



 ÉTUDE

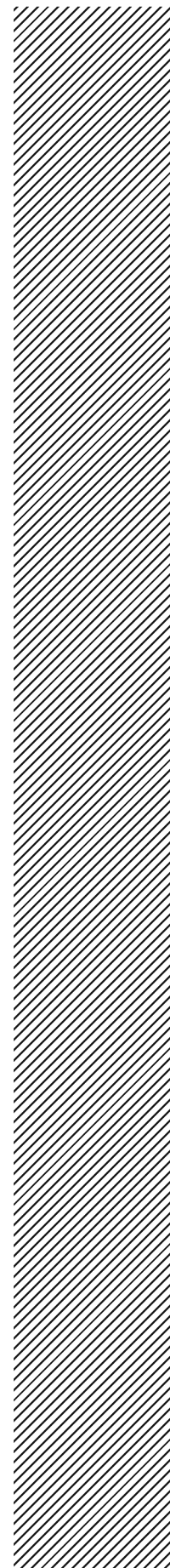
---

# GRAMMAIRE POUR UNE VILLE NEUTRE EN CARBONE ET RÉSILIENTE

OBSERVATOIRE DE LA VILLE DURABLE – PARIS

AVRIL 2019





Directrice de la publication : **Dominique ALBA**  
Étude réalisée par : **Paul BAROIN, Julien BIGORGNE, Olivier RICHARD**  
Sous la direction de : **Paul BAROIN et Olivier RICHARD**  
Cartographie et traitement statistique : **Apur**  
Photos et illustrations : **Apur sauf mention contraire**  
Mise en page : **Apur**  
[www.apur.org](http://www.apur.org)

19P020201

# Sommaire

INTRODUCTION .....	4
<b>1.   Tirer parti de l'existant .....</b>	<b>6</b>
<b>2.   Massifier la réhabilitation du stock .....</b>	<b>8</b>
<b>3.   Utiliser des matériaux privilégiant la performance carbone .....</b>	<b>12</b>
<b>4.   Exploiter les ressources énergétiques locales .....</b>	<b>14</b>
<b>5.   Optimiser les usages .....</b>	<b>18</b>
<b>6.   Végétaliser, désimperméabiliser .....</b>	<b>20</b>
<b>7.   Mutualiser à toutes les échelles, du bâti au quartier .....</b>	<b>22</b>
<b>8.   Vers un PLU Carbone Climat .....</b>	<b>24</b>
ÉTUDES APUR SUR LES SUJETS CLIMAT / ÉNERGIE .....	26



---

## INTRODUCTION

---

**À l'heure de l'objectif de neutralité carbone à horizon 2050, portée par le Plan Climat Air Énergie parisien, la grammaire ici développée vise à éclairer quelques-uns des leviers pour tendre vers la ville neutre en carbone et résiliente. Ces leviers concernent tous les systèmes de la Ville à travers la matière et l'énergie qu'elle nécessite, mais aussi avec des actions visant une meilleure résilience vis-à-vis des changements climatiques. Elle a été développée à partir de travaux passés et actuels de l'Apur. Elle est un ensemble dynamique qui a vocation à s'enrichir régulièrement pour alimenter un PLU Carbone Climat. S'inscrire dans une stratégie Carbone Climat permet de mobiliser l'ensemble des potentiels d'un système urbain et en particulier de réintégrer une dynamique qui s'appuie sur le triptyque social/environnement/territoire.**

Les grandes villes du monde se réinventent pour s'adapter aux évolutions planétaires du climat. Que sera Paris en 2050 à l'aune du double objectif de neutralité carbone et de renforcement de sa capacité de résilience? Tout autre que celui d'aujourd'hui? Dans les années 1850-1860, la capitale amorce une métamorphose qui la bouleverse. Idem après la Seconde Guerre mondiale quand les idéaux modernes bousculent son urbanisme et son architecture. Au début du troisième millénaire, le développement durable en réponse à l'évolution mondiale du climat appelle une nouvelle mue, radicale, dont l'ampleur traduira l'engagement de chacun. Comme toutes les villes, Paris doit trouver en son sein une part croissante de ses ressources énergétiques, alimentaires, et matérielles.

La ville passée au scanner se révèle une constellation de systèmes. En les interrogeant, les enjeux climatiques les mettent

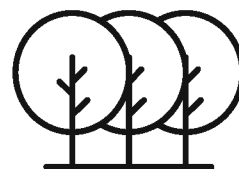
en tension, montrent que leur efficacité dépend de leur mutualisation, de leur synergie, à l'image du croisement des réactions chimiques en chaîne du métabolisme des êtres vivants. Désormais, il convient de penser et d'enclencher les mutations de Paris à partir des sujets liés à l'environnement: Il ne s'agit plus seulement de planifier les formes urbaines, mais de libérer des potentiels d'évolution, présents sous nos yeux et sous nos pieds.

Comme le rappelle le bilan carbone de la Ville, toute action humaine est émettrice de carbone localement et/ou à des milliers de km. La prise en compte de cette globalité implique de changer de paradigme, d'adopter une pratique plus souple et moins dogmatique où l'atteinte d'objectifs par exemple énergétiques dans la construction ou la réhabilitation de bâtiments doit être aussi considérée du point de vue des émissions de gaz à effet de serre. Une opération doit pouvoir être considérée en tenant compte de son environnement, de ses voisins. Privilégier la performance carbone doit s'imposer. Agir, c'est considérer ce qui est là comme une ressource, et ce que l'on va réaliser, comme une ressource pour le « déjà là ». Paris aujourd'hui, c'est 2 190 327 habitants, une superficie totale de 105 km<sup>2</sup> y compris les bois, traversée par 1 700 km de voies. Ce sont aussi 127 000 bâtiments, 160 millions de m<sup>2</sup> construits, 105 000 arbres d'alignements, 2 500 hectares d'espaces verts et 3 200 hectares de toitures, dont 460 végétalisables. 10 % du territoire parisien fait aujourd'hui l'objet d'opérations de rénovation urbaine qui constituent autant d'opportunités pour continuer à introduire de nouvelles manières de penser et produire la ville. Mais c'est surtout la ville existante qui doit évoluer: plus de 90 % des immeubles de 2050 sont déjà bâtis, et les espaces publics font leur mutation vers davantage de résilience.

---

*L'objectif de neutralité carbone implique de changer de paradigme, d'adopter une pratique plus souple et moins dogmatique où la performance carbone prime.*

---



**105 000**  
arbres d'alignements





© Céline Orsingher

Boulevard Jules Ferry (11<sup>e</sup> arrondissement), projection en 2050 : l'immeuble de grande hauteur est devenu un immeuble ressource producteur d'énergie. Les eaux de pluie circulent dans un bassin. Les jardins se sont étendus et accueillent de l'agriculture urbaine.



## LA TRAJECTOIRE CARBONE POUR ATTEINDRE LA NEUTRALITÉ EN 2050

### EMPREINTE CARBONE DE PARIS (tCO2e)

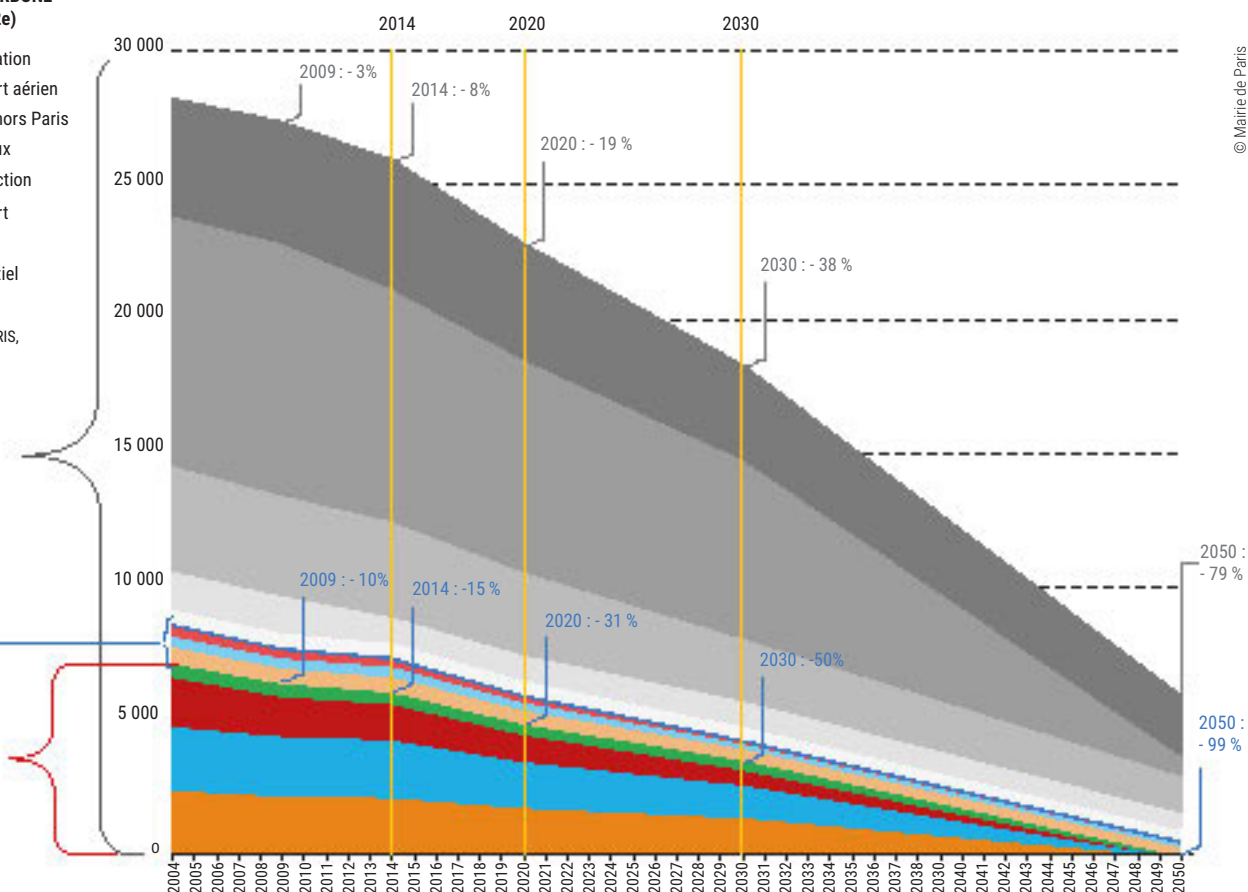
- Alimentation
- Transport aérien
- Routier hors Paris
- Matériaux
- Construction
- Transport
- Tertiaire
- Résidentiel
- Déchets

Source : PCAE PARIS, novembre 2017

### EMPREINTE CARBONE

### ÉMISSIONS AMONT ÉNERGIE

### ÉMISSIONS INTRA



© Mairie de Paris

# 1. Tirer parti de l'existant



**RÉEMPLOI**  
(Matériaux BTP, ressourceries / recycleries, atelier de réparation, etc.)



**RECYCLAGE À TOUTES LES ÉCHELLES**  
(Centres de tri / valorisation, production de biogaz / compost, etc.)



**MAILLAGE FIN DE SERVICES URBAINS**  
(Logistique, déchets, etc.)



**RÉVERSIBILITÉ DES PROGRAMMES**

Les émissions de gaz à effet de serre peuvent varier de 1 à 5 entre une réhabilitation et une construction neuve. Pour cette raison simple, il convient de tirer parti au maximum de l'existant en évitant autant que possible l'acte de démolition. S'appuyer sur la flexibilité des programmes, pouvoir transformer des bureaux en logements, et vice-versa, des crèches en équipements à destination des personnes handicapées, ou de tout simplement ne pas détruire de logements comme cela a été le cas pour la Tour Bois le Prêtre constituent des pratiques à privilégier.

Paris au fil des siècles s'est reconstruite sur elle-même, avec ses propres matériaux. C'est avec cette histoire qu'il s'agit

de renouer car si aujourd'hui, le réemploi des matériaux ou leur recyclage peuvent être des thèmes plus ou moins traités dans certains chantiers, ils ne sont que rarement intégrés dès la conception. Ce qui à première vue pourrait relever du bon sens constitue en fait aujourd'hui encore de l'innovation dans le contexte très normé de la construction : il est toujours plus simple de considérer la matière comme un déchet plutôt que comme une ressource puisqu'à ce moment-là, il faut pouvoir la stocker en attendant de lui trouver un exutoire ; le recyclage même de la matière coûte encore aujourd'hui moins cher que le réemploi. Autant de freins à lever pour favoriser l'utilisation de cette matière présente en favorisant le développement de filières adaptées.

## DYNAMIQUE DU PARC DE BUREAUX, 2016

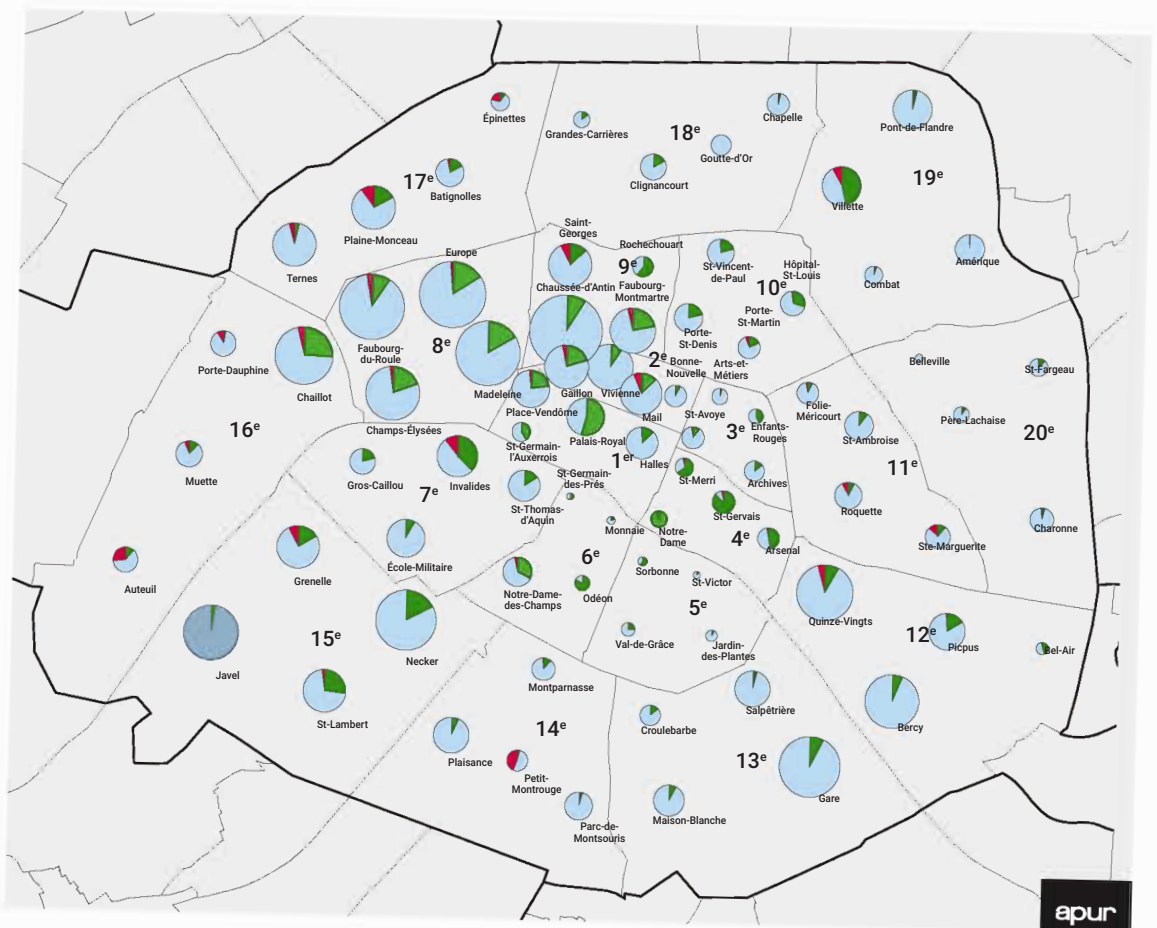
Surfaces de bureaux



### Dynamique de l'immeuble



Source : HBS - 2016





© Apur

Tour Bois le Prêtre (17<sup>e</sup>), Équerre d'argent 2011  
(Druot et Lacaton & Vassal)

### Tour Bois le Prêtre (17<sup>e</sup>)

L'opération de réhabilitation de la tour de logement Bois-le-prêtre a été réalisée en 2009, il s'agit de la 2<sup>e</sup> opération de réhabilitation thermique de cet ensemble, la première datait des années 1990 dans le cadre des financements Palulos. La réhabilitation de 2009 consiste à proposer une alternative à la solution standard de l'ETICS (isolation thermique extérieure sous enduit) déjà employée lors du précédent chantier de réhabilitation grâce à l'adjonction de modules préfabriqués sur toutes les façades permettant la création

de jardins d'hiver pour tous les logements. Le projet profite de la souplesse structurale du bâtiment d'origine pour réaliser une amélioration de la qualité d'usage des logements. Ainsi un programme complet de réhabilitation a pu être mené sans isolant thermique, la qualité de l'habitat a été modifiée par l'ajout de nouveaux espaces de vie.

Ce programme complet permet d'éviter une opération de démolition/reconstruction au coût carbone toujours plus élevé que ceux de la réhabilitation.



© Christophe Jacquet - Mairie de Paris

Caserne de Reuilly (12<sup>e</sup>)

### Caserne de Reuilly (12<sup>e</sup>)

Paris Habitat réalise sur le site de la caserne de Reuilly une opération d'aménagement comprenant 600 nouveaux logements issus de la transformation de bâtiments existants et de la construction de nouveaux bâtiments, des équipements et un nouveau jardin public. L'existence d'équipements et de matériaux qualitatifs présents sur le site a poussé l'équipe de maîtrise d'ouvrage à intégrer le réemploi dans le projet,

démarche facilitée par l'ampleur des réalisations programmées.

Pour cela, un inventaire des matériaux réemployables a été réalisé par Rotor, l'AMO réemploi retenu, ce qui a abouti à l'intégration *in situ* de certains matériaux dans les nouveaux projets : portes de placard réutilisées, cloisons de blocs sanitaires transformées en plans de travail, pavages, etc.



© Olivier Riss

Centre Morland, 4 - David Chipperfield Architects et CALQ Architecture

### « Morland Mixité Capitale »

L'opération « Morland Mixité Capitale », l'un des sites de la première saison de Réinventer Paris, constitue un autre exemple de valorisation du patrimoine bâti en prévoyant la réhabilitation de l'ancien centre administratif de 40000 m<sup>2</sup> avec 11 usages différents : 199 logements sociaux ou privés (15000 m<sup>2</sup>), un hôtel de 161 chambres avec bar et restaurant (10600 m<sup>2</sup>), une auberge de jeunesse de 404 lits (4150 m<sup>2</sup>), un

marché alimentaire (500 m<sup>2</sup>), une crèche (800 m<sup>2</sup>), une piscine-fitness (1750 m<sup>2</sup>), des bureaux (9170 m<sup>2</sup>), un espace artistique (300 m<sup>2</sup>) et des locaux commerciaux (1000 m<sup>2</sup>) et des espaces dédiés à l'agriculture urbaine en toiture.

Le projet transforme ainsi le bâtiment en intégrant une diversité programmatique qui va optimiser l'usage des espaces, avec un objectif ambitieux de réemploi de l'existant.



# 2.

# Massifier la réhabilitation du stock



CHANGEMENT DE CHAUDIÈRES



VENTILATION NATURELLE



CHANGEMENT DE VITRAGES  
ISOLATION THERMIQUE



MODIFICATION DE LA FAÇADE



SURÉLEVATION



EXPLOITATION DES ENR & R

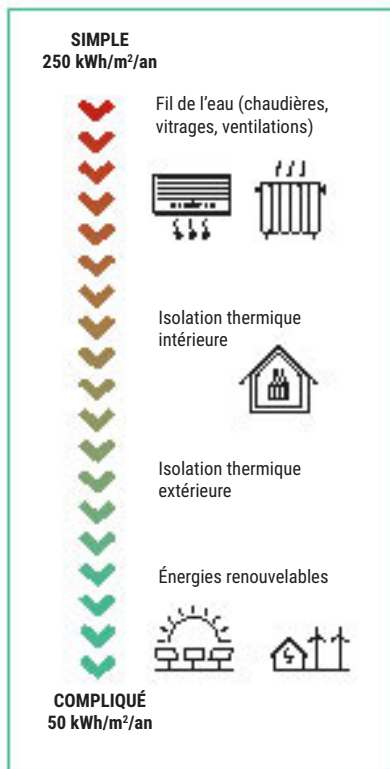
## Adapter les exigences de réhabilitation aux typologies bâties

La performance énergétique et la neutralité carbone d'un territoire sont des objectifs globaux. La question posée est de savoir comment traduire ces ambitions macroscopiques à l'échelle d'un programme de réhabilitation d'un bâtiment donné. Certains bâtiments sont très peu performants thermiquement mais facilement transformables et adaptables. On pense en particulier aux ensembles des trente-glorieuses qui ont été construits à une époque où les considérations énergétiques étaient totalement absentes des préoccupations des concepteurs. De plus les considérations patrimoniales qui pèsent sur ces bâtis sont moins souvent contrai-

gnantes que sur le bâti d'avant-guerre et donc les solutions d'interventions par l'extérieur peuvent être envisagées.

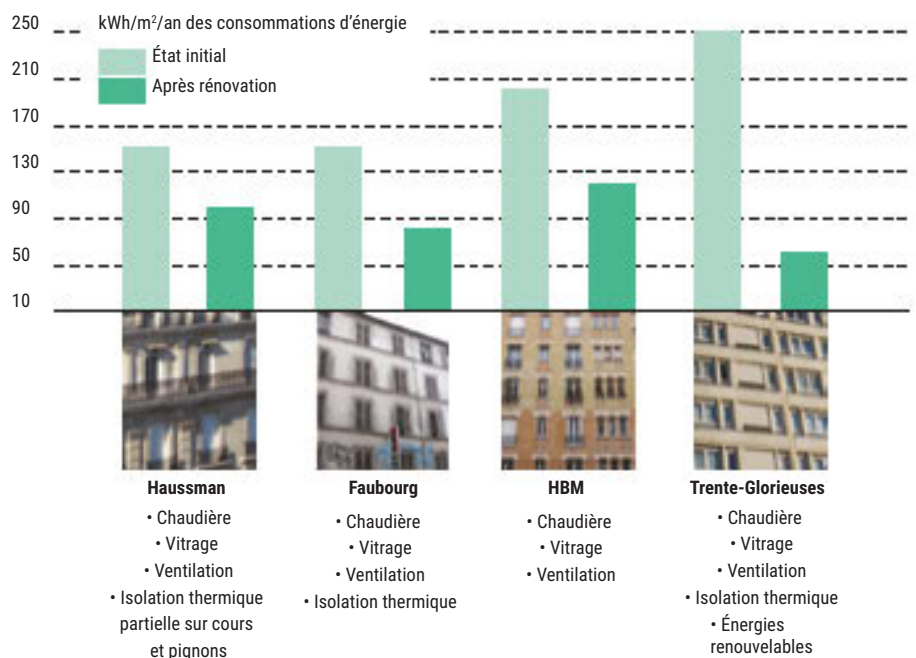
Dans de nombreux cas, les bâtiments des trente-glorieuses représentent un gisement d'économie important. L'objectif de 50 kWh/m<sup>2</sup> (objectif « basse consommation ») est très souvent envisageable sur ce parc. Les espaces libres parfois importants qui accompagnent les grands ensembles permettent une large palette d'interventions (interventions sur la toiture, sur les façades qui peuvent être épaissies – double peau –, et/ou rendues productives – ENRR, agriculture urbaine) qui facilite l'atteinte d'objectifs ambitieux.

À l'inverse dans les tissus historiques parisiens, les modes d'interventions



## OPTIMISER LA RÉNOVATION DU BÂTI ?

Des gains différenciés pour la rénovation thermique selon les typologies bâties.



## RAPPORT ENTRE LA SURFACE DE MURS INTÉRIEURS (OU AVEUGLES) ET LA SURFACE TOTALE DE MURS



© Apur



© Apur



Rue St Vincent de Paul (75010)  
Le rapport vaut 60 % pour les typologies haussmanniennes « triangulaires »



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

### SURFACES DE MUR À PARIS SELON LES TYPES (APUR, 2018)

Façades sur rue	Retrait alignement	Façades sur cour	Pignons sur cour	Héberges
26 % 1950 ha	< 1 % < 50 ha	54 % 4100 ha	13 % 950 ha	7 % 550 ha



LA VILLE DE PARIS S'ENGAGE  
POUR 1000 PROJETS D'ECO-RENOVATION

et les objectifs doivent être pensés différemment.

Les façades sur rue revêtent souvent un caractère patrimonial, facteur limitant pour l'isolation thermique extérieure. En revanche sur cour, les façades sont généralement peu ornementées et peu épaisses (les murs les plus fins rencontrés à Paris avoisinent les 13 cm, lorsqu'une ossature métallique a été employée); elles se prêtent aisément à l'isolation extérieure. À Paris on fait le constat que dans les tissus historiques, l'isolation extérieure sur cour représente un gisement très important. Par exemple, dans les typologies haussmanniennes, 60 % du linéaire de façade se retrouve sur cour contre 40 % sur rue. Dans les typologies plus anciennes de l'Ancien Régime, on peut atteindre 75 % de linéaire sur cour. Au-delà de ces considérations quantitatives, les considérations qualitatives sur la nature des matériaux d'isolation interviennent également. Les matériaux ayant les meilleures analyses en cycles de vie sont les plus adaptés à la réhabilitation du bâti.

Les gains liés aux rénovations « au fil de l'eau » (chaudières, vitrages, ventilations) appliquées à l'ensemble du corps bâti de Paris entraînent une baisse importante de consommation. Conjuguées avec des travaux ciblés et adaptés (isolation extérieure des murs des cours et des pignons des bâtiments résidentiels, bouquet de travaux plus ambitieux sur la typologie 1949-75, la plus économe), un exercice de modélisation a montré que les consommations liées au chauffage de ces bâtiments pouvaient ainsi être divisées par 2<sup>1</sup>.

1 – Paris : un Plan Local Énergie – Adaptation au changement climatique et scénarios pour la transition énergétique, Apur, 2015, [www.apur.org/fr/nos-travaux/un-plan-local-energie-metropole-paris](http://www.apur.org/fr/nos-travaux/un-plan-local-energie-metropole-paris)

Éco-rénovons Paris est une démarche participative, ouverte en priorité aux copropriétés qui s'organisent pour répondre à un appel à candidature et bénéficier d'un accompagnement personnalisé et gratuit vers la rénovation énergétique et environnementale par des conseillers Éco-rénovation spécialisés.

# 3.

## Utiliser des matériaux privilégiant la performance carbone

La réhabilitation thermique du bâti existant souffre encore aujourd'hui de nombreuses difficultés et dans bien des cas les gains énergétiques escomptés par les opérations sont décevants par rapport aux attentes initiales.

### Réinterroger la performance énergétique

La logique réglementaire encadrant les pratiques de la réhabilitation thermiques a porté jusqu'à aujourd'hui sur le seul critère de performance énergétique. Ce critère apparaît de plus en plus comme insuffisant et l'impérative nécessité de réduire l'empreinte carbone des villes invite à réinterroger notre façon d'apprécier les dispositions réglementaires et incitatives.

L'objectif de neutralité carbone fait rentrer dans l'évaluation des projets le contenu carbone de la matière em-

ployée, notamment les matériaux d'isolation thermique. Lorsque seule compte la performance énergétique, alors le marché de la réhabilitation se concentre autour des isolants thermiques dérivés du pétrole comme les polystyrènes graphités qui ont sur le papier les meilleures performances. Lorsqu'intervient une comptabilité carbone globale, le coût carbone de production des matériaux doit être intégré mais aussi le coût de transport, la durée de vie du matériau et le coût carbone de son démantèlement. Dans cette logique de coût global ou analyse de cycle de vie (ACV) des matériaux, d'autres filières sont valorisées comme les filières locales de matériaux biosourcés.

L'introduction du label E + C- a pour vocation la prise en compte de l'analyse de cycle de vie des matériaux dans

### ÉNERGIE GRISE DE QUELQUES MATÉRIAUX ISOLANTS (KWH/M<sup>3</sup>):

- Polyuréthane: 1 000 à 1 200
- Laine de verre: 250
- Laine de Roche: 150
- Laine de mouton: 80
- Fibre de bois: 60 à 300
- Laine de chanvre: 30 à 36



© Apur

© Apur

Exemples de « désordres » générés sur des bâtiments de faubourgs par l'application du triptyque « polystyrène – double vitrage – VMC » rue du temple (75004) / rue Saint-Denis (75002)





© Hervé Abbadie

Projection de béton de chanvre dans un coffrage bois, immeuble neuf rue Bourgon, 13<sup>e</sup> arrondissement

© Jeanmoulinrosny

Ecole maternelle des Boutours à Rosny-sous-Bois, un exemple de bâtiment passif intégrant les principes bioclimatiques, le recours à des matériaux biosourcés locaux (bois-paille), et de l'agriculture urbaine en terrasse. Architectes de la Ville de Rosny sous Bois (Emmanuel Pezrès, directeur de projet).

l'évaluation de la conformité thermique des bâtiments. Ce nouveau dispositif est également censé se répercuter sur la réglementation thermique appliquée à l'existant.

### **Des matériaux biosourcés davantage en accord avec les pratiques de réhabilitation de l'ancien**

Les plus gros déboires recensés dans les pratiques de la réhabilitation sont consécutifs de la volonté d'appliquer partout et tout le temps une solution unique à tous les types de bâtiments quels qu'ils soient. Le triptyque « isolant polystyrène, double vitrage et ventilation mécanique contrôlée (VMC) » a ainsi été décliné dans tous types de bâtiments sans autres considérations. Les plus grandes difficultés ont été constatées dans l'habitat traditionnel. Cet habitat, fait de matériaux tel le bois, le plâtre ou le calcaire, est fortement incompatible avec les isolants synthétiques étanches, tel le polystyrène, et des désordres pouvant aller jusqu'à l'insalubrité ont été produits par des « solutions » dites universelles de réhabilitation. L'introduction de critères relevant de l'analyse du cycle de vie (ACV) permet de valoriser des matériaux naturels tels les isolants bio-sourcés qui sont à même de constituer des solutions pérennes pour la réhabilitation du bâti.

### **Construction neuve**

À Paris, l'emploi de matériaux bio-sourcés locaux, tel le bois, la paille, le chanvre émergent des opérations de constructions neuves. Le béton de chanvre apporte à la fois des qualités d'isolation thermique mais aussi une bonne inertie utile au confort d'été, et une capacité à évaporer l'eau contenue dans sa masse également utile au confort estival. Une approche multicritère reposant notamment sur l'ACV permet de valoriser ce type de filière de matériaux bio-sourcés.

# 4.

## Exploiter les ressources énergétiques locales

Le plan climat parisien s'est fixé comme objectif pour 2050 un approvisionnement à 100 % en énergie renouvelable et de récupération (ENR & R), dont 20 % produits sur le territoire parisien. La déclinaison de cet objectif à l'horizon 2030 vise un mix énergétique composé de 45 % d'ENR & R dont 10 % seront produits localement. L'atteinte de cet objectif implique une réduction de la consommation énergétique de 35 % en 2030 et de 50 % en 2050 par rapport à 2004, un verdissement progressif et intégral des réseaux énergétiques approvisionnant Paris, mais aussi une forte mobilisation de l'ensemble des gisements locaux disponibles :

- **la géothermie** : la température du sous-sol augmente avec la profondeur. La géothermie valorise cette énergie qui peut alimenter les bâtiments pour leurs besoins de chauffage et de rafraîchissement. À Paris, la géothermie dite « ouverte » offre le plus grand potentiel. Elle pompe l'eau chaude du sous-sol (jusqu'à 200 m), en extrait les calories avant de la réinjecter dans la même nappe ;

- **le solaire** : l'énergie solaire permet de produire de l'eau chaude et de l'électricité. Les panneaux sont montés sur des supports puis inclinés sur les toits plats ou intégrés dans la pente des toitures inclinées. La quantité de

Des gisements d'ENR & R ont été documentés dans l'étude Plan Local Énergie. L'évaluation des gisements de géothermie de minime importance et solaire devrait être approfondie dans le courant de l'année 2019.



UN PLAN LOCAL ÉNERGIE (PLE) POUR PARIS

- ▲ Centrales solaires potentielles (toitures de plus de 5000 m<sup>2</sup>)
- Immeubles de logements collectifs (au moins 30 % des m<sup>2</sup> affectés au logement)
- Maisons individuelles
- Bâtiments de bureaux, de commerces, équipements, activités (plus de 70 % des m<sup>2</sup> affectés). Ces immeubles sont des immeubles ressources pour les bâtiments à proximité (échanges thermiques, agriculture urbaine, centrale solaire)
- Monuments historiques classés ou inscrits
- Réseaux de chaleur existants
- Extension de l'utilisation des réseaux de chaleur (jusqu'à 200 m). Les zones hors « emprises liées aux réseaux de chaleur » pourront être alimentées par la géothermie de minime importance.





© Apur - Arnaud Dubois Fresney

Secteur Kellerman - Paul Bourget, restructuration du quartier, logements sociaux, architecte KOZ



© RIVP

7 rue Guénot, 11<sup>e</sup>, Baudouin Bergeron Architectes

panneaux solaires installée peut être dimensionnée selon les besoins des occupants du bâtiment avec le développement de l'autoconsommation. Pour les immeubles à très grandes surfaces de toitures, la totalité de l'espace peut être consacrée à la production solaire avec l'implantation de centrales solaires. L'énergie produite a vocation à être redistribuée aux alentours ou sur le réseau d'électricité ;

- **la valorisation des eaux grises** : les eaux grises sont les eaux usées des bâtiments (vaisselle, douches, lave-linge). La performance énergétique des bâtiments suppose d'endiguer les gaspillages à tous les niveaux. Ainsi cette eau grise souvent chaude déversée dans les égouts équivaut à rejeter de l'énergie en pure perte. La valorisation des eaux grises consiste de manière optimale à récupérer les calories avant le départ à l'égout par un échangeur thermique très simple en lien avec l'arrivée d'eau installé dans l'immeuble où à l'intérieur des égouts pour approvisionner des équipements comme les piscines pour lesquels les besoins en calories sont importants ;

- **l'éolien** : dans des lieux bien exposés, les éoliennes peuvent participer à l'indépendance énergétique du territoire soit pour une production ponctuelle d'électricité soit pour remonter de l'eau de pluie stockée en pied d'immeuble.

## Vers une « hybridation » du système énergétique

La valorisation croissante de l'exploitation des ressources locales doit permettre « d'hybrider » l'approvisionnement énergétique, aujourd'hui massivement le fait des grands réseaux énergétiques (95 % de l'énergie importée). Ainsi, en évitant la sollicitation et les investissements sur ces réseaux, c'est l'impact en carbone et en ressources qui sera limité tout en contribuant à le rendre plus robuste et résilient.

## Paul Bourget (13<sup>e</sup>), catalogue de solutions

La ZAC Paul Bourget constitue un laboratoire de solutions basées sur l'exploitation des ENR. Le raccordement au réseau de chaleur de la CPCU ayant été jugé inadapté au regard de l'absence d'autres programmes à connecter, il a été décidé d'expérimenter et d'assurer le suivi de solutions basées sur la géothermie de surface couplées à des pompes à chaleur gaz, le tout combiné avec l'installation de panneaux solaires.

## Le premier BEPOS, rue Guénot (11<sup>e</sup>)

En 2013, la RIVP livre le premier bâtiment de logement social labellisé BEPOS à Paris. Avec une orientation peu favorable au regard du niveau de performances visées, les prestations thermiques du bâtiment ont dû être particulièrement soignées. Panneaux solaires thermiques, dispositif de récupération de chaleur sur eau grise complètent l'installation de chauffage (chaudière gaz à condensation). Mais la complexité d'utilisation pour atteindre les performances promises et l'impact carbone des choix effectués encouragent à poursuivre la quête de solutions adaptées.

 GÉOTHERMIE

 PANNEAUX SOLAIRES

 MURS PRODUCTIFS

 ÉOLIENNE URBAINE

 EAUX GRISSES

 PRODUCTION DE BIOGAZ À PARTIR DES DÉCHETS

 CHAUFFAGE URBAIN



# 5. Optimiser les usages



UTILISATION DES ÉQUIPEMENTS  
en dehors des plages d'ouverture part  
croissante des espaces mutualisés



MIXITÉ PROGRAMMATIQUE  
TÉLÉTRAVAIL



ZONE À CIRCULATION RESTREINTE



MOBILITÉ BAS CARBONE  
INTENSIFICATION  
DES ESPACES PUBLICS



FABRIQUE DE QUARTIERS

## Multiplier les usages du foncier en imbriquant les fonctions

Dans un contexte de foncier rare, la recherche d'économie d'espace et de mutualisation doit inciter à tirer le meilleur parti de chaque site. Chaque projet doit être envisagé comme un potentiel, une ressource qui doit pouvoir contribuer au fonctionnement de la ville.

Les programmes d'habitat ou d'activités doivent aujourd'hui s'enrichir de fonctions complémentaires, végétalisation, agriculture urbaine, équipements, services urbains, logistique ou production d'énergie, qui chacune contribuent à adapter la ville aux évolutions du climat et aux besoins des habitants.

Le projet de centre de maintenance du tramway T3 a ainsi été l'occasion de requalifier profondément son environnement en améliorant l'offre sportive initiale tout en contribuant à la création de logements étudiants et en pérennisant l'activité portuaire sur le canal de l'Ourcq.

La restructuration et l'aménagement du site des Ateliers Vaugirard par le groupe RATP constituent un autre exemple d'optimisation et d'intégration des surfaces avec la réalisation d'un programme industriel et urbain. Celui-ci comprend le maintien des ateliers restructurés des trains de la ligne 12, 400 logements, des équipements publics, une nouvelle rue et des espaces verts sur les 2,3 ha de l'emprise initiale

### LE COMPLEXE LADOUMÈGUE :

- un centre sportif
- le centre de maintenance et de remisage du T3
- 180 logements étudiants
- la pérennisation et l'insertion du port Serurier



Le complexe Ladoumègue, 19<sup>e</sup>

Ateliers Vaugirard (15<sup>e</sup>). Perspective, vue depuis les Ateliers de Maintenance des Trains

sols, la reconquête des infrastructures et des espaces publics, la fermeture de voies pour créer des espaces verts, ou l'ouverture plus large des équipements publics, sont autant de leviers à actionner par la mise à disposition d'outils pour faciliter l'animation citoyenne de ces espaces.

Institutions publiques et acteurs de la société civile doivent s'associer pour créer les conditions nécessaires à l'exploitation de ces lieux divers.

Cette optimisation nécessite l'invention de nouveaux dispositifs portés à la fois par la révolution numérique et l'engagement citoyen, proposant une approche résolument centrée sur l'usage et une large ouverture du jeu d'acteurs impliqués dans la conception et la mise en œuvre des projets.

Le succès des expérimentations engagées depuis plusieurs années au travers d'opérations d'urbanisme temporaire comme par exemple les grands voisins ou le 6B fait apparaître un potentiel d'avenir, tant ces initiatives, extrêmement sobres en moyens, sont génératrices de valeur pour les usagers, les propriétaires et le territoire, en apportant des réponses à des besoins non couverts (location d'espace, espaces festifs, logement de personnes précaires, etc.)

Le 6B, un lieu de travail de culture et d'échanges autogéré installé dans un ancien bâtiment industriel de 7 000 m<sup>2</sup>, Saint-Denis

### Exploiter le gisement du « déjà-là »

La ville de demain sera constituée à 90 % de celle qui est déjà là, c'est donc l'usage de ce stock qui devra évoluer. La ville regorge de lieux sous exploités, ou exploités seulement pendant certaines plages horaires ; locaux vacants, parkings, sous-sols, équipements, cours d'école, friches, infrastructures ou espaces publics.

Ces ressources constituent un gisement important pour répondre aux nouvelles attentes des habitants en minimisant les émissions de carbone. Ainsi l'utilisation des parkings vides plutôt que la création de nouvelles places, la réinvention de nouveaux usages pour les sous-

Cours d'école, rue Dussoubs, 2<sup>e</sup>Les Grands Voisins, 14<sup>e</sup>, la terrasse de la Lingerie



# 6. | Végétaliser, désimperméabiliser

La neutralité carbone d'une ville passe par l'adaptation climatique de ses espaces libres et de ses bâtiments afin d'éviter le recours à la climatisation dans le cadre du réchauffement global. Les villes d'aujourd'hui ont hérité de pratiques d'imperméabilisation des espaces publics via l'usage des bitumes et asphaltes dont la conséquence est, entre autres, un stockage de l'énergie solaire le jour et le relargage de cette énergie la nuit engendrant un îlot de chaleur urbain.

## Rompre l'intensité carbone de l'espace public

La conception de l'espace public est héritée d'une vision fonctionnelle de la ville. La chaussée bitume est adaptée aux circulations motorisées. Les épaisseurs de matériaux, les différentes sous-couches

sont dimensionnées dans cette seule perspective utilitaire. Or, l'enjeu climatique réinterroge cette façon de concevoir l'espace car les matériaux employés sont intenses en carbone puisqu'ils sont des dérivés du pétrole, de plus leur impact climatique nocturne en réchauffant la ville est désastreux. Enfin le nécessaire recours à une maintenance régulière en fait des matériaux non pérennes, rapidement obsolètes. Des alternatives peuvent être envisagées et surtout réinventées. L'emploi de matériaux pérennes comme les pavés apportent une réponse à l'obsolescence des matériaux employés aujourd'hui. Le stabilisé est également un matériau au faible contenu carbone et surtout à la plus-value climatique très intéressante : son incapacité à stocker la chaleur en fait un matériau naturellement frais la nuit.



VÉGÉTALISATION DU BÂTI,  
DES ESPACES OUVERTS



AGRICULTURE URBAINE



RÉCUPÉRATION  
DES EAUX DE PLUIE



DÉSIMPERMÉABILISATION



Tranchée continue avec bordure, Paris 4<sup>e</sup>



Tranchée continue recueillant les eaux pluviales, Portland

## DÉSIMPERMÉABILISER LÀ OÙ C'EST POSSIBLE



Espace planté non connecté, boulevard Bourdon, Paris 4<sup>e</sup>



Espace planté recueillant les eaux de chaussée, les 4 000, La Courneuve





© Adria Goula

Passeig de Sant Joan, Barcelone



© Apur

Végétation diffuse sur l'espace public



© Apur

Rue Georges Eastmann, 13<sup>e</sup>

### Désimperméabiliser

L'imperméabilisation des espaces libres conduit au rejet systématique des eaux pluviales dans le réseau d'assainissement. Or l'eau joue un rôle essentiel dans l'adaptation de la Ville au changement climatique. L'évaporation de l'eau permet un rafraîchissement de l'air. Les sols perméables permettent donc d'éviter la surcharge du réseau d'assainissement et favorisent le rafraîchissement urbain. (La nécessité de désimperméabiliser la ville est rappelée dans le règlement d'urbanisme via l'article 15).

Des structures partiellement perméables comme les pavés enherbés sont également un compromis intéressant entre les contraintes d'usage de l'espace public et la nécessité de prise en compte de la résilience climatique.

### Végétaliser

La résilience climatique de la Ville passe également par un rafraîchissement actif de l'espace public. Les végétaux peuvent assurer ce rôle par évaporation de l'eau contenu dans le sol. Ils apportent également de l'ombre sur l'espace public. Toutes les strates végétales apportent une plus-value, les arbres ayant un rôle particulièrement intéressant en journée de par leur capacité d'ombrage.

Ainsi, les essences d'arbres retenues dans les alignements de voirie peuvent désormais être appréciées au regard de leurs qualités climatiques : densité de feuillage assurant un ombrage efficace de l'espace urbain, résistance de l'arbre aux périodes de sécheresse, etc.

La lutte contre l'îlot de chaleur passe par le développement d'une végétalisation diffuse. Les bâtiments peuvent être le support d'une végétalisation verticale des façades et des toits. La végétalisation est relativement développée à Paris puisqu'on recense aujourd'hui environ 30 ha de murs végétaux. L'intérêt de la végétalisation verticale à l'aide de plantes grimpantes, telle la vigne vierge, réside dans la faible empreinte carbone du dispositif. La plante ne nécessite presque pas d'entretien, à part une taille bi annuelle pour prévenir les débordements en toiture, et elle apporte un rafraîchissement des espaces adjacents et une humidification de l'air.



# 7.

## Mutualiser à toutes les échelles, du bâti au quartier

*Paris est une ville dense et mixte. Tirer parti de cette spécificité en dépassant les limites (propriété, parcelle) et les freins juridiques et techniques inhérents constitue une opportunité pour mutualiser « à tous les étages »*



IMMEUBLES RESSOURCES



BOUCLES LOCALES D'ÉNERGIE



SMART-GRIDS

### Échanger l'énergie

Quand certains immeubles se chauffent, d'autres ont besoin d'être refroidis. Ces besoins se rencontrent en mi-saison et en hiver quand certains bâtiments, les immeubles ressources (grands magasins, immeubles de bureaux) climatisent alors que leurs voisins utilisent le chauffage. La création de boucles locales d'énergie, des réseaux de faible dimension, permettra d'échanger l'énergie entre ces différents types de bâtiments ;

### Renforcer la solidarité entre bâti neuf et stock

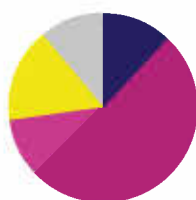
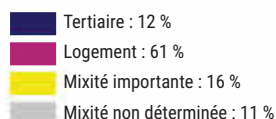
La création d'un bâtiment pourrait être une opportunité pour servir et améliorer

son environnement en mettant à disposition de ses voisins un apport spécifique (exploitation de ressources ENR & R, tête de pont d'une boucle locale d'énergie, etc.).

### Profiter de l'effet de masse

Les Zones de Rénovation Concertée (ZRC) pourront faciliter le regroupement de plusieurs immeubles ou copropriétés qui souhaitent lancer des opérations de réhabilitation afin d'en mutualiser les moyens et d'en limiter le coût ; mais aussi à l'échelle micro en facilitant l'empiètement sur l'espace privé de la parcelle voisine pour réaliser une isolation thermique extérieure.

### LA MIXITÉ DES FONCTIONS À LA PARCELLE



Source : DGFiP 2011





© Franck Boutte Consultants

Le quartier Hoche et la Cité Komarov à Nanterre (92), un exemple de solidarité territoriale



### Vers le TEGPOS, Nanterre (92)

Le quartier Hoche à Nanterre (635 logements BBC alimentés par une chaufferie biomasse bois-gaz) 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 916 logements sociaux de la Cité Komarov voisine. Cette externalisation de l'énergie produite permet d'améliorer la dimension environnementale du territoire dans son ensemble. Cet exemple montre l'intérêt de passer de l'échelle du bâtiment (BEPOS) ou de l'opération à celle du territoire (TEGPOS, Territoire à Énergie Globale Positive).



© ph. guimard@air-images.net

La ZAC de Clichy-Batignolles (75017) autour de son jardin

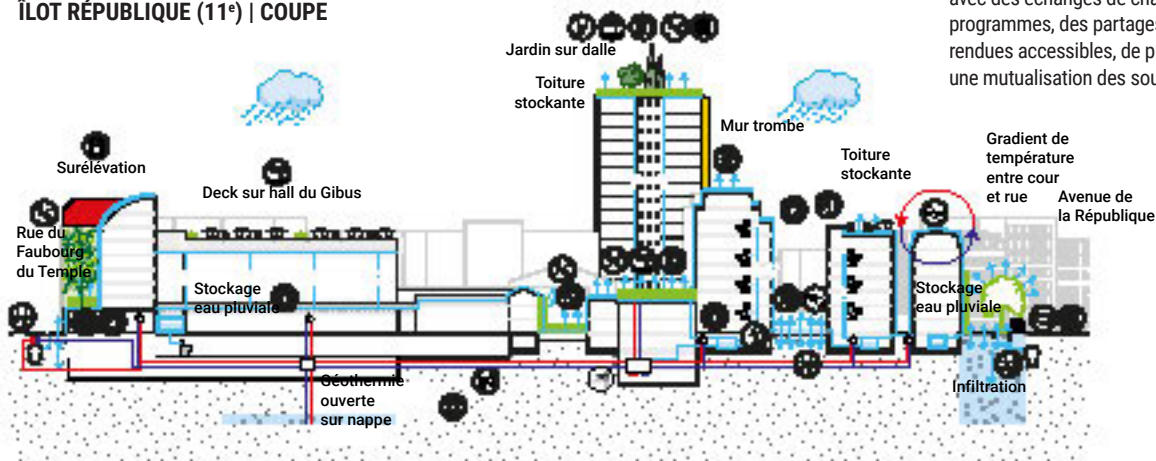
### CORDEES, Clichy-Batignolles (17°)

La ZAC de Clichy-Batignolles repose en grande partie sur l'exploitation d'ENR : un puit géothermique dans l'Albien permet d'alimenter en chaleur une boucle d'eau chaude à hauteur de 85 %, et 35 000 m<sup>2</sup> de panneaux solaires photovoltaïques complètent le dispositif.

Le projet CorDEES vise à travers la mise en place et le pilotage d'un réseau éner-

gique intelligent (smart-grid) à tendre vers un bilan carbone neutre en rapprochant performances réelles et théoriques. En plus du volet technique, ce projet intègre un volet humain essentiel afin entre autres de sensibiliser les publics spécifiques. Cela se traduit par la mise en place d'une plateforme accessible aux utilisateurs du quartier pour piloter en temps réel productions et consommations.

### ÎLOT RÉPUBLIQUE (11<sup>e</sup>) | COUPE



Au sein des travaux exploratoires Paris 2050 mené à l'Apur, l'îlot République (11<sup>e</sup> arrondissement) illustre d'autres types de mutualisation possible avec des échanges de chaleur / fraîcheur entre programmes, des partages de toitures végétalisées rendues accessibles, de production d'énergie, une mutualisation des sous-sols, etc.





# 8.

## Vers un PLU Carbone Climat



### VERS UN PLU CARBONE-CLIMAT

-  Centrales solaires potentielles (toitures de plus de 5000 m<sup>2</sup>)
-  Immeubles de logements collectifs (au moins 30 % des m<sup>2</sup> affectés au logement)
-  Maisons individuelles
-  Bâtiments de bureaux, de commerces, équipements, activités (plus de 70 % des m<sup>2</sup> affectés). Ces immeubles sont des immeubles ressources pour les bâtiments à proximité (échanges thermiques, agriculture urbaine, centrale solaire)
-  Monuments historiques classés ou inscrits





- Réseaux de chaleur existants
- Secteur de projet (projets urbains et espace public)

Le Plan d'Occupation des Sols de 1977 était un document privilégiant la forme urbaine (zonages et gabarits). Le Plan Local d'Urbanisme de 2006 cherchait à corriger les déséquilibres entre l'Est et l'Ouest parisien. La récente modification du PLU de juillet 2016 a permis avec l'article 15 d'intégrer des dispositions à caractère environnemental pour mieux prendre en compte la transition énergétique, traductions réglementaires de documents tels que le Plan Climat Air Énergie, le plan Biodiversité ou encore le plan Paris Pluie, récemment adoptés.

Un PLU Carbone-Climat (PLUCC) pourrait permettre d'ancrer plus fortement les objectifs climatiques, énergétiques, et de neutralité carbone et tous les leviers qui permettront de les atteindre : réemploi, recyclage, réhabilitations thermiques, utilisation de matériaux bas carbone, exploitation des ressources énergétiques

locales, mutualisation, stockage de carbone, mais aussi les autres thèmes qui n'ont pas ou peu été développés dans ce document comme l'essor de mobilité bas carbone, de circuits économiques courts, d'agriculture urbaine, etc. L'ensemble des éléments présentés sous le vocable Grammaire ne constitue pas une liste exhaustive. C'est un premier pas qui illustre ce qui est déjà engagé, et suggère une articulation avec les documents d'urbanisme régulateurs.

L'urgence d'agir, d'orienter les modes de fabrique de la ville et faire de Paris une ville neutre en carbone et résiliente implique de renforcer davantage le cadre réglementaire dans cette direction et d'intégrer pleinement dans les choix de planification les enjeux et impacts en terme de climat et de carbone, thèmes qui se surimposent à tous les autres en les conditionnant.

#### ÉLÉMENTS DE GRAMMAIRE POUR UNE VILLE NEUTRE ET RÉILIENTE



Source : APUR



---

# ÉTUDES APUR

## SUR LES SUJETS CLIMAT / ÉNERGIE

---

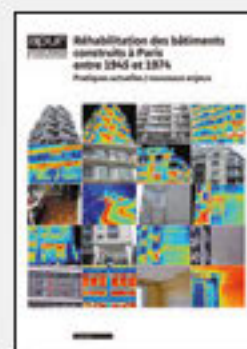
### LA PERFORMANCE THERMIQUE DES LOGEMENTS PARISIENS PAR PÉRIODE DE CONSTRUCTION > 6 CAHIERS (2011)

---



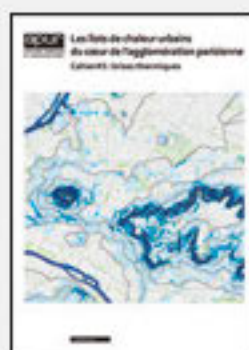
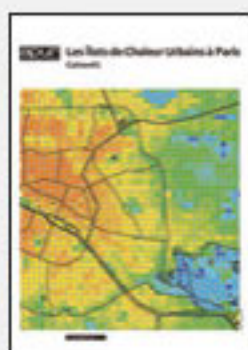
### BÂTIMENTS CONSTRUITS ENTRE 1945 ET 1974 (2016)

---



### ÎLOTS DE CHALEUR URBAINS > 4 CAHIERS (2012-2017)

---



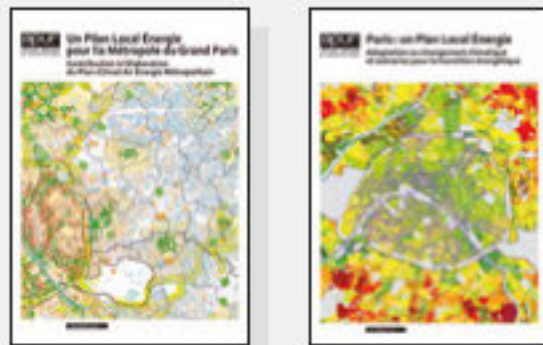
**ATLAS DES GRANDES FONCTIONS MÉTROPOLITAINES (2017)**



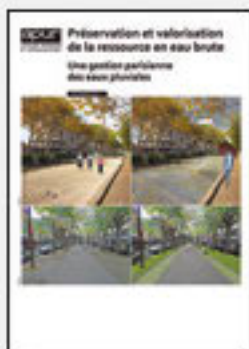
**HBM > ÉTUDE HISTORIQUE (2017)**



**UN PLAN LOCAL ÉNERGIE POUR PARIS ET LA MÉTROPOLE (2015)**



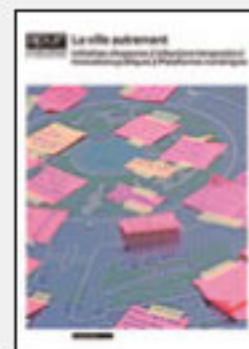
**LA RESSOURCE EN EAU BRUTE (2015)**



**L'EAU NON POTABLE (2013)**



**LA VILLE AUTREMENT (2017)**





# Grammaire pour une ville neutre en carbone et résiliente

OBSERVATOIRE DE LA VILLE DURABLE – PARIS

Le troisième Plan Climat Air Énergie de Paris, adopté le 21 mars 2018, vise à faire de Paris une ville neutre en carbone d'ici 2050. L'Apur qui travaille sur les thématiques environnementales depuis le début des années 2000 a souhaité à partir de ses travaux sur le cadre bâti, l'énergie, l'eau, le climat, les nouveaux modes de fabrication de la ville, dresser des éléments de grammaire pour contribuer à l'atteinte de cet objectif. Tirer parti au maximum de l'existant, massifier la réhabilitation des bâtiments, privilégier les matériaux bas carbone, exploiter les ressources locales, optimiser chaque m<sup>2</sup>, végétaliser et valoriser le cycle de l'eau, et mutualiser constituent les 7 grands chapitres de cette grammaire. Autant de possibilités pour accompagner l'élargissement nécessaire des documents réglementaires vers un cadre carbone climat.

L'Apur, Atelier parisien d'urbanisme, est une association loi 1901 qui réunit autour de ses membres fondateurs, la Ville de Paris et l'État, les acteurs de la Métropole du Grand Paris. Ses partenaires sont :

