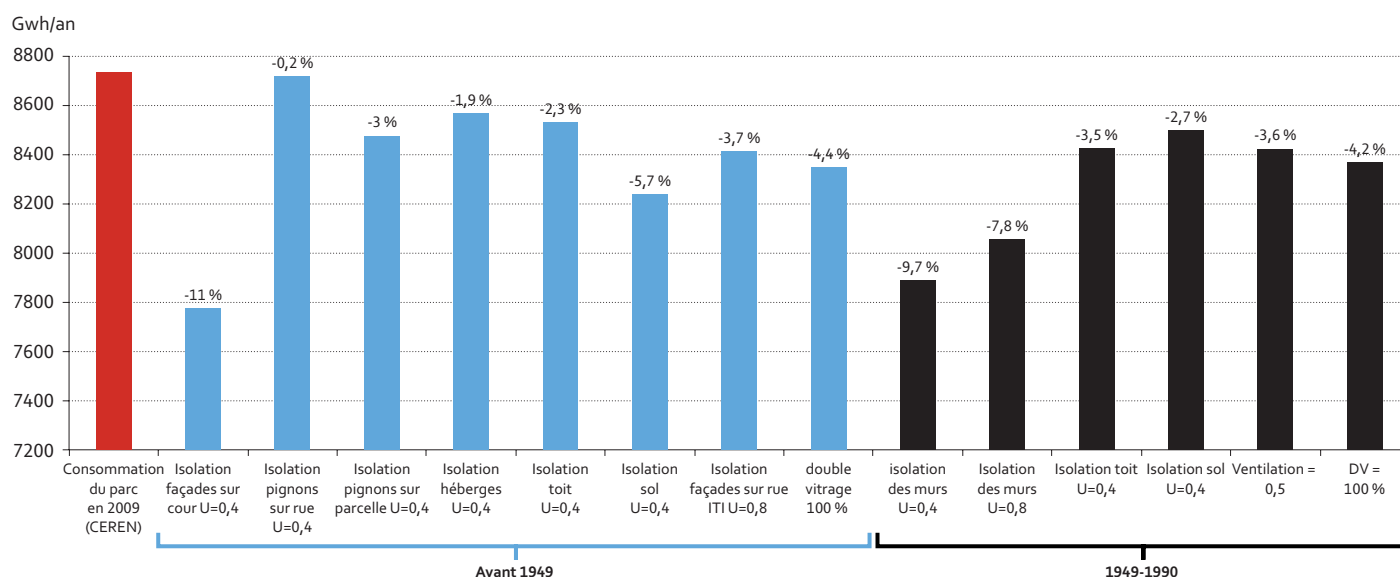
- La voie conventionnelle, conforme à la réglementation existante, consiste à isoler le mur en lui ajoutant à l'extérieur un isolant d'environ 8 cm. Cette solution peut être mise en œuvre quand le mur n'est pas ornémenté. Ici  $U = 0,45$  après réhabilitation.

- Une voie alternative à la voie conventionnelle consiste à panacher l'isolation entre l'intérieur et l'extérieur grâce à une isolation à base de chanvre. L'intérêt de ce choix est de veiller à la bonne adéquation entre le matériau d'isolation et la structure du mur (ici, des moellons), celle-ci étant généralement sensible à l'interruption des transferts de vapeur d'eau qui peuvent se produire lors de l'application de la solution conventionnelle et qui sont de nature à dégrader le bâtiment. L'inconvénient de ce choix d'isolation est qu'il offre des résultats thermiquement moins bons que ceux de la voie conventionnelle avec un  $U = 0,82$ . On parle alors de correction thermique plutôt que d'isolation.



# Sensibilité du modèle aux mesures ponctuelles de réhabilitation

Effet de mesures ponctuelles de réhabilitation sur les consommations d'énergie du parc de logements parisiens



La modélisation du parc de logement permet d'envisager l'impact de mesures d'économies d'énergie à l'horizon 2050. L'horizon 2020 n'est pas abordé ici car aucune évolution d'importance ne pourra être constatée sur la consommation d'énergie du parc en se basant sur la massification de travaux d'économies d'énergie dans l'habitat, seule une hausse brutale du prix de l'énergie pourrait bouleverser les niveaux de consommation d'énergie en si peu de temps. L'horizon 2050 permet d'envisager l'évolution du parc sur 35 ans et donc d'estimer l'effet d'une massification de certaines mesures d'économie d'énergie. Afin de tester la sensibilité des consommations d'énergie de Paris aux efforts de réhabilitation il est possible de tester l'impact de mesures ponctuelles de réhabilitation.

Cet inventaire permet de comparer la plus-value des mesures entre elles et surtout de rapporter leur gain à la complexité (et donc au coût) de leur mise en œuvre. Ainsi, par exemple, l'isolation des héberges des bâtiments anciens rapporte 1,9 % ce qui est assez faible alors que sa mise en œuvre est théoriquement complexe en ITE puisque qu'il faut échafauder en prenant appui sur le bâtiment voisin. A contrario l'isolation des murs est une mesure très efficace d'économie d'énergie : 9,7 % d'économie d'énergie pour l'isolation

des bâtiments de 1949-1990 et, dans l'ancien, la simple isolation des façades sur cour offre un gain de 11 % des consommations d'énergie. Comme l'analyse des formes urbaines le laissait présager, le fort développé de façade sur cour de l'habitat ancien rend l'isolation des façades sur cours très performante.

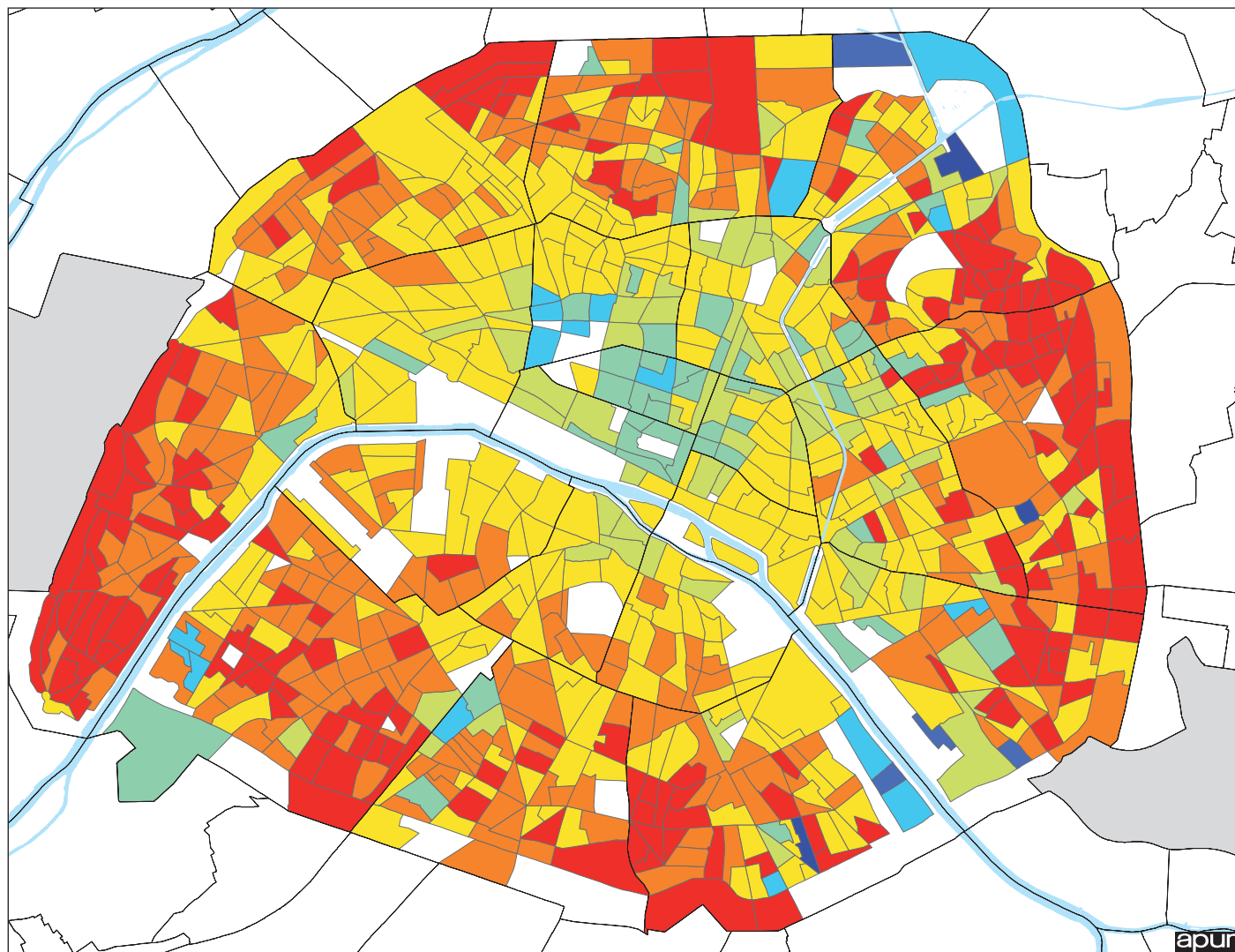
L'isolation des façades anciennes sur rue par l'intérieur (ITI) a été estimée à 3,7 %. Ce qui est relativement peu. Le coefficient de performance retenu ici est de  $U = 0,8$  ce qui est assez faible, mais ce qui permet de retranscrire la difficulté de mise en œuvre de solutions performantes dans l'ancien à cause de la perte de surface habitable et de la présence de décors intérieurs. Mais cette mesure peut être comprise de 2 façons : une isolation intérieure de la totalité des murs anciens sur rue par des corrections thermiques (enduits isolants avec  $U = 0,8$ ) ou une isolation intérieure performante ( $U = 0,4$ ) de la moitié des murs donnant sur rue. Ces deux interprétations sont équivalentes, c'est leur mise en œuvre qui n'est pas équivalente d'un point de vue économique. Les questions d'hygrométrie, propres à l'habitat ancien, et les questions de confort d'été donnent la préférence à la solution de l'enduit isolant, même si le modèle n'est pas capable de prendre en compte cette subtilité.







# Construction de scénarios pour Paris



Situation en 2009

kWh/m<sup>2</sup>.an

|       |         |
|-------|---------|
| < 45  | 90-100  |
| 45-60 | 100-130 |
| 60-75 | 130-160 |
| 75-90 | > 160   |

Dans cette première partie, des scénarios sont examinés en combinant l'amélioration de l'enveloppe et l'amélioration des systèmes de chauffage.

Ces scénarios intègrent tous en effet des évolutions « a minima » par rapport à la situation actuelle, souvent qualifiées d'évolutions « au fil de l'eau ».

Celles-ci correspondent à :

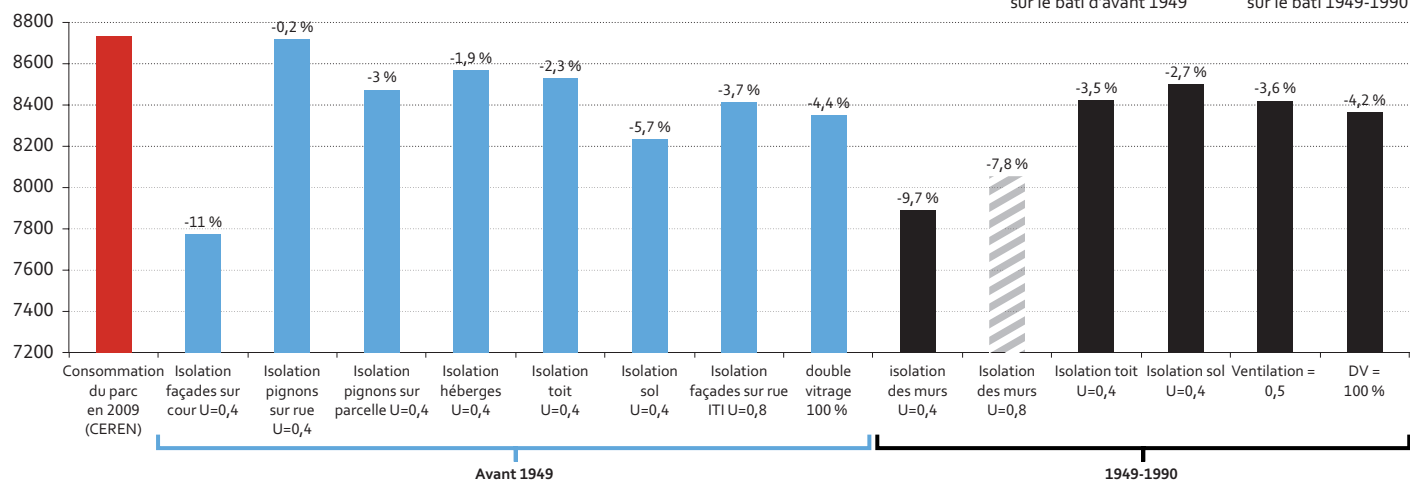
- la diffusion d'équipements performants en remplacement d'équipements devenus obsolètes. Ainsi sur les 35 ans de simulation des scénarios, la totalité des chaudières sera remplacée car 35 ans excèdent la durée de vie des équipements actuellement en service ;
- la disparition totale des chaudières au fioul à horizon 2050 au profit du chauffage urbain ;
- la généralisation des doubles-vitrages sur la totalité du territoire parisien d'ici 2050 ;
- l'isolation systématique des toitures et des rez-de-chaussée quelles que soient les typologies envisagées ;
- la mise en place de ventilations mécaniques assurant un renouvellement d'air de 0,5 volume/h.

Les conséquences en matière d'émissions de gaz à effet de serre de scénarios progressifs de verdissement des réseaux seront examinées dans la deuxième partie. On y détaillera également le potentiel d'ENR&R à Paris.

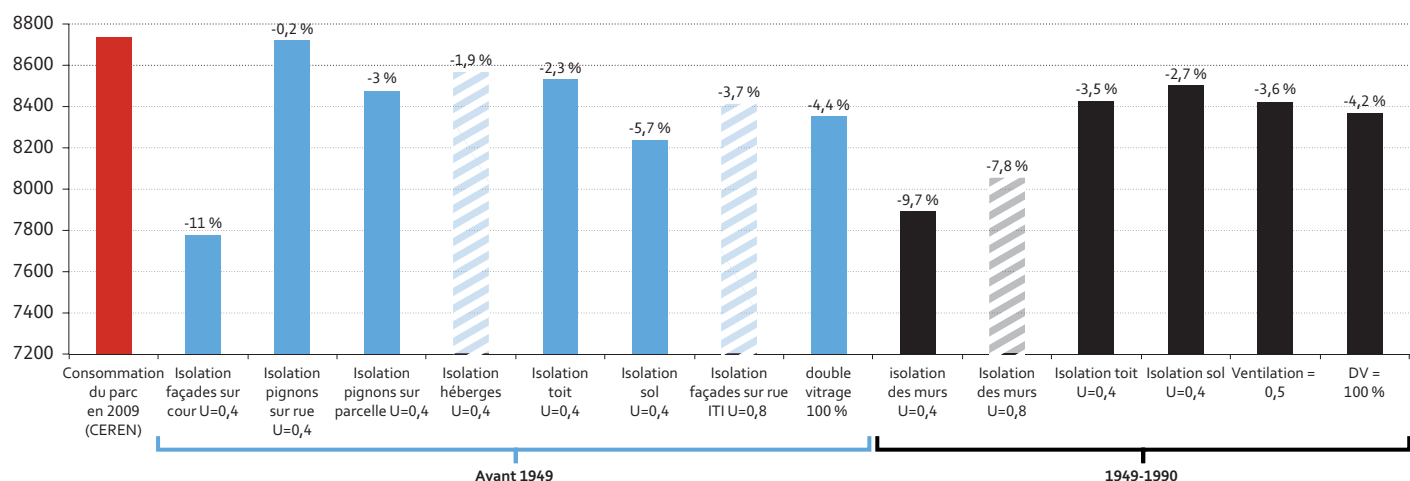


## Synthèse des actions sur le bâti des différents scénarios pour 2050

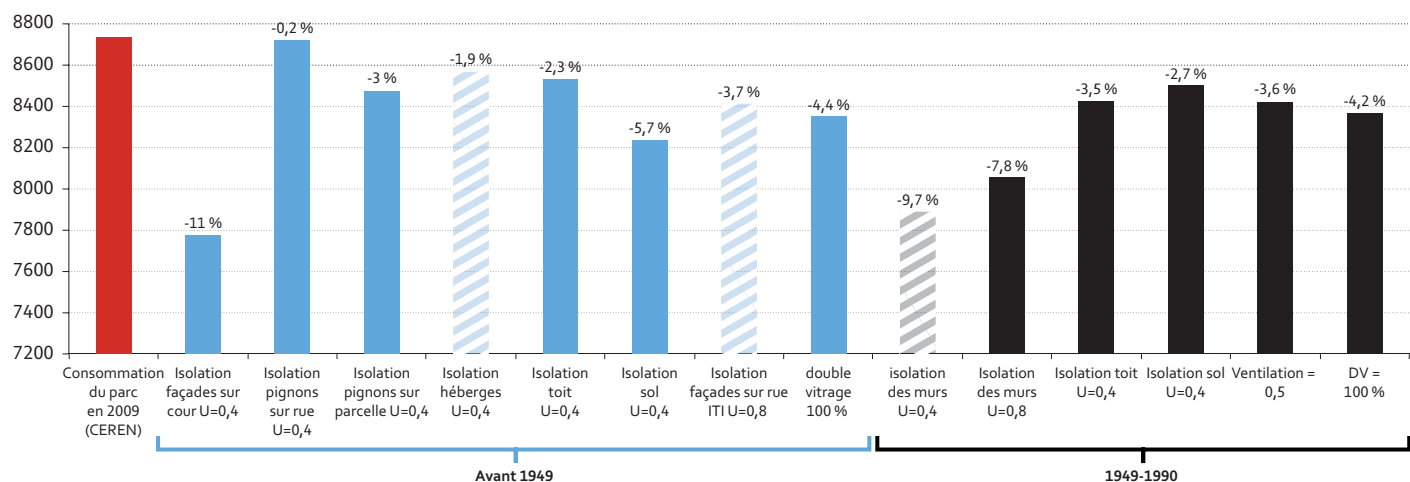
### Scénario ambitieux (en Gwh/an)



### Scénario médian (en Gwh/an)



### Scénario minimal (en Gwh/an)



## → Détail des 3 scénarios étudiés

### Scénario ambitieux



Facteur 2,7

**Scénario ambitieux :** L'isolation thermique extérieure ( $U = 0,4$ ) des murs est effectuée sur la totalité des murs parisiens avant 1990, à l'exception des façades sur rue des bâtiments anciens (d'avant 1949) qui sont isolées par l'intérieur ( $U = 0,8$ ). Dans ce cas on atteint une baisse des consommations d'énergie d'un facteur 2,7. Ce scénario permet de dépasser l'objectif du SRCAE de réduction des consommations d'énergie pour le volet chauffage des bâtiments. Néanmoins il repose sur des hypothèses très ambitieuses de réhabilitation puisque la totalité du parc de logements d'avant 1990 fait l'objet de travaux en 35 ans.

### Scénario médian



Facteur 2,4

**Scénario médian :** Ce scénario prend en compte la difficulté de réhabiliter le patrimoine ancien, notamment les héberges et les façades sur rue. Sur ces deux types de parois aucune intervention n'est entreprise en revanche les murs des cours et les pignons sont traités en ITE. Sur les typologies de 1949 à 1975, un effort important est consenti, la totalité des murs sont traités en isolation extérieure ( $U = 0,4$ ). Les consommations d'énergie sont une baisse d'un facteur 2,4 ce qui est à nouveau conforme aux objectifs du SRCAE, qui fixe une division par deux des consommations à horizon 2050.

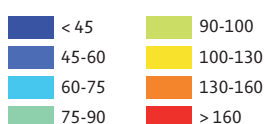
### Scénario minimal



Facteur 2,0

**Scénario minimal :** Ce scénario rend compte comme précédemment de la difficulté d'intervenir sur le bâti ancien, les hypothèses d'intervention sur le bâti ancien sont reprises du scénario précédent. Concernant le bâti de 1949-1990, on considère que seule une moitié du parc a été rénovée selon l'objectif de  $U = 0,4$  (ce qui revient à dire que la totalité l'a été selon un objectif moyen de 0,8) ce qui permet de transcrire la difficulté d'intervention dans certaines typologies qui présentent des cas de ponts thermiques insolubles (balcons filants des années 1960, volumétries complexes des années 1980, etc.). Ce scénario est le moins ambitieux en termes de travaux mais correspond tout de même à un rythme soutenu d'action sur le bâti s'il doit être appliqué en 35 ans. Dans ce scénario, seuls les gains d'économies d'énergies les plus simples sont recherchés. Dans ce scénario, la réduction des consommations d'énergie est de 2,0 soit le respect strict des objectifs du SRCAE.

kWh/m².an



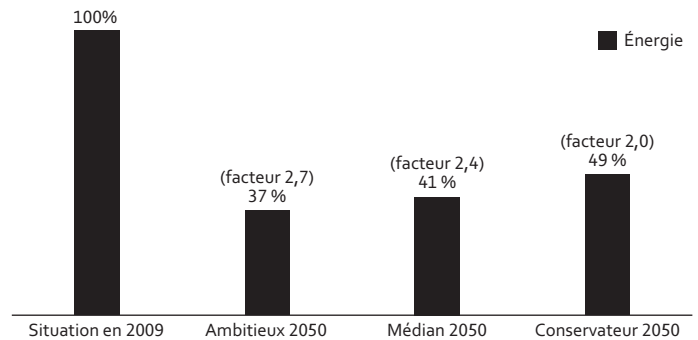


# Enseignements

Si une multitude de scénarios peut être théoriquement envisagée, ceux étudiés ici respectent tous pour le chauffage des bâtiments de logement l'objectif du SRCAE d'une division par 2 des consommations d'énergie (facteur 2), à travers une simple amélioration de l'enveloppe combinée à l'amélioration au fil de l'eau des systèmes de chauffage. Ces scénarios supposent tous une action importante sur le parc de logement et une massification des travaux de réhabilitation, condition « sine qua non » de l'atteinte du facteur 2.

Si l'action sur le bâti ancien est un élément incontournable de la politique d'économie d'énergie, les gains obtenus par des actions sur les murs aveugles (pignons donnant sur les rues ou les parcelles) et les façades sur cour offrent des perspectives suffisantes dans le cadre de l'objectif du facteur 2. Ces actions sont d'ailleurs souvent celles actuellement retenues par les copropriétés lorsqu'elles rénovent leur bâti. L'objectif est aujourd'hui de proposer des mécanismes de massification en levant toutes les difficultés nécessaires à leur mise en œuvre. On pense par exemple à l'isolation des pignons donnant sur une parcelle voisine qui peut échouer suite à un veto du propriétaire de la parcelle adjacente. Les injonctions de ravalements des cours pourraient être aussi l'occasion d'obliger les propriétaires à étudier la question de l'isolation extérieure.

**Scénarios de réduction des consommations d'énergie pour Paris en 2050**













### 3 - Les ENR&R pour optimiser et sécuriser le système énergétique

Entre la ressource énergétique et le consommateur, les réseaux assurent le transport et la distribution de l'énergie. Les grands réseaux énergétiques sont le réseau électrique, le réseau de gaz, les réseaux de chaleur et de froid, peut-être rejoints à l'avenir par les réseaux d'eau. Ces énergies ont chacune leurs spécificités, leur potentiel, mais elles sont toutes appelées à connaître un verdissement de leur mix énergétique à travers la valorisation énergétique des déchets, la biomasse, la géothermie profonde, la méthanisation, l'éolien ou l'énergie solaire.

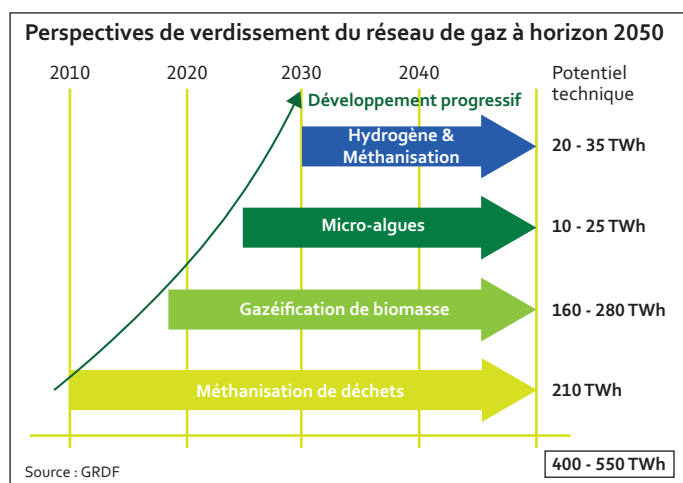
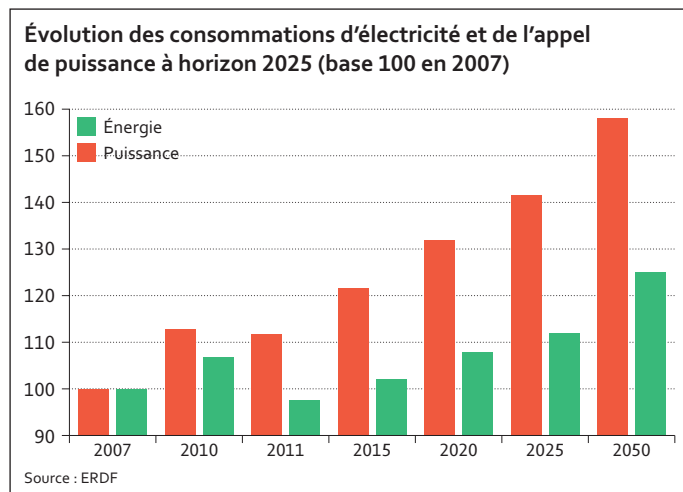
La mobilisation des énergies renouvelables et de récupération peut aussi se faire à une échelle locale : récupération de chaleur fatale, géothermie de minime importance (fermée ou ouverte), biomasse, déchets, solaire thermique ou photovoltaïque.

Un Plan local Énergie repose sur l'identification, l'inventaire, et la prise en compte de préconisations d'usages concernant ces ressources localisées, et ce, aux différentes échelles pertinentes : le territoire, la commune/arrondissement, l'IRIS (entité statistique), l'îlot, et jusqu'au niveau de la parcelle.



# Les réseaux et les ressources globales

## De nouveaux rôles pour les réseaux de gaz et d'électricité



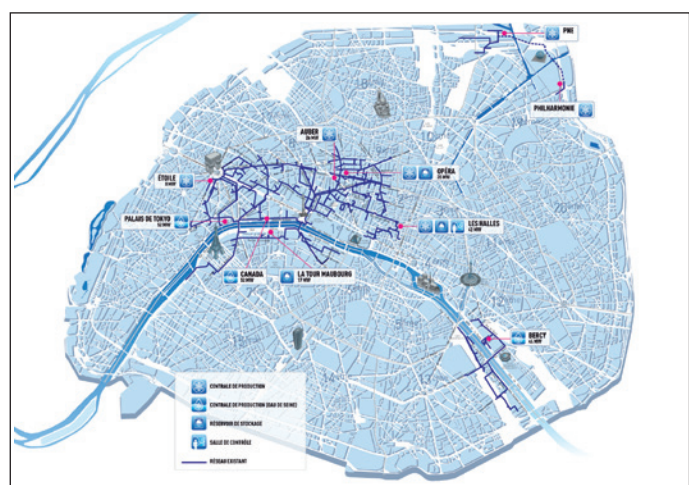
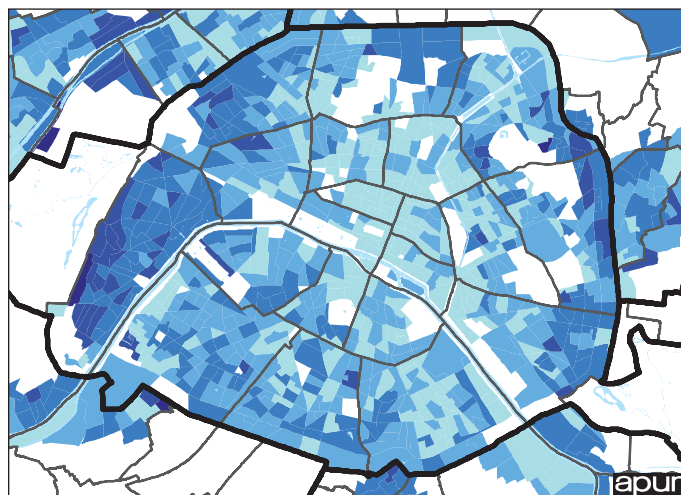
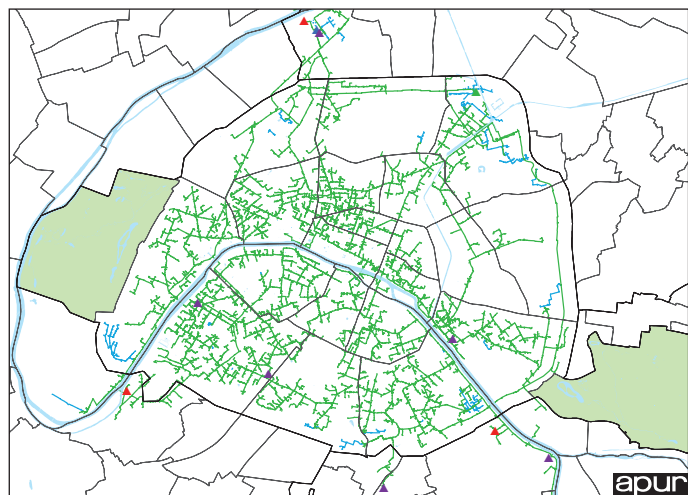
Entre la ressource énergétique et le consommateur, les réseaux assurent aujourd'hui le transport et la distribution de l'énergie. Les grands réseaux énergétiques sont le réseau électrique, le réseau de gaz, les réseaux de chaleur et de froid, peut-être rejoints à l'avenir par les réseaux d'eau. Ces énergies ont chacune leurs spécificités, leur potentiel, mais se situent également dans un contexte concurrentiel très marqué.

**Le réseau électrique** est l'énergie indispensable à tous. Ce réseau est confronté à de nouveaux défis comme l'essor des productions renouvelables et (souvent) variables, à de nouveaux usages très consommateurs (mobilité électrique, data center) qui nécessitent de nouveaux outils (développement des smartgrids, compteurs Linky) et surtout la gestion de la pointe électrique, la puissance appelée augmentant deux fois plus vite que la consommation électrique elle-même. Les usages de l'électricité sont en effet en pleine mutation : les usages traditionnels (chauffage, cuisson) ont tendance à diminuer au profit de nouveaux usages (essor de l'électricité spécifique lié au développement de l'appareillage numérique, développement de la mobilité électrique, essor de la climatisation pour le tertiaire, etc.). Le développement de ces nouveaux usages peut constituer un facteur potentiel de risques (puissance importante nécessaire pour les recharges rapides de voitures électriques) ou de tension (puissance réservée auprès des postes électriques pour des installations comme les data center largement surdimensionnée et pouvant de ce fait limiter d'autres développements dans le même secteur). C'est dans l'optique de limiter au maximum ces risques et

de sécuriser la gestion du réseau électrique au niveau des pointes électriques que les stratégies d'effacement et le développement des outils comme les smart-grids et les compteurs Linky seront mis en œuvre. Le réseau électrique devra également évoluer afin d'absorber au mieux les nouvelles productions liées aux sources renouvelables (solaire, éolien, etc.), de permettre les échanges entre un bâtiment « ressource » et ses voisins, de favoriser l'auto-consommation électrique.

**Le réseau de gaz** voit sa clientèle évoluer avec moins de petits consommateurs et davantage de gros consommateurs. Par ailleurs, il dispose d'importantes réserves de capacité et des perspectives intéressantes d'évolutions avec la production d'électricité (cogénération ou trigénération), y compris à petite échelle – individuelle ou collective – avec la micro-cogénération. La possibilité de stocker l'énergie constitue un autre enjeu du réseau de gaz. Le gaz est aussi voué à un verdissement important à un horizon 2050 (méthanisation à partir de déchets verts, voire de micro-algues à terme), même si le développement des installations, en particulier de méthanisation, requiert la levée préalable des réticences des riverains. Le développement de ces techniques pourrait aboutir à une part de biogaz de l'ordre de 50 à 75 % autour de 2050. Compte tenu des contraintes environnementales liées à l'implantation des centrales de méthanisation, des solidarités devront être initiées, à l'exemple de l'accord fixé entre le Sycotm et le SIAAP sur l'implantation de centres de méthanisation sur les stations d'épurations du SIAAP. Enfin, l'usage du gaz va continuer à se diversifier avec l'émergence des mobilités alternatives.

# Réseaux de chaleur et de froid



## Le réseau CPCU

### Chaudières

- ▲ Cogénération
- ▲ Fioul
- ▲ UIDND

### Réseau CPCU

- Réseau vapeur
- Boucles d'eau chaude (BEC)

Sources : CPCU, DRIEE

## Potentiel des réseaux de chaleur

### Part occupée par le chauffage collectif dans les IRIS situés à moins de 200 m d'un réseau

- |               |              |
|---------------|--------------|
| Moins de 10 % | De 50 à 75 % |
| De 10 à 25 %  | Plus de 75 % |
| De 25 à 50 %  |              |

Sources : DRIEE, Insee 2010, Apur

**Le réseau de la CPCU** (délégataire jusqu'en 2024) dessert avec 500 km de réseaux environ 465 000 équivalents logements desservis, soit 1/3 du chauffage collectif à Paris, par 5,5 TWh de chaleur en 2013. La chaleur est transportée sous forme de vapeur, offrant la possibilité de véhiculer une grande quantité d'énergie sur de longues distances. L'énergie haute température est très adaptée au stock bâti existant. Le mix énergétique – 2013 – repose en grande partie sur l'incinération (39 %), sur le gaz (25 %), le charbon (24 %), et le fioul (12 %).

En 2016, l'abandon du fioul et la limitation du charbon grâce à l'essor de la biomasse devraient permettre de dépasser le seuil de 50 % d'ENR&R dans le mix global.

Le développement des réseaux de chaleur et de froid constitue un axe fort du SRCAE à l'échelle régionale. L'objectif fixé est un accroissement de 40 % de logements desservis d'ici 2020, soit environ 450 000 équivalents-logements supplémentaires, l'équivalent d'un réseau comme celui de la CPCU. Les réseaux de chaleur et de froid doivent aussi « verdier » avec une incitation (abaissement de la TVA à 5,5 %) si le cap des 50 % d'ENR dans leur mix est atteint. Les hypothèses du SRCAE, très volontaristes, reposent à horizon 2050 sur un mix énergétique composé à 90 % ENR.

Pour atteindre ces objectifs, les pistes d'optimisation sont :

- le développement des ENR&R dans le mix énergétique des réseaux (chaleur fatale, géothermie, biomasse) ;
- l'amélioration de l'efficacité des réseaux, en partie engagée, en limitant les pertes sur le retour d'eau, point important pour la CPCU qui affiche un taux de perte de 60 % des condensats en raison de la

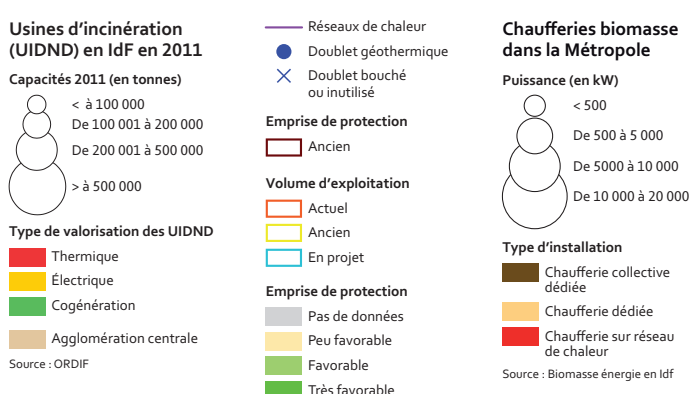
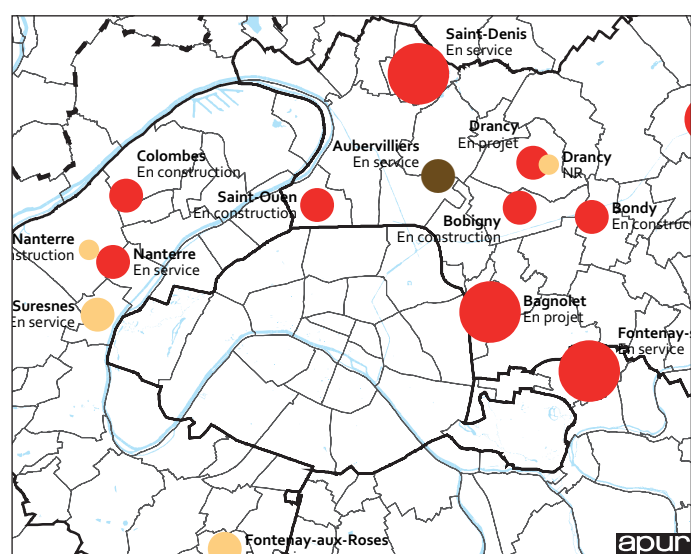
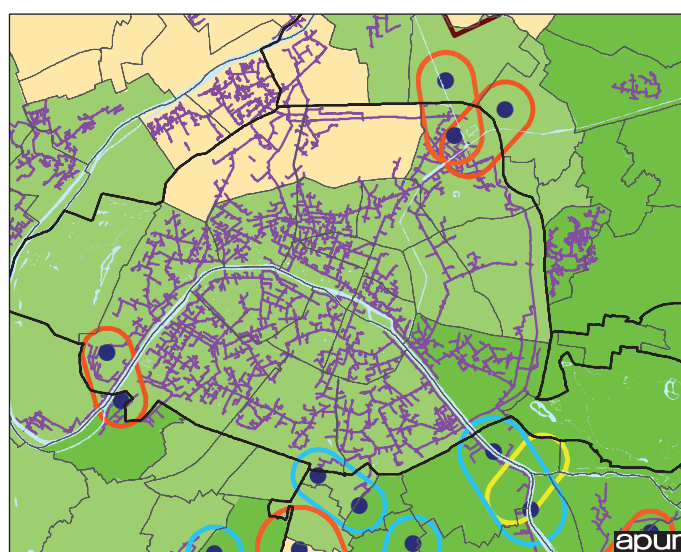
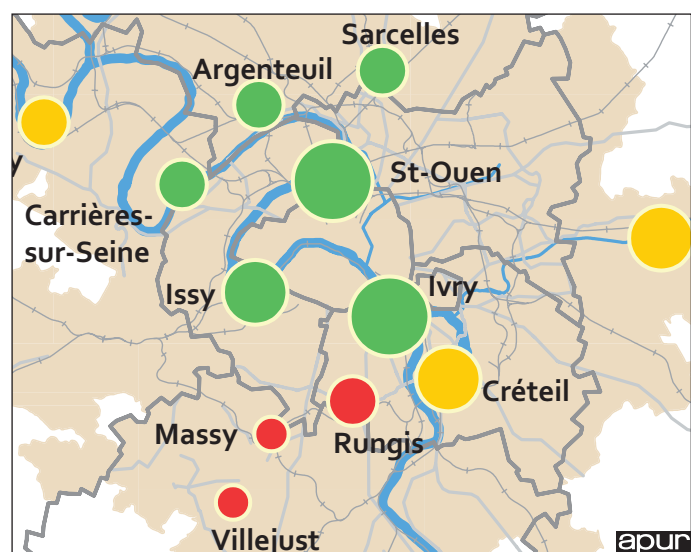
non-maîtrise des sous-stations (échangeurs entre le réseau CPCU et l'installation du client) situées hors de son périmètre, et la difficulté d'engager de grands travaux d'entretien sur l'espace public ;

- le maillage des réseaux entre eux et la mutualisation des ressources ENR&R en période de pointe afin de limiter le recours à des énergies d'appoint plus émissives (exemple de l'incinérateur de Rungis raccordé au réseau de Choisy-Vitry) ;
- et la densification, l'extension, et la création des réseaux. À cet égard, les cartes ci-dessus localisent les secteurs situés à moins de 200 m des réseaux de chaleur à Paris en indiquant la part des résidences qui utilisent un mode collectif de chauffage : 20 % des logements sont connectés aux réseaux de chaleur, mais une majorité, 57 %, utilise un mode individuel de chauffage. La part restante, les 23 % de logements utilisant un mode collectif de chauffage autre que le chauffage urbain pourrait constituer une cible pour les réseaux de chaleur.

Climespace est l'opérateur du **réseau de froid** de la Ville de Paris qui dessert environ 500 clients pour 5 millions de m<sup>2</sup> climatisés. Ce qui correspond à 400 GWh/an de capacité de livraison de froid répartis sur 7 sites de production et 3 sites de stockage et 70 km de réseau. La production de froid est réalisée à hauteur de 80 % avec l'eau de Seine via le free cooling (rafraîchissement sans usage de la pompe à chaleur) notamment. La ressource en froid issue de la Seine est toutefois limitée à l'installation d'une centrale supplémentaire. L'utilisation du free cooling permet d'atteindre un COP (Coefficient de Performance) moyen de 5 contre 2,5 pour un système autonome.



## Autres ressources : déchets/géothermie profonde/biomasse



Les déchets jouent un rôle de premier plan. En 2009, la chaleur fatale produite par les usines d'incinération alimente à hauteur de 28 % les réseaux de chaleur de la Région. À Paris, 39 % du mix énergétique de la CPCU provient des UIDND (Unités d'Incinération des Déchets Non Dangereux) en 2013.

Le SRCAE fixe un objectif de +20 % par rapport à 2009 en 2020. Les leviers possibles sont :

- 1/l'amélioration des rendements de production des UIDND raccordées aux réseaux de chaleur ;
- 2/une réduction de leur production d'électricité au profit de la production de chaleur ;
- 3/le raccordement des autres usines d'incinération existantes sur des réseaux de chaleur existants à proximité ou à créer.

Par ailleurs, l'augmentation du tri va aussi conduire à une augmentation de la production de déchets ultimes valorisables énergétiquement sous la forme de combustibles solides de récupération (CSR), caractérisés par leur pouvoir calorifique élevé.

Autre aspect de la valorisation énergétique à partir des déchets, la production de biogaz constitue également un objectif du SRCAE de 2 TWh/an à l'horizon 2020 pour la Région. Rapporté à la population parisienne, cet objectif serait de 0,4 Twh/an. Si les modes de production du biogaz (méthanisation des déchets organiques en particulier) trouvent des difficultés à s'insérer dans la ville, le récent

rapprochement entre le Sycotom et le SIAAP peut constituer une piste sérieuse d'évolution.

L'Ile-de-France est une des régions les plus riches de France en matière de potentiel de géothermie à moyenne ou grande profondeur avec les nappes du Dogger et de l'Albien en particulier.

Le SRCAE fixe un objectif de production régionale issue du dogger à 2,3 TWh/an d'ici 2020 pour une production de 1,16 TWh/An en 2009. Le développement de cette ressource implique une gestion fine des nappes et des rayons de neutralisation (environ 1,5 km de rayon autour des puits).

Bien qu'ayant un territoire riche en forêts, la filière française de la biomasse est très nettement sous développée dans notre pays, ce qui entraîne des problèmes de prix et conduit encore aujourd'hui à des aberrations comme l'importation massive de biomasse depuis l'étranger. Pour le SRCAE, le recours à la biomasse constitue la troisième priorité, après la récupération d'énergies fatales et la géothermie. La biomasse, disponible sous plusieurs formes (bois, déchets non souillés, bois forestier, paille), constitue un gisement important à développer pour en assurer une mobilisation optimale, en particulier à travers les réseaux de chaleur, avec un objectif régional fixé par le SRCAE à 2,3 TWh/an à l'horizon 2020.



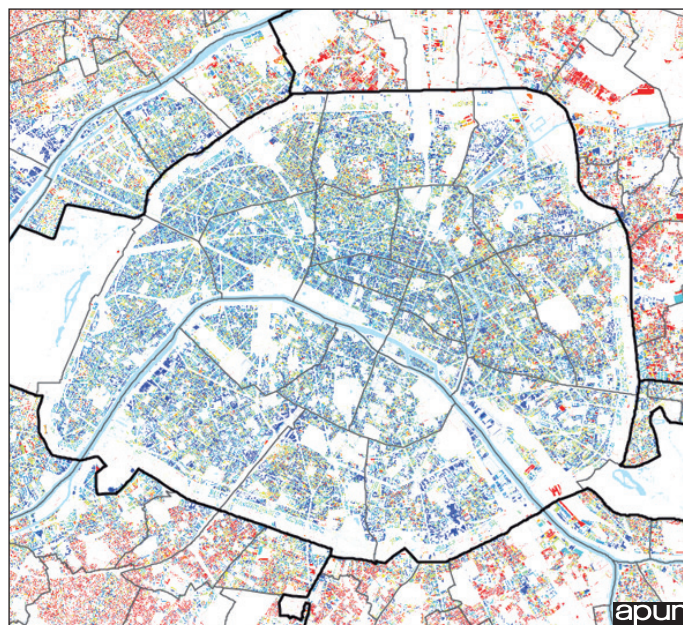


Unité d'Incinération des Déchets Non Dangereux, Ivry-sur-Seine © ph.guignard@air-images.net

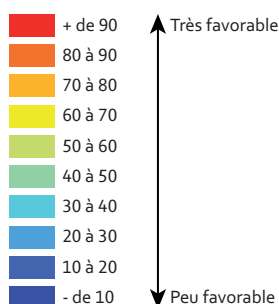


# Évaluation des gisements locaux d'ENR&R

## Le gisement solaire



Rapport entre l'énergie solaire incidente\* en toiture et la surface habitable (kWh/m<sup>2</sup>/an)



\* En ne prenant en compte que les surfaces de toitures exposées à plus de 1 000 kWh/m<sup>2</sup>/an (seuil de rentabilité technico-économique)

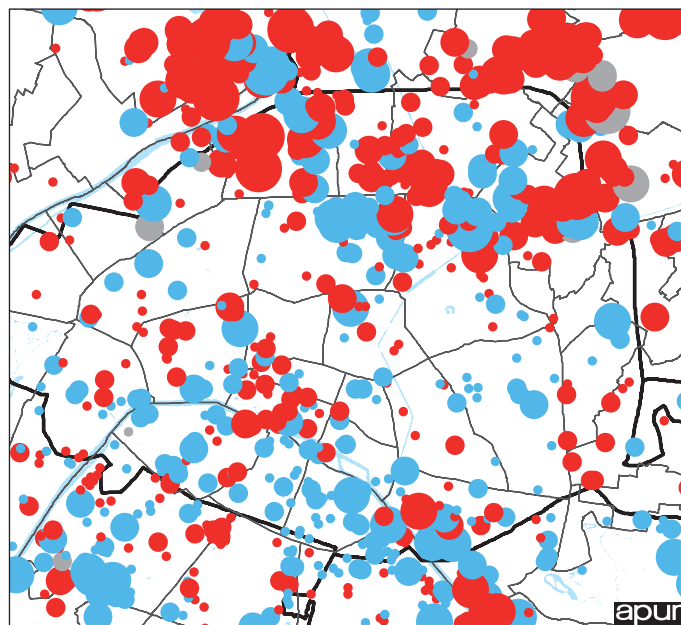
Dans le cadre du programme européen POLIS, l'Apur associé à la Ville de Paris a réalisé un cadastre solaire de Paris identifiant la potentialité solaire des toitures de la capitale.

Le cadastre solaire de Paris est établi à partir d'une modélisation 3D du bâti parisien. La forme et l'orientation des bâtiments et toitures ainsi que les ombres que les bâtiments projettent sur eux-mêmes ou leurs voisins déterminent par calcul l'ensoleillement réel des parties de toiture à un moment donné. On en déduit l'ensoleillement annuel moyen.

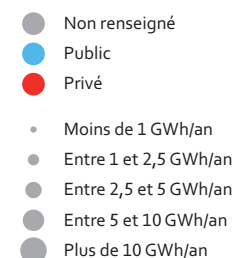
Le produit final accessible au public sur le site Paris.fr donne pour chaque bâtiment les surfaces de toitures présentant un ensoleillement inférieur à 700 kWh/m<sup>2</sup>/an, compris entre 700 et 800, 800 et 900, 900 et 1 000 ou supérieur à 1 000. Ce sont les éléments de toiture correspondant à ces deux dernières tranches qui sont les plus propices à la valorisation de l'énergie solaire.

### → Gisement sur le résidentiel

Une première estimation, et ce en considérant un rendement de 15 % pour les installations photovoltaïques et 30 % pour les installations thermiques, donne un potentiel de 0,752 TWh pour le solaire thermique et 0,112 TWh pour le solaire photovoltaïque à Paris pour le résidentiel.



Centrales solaires potentielles (Énergie solaire incidente brute)



Source : DGFiP 2011, Apur

### → Gisement sur le tertiaire

L'hypothèse d'un recours systématique au solaire photovoltaïque avec un rendement de 15 % est prise, compte tenu des besoins électriques souvent importants de ces activités. En considérant l'ensemble des bâtiments tertiaires et industriels ayant une emprise au sol inférieure à 5 000 m<sup>2</sup>, soit en excluant les centrales solaires potentielles, on obtient 0,322 TWh/an de potentiel pour Paris.

### → Gisement des centrales solaires potentielles

Un travail complémentaire a été mené afin de localiser les potentielles centrales solaires sur l'ensemble du territoire métropolitain. Cette première approche donne un gisement brut de 0,679 TWh/an pour la métropole. Si l'on fait l'hypothèse d'une installation exclusive de solaire photovoltaïque et en considérant un rendement de 15 %, on obtient 0,102 TWh/an. Ces centrales solaires potentielles sont localisées en fonction du potentiel solaire associé pour l'ensemble du territoire métropolitain sur la carte ci-contre, en distinguant les bâtiments publics et privés.

Tous gisements confondus, le potentiel solaire est donc estimé en première approche à 0,752 TWh/an de solaire thermique et 0,536 TWh/an de photovoltaïque.

## Évaluation du potentiel solaire pour Paris et la métropole

La méthodologie suivie pour construire cette première estimation repose sur les hypothèses suivantes :

- le potentiel solaire a été calculé en prenant uniquement en compte les surfaces de toitures exposées à plus de 1 000 kWh/m<sup>2</sup>/an ;
- le calcul effectué ne concerne que les parcelles abritant du logement ;
- la priorité est donnée au solaire thermique à hauteur de 40 % des besoins de production d'eau chaude des bâtiments. Un rendement de 30 % est pris en compte ;
- le complément éventuellement disponible est affecté à la production photovoltaïque avec un rendement de 15 %.

### Calcul des gisements par département

Suivant cette méthode, les calculs retenus montrent les gisements suivants par département.

Ce calcul montre que le solaire est particulièrement adapté à l'habitat individuel de la petite couronne pour lequel le rapport entre l'énergie incidente en toiture et la surface habitable est plus important. Le potentiel solaire de Paris n'est pas à négliger mais doit être remis en perspective au regard de la très forte densité énergétique du résidentiel. On remarque également sur Paris notamment que

les toitures terrasses des ensembles de logements des années 50 ou 60 représentent ainsi un potentiel très intéressant, à la fois pour la production d'eau chaude sanitaire (pour laquelle la rentabilité est d'ores et déjà assurée) et pour la production d'électricité photovoltaïque (la rentabilité dépend là du tarif de rachat de l'électricité).

### Vers une estimation plus « réaliste »

Il convient de rappeler que le potentiel présenté plus haut est théorique et se doit donc d'être nuancé par plusieurs facteurs. Le caractère intermittent de la ressource est un facteur limitant et questionne sur notre capacité à stocker l'énergie. Autre facteur limitant, la capacité physique des toitures à accueillir ces dispositifs (velux, ventilations...). Une première exploration montre que 10 % des toits terrasses parisiens peuvent être facilement recouverts de panneaux sans se faire d'ombrage et respectant l'encombrement des toitures. Enfin, l'exploitation des toitures pour y apposer des panneaux solaires entre en concurrence avec d'autres usages comme la végétalisation par exemple.

L'approfondissement de ce sujet figure parmi les points à aborder lors du second groupe de travail du PLE « Quelle faisabilité réelle pour les solutions proposées ? » d'ici l'été 2015.

|           | Potentiel solaire thermique (GWh/an) | Besoins en ECS (GWh/an) | Pourcentage de couverture | Potentiel solaire photovoltaïque (GWh/an) |
|-----------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------------------------------|
| 75        | 752                                  | 1 949                   | 38,6                      | 112                                       |
| 92        | 531                                  | 1 366                   | 38,9                      | 273                                       |
| 93        | 511                                  | 1 328                   | 38,5                      | 389                                       |
| 94        | 461                                  | 1 155                   | 39,9                      | 461                                       |
| Total MGP | 2 256                                | 5 798                   | 38,9                      | 1 236                                     |

## Centrales solaires potentielles

La méthodologie suivie pour construire cette première estimation repose sur les hypothèses suivantes :

- Sélection des bâtiments ayant une emprise au sol supérieure à 5 000 m<sup>2</sup> ;
- Distinction des bâtiments suivant la nature de la propriété (public/privée).

### Calcul des gisements par départements

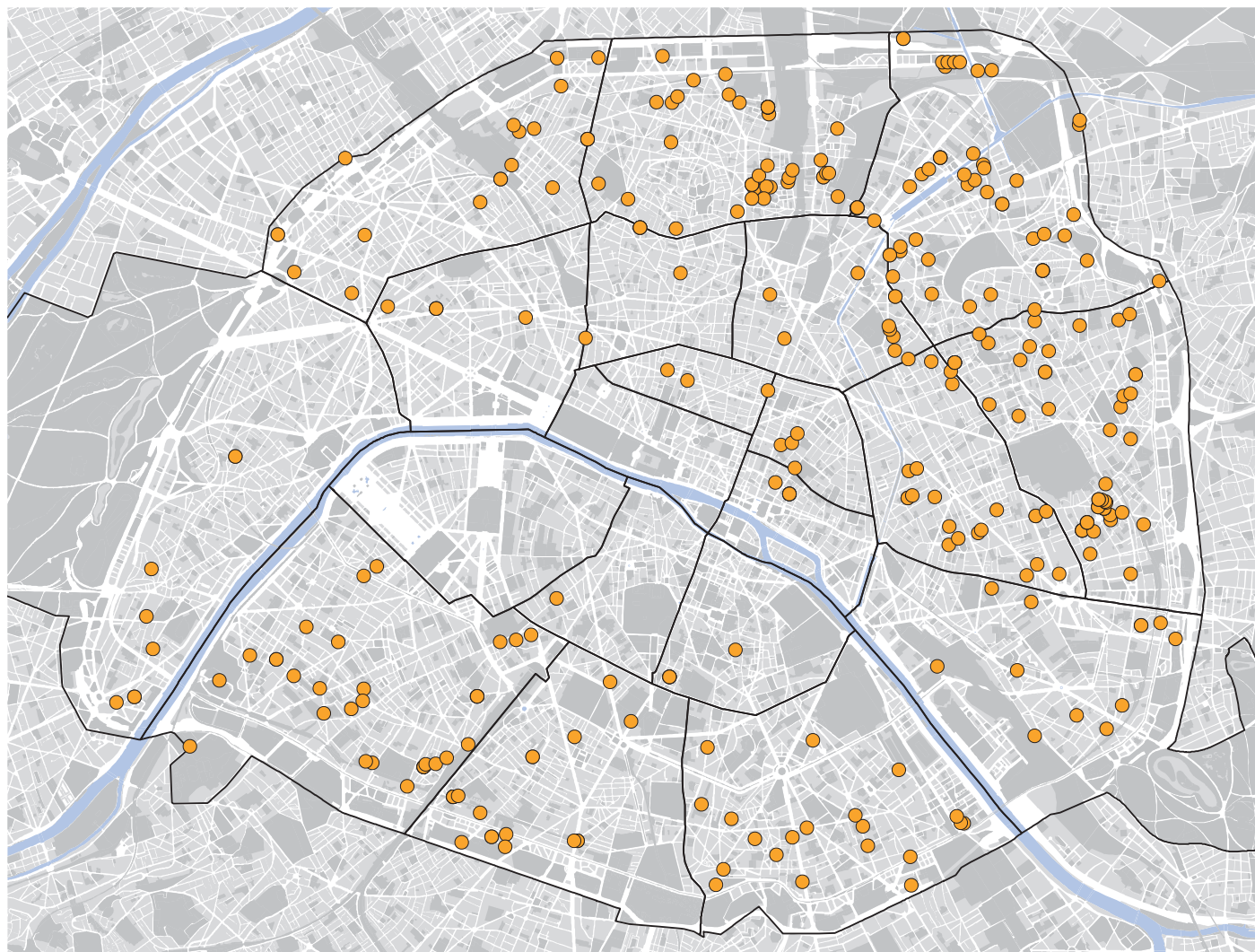
Suivant cette méthode, on obtient les gisements suivants par département.

|           | Potentiel brut (GWh/an) |       |     |       | Potentiel photovoltaïque (GWh/an)* |       |    |       |
|-----------|-------------------------|-------|-----|-------|------------------------------------|-------|----|-------|
|           | Public                  | Privé | NC  | Total | Public                             | Privé | NC | Total |
| 75        | 476                     | 201   | 1   | 679   | 71                                 | 30    | 0  | 102   |
| 92        | 225                     | 589   | 9   | 823   | 34                                 | 88    | 1  | 123   |
| 93        | 269                     | 1 708 | 115 | 2 092 | 40                                 | 256   | 17 | 314   |
| 94        | 549                     | 1 019 | 41  | 1 609 | 82                                 | 153   | 6  | 241   |
| Total MGP | 1 519                   | 3 518 | 166 | 5 203 | 228                                | 528   | 25 | 780   |

\* avec un rendement de 15 %



## Les installations de panneaux solaires à Paris



Tout comme dans le cas de l'isolation thermique, le PLU de Paris permet de déroger aux règles de gabarit lors de l'installation de dispositifs de production d'énergie comme les panneaux solaires (article UG.11.2.3). Dans le cas des panneaux solaires, le règlement, sans être particulièrement incitatif, permet l'application dans de bonnes conditions de la réglementation thermique en vigueur (RT2012). Celle-ci oblige l'usage d'énergie renouvelable dans la construction neuve. L'article UG.11.2.3 permet donc que l'application de la réglementation thermique ne se traduise pas par une perte de surface habitable, ce qui aurait rendu coûteux le déploiement des dispositifs d'énergies renouvelables tels les panneaux solaires.

Dans le cadre de la réhabilitation, l'atteinte d'un haut niveau de performance énergétique (en deçà de 100 kWh/m<sup>2</sup>/an) oblige généralement le recours aux énergies renouvelables et la remarque qui s'applique précédemment reste valable. D'une façon générale, le développement de l'énergie solaire à Paris est rendu complexe à cause des difficultés de mise en œuvre dans le cas du toit parisien à double pente (brisis/terrassons) et aussi par le fort niveau d'occupation des combles parisiens.

En revanche dans le cas de toits terrasses (qui apparaissent entre les deux guerres et se généralisent durant les Trente Glorieuses), la mise

**Permis de construire  
et déclarations de travaux  
concernant des installations  
de panneaux solaires  
à Paris de 2000 à 2012**

Source : GERCO

en œuvre de panneaux est plus simple, et le PLU permet l'insertion de ces dispositifs (hors avis contraire lié à une protection patrimoniale particulière). Le développement encore assez faible de l'énergie solaire à l'échelle de Paris provient principalement d'une politique nationale de rachat de l'électricité photovoltaïque trop fluctuante qui a découragé nombre d'acteurs économiques et une politique très peu incitative à l'égard de l'énergie solaire thermique (celle qui permet de produire de l'eau chaude). Aujourd'hui la production d'énergie solaire est principalement le fait d'institutionnels et de bailleurs sociaux et elle concerne principalement la construction neuve. En 2012, les 2/3 des demandes d'implantation d'installations solaires concernent les constructions neuves.



## Affiner le potentiel solaire en fonction de typologies bâties

### **Haussmannien**

Place Victor Hugo,  
Paris XVI<sup>ème</sup>



1

### **Marais**

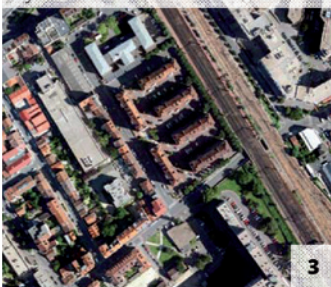
Place du Marché Sainte Catherine,  
Paris IV<sup>ème</sup>



2

### **Immeuble - 1950**

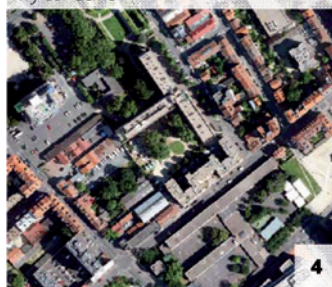
Rue Saint Just,  
Ivry-sur-Seine



3

### **Immeuble - 1970**

Rue Saint Just,  
Ivry-sur-Seine



4

### **H.B.M.**

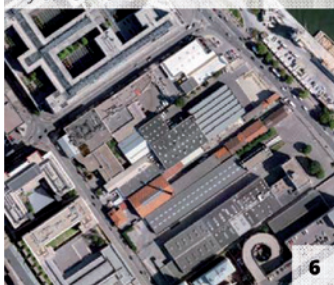
Place de la porte de Châtillon,  
Paris XIV<sup>ème</sup>



5

### **Entrepôts**

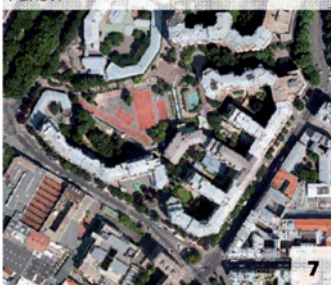
Rue Victor Hugo,  
Ivry-sur-Seine



6

### **Z.A.C.**

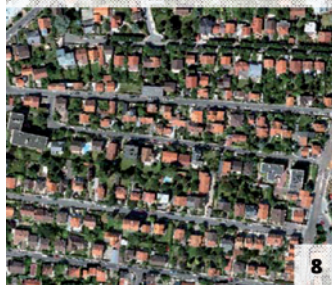
Place du Colonel Fabien,  
Paris X<sup>ème</sup>



7

### **Pavillonnaire**

Avenue du 8 mai 1945,  
Perreux-sur-Marne



8

photos aériennes © InterAtlas

À la demande de l'Apur et dans le cadre des travaux liés au Plan Local d'Énergie, le bureau d'étude Elioth (groupe EGIS) a réalisé un travail quant à l'insertion urbaine de panneaux solaires thermiques et photovoltaïques. Ce travail a été mené sur huit typologies bâties reflétant huit familles de toitures dans des contextes urbains spécifiques. Parmi ces exemples, quatre d'entre eux sont situés à Paris. L'intégration de panneaux solaires sur les toitures parisiennes est soumise à réglementation, notamment celle du PLU de la ville de Paris. Sur les toits terrasses, la pente des capteurs peut être optimisée, par contre, sur tous les autres types de toitures, la pente du panneau doit suivre celle du toit.

La performance des panneaux solaires est soumise à l'ensoleillement. Celui-ci fluctue de manière naturelle, au fur et à mesure de la journée, mais on peut aussi noter l'influence des masques partiels. Les masques peuvent provenir de tous les bâtiments qui entourent le champ des panneaux. À Paris, notamment en haut des immeubles, les masques potentiels sont nombreux (chiens-assis, cheminées, immeuble voisin...). Il est donc nécessaire de faire l'étude des masques partiels avant l'implantation, car ils peuvent entraîner une perte d'énergie non négligeable.

Enfin, si l'une des autres vocations des toitures parisiennes réside en leur végétalisation (objectif de 100 hectares d'ici 2020 contre 5,6 ha actuellement), il convient de préciser que cet objectif n'est pas en contradiction avec la mise en place de systèmes solaires, la végétalisation n'étant pas partout possible, (nécessité d'une pente horizontale ou alors assez faible). Aussi, ces deux solutions ne sont pas exclusives l'une de l'autre. Un toit peut très bien supporter une toiture végétalisée et des panneaux solaires.

Du fait de ses époques de construction et de styles architecturaux divers, Paris possède des typologies de toitures variées : toits « à la Mansard » des quartiers haussmanniens, toits terrasses des immeubles plus récents, toits à la française des quartiers pavillonnaires... Elles constituent autant de contraintes différentes et donc d'opportunités variables pour le captage de l'énergie solaire pour la production d'électricité et de chaleur en milieu urbain.

L'approche adoptée par cette étude permet d'estimer la surface de panneaux installable par typologie du tissu pour obtenir des rendements intéressants à Paris lorsque le gisement est suffisant (800 kWh/m<sup>2</sup>), sans nécessité de surélévation.

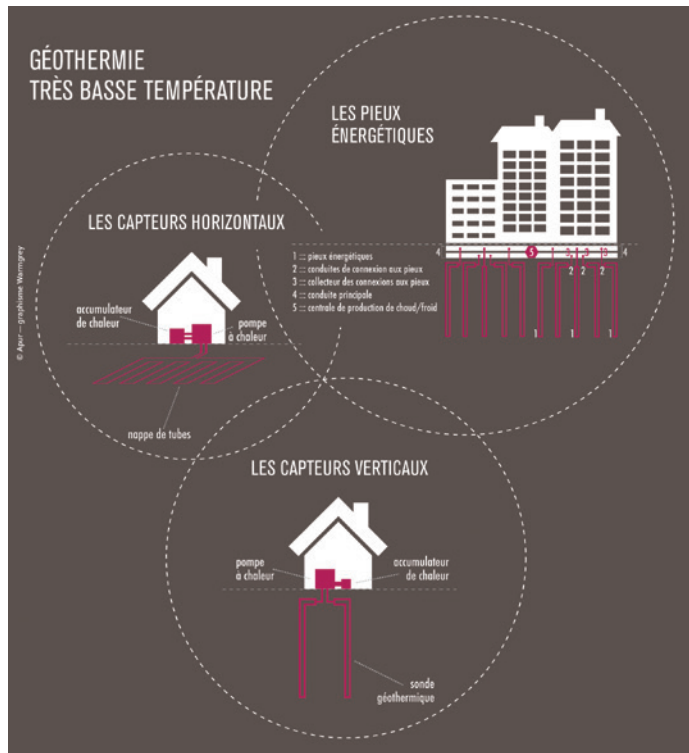
On estime donc ici les potentiels minimums mobilisables sur chaque typologie, potentiels qui pourront être revus à la hausse si les contraintes de rendement et d'intégration (par la surélévation notamment) sont relaxées. Le potentiel maximum d'intégration est rappelé ci-dessus par 3 cas idéaux sur des toitures ou des surélévations non obstruées, non masquées et orientées au Sud :

- Panneaux à plat sur une terrasse.
- Panneaux en pente de 30° sur un pan de toiture.
- Panneaux inclinés de 30° et en rangée sur une terrasse.

Ainsi, la prise en compte des détails propres à chaque type de toiture permet d'affiner encore un peu plus le gisement précédemment estimé, lequel intègre déjà la prise en compte de masques en ne retenant que les parties de toitures exposées à un ensoleillement important (> à 1 000 kWh/m<sup>2</sup>). Il représente en effet 23 % du gisement précédemment identifié pour le tissu haussmannien, 28 % pour le tissu ancien du Marais, mais 66 % des opérations de ZAC des années 80.



# La géothermie de surface à Paris et dans la Métropole



Les types de géothermies de surface : la géothermie sur capteurs horizontaux (consommatrice d'espace), la géothermie sur pieux énergétiques, la géothermie sur capteurs verticaux (géothermie fermée ou ouverte)

- Déclaratif (zones vertes)
- Déclaratif avec avis d'un expert agréé (zones oranges)
- Autorisation (zones rouges)



Géothermie ouverte



Géothermie fermée

## → Définition et cadre réglementaire

La géothermie de surface consiste en la récupération de chaleur ou de fraîcheur sur la partie du sol la plus proche de la surface. Deux catégories de géothermie de surface sont à distinguer :

- les pieux énergétiques, où l'on associe à des pieux de fondation d'un bâtiment rendus nécessaires par la nature des sols un circuit d'eau ou d'eau glycolée intégré dans le pieu avant de couler le béton qui le compose ;
- la géothermie de minime importance, faisant depuis janvier 2015 l'objet d'une nouvelle réglementation.

Il convient de rappeler que cette énergie basse température ne trouve toute son efficacité que dans le cadre d'une rénovation thermique importante permettant de rendre le bâtiment compatible avec un système de chauffage basse température. Autre atout important de la géothermie de surface, elle assure le rafraîchissement lors des périodes de chaleur.

Un nouveau décret sur la géothermie de minime importance est effectif depuis du 1<sup>er</sup> juillet 2015, avec pour principal objectif de faciliter la réalisation de ce type d'installation. Les principales évolutions sont :

- pour les opérations dites fermées : profondeur du forage inférieure à 200 mètres (au lieu de 100 m auparavant), avec des distances minimales vis-à-vis des parcelles voisines et des réseaux d'assainissement (cf. ci-après) ;
- les opérations dites ouvertes : température de l'eau en sortie des ouvrages de prélèvement inférieure à 25 °C, volume maximal d'eau pompée de 80 m<sup>3</sup>/h, puissance thermique maximale de 500 kW, eaux prélevées réinjectées dans le même aquifère et dans les mêmes quantités.

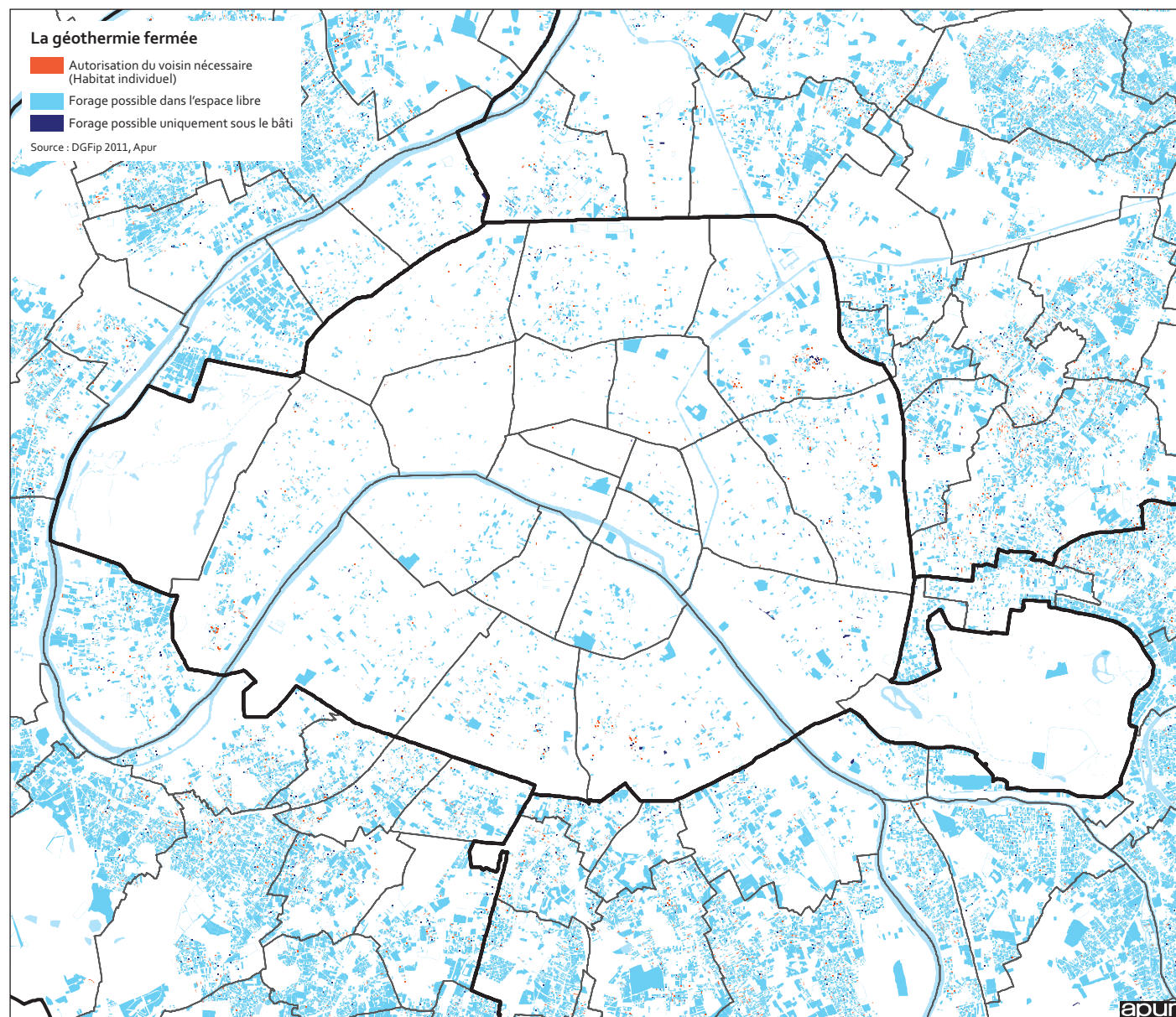
Le texte prévoit trois niveaux de procédure pour la géothermie de minime importance, à savoir, déclaratif (zones vertes), déclaratif avec avis d'un expert agréé (zones oranges), autorisation en fonction de zones géographiques (zones rouges). La cartographie de ces trois zones existe au niveau national avec un maillage de 400\*400 m, il est prévu qu'à terme cette cartographie soit revue au niveau régional sous l'autorité du préfet de région.







## La géothermie de minime importance



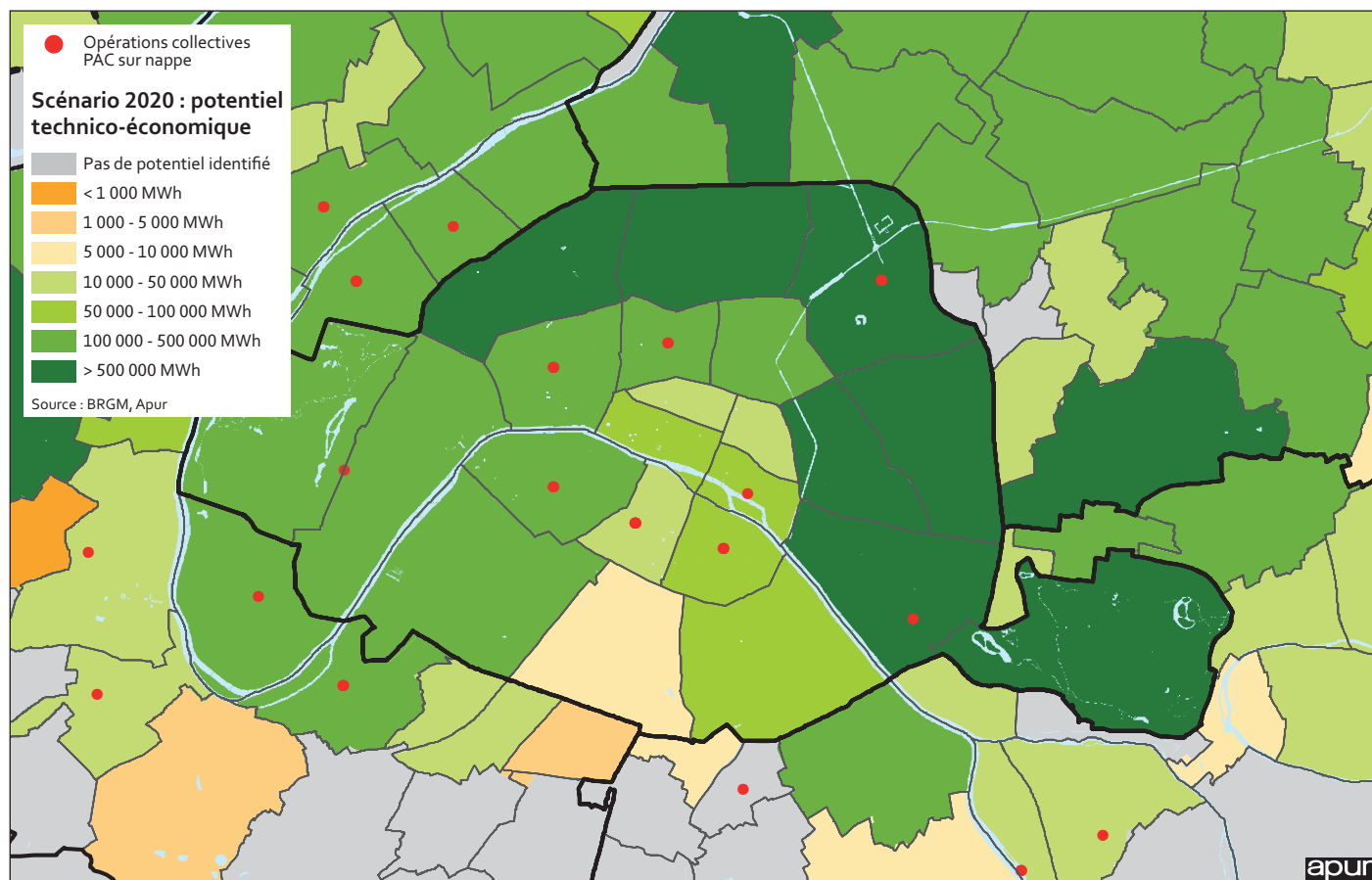
### → La géothermie fermée

#### La prise en compte des conséquences de la nouvelle réglementation pour la géothermie fermée

La nouvelle réglementation autorise les sondes sèches jusqu'à 200 mètres de profondeur, ce qui représente un doublement de la puissance que l'on peut soutirer du sol. Ainsi une sonde sèche dont le périmètre d'influence est de 100 m<sup>2</sup> permet maintenant de chauffer 200 m<sup>2</sup>. Mais en même temps les règles d'implantation des sondes sont précisées : plus de 5 mètres de distance de la parcelle voisine (sauf accord de son propriétaire) et plus de 5 mètres de distance des réseaux d'assainissement. Une nouvelle simulation sera réalisée à partir de ces nouvelles règles pour déterminer le potentiel qui en découle.

#### Calculs du gisement et limites de la méthode

Suivant cette méthode, les calculs retenus montrent pour Paris un gisement de 249 GWh/an. Il est très faible à Paris car on a considéré ici uniquement les parcelles ayant un COS < 2, la puissance de 10 kW par forage n'étant pas adapté au tissu parisien très dense. Ce type de géothermie est plus adapté au bâti de type pavillonnaire et au petit collectif.



## → La géothermie ouverte

Dans le cadre de l'élaboration du SRCAE par la Préfecture de Région et le Conseil Régional, le BRGM a publié en janvier 2012 une étude préalable à l'élaboration du schéma de développement de la géothermie en Ile-de-France (étude cofinancée par l'ADEME Ile-de-France, le Conseil Régional et le BRGM). Cette étude porte sur la géothermie très basse énergie (correspondant à la géothermie de surface décrite ci-dessus) et à la géothermie basse énergie (sur le Dogger).

Pris en considération dans ces travaux, le potentiel technique régional à l'horizon 2020 pour la géothermie ouverte (sur nappe) est de l'ordre de 37 TWh par an pour l'ensemble de la région, avec un potentiel technico-économique de l'ordre de 22 TWh par an. Ce potentiel se situe en grande partie sur le territoire de la Métropole avec un potentiel technico-économique de 16,8 TWh par an.

Il est intéressant de mettre ce potentiel théorique en vis-à-vis avec la consommation en climatisation du tertiaire métropolitain. En effet, la géothermie de minime importance présente l'atout majeur de pouvoir répondre aux besoins estivaux via du free cooling et donc en ne consommant presque aucune énergie. Ceci est d'autant plus pertinent car cela permettrait de recharger les nappes en prévision des périodes de froid.

Une première estimation des besoins en climatisation du tertiaire nous donne 12 TWh pour l'ensemble de la métropole. En intégrant les logements, et notamment les logements BBC dont les besoins en rafraîchissement sont importants dès la mi-saison, ainsi que l'industrie, on pourrait atteindre les 16,8 TWh/an et ainsi arriver à un équilibre thermique annuel rendant cette ressource complètement pérenne, le rafraîchissement par free-cooling permettant de recharger

la nappe en température en mi-saison et l'été, et la nappe elle-même jouant un rôle d'échangeur d'énergie entre le résidentiel et le tertiaire.

La géothermie ouverte (sur nappe) est plus adaptée à Paris que la géothermie fermée (sondes sèches) pour deux raisons :

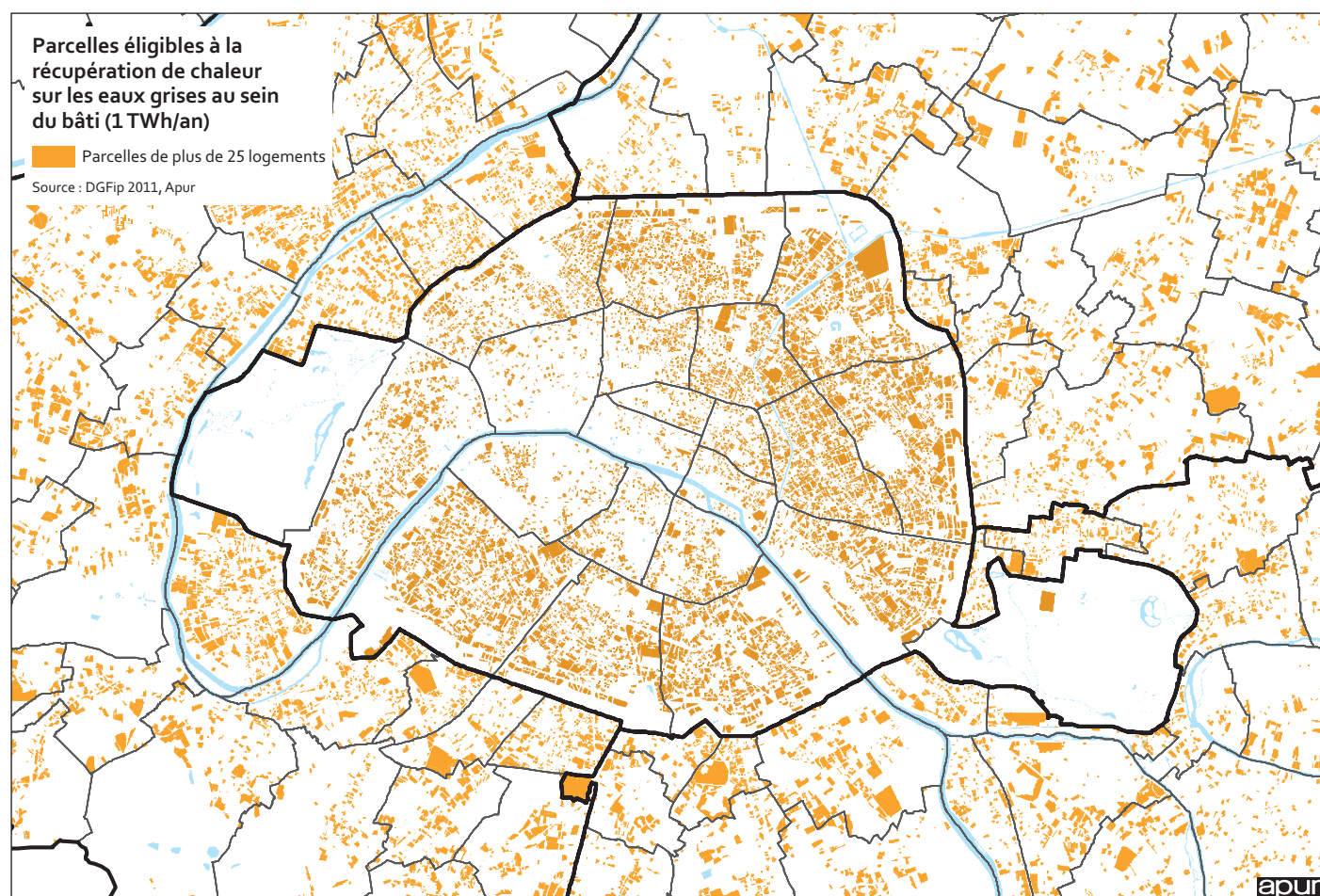
- la puissance disponible par forage (jusqu'à 500 kW, soit ce qui est nécessaire pour chauffer 100 logements) est en adéquation avec la nature du tissu parisien très dense, la densité des îlots étant généralement supérieure à 4 ou 5. Elle peut alors s'adresser à du bâti collectif et/ou du tertiaire. La puissance disponible par forage en géothermie fermée est quant à elle limitée à 10 kW, ce qui permet de chauffer environ 200 m<sup>2</sup>;
- l'espace disponible pour réaliser les forages est limité, ce qui interdit généralement de réaliser les champs de sonde qui seraient nécessaires pour chauffer par géothermie fermée des immeubles de 5 à 8 niveaux. La répartition de la puissance disponible montre des potentialités plus importantes en rive droite, la nature des sols et notamment la présence de carrières limitant fortement le potentiel dans les 5<sup>e</sup>, 13<sup>e</sup>, et 14<sup>e</sup> arrondissements.

Globalement, le potentiel de la géothermie ouverte à Paris est de 6,2 TWh/an. À titre de comparaison, la consommation énergétique annuelle du secteur résidentiel à Paris est de 14,5 TWh en 2009, la consommation du secteur tertiaire étant de 18,6 TWh. En 2050, avec la rénovation du bâti, ces consommations devraient être de l'ordre de 8 à 9 TWh pour le résidentiel. À ce potentiel peut se rajouter le recours à des pieux géothermiques dans le cas de construction neuve nécessitant des fondations sur pieux.

Enfin, de nouveaux forages dans l'Albien et le Dogger restent possibles à Paris, combinés à des réseaux de chaleur, comme cela a été réalisé à Paris Nord-Est (Dogger) ou aux Batignolles (Albien).



## Les eaux usées



La récupération de chaleur sur les eaux usées peut se faire à trois niveaux distincts sous réserve d'un retour en entrée de station d'épuration à une température minimale de 12 °C. Le respect de cette température de consigne implique une gestion de la ressource afin de maîtriser le nombre de systèmes de récupération installés.

### → Valorisation des eaux grises au sein du bâti

L'installation d'un système de récupération en pied d'immeuble est un système éprouvé, durable, comme en témoignent les retours d'expériences des opérations menées par ICF La Sablière. Cela constitue un gisement de 306 GWh/an sur le territoire parisien en ne considérant que la récupération sur les bâtiments résidentiels. Il est toutefois nécessaire de rappeler qu'il est indispensable que le bâtiment dispose d'une installation d'eau chaude collective pour être compatible avec la mise en place de ce type de dispositif. Le calcul de gisement consiste donc finalement à évaluer la quantité d'énergie que représente la moitié des besoins en eau chaude sanitaire des logements équipés d'un système d'ECS collective.

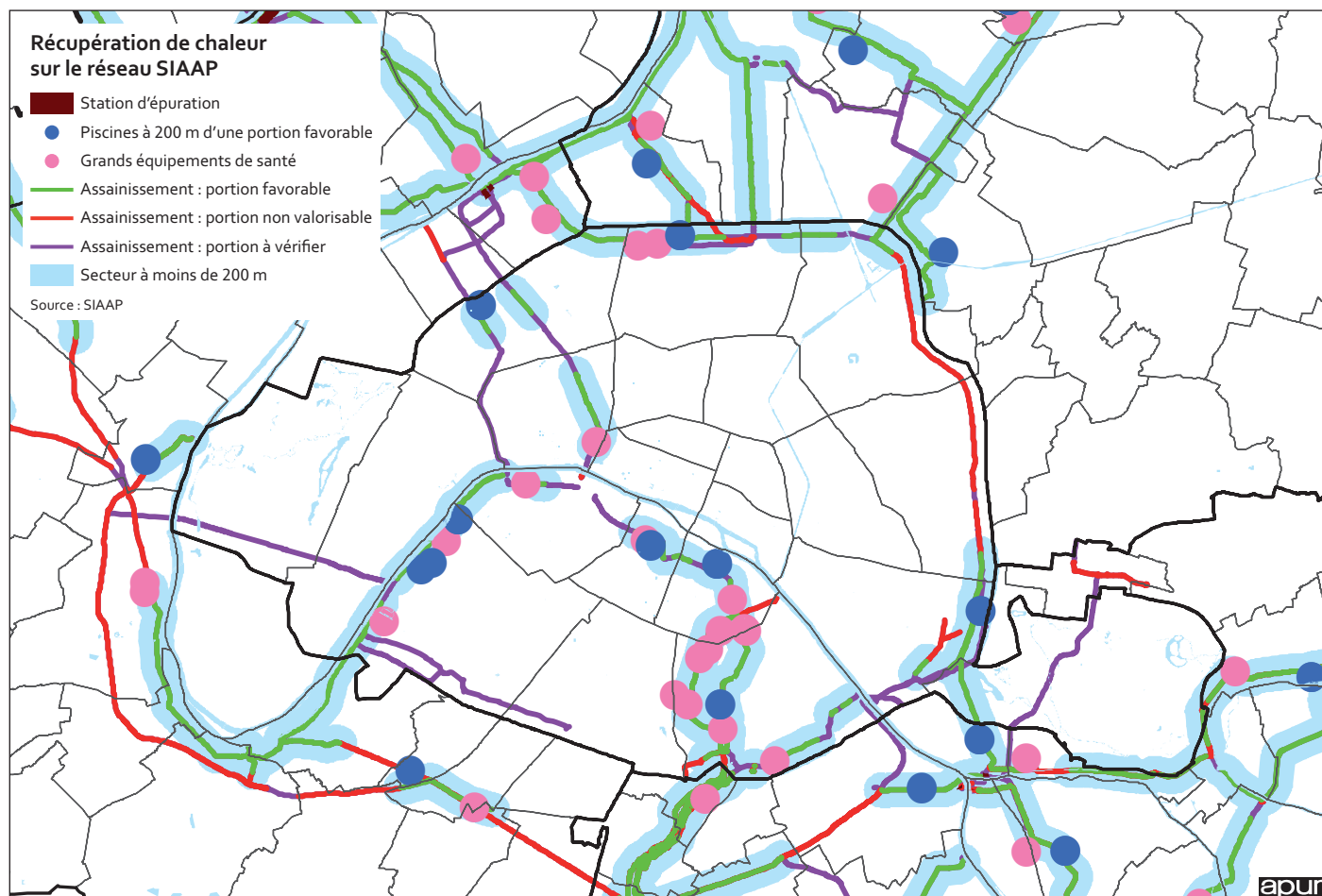
Paris présente un gisement important de par sa haute densité urbaine et donc son plus grand nombre de parcelles éligibles. Cette approche méthodologique ne prend pas en considération des bâtiments tels que les restaurants, les hôtels, les hôpitaux ou encore certains sites industriels étant susceptibles de rejeter de grandes quantités d'eau chaude. La non-considération de ces bâtiments est en grande partie due au manque de connaissance concernant leur installation et

consommation en ECS. Un travail complémentaire sur les activités tertiaires permettra d'estimer un gisement.

La méthodologie suivie pour construire cette première estimation repose sur les hypothèses suivantes :

- il sera admis qu'un dispositif standard, type ERS biofluide, permet de récupérer 50 à 60 % des besoins en ECS (eau chaude sanitaire) ;
- sélection des parcelles contenant au moins 25 logements, seuil critique de rentabilité économique retenu pour ce type d'installation ;
- le nombre de logements est aggloméré à l'IRIS ;
- le principe suivant est appliqué aux données Insee afin de déterminer le nombre de logements ayant une installation d'ECS collective :
  - il sera admis que 85 % des logements équipés de chauffage collectif ont un dispositif ECS qui l'est aussi. Cette information découle de l'analyse des systèmes de chauffage et d'ECS de 200 000 logements sociaux parisiens (source DLH).
- le potentiel théorique estimé par le calcul est limité aux logements, il s'agit donc d'un gisement « exclusivement résidentiel ».

## Le réseau d'eaux usées



### → Récupération de chaleur sur le réseau SIAAP

Le SIAAP traite chaque jour environ 2 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées dont la température est comprise entre 13 et 20 °C. Il représente de ce fait un gisement d'énergie renouvelable mobilisable en milieu urbain dense. La Suisse et l'Allemagne disposent d'un savoir-faire dans le domaine avec plus de 80 installations en fonctionnement à ce jour contrairement à la France où cette technique est peu développée. De nombreuses collectivités ont lancé des études d'estimation de ce potentiel : le CG 93, le CG 94, l'ADEME à travers son étude sur « la chaleur fatale » ainsi que la Ville de Paris. La récupération de chaleur sur le réseau d'assainissement peut se faire selon deux principes, par la mise en place d'un échangeur thermique intégré au réseau (in situ) – solution Degrés Bleu – ou par dérivation du flux d'effluents vers un échangeur déporté – solution Energido.

L'installation de tels dispositifs requiert que le réseau remplisse certains critères techniques ainsi que la présence de besoins adéquats en surface.

La carte ci-dessus localise les portions du réseau SIAAP favorables à la mise en place d'un système de récupération de chaleur, soit les portions à moins de 30 mètres de profondeur et de diamètre supérieur à 1 800 mm. Au-delà de ces contraintes propres au réseau, il est convenu qu'un projet de récupération de chaleur sur réseau d'assainissement reste intéressant jusqu'à une distance de 300 m au réseau. Ces zones favorables sont représentées en bleu clair. L'éligibilité du site n'est pas une condition suffisante pour développer de

tels dispositifs. Il faut également disposer d'un débouché pour la chaleur extraite en surface, et de préférence un consommateur ayant des besoins en chaleur réguliers tel que les piscines et les grands équipements de santé (représentés sur la carte).

On peut notamment citer la piscine de Levallois qui est une première du genre en France et qui depuis septembre 2010 récupère 750 des 1 000 MWh nécessaire pour maintenir l'eau du bassin à bonne température sur le réseau d'eaux usées.

Une première estimation, sur la base de ce retour d'expérience et en ne considérant que les 9 piscines parisiennes situées à moins de 300 mètres d'une portion favorable donne un débouché potentiel de l'ordre de 7 GWh/an. Ces éléments seront bien entendu affinés ultérieurement par l'étude menée par la Ville de Paris sur le réseau d'assainissement géré par la DPE.

La méthodologie suivie pour évaluer la quantité de chaleur que représenterait le prélèvement de 1 °C sur l'ensemble du réseau SIAAP (limite fixée par le SIAAP) repose sur les deux hypothèses suivantes :

- le SIAAP traite environ 2 millions de m<sup>3</sup> d'eaux usées par jour ;
- la capacité thermique massique de l'eau est de 4,18 J/kg/°C.

On peut donc récupérer une énergie de 2,3 GWh/jour, ce qui équivaut à 0,414 TWh/an sur l'ensemble du territoire métropolitain en considérant une période de chauffe de 180 jours.



## Synthèse du Plan Local Énergie

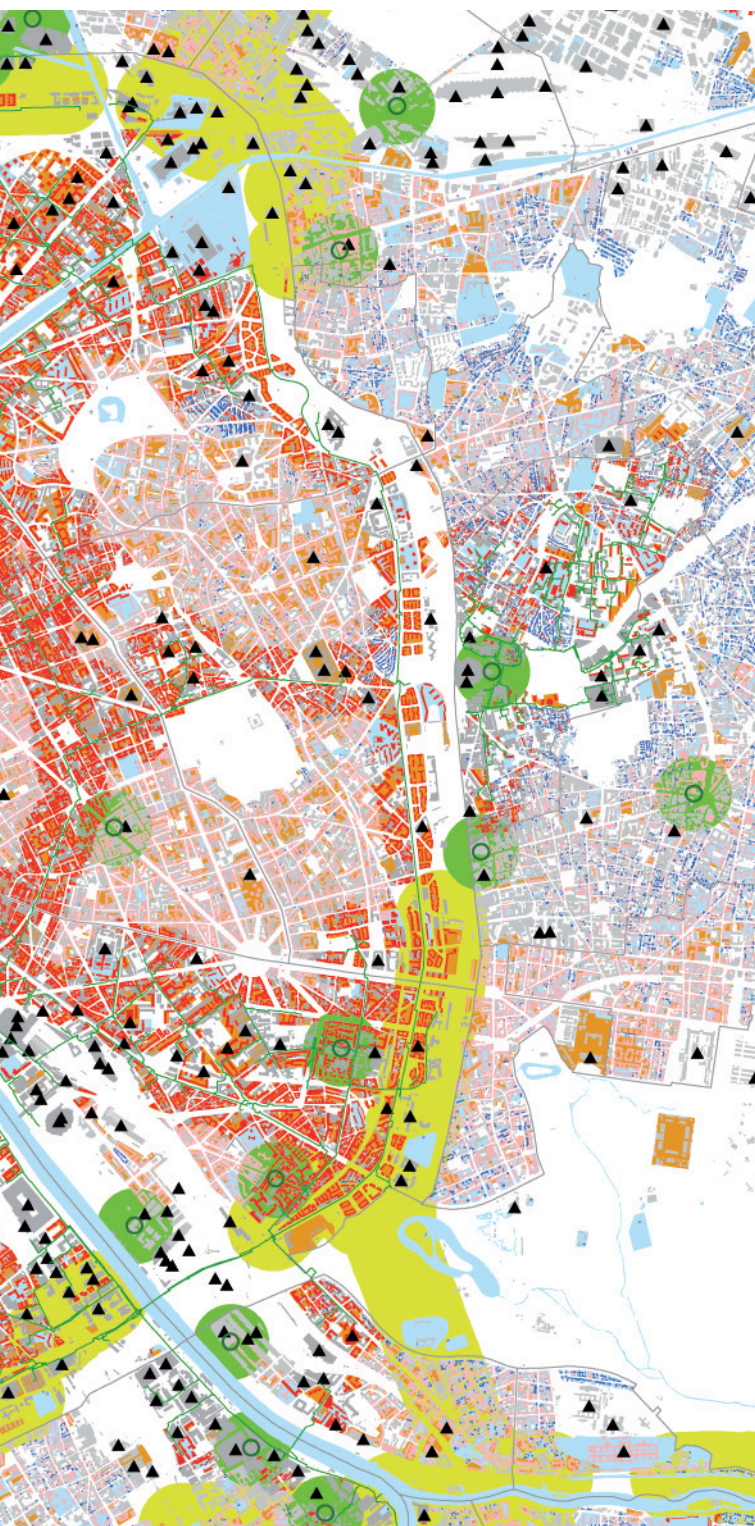


Cette carte constitue une première synthèse croisant les typologies bâties, les réseaux et les gisements locaux d'ENR&R identifiés.

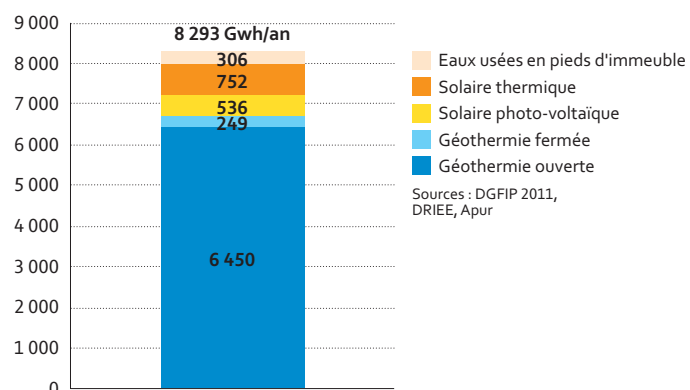
Elle propose une diversité d'actions selon les territoires : l'essor des solutions ENR locales (géothermie de minime importance fermée, solaire, valorisation des eaux grises) en lien avec la rénovation thermique pour l'individuel, un verdissement énergétique par les réseaux en sus de la rénovation thermique pour le collectif, à travers, en

particulier, la densification voire l'extension des réseaux de chaleur là où ils sont présents, et l'émergence de boucles locales qui pourraient être basées sur de la géothermie de minime importance ouverte, sur de la mixité neuf/existant ou activités/résidentiel, ou autres ressources fatales ponctuelles.





Gisements des ENR&R locales à Paris (Gwh/an)



### Ressources, réseaux et tissus

- Réseaux de chaleur
- Autre bâti collectif
- Bâti collectif à 200 m d'un réseau de chaleur
- Autre bâti tertiaire ou industriel
- Bâti tertiaire ou industriel à 200 m d'un réseau de chaleur
- Logement individuel
- Parcelles potentiellement éligibles à la récupération de chaleur sur eaux usées
- Parcelles potentiellement éligibles à la géothermie fermée
- Faisceau possible pour la valorisation de ressources fatales (data center, grandes surfaces)
- Faisceau possible pour la valorisation de chaleur sur eaux grises
- ▲ Centrales solaires potentielles
- Faisceau d'extension des réseaux de chaleur à 1000 m









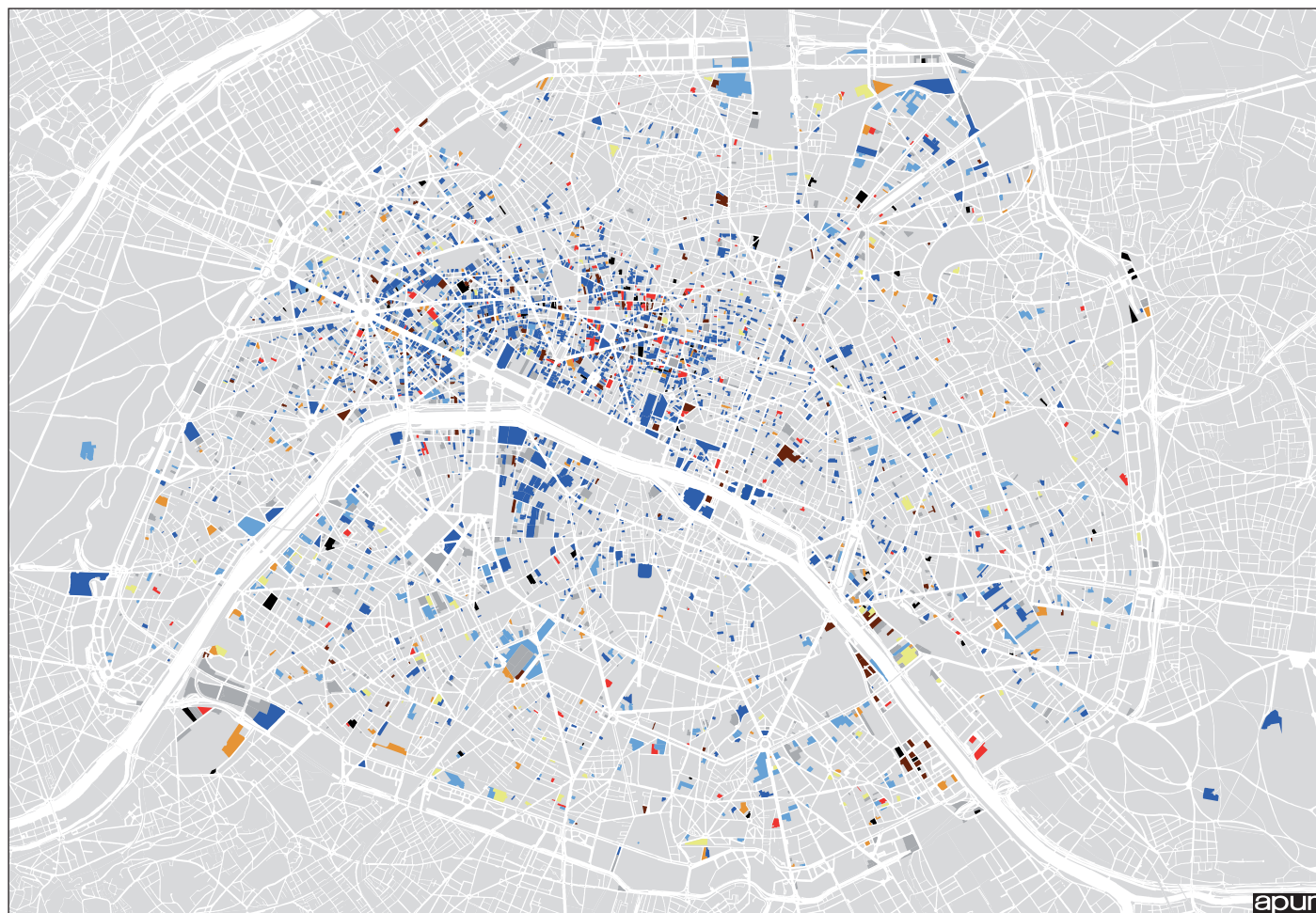
## 4 - Renforcer les synergies énergétiques dans la ville

La consommation énergétique du territoire parisien, hors transport, est quasi intégralement liée au bâti résidentiel et tertiaire avec 97 % de la consommation totale. La répartition par secteurs montre que le tertiaire est surreprésenté à Paris par rapport au reste du territoire métropolitain. La densité bâtie et la mixité des fonctions présentent un intérêt particulier à Paris du fait de la complémentarité des besoins en énergie. En effet, une bonne partie de l'année, les immeubles tertiaires et notamment ceux de bureaux ont besoin de rafraîchissement à un moment où des immeubles de logement proches ont encore besoin de chauffage. Ceci ouvre la perspective d'échange d'énergie entre ces typologies de programme différentes, directement ou par l'intermédiaire des nappes phréatiques de surface en ayant recours à la géothermie de minime importance (à moins de 200 m de profondeur).



# Les « tertiaires » : caractéristiques et localisation

## Le parc de bureaux et administrations



Le secteur tertiaire représente pour près de la moitié des consommations énergétiques des bâtiments à l'échelle de la Métropole, cette proportion est encore plus importante à Paris avec 18,6 TWh/an pour le tertiaire contre 14,5 TWh/an pour le résidentiel.

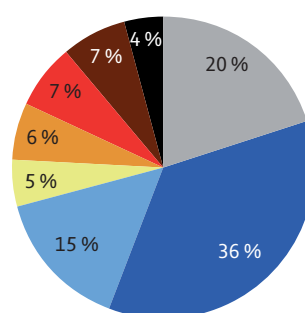
À ce titre, afin d'intégrer le secteur tertiaire à la démarche PLE, l'Apur a réuni à deux reprises un groupe de travail piloté avec l'Agence de l'Écologie Urbaine de Paris. Il est ressorti de ces échanges que le secteur tertiaire est encore peu documenté et que la réalisation d'une cartographie des divers programmes tertiaires représente la première étape clé de l'intégration du secteur tertiaire à la problématique PLE. Ci-après, les résultats du travail de localisation des divers programmes mené par l'Apur pour Paris.

Les données concernant les bureaux et administrations proviennent d'une base de données créée en 2014 par HBS Research et l'Apur, qui recense les parcelles de bureaux de plus de 1 000 m<sup>2</sup>, et de la base de données équipements de l'Apur, permettant notamment de localiser les équipements de type administration.

Le parc parisien de bureaux et administrations représente entre 17 et 18 millions de m<sup>2</sup> de surface bâtie. Les plus de 1 000 m<sup>2</sup> représente 16,8 m de m<sup>2</sup>, le diffus représente pour sa part près d'1 m de m<sup>2</sup>. On constate une concentration importante dans les arrondissements centraux, et en particulier dans les 1<sup>er</sup>, 2<sup>e</sup>, 7<sup>e</sup>, 8<sup>e</sup> et 9<sup>e</sup> arrondissements, qui regroupent à eux seuls près de 45 % de la surface totale du parc.

### Surfaces de bureaux (m<sup>2</sup>) à Paris par périodes de construction

SHON : 17,5 millions de m<sup>2</sup>



### Datation des bureaux

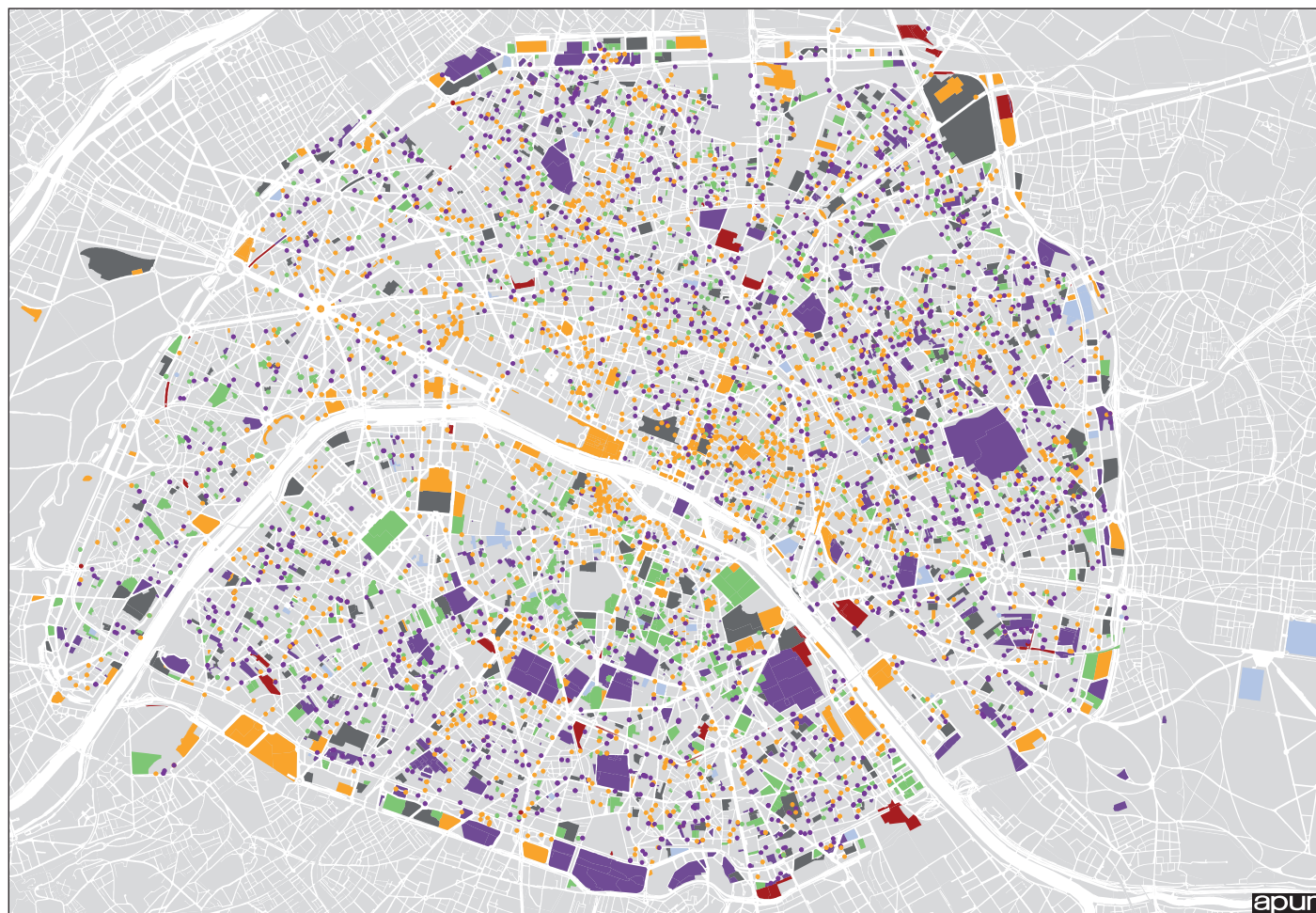
- Non renseigné
- < 1945
- 1946 - 1975
- 1976 - 1988
- 1989 - 1992
- 1993 - 2000
- 2001 - 2005
- > 2005

Source : DGFiP 2011, HBS research, Apur

Le croisement des données cartographiques du parc parisien avec les données de la Direction générale des finances publiques permet de renseigner les dates de construction des bâtiments. Il en ressort que le parc de bureaux est plus récent que le parc résidentiel avec 35 % de bâtiments datant d'avant 1945 contre environ 60 % pour les logements.



# Les équipements publics et privés



Le travail réalisé sur les équipements parisiens repose sur deux bases de données complémentaires Apur. La première fournit des informations surfaciques représentant les emprises des équipements. La seconde est ponctuelle et permet notamment de localiser les équipements en rez-de-chaussée d'immeubles de logements. Ces données permettent de localiser tous les équipements et de les regrouper en différentes catégories dans un premier temps.

Dans un second temps un travail d'identification des parcelles contenant les équipements a été fait. En croisant ces données avec celles de la Direction générale des finances publiques sur les surfaces d'activité, il est possible de déduire une surface pour une partie des équipements, mais une part non négligeable des parcelles n'a pas d'information de surface. Une méthode complémentaire permettra donc de préciser cette estimation des surfaces dans un second temps. Il s'agira notamment d'appliquer des ratios de surfaces pour chaque type d'équipement.

Au-delà de la localisation, la base équipement disponible à l'Apur permet de connaître la nature exacte de chacun des équipements. La typologie représentée sur la carte permet de localiser les différentes grandes familles d'équipements. Un travail de classement plus poussé, selon des typologies énergétiques est en cours, à partir notamment d'une étude transmise par la DPA portant sur l'analyse d'environ 1 200 DPE réalisés sur les équipements de la ville.

## Équipements publics et privés

- Enseignement/recherche
- Santé/action sociale
- Transport
- Sport/loisirs/culture
- Habitat communautaire
- Parcelles avec au moins 2 équipements

Source : Apur



Piscine patinoire Pailleron (75019) –  
Architecte : Lucien Pollet, rénovation : Marc Mimram



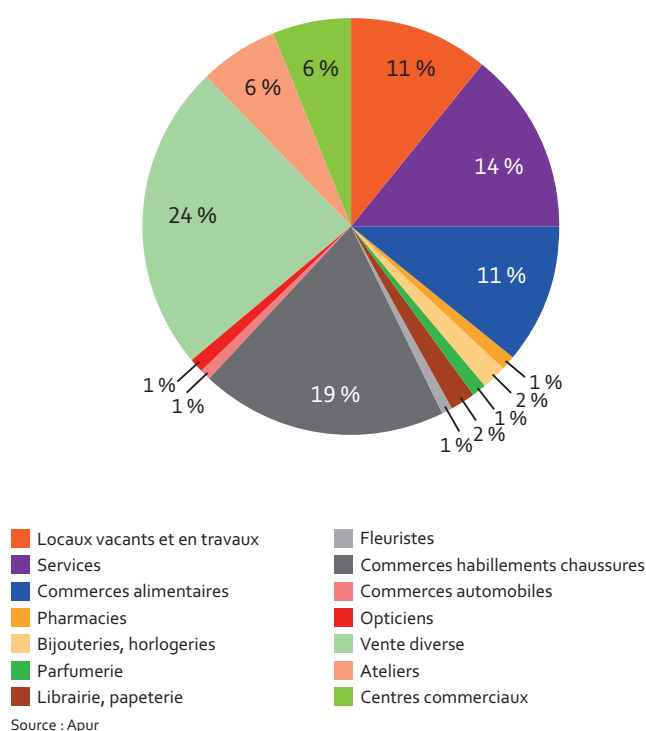
## Les équipements commerciaux



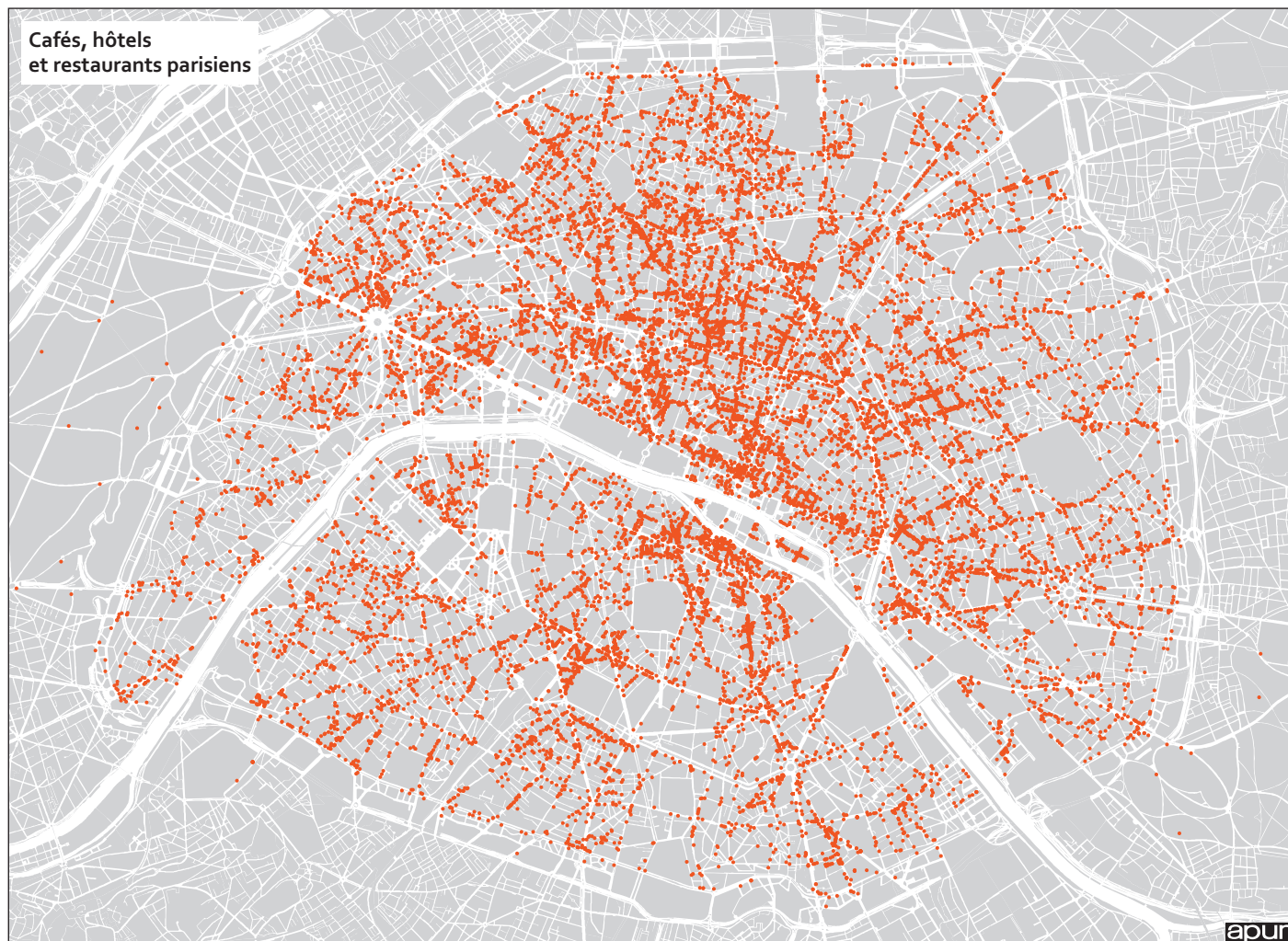
En 2014, Paris compte environ 62 000 commerces ou services commerciaux en activité. Ce qui représente environ 8 millions de m<sup>2</sup> de surface de vente, on remarque une densité plus importante dans les arrondissements centraux (1<sup>er</sup> à 11<sup>e</sup> arrondissement) avec une moyenne de 40 commerces pour 1 000 habitants. Cette surface est déduite d'une étude sur les commerces de plus de 1 000 m<sup>2</sup>, et d'une enquête de terrain réalisée en 2014 par l'Apur sur les petits commerces. Cette base de données sur les petits commerces est mise à jour tous les trois ans. La première renseigne sur la surface réelle, tandis que la seconde donne une tranche de surface pour chaque commerce, soit inférieure à 300 m<sup>2</sup> soit comprise entre 300 et 1 000 m<sup>2</sup>.

La base de données renseigne la nature précise de chacun des commerces, la typologie représentée sur la carte a été réalisée sur la base d'une étude ADEME renseignant sur les comportements énergétiques des différents types de commerces. La seconde étape de la démarche consistera à appliquer différents ratios énergétiques, en kwh par m<sup>2</sup> et par an, à l'ensemble du parc selon les typologies afin d'estimer et localiser la consommation énergétique du secteur d'activité.

Répartition des commerces parisiens







Les bases de données sur le commerce permettent aussi de renseigner la localisation des hôtels, restaurants et cafés, qui représentent environ 3 millions de m<sup>2</sup>. La méthode de calcul des surfaces est la même que pour les commerces. On constate de la même façon une densité plus importante pour les arrondissements centraux.



Hôtel Holiday Inn et auberge de jeunesse sur le bassin de la Villette –  
Architecte : Cabinet Chaix & Morel

© Apur



# Le tertiaire, un secteur complexe en pleine mutation

## Un secteur aux usages très variés

Le secteur tertiaire est marqué par une grande variété d'activités et d'usages qui amène à de multiples profils énergétiques. Le mix énergétique sur le territoire parisien est fortement dominé par l'électricité, avec près de 50 % des consommations en 2009. On constate une évolution des postes de consommation avec une baisse des consommations liées au chauffage couplé à une hausse des besoins en électricité spécifique et des besoins de froid. En effet, on constate un recours à la climatisation lors de rénovations sur des bâtiments qui en étaient initialement dépourvus. Le réseau de froid de Climespace affiche une moyenne de 15 à 20 MWh supplémentaires raccordés par an qui se font soit lors de renouvellement d'installations obsolètes, soit lors de rénovations. La première configuration est généralement suivie d'une baisse de la consommation qui peut s'expliquer en grande partie par l'apparition d'une facture dédiée au poste climatisation.

## Des objectifs de réduction de la consommation et des émissions de GES importants

À horizon 2050, le SRCAE fixe les objectifs suivants à l'échelle de la région pour le tertiaire :

- - 46,4 % de consommation en énergie finale par rapport au niveau de 2005.
- - 85,6 % d'émissions de GES par rapport au niveau de 2005.

On peut définir trois leviers de l'efficacité énergétique, à savoir : la sensibilisation des occupants, l'optimisation de l'exploitation et de l'entretien des systèmes et les travaux d'amélioration de la performance énergétique. Les deux premiers leviers sont à considérer en priorité, ils sont bien souvent peu coûteux et représentent des gisements d'économie d'énergie considérables.

Une bonne exploitation du bâtiment via notamment des outils de monitoring permet de générer en moyenne une baisse de l'ordre de 10 % à 15 % des consommations. Les opérations de rénovation thermique sur l'enveloppe des bâtiments interviennent principalement lors de restructurations lourdes. Les temps de retour sur investissement de ce type de travaux n'est pas nécessairement en adéquation avec la durée de vie courte des bâtiments tertiaires, souvent de l'ordre de 25 à 30 ans (hors bâtiments anciens).

Comme pour le secteur résidentiel, l'atteinte des objectifs en matière de réduction des émissions de gaz à effet de serre nécessite un verdissement du mix énergétique qui passe d'une part par le verdissement des divers réseaux et d'autre part par l'intégration de solutions ENR&R pour les constructions neuves et lors du renouvellement des systèmes sur l'existant. À ce jour, La tarification des réseaux de chaud et de froid n'est pas attractive pour les surfaces intermédiaires.

Selon l'Insee, le secteur tertiaire recouvre un vaste champ d'activités qui va du commerce à l'administration, en passant par les transports, les activités financières et immobilières, les services aux entreprises et services aux particuliers, l'éducation, la santé et l'action sociale. Le secteur tertiaire recouvre donc une multitude d'activités. La typologie du CEREN le décompose en huit sous-secteurs : 1/les bureaux ; 2/les cafés-hôtels-restaurants ; 3/les commerces ; 4/les établissements d'enseignement et de recherche ; 5/les établissements relatifs à l'habitat communautaire ; 6/les établissements de santé ; 7/les établissements de sports, loisirs et culture ; 8/les établissements de transport.

## Une dynamique favorable

Le secteur tertiaire semble en avance sur le résidentiel, avec notamment de nombreuses initiatives en cours et un cadre juridique plus contraignant. Parmi ces initiatives et obligations, on peut notamment citer :

- La charte Peletier pour l'efficacité énergétique des bâtiments tertiaires. Cette charte est basée sur le rapport remis par Maurice Gauchot au Plan Bâtiment Durable en novembre 2011, qui propose ce que pourraient être les grandes caractéristiques de l'obligation de rénovation énergétique qui incombe aux bâtiments tertiaires publics et privés entre 2012 et 2020.
- L'annexe environnementale ou bail vert, qui est obligatoire pour les locaux de plus de 2000 m<sup>2</sup> à usage de bureaux ou de commerces, ou biens situés en centre commercial. Elle met en relation le propriétaire et le client avec pour objectif de définir les informations qui doivent être communes aux deux parties concernant les caractéristiques des équipements et systèmes ainsi que les consommations réelles d'énergie et d'eau, mais aussi d'obliger chaque partie à s'engager à réaliser un programme d'actions visant à améliorer la performance énergétique et environnementale du bâtiment.
- Le Concours Usages Bâtiment Efficace 2020 (CUBE 2020) dont l'objet est de diminuer les consommations liées à l'usage : sur une période d'un an, les utilisateurs des bâtiments candidats au concours s'engagent à diminuer leur consommation de référence grâce à des éco-gestes.
- Le groupe de travail Grand Tertiaire, à l'initiative de l'APC, qui réunit de nombreux acteurs tertiaires parisiens et permettra de recueillir et diffuser les bonnes pratiques, à compter de septembre 2015.

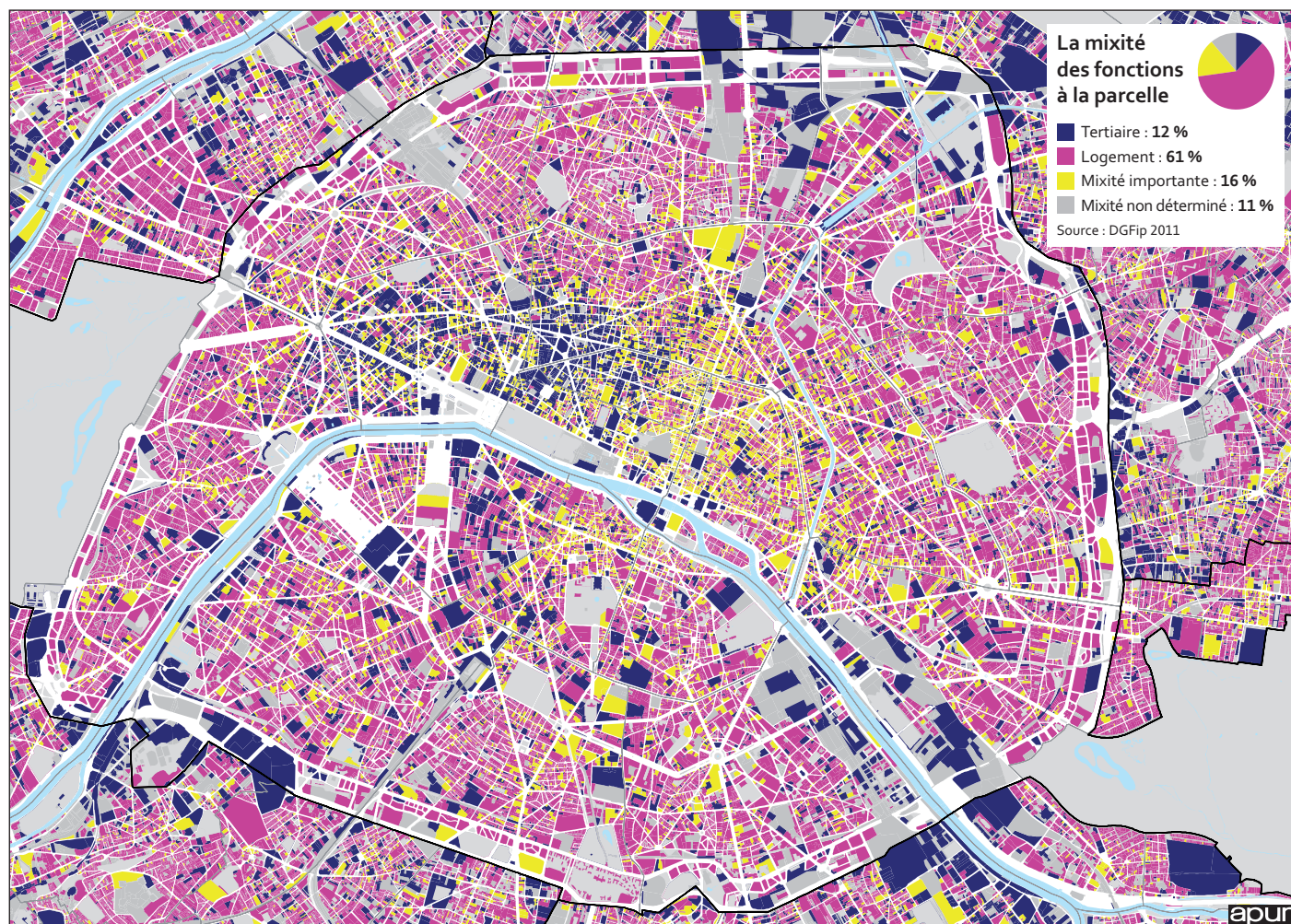


Immeuble de bureaux, 1976 — Architecte : Vittorio Mazzucconi

© Apur



# Identifier des îlots mixtes pour initier des démonstrateurs



La carte ci-dessus fait état de la grande mixité des tissus parisiens. Le tissu parisien est majoritairement à dominante résidentielle avec 61 % des parcelles ayant plus 75 % de surface de plancher dédié exclusivement au logement. Ce cas de figure peut correspondre à un bâtiment mixte ayant un rez-de-chaussée commercial et le reste propre au logement. Il existe 16 % des parcelles qui sont dans des configurations de mixité plus importantes et peuvent représenter des potentialités de mutualisation énergétique à une échelle très locale. La mutualisation énergétique peut s'envisager à plusieurs échelles. Elle peut se faire au sein d'une même opération, on peut notamment citer le cas du ministère de la Défense réalisé par Bouygues à Balard qui combine récupération de chaleur sur le data center propre au site pour chauffer les 150 000 m<sup>2</sup> de bureaux du site et une solution de géothermie ouverte pour rafraîchir le data center et les bureaux. Elle peut aussi s'envisager entre programmes urbains compatibles, tertiaire de bureaux et logements ou bien neuf et existant par exemple. Elle peut également se faire entre l'opération et son environnement, l'éco quartier Hoche à Nanterre réalisé par l'agence Franck Boutté et consultants en est un parfait exemple (cf. encart). Dans ce cas, la chaufferie biomasse de la ZAC irrigue aussi un secteur voisin d'habitat social plus ancien dans un objectif de solidarité énergétique territoriale, cette externalité positive a été prise en compte dans le calcul réglementaire (RT) et permet à l'ensemble des bâtiments de l'opération de bénéficier du statut Bâtiment Basse Consommation (BBC). Cet exemple montre la pertinence de dépasser l'échelle de l'opération afin de prendre en considération les complémentarités présentes sur le territoire.

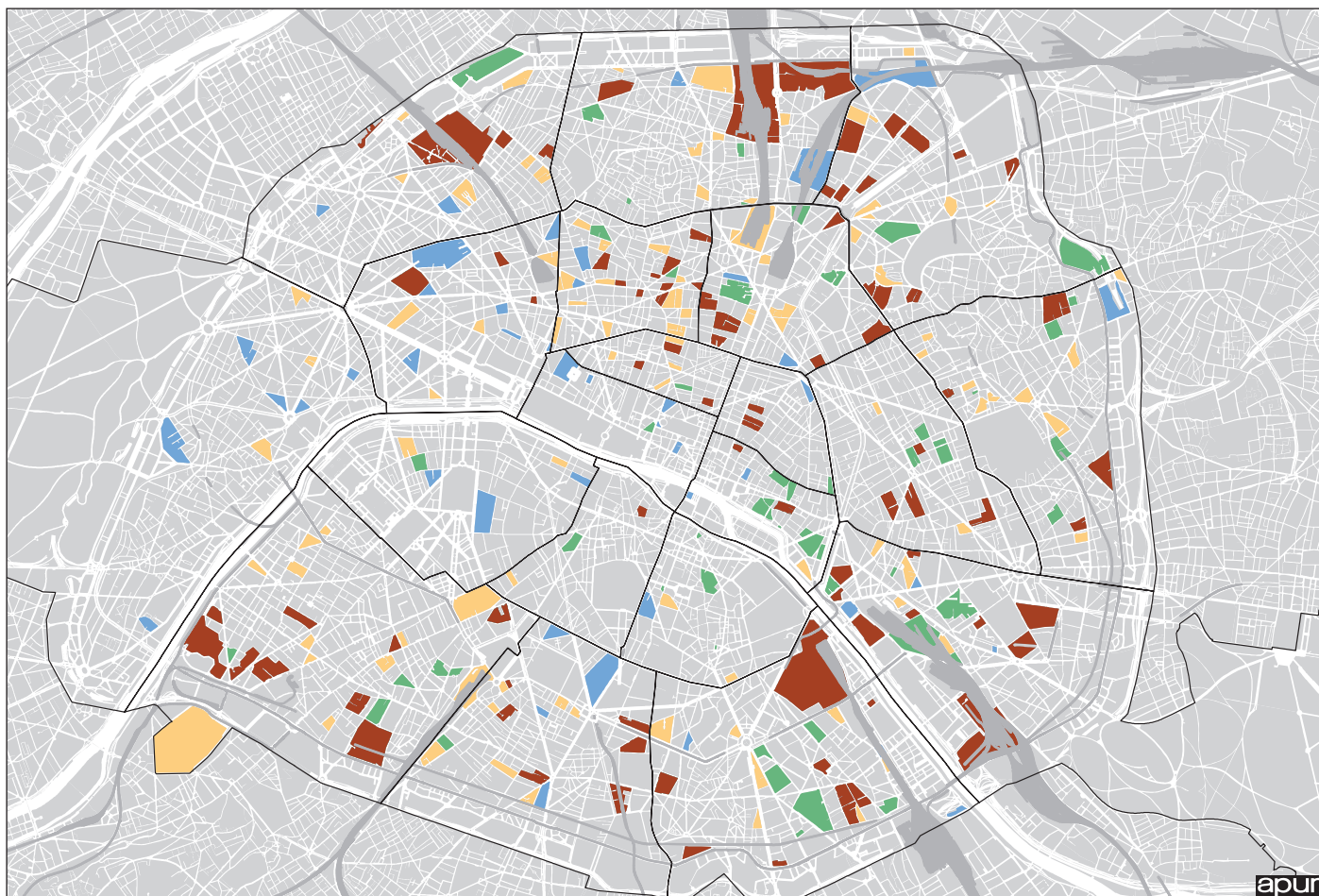
La mutualisation peut aussi être d'ordre économique en orientant par exemple une part des ressources prévues pour le neuf vers la réhabilitation des tissus anciens ou encore en créant des groupements de commandes de manière à mutualiser les coûts.

Cependant, à ce jour, les questions de mutualisation se heurtent à d'importants freins qu'ils soient d'ordres juridiques, économiques ou encore de simples logiques de périmètres. Les différents travaux menés récemment font ressortir l'échelle de l'îlot comme échelle pertinente d'un point de vue technique pour tout ce qui concerne la mutualisation. À ce titre, l'Apur mène actuellement un travail avec de la DPA avec pour objectif de localiser des « îlots mixtes » contenant des équipements de la ville et pouvant faire l'objet de mutualisation via des micro-réseaux. Ces échanges peuvent, par exemple, être envisagés par l'intermédiaire de la nappe dans le cas d'un basculement vers une solution de géothermie ouverte lors du renouvellement de centre thermique d'un équipement.

Les cartes ci-après illustrent le début de ce travail de localisation d'îlots mixtes présentant un potentiel en termes de mutualisation énergétique. On y retrouve des typologies ayant des besoins complémentaires. À savoir : bureaux récents consommateurs de froid, logements sociaux et équipements publics ayant des besoins de chaud et/ou de froid.

Ce travail sur l'identification d'îlots cibles sera poursuivi durant le second semestre 2015.





### Îlots mixtes présentant un potentiel de mutualisation énergétique

- Équipement(s) public(s), bureaux récents (après 1988) et logements sociaux
- Équipement(s) public(s) ayant des besoins de chaud/froid et logements sociaux
- Équipement(s) public(s) ayant des besoins de chaud et bureaux récents (après 1988)
- Bureaux récents (après 1988) et logements sociaux

Sources : DPA, RPLS 2012 - HBS Research, DGfip 2011





## Le quartier Hoche à Nanterre (92) : du Bâtiment à Énergie Positive (BEPOS) au Territoire à Énergie Positive (TEGPOS)



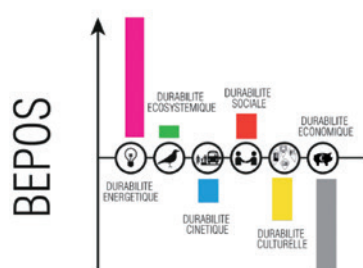
© Franck Boutté Consultants



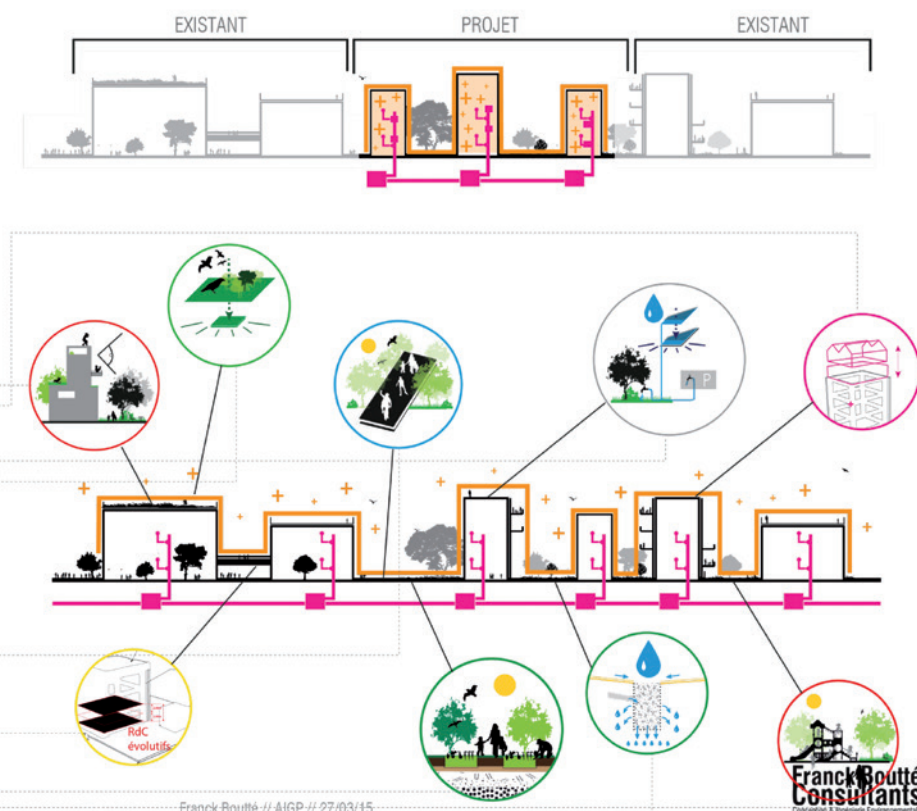
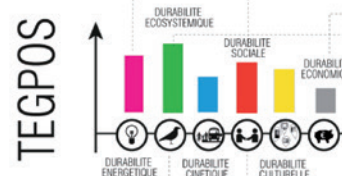
© Franck Boutté Consultants

### GENERATEURS D'EXTERNALITES POSIVES, ACTIVATEURS DE DYNAMIQUES TERRITORIALES

BEPOS  
= PERFORMANCE LOCALE...



TEGPOS  
= PERFORMANCE GLOBALE !



© Franck Boutté Consultants

L'éco quartier Hoche s'inscrit dans le périmètre de l'opération d'intérêt national (OIN) de la Défense Seine Arche. Il accueille sur quatre hectares 635 logements labellisés BBC qui sont alimentés par une chaufferie biomasse bois et gaz. Le bois est issu à 70 % de résidus d'emballage.

Cet éco-quartier a été le lieu d'une initiative originale sur le plan énergétique : le réseau de chaleur alimenté par la chaufferie biomasse permet d'alimenter en eau chaude sanitaire et en chauffage les logements de l'éco-quartier mais aussi les logements sociaux de la Cité Komarov. Cela correspond à un équivalent de

916 logements. Cette externalisation de l'énergie produite par la centrale biomasse vers les logements sociaux permet d'améliorer la dimension environnementale du territoire dans son ensemble.

**Surface du quartier :** 4 ha

**Surface bâtie :** 51 000 m<sup>2</sup>

**SHON Maître d'ouvrage :** EPADESA (élaboration et mise en œuvre concertées avec la Ville de Nanterre)

**Urbaniste coordinateur :** TGT & Associés

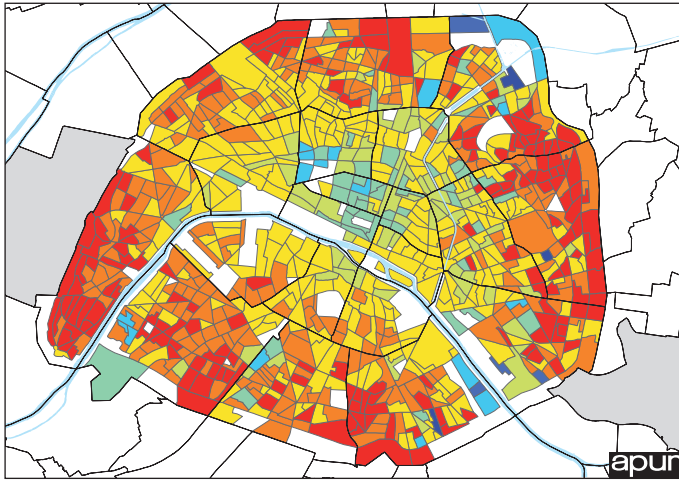
**Assistant à maîtrise d'ouvrage environnemental :** Franck Boutté puis Les EnR



# Conclusion et perspectives

Territorialisation des scénarios de réduction des consommations d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre d'ici 2050 :

Situation en 2009



Scénario minimal



Facteur 2,0



Facteur 3

La différence des géographies urbaines induit des potentialités différentes de mobilisation des ENR&R. En particulier, la typologie du bâti est un élément déterminant face aux actions à mener en matière d'optimisation énergétique. La prise en compte des trois spécificités (territoire, réseaux, ressources ENR&R) permet de proposer des scénarios énergétiques territorialisés. Ceux-ci doivent être complétés à la fois en poursuivant les réflexions sur le stock bâti tertiaire et en consolidant les estimations des gisements liés à l'exploitation des ENR&R, en particulier vis-à-vis de la géothermie ouverte.

À ce stade des travaux, il ressort, au travers de l'exemple du chauffage des bâtiments résidentiels parisiens, que l'atteinte des objectifs du facteur 4 quant aux émissions de gaz à effet de serre est possible moyennant une rénovation ambitieuse de l'ensemble du parc bâti résidentiel parisien et un important verdissement des réseaux énergétiques avec la prise en compte d'ENR&R.

En effet, on obtient un facteur compris entre 3 et 6,6 en considérant les 3 scénarios de rénovation thermique de l'ensemble des bâtiments qui reposent à la fois sur des évolutions à divers degrés de l'enveloppe de l'ensemble des bâtiments résidentiels et sur l'évolution au fil de l'eau des systèmes de chauffage croisés avec les 3 scénarios de verdissement des réseaux suivants, mais sans la prise en compte de la mise en œuvre des gisements ENR&R pour :

- Scénario minimal avec 55 % de mix ENR&R pour les réseaux de cha-

- leur, 35 % pour le réseau électrique, et 25 % pour le réseau de gaz ;
- Scénario minimal avec 65 % de mix ENR&R pour les réseaux de chaleur, 42,5 % pour le réseau électrique, et 37,5 % pour le réseau de gaz ;
- Scénario ambitieux avec 75 % de mix ENR&R pour les réseaux de chaleur, 50 % pour le réseau électrique, et 50 % pour le réseau de gaz.

Cet exercice de modélisation devra être poursuivi en intégrant les autres postes de consommation d'énergie (production d'eau chaude sanitaire, électricité spécifique, et cuisson) et en construisant des hypothèses d'évolution partagées. Cet exercice devra par ailleurs intégrer également le recours aux ENR&R locales dont les gisements théoriques sont exposés dans ce document. Celles-ci contribueront à amoindrir la dépendance énergétique avec le développement du solaire photovoltaïque et des centrales solaires potentielles pour couvrir une partie des besoins en électricité, avec le solaire thermique et la valorisation sur eaux usées pour couvrir une partie des besoins pour la production d'eau chaude sanitaire, et surtout avec le développement potentiel de la géothermie de minime importance pour compenser les besoins en chauffage et en rafraîchissement.

La mutualisation liée à la forme urbaine et permettant de mettre en œuvre des synergies énergétiques entre bâtiments à des échelles locales constitue une autre piste pour amoindrir cette dépendance. Ce point sera développé ultérieurement.

## l'exemple du chauffage des logements parisiens

### Scénario médian



Facteur 2,4



Facteur 4,5

Ces premiers éléments rassemblés montrent la diversité des chemins pour atteindre le facteur 4, liés directement à la diversité de la métropole.

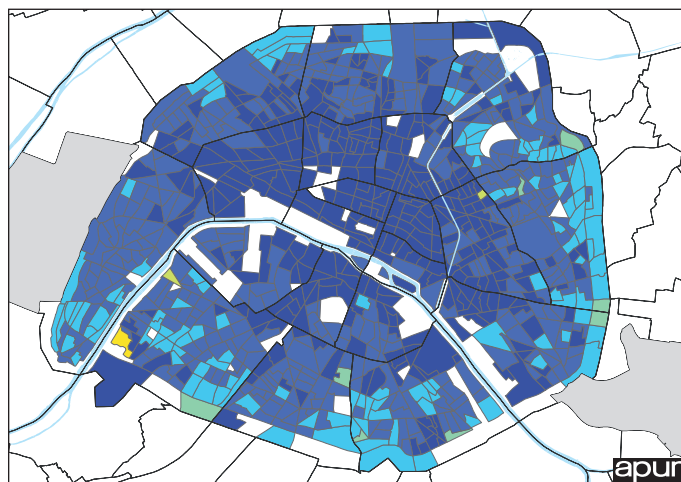
Durant les mois à venir, ces travaux continueront dans le prolongement des deux groupes de travail constitués durant le premier semestre 2015 pour approfondir les thématiques suivantes :

- L'intégration du stock bâti tertiaire (groupe de travail copiloté par l'Agence de l'Écologie Urbaine – l'Apur – et DEVE, Mairie de Paris) ;
- La consolidation des estimations des gisements liés à la rénovation thermique et à l'exploitation des ENR&R (groupe de travail copiloté par l'Apur et l'Agence Parisienne du Climat).

La poursuite de ces travaux concernera précisément les sujets suivants :

- l'approfondissement de la connaissance sur les besoins énergétiques du tertiaire, et en particulier du tertiaire de bureaux et de son évolution à travers l'exploitation des données qui pourront être partagées avec quatre opérateurs du secteur : Altarea-Cogédim, Bouygues Construction, Gecina, et Icade ;
- l'approfondissement de la question de la mutualisation énergétique à l'échelle de l'îlot urbain à partir du parc tertiaire de bureaux et/ou d'équipements publics, études à mener avec la Direction du Patrimoine et de l'Architecture (DPA) de la Mairie de Paris, l'APHP, des bailleurs de logements sociaux, et des opérateurs du tertiaire. Des îlots tests seront définis et étudiés, à l'exemple de l'îlot accueillant l'hôpital de la Pitié Salpêtrière et les nouveaux programmes de la

### Scénario ambitieux

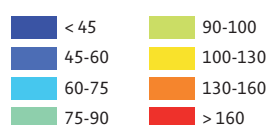


Facteur 2,7

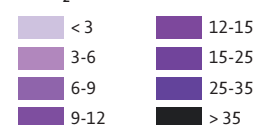


Facteur 6,6

kWh/m².an



gCO<sub>2</sub>/m².an



gare d'Austerlitz ;

- le travail de modélisation fine sur l'enveloppe du bâti sera étendu à l'ensemble de la Métropole. Les différents scénarios envisagés seront par ailleurs estimés du point de vue économique avec le concours de la CPCU ;
- le travail sur l'approfondissement du gisement solaire, mené avec Elioth, sera généralisé sur l'ensemble de la métropole ;
- enfin, les conditions de mise en œuvre du potentiel inhérent à la géothermie de minime importance seront approfondies.

Par ailleurs, le sujet de la densification et de l'extension des réseaux de chaleur à Paris fait l'objet d'un travail commun Apur-CPCU axé sur l'évaluation de potentiels considérant plusieurs scénarios qui intègrent rénovation du bâti, verdissement des réseaux énergétiques, et évolution du réseau de la CPCU. Une fois ces travaux aboutis, une démarche similaire pourrait être élargie à la Métropole avec le concours des opérateurs des réseaux d'énergie de la Métropole (électricité, gaz, chaleur/froid) afin de poser les bases d'un Schéma Directeur des Réseaux.









## Paris : un Plan Local Énergie Scénarios pour la transition énergétique

L'optimisation du lien entre territoires et énergies constitue l'un des facteurs de la réussite de la transition énergétique de nos territoires. Les consommations énergétiques liées au bâti jouent un rôle primordial, à côté de celles liées aux transports.

À l'échelle de Paris, la consommation énergétique du bâti (résidentiel et tertiaire) représente environ 33 TWh/an (ARENE, 2009). Les faibles niveaux de consommation énergétiques des constructions neuves, associés à un faible taux de renouvellement urbain font que la très grande majorité des consommations (et des émissions de gaz à effet de serre) seront le fait en 2050 de bâtiments déjà construits aujourd'hui. La connaissance du stock bâti, autant du point de vue des consommations, que de la capacité à accompagner l'essor des énergies renouvelables et de récupération, la valorisation des réseaux énergétiques et le développement des énergies renouvelables sont les éléments structurants pour mener une politique massifiée vis-à-vis de la réduction de la consommation en énergie et en émissions de gaz à effet de serre (GES).

C'est dans ce contexte qu'a été développé le « Plan Local Énergie (PLE) », démarche engagée par l'Atelier Parisien d'Urbanisme avec de nombreux partenaires publics et privés à l'échelle de Paris mais aussi de la Métropole du Grand Paris. Elle vise à fournir aux acteurs territoriaux une « boîte à outils » réunissant, à partir d'un système cartographique, données et éléments d'analyse qui leur permettront d'asseoir leur stratégie énergétique territorialisée. Ce document synthétise les travaux réalisés dans ce cadre pour le territoire parisien.

Une carte Paris 2050 Climat, Air, et Énergie a été publiée à l'occasion de cette étude (format 143x72).

L'Apur, Atelier parisien d'urbanisme, est une association 1901 qui réunit la Ville de Paris, le Département de Paris, l'État, la DRIEA, l'Insee, la Région Ile-de-France, la Chambre de Commerce et d'Industrie de Paris Ile-de-France, la Régie Autonome des Transports Parisiens, Paris Métropole, la Société du Grand Paris, Eau de Paris, la communauté d'agglomération d'Est Ensemble, Grand Paris Aménagement, Paris Habitat, Ports de Paris, la communauté d'agglomération Seine-Amont, SNCF Immobilier, le STIF, le Syctom et la Mission de Préfiguration de la Métropole du Grand Paris.

