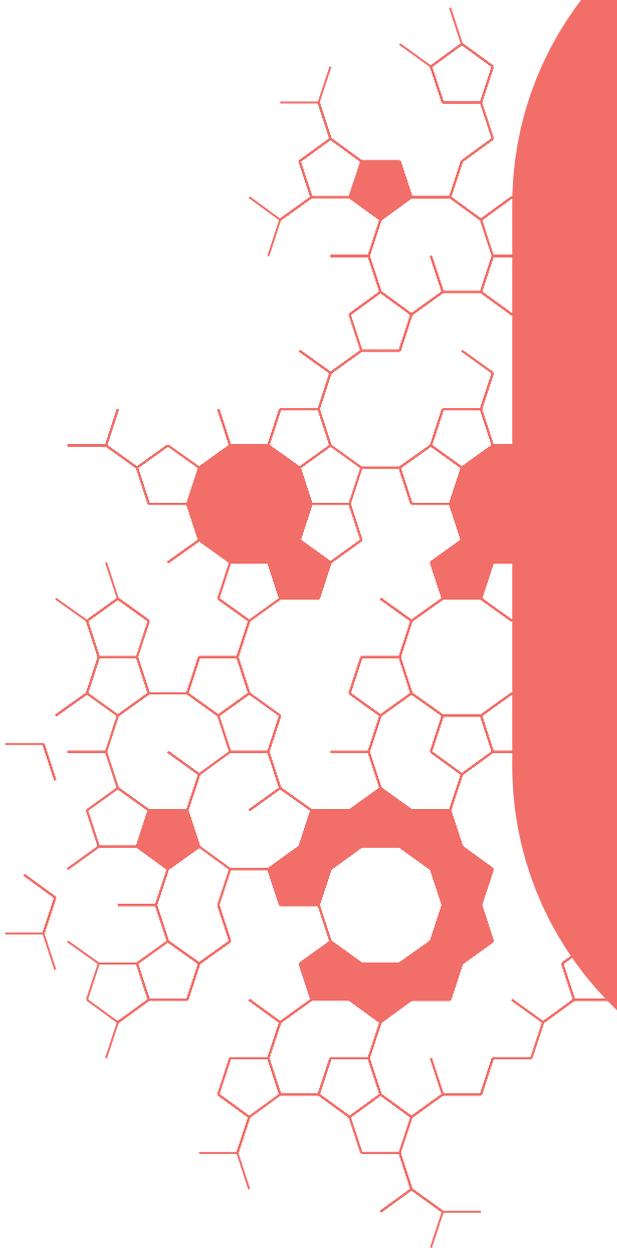


SÉMINAIRE

ATELIER PARISIEN D'URBANISME

10 juillet 2013

UNE
PLATEFORME
POUR
UN PLU
THERMIQUE



Directrice de la publication : Dominique Alba
Étude réalisée par : Olivier Richard, Gabriel Senegas
Sous la direction de : André-Marie Bourlon
Photos et illustrations : Apur sauf mention contraire
Maquette : Edwige Dessenne
www.apur.org

INTRODUCTION : VERS UN PLU THERMIQUE

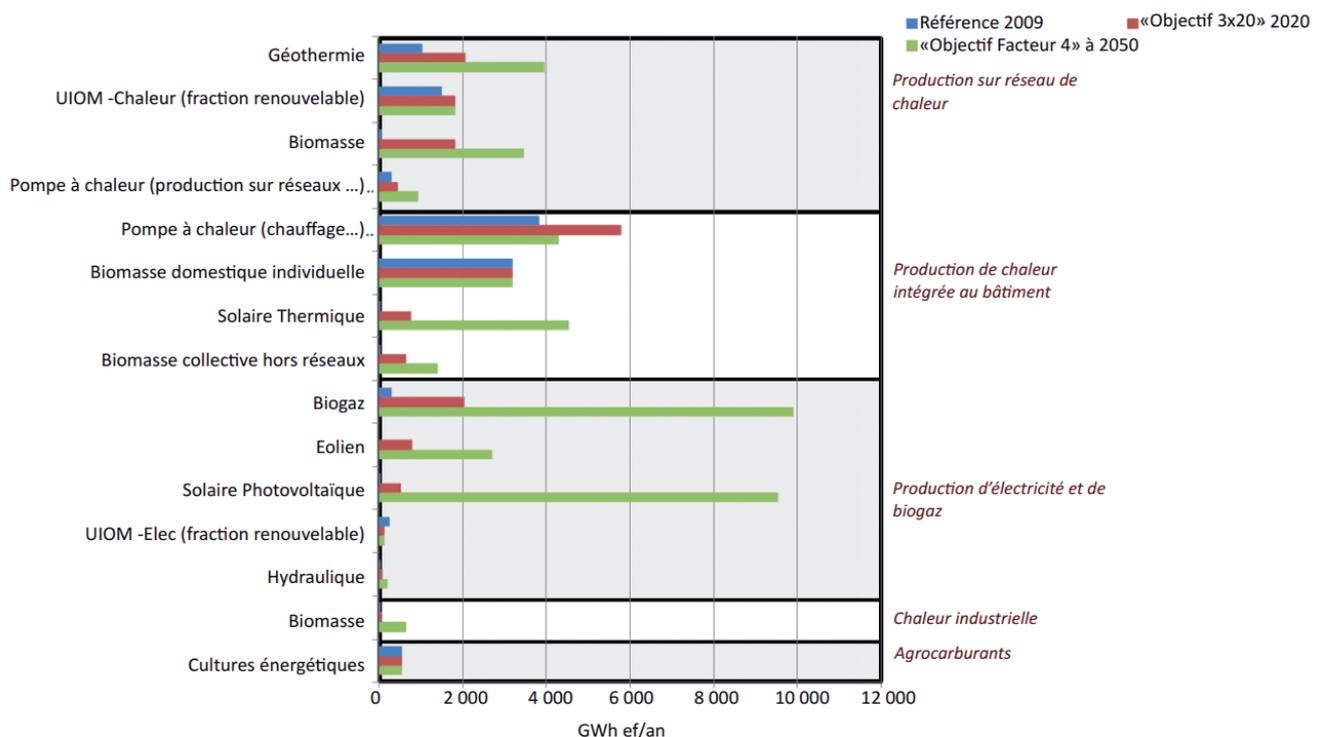
Les objectifs de réduction d'émission de gaz à effet de serre (GES) sont connus: « paquet 3 x20 » (20 % de réduction des émissions de GES, 20 % de réduction des consommations énergétiques, 20 % de consommation énergétique provenant d'énergies renouvelables à l'horizon 2020), division par 4 des émissions de GES à l'horizon 2050. De nombreux groupes de travail ou « think tanks » sont consacrés à la transition énergétique. Les services de l'État (DRIEE et DRIEA) ont mené un travail important dans le cadre de l'élaboration du Schéma Régional du Climat, de l'Air et de l'Énergie (SRCAE) de l'Île-de-France. Le comité de partenaires de Paris Métropole vient également de publier un rapport sur la transition énergétique métropolitaine. Par ailleurs, depuis le début de l'année 2013, un grand débat national sur la transition énergétique est en cours et doit se clôturer prochainement. Il doit conduire à un projet de loi de programmation à l'automne 2013.

Ces différents groupes de travail et documents de réflexion ou réglementaire ont largement défini les enjeux et les moyens d'action à mobiliser. Mais pour devenir opérationnelles, ces préconisations nécessitent d'être territorialisées.

L'Apur a dans son programme de travail partenarial un champ d'études s'inscrivant dans la thématique de la transition énergétique. C'est dans ce cadre prospectif que l'Apur a proposé de mettre en place une plateforme d'étude et de proposition pour un « PLU thermique » visant à définir une stratégie territorialisée concernant la production d'ENR locales, l'organisation des réseaux (de chaleur, de gaz, d'électricité...), la mise en cohérence locale des actions préconisées avec la nature des tissus et des bâtis, l'intervention sur les bâtiments existants... Pour avancer sur ce sujet, l'Apur met en place une plateforme élargie qui souhaite fédérer les acteurs impliqués. Ce séminaire est une première étape et vise à poser les bases de ce PLU thermique.

Les deux éléments clés à prendre en compte sont la consommation énergétique (on s'intéressera ici à celle des bâtiments, l'énergie liée aux transports étant traitée par ailleurs) et les ressources en énergie (l'Île-de-France produit à peine plus de 10 % de son énergie).

Efforts de développement des énergies renouvelables et de récupération à 2020 et 2050



Les efforts à mettre en œuvre concerne presque l'ensemble des sources d'énergie à l'horizon 2020. Pour 2050, un effort tout particulier devra être mis sur le biogaz et le solaire photovoltaïque.

Concernant le premier point, l'Apur a réalisé ces dernières années de nombreuses études qui ont amené une bonne connaissance des comportements thermiques du bâti parisien de logements (« Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage des résidences principales parisiennes » décembre 2007) et du comportement des différents types de tissus urbains avec l'« analyse de la performance thermique des logements parisiens construits avant 1800 » ou entre 1945 et 1970.

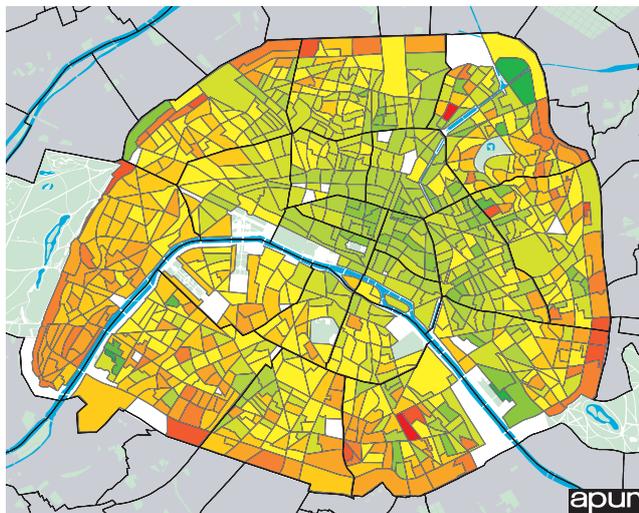
Au croisement de ces deux axes, et dans le prolongement des études déjà menées ou engagées dans ce domaine par l'Apur (émissions de gaz à effet de serre des immeubles de logements parisiens, cadastre solaire, thermographie, réseaux d'eau, îlots de chaleur urbains, etc.), le rôle de l'Apur est double :

- un lieu de rencontres et d'échanges des professionnels, experts et acteurs de la Ville, publics ou privés en vue de favoriser la création de la ville durable ;
- des contributions par l'utilisation de ses bases de données et de ses outils d'analyse, sur les thèmes de la production d'énergie, sa distribution, sa consommation.

L'Apur est un des lieux d'élaboration des stratégies de territorialisation des objectifs et orientations énoncés par le SRCAE, où sont étudiées à l'échelle fine de la ville dense, les potentialités d'optimisation de production massive d'énergie (UIOM, géothermie, etc.), sa distribution, et les nouvelles sources locales pertinentes (Data Center, solaire, récupération

d'énergie fatale, etc.). À partir de l'ensemble de ces données, une stratégie spatiale de mise en adéquation de la production d'énergie et de sa consommation pourra être élaborée, en vue d'être au moins partiellement, voire totalement autonome sur certaines parties du territoire urbain et d'optimiser l'exploitation des ressources locales. Pourront être abordés dans ce cadre les possibilités de couplage de bâtiments ou activités complémentaires sur le plan énergétique. Ce volet d'étude prendra en compte le facteur « temps de la ville » : comment écrêter les pointes de demande, quels volants d'inertie utiliser (sol, grands volumes d'eau...), intelligence des réseaux et des bâtiments (monitoring...). Cette territorialisation des stratégies énergétiques permettra d'établir un « **PLU thermique** » à l'échelle de Paris et de la Petite Couronne. Il s'agit de cette manière de contribuer aux objectifs fixés par SRCAE, lequel préconise que « les politiques d'urbanisme et d'aménagement économes en énergie et respectueuses de la qualité de l'air se traduisent également à une échelle plus locale au travers de documents d'urbanisme et de programmation des collectivités ».

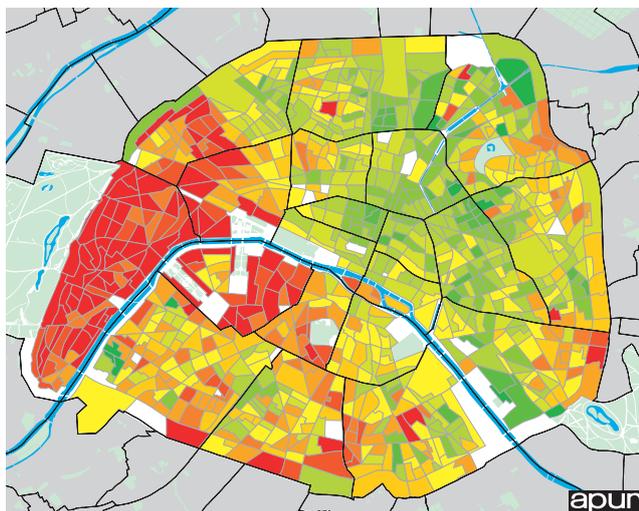
C'est dans cet esprit qu'est organisée une première journée de Plateforme pour un PLU thermique, le 10 juillet 2013. Durant celle-ci, un nombre significatif d'acteurs de la transition énergétique se rencontrent autour de **trois ateliers (les réseaux, eau et énergie, les ressources d'énergie localisées)**, pour échanger sur la ville durable et partager leurs visions, leurs analyses pour contribuer à la transition énergétique à l'échelle urbaine.



Émissions surfaciques de CO₂ en kgCO₂/m²/an

- < 7
- 8 - 14
- 15 - 21
- 22 - 28
- 29 - 35
- 36 - 42
- 43 - 49
- 50 - 56
- 57 - 63
- 64 - 70
- > 70

Source: Apur 2007



Émissions de carbone pour le chauffage en kgC/hab/an

- < 100
 - 101 à 150
 - 151 à 200
 - 201 à 250
 - 251 à 300
 - 301 à 350
 - 351 à 400
 - 401 à 450
 - 451 à 500
 - 501 à 550
 - > 550
- le dépassement de ce seuil pose problème à l'équilibre climatique
- à partir de 500 kg, la totalité du quota de carbone annuel d'un habitant est consommé pour son seul chauffage

Source: Apur 2007

LES RÉSEAUX

PRODUIRE MASSIVEMENT

Rendre la ville plus durable, c'est aussi intégrer dans la réflexion « urbaine » les grands services urbains que sont les lieux de production massive d'énergie et les réseaux qui permettent de transporter et distribuer l'énergie. Aujourd'hui, ils sont des leviers indispensables à la réalisation d'une métropole durable. La région Ile-de-France produit seulement 10 % de sa consommation énergétique. Le développement d'une filière énergie renouvelable locale constitue un levier majeur pour enrayer cette dépendance énergétique vis-à-vis de l'extérieur dans un cadre de réduction forte des émissions de gaz à effet de serre, en association avec la densification des réseaux de chaleur et de froid. C'est l'un des 4 grands principes sur lequel est basé le Schéma Régional du Climat, de l'Air, et de l'Énergie (SRCAE). La question du positionnement, voire de l'articulation des réseaux de chaleur vis-à-vis des autres réseaux d'énergie (électricité, gaz) pourra également être posée.

En 2009, la consommation d'énergie renouvelable et de récupération (ENR²) en Ile-de-France représente environ 13 000 GWh/an, soit 5 % de la consommation régionale dont environ 5 000 produits en IDF.

Les **usines d'incinération** représentent, avec la géothermie, une source de production ENR² privilégiée en région parisienne. On dénombre 19 usines dans la région, certaines ne produisant que chaleur ou électricité, d'autres fonctionnant en cogénération. L'expérience montre que la conversion énergétique de ce type d'usine est très variable : elle est de 30 % pour la production d'électricité seule, de 95 % pour la production de chaleur et de 80 % pour la cogénération. Il apparaît donc que la production de chaleur et la cogénération sont à privilégier lorsque la localisation le permet (présence ou possibilité de création d'un réseau, et d'un bassin de clientèle). La cogénération présente l'avantage de bénéficier d'un débouché plus facile pour l'électricité, notamment en été.

Consommation énergétique finale de la région Ile-de-France, 2005 non corrigée des variations saisonnières

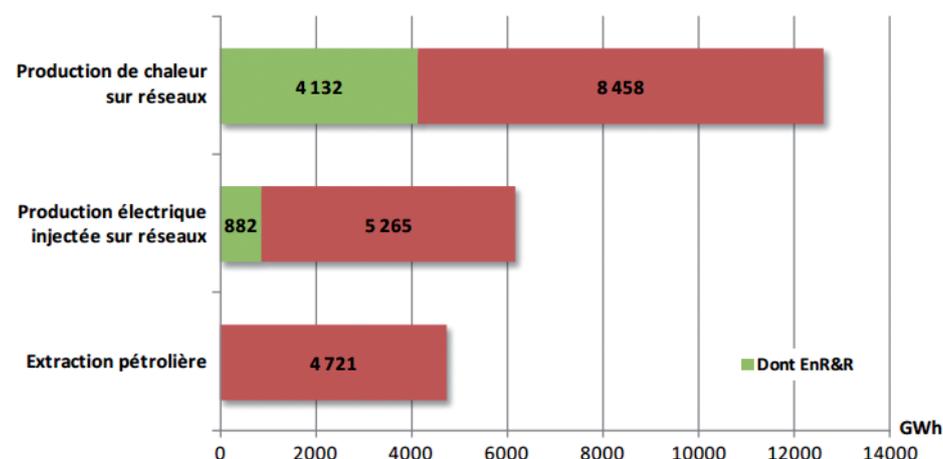
GWh final	Bois/ENR	Charbon	Énergies Réseaux Chaleur et froid	Électricité	Gaz	Produits Pétroliers	Total
Agriculture	0	0	0	87	113	595	794
Industrie	35	363	1 593	10 288	17 833	1 411	31 523
Résidentiel	3 460	0	6 739	23 613	41 846	13 690	89 348
Tertiaire	4	0	4 492	28 646	14 880	5 867	53 889
Transports	563	0	0	3 920	0	59 140	63 624
Total	4 063	363	12 824	66 554	74 672	80 702	239 178

Transport aérien	63 530
------------------	--------

Source : SOeS

La consommation énergétique finale en Ile-de-France, tous secteurs confondus était de 240 000 GWh/an en 2008, hors transport aérien. Les énergies fossiles représentent 70 % de la consommation énergétique finale. Les ENR² 5 % (13 000 GWh).

Production francilienne d'énergie en 2009 en GWh



La production francilienne d'énergie représente environ 10 % de sa consommation. Le principal poste correspond à la production de chaleur sur réseaux (12 600 GWh) devant la production électrique (6 000 GWh) et l'extraction pétrolière (4 700 GWh). La part d'ENR² ne pèse que pour environ 5 000 GWh.

Source : SOeS/SETEC in SRCAE

Les potentialités de développement dans le domaine de l'incinération restent importantes. En effet, si en matière de déchets, les priorités sont, dans l'ordre, de ne pas en produire, de les recycler, puis de les valoriser énergétiquement en les incinérant avant de les mettre en décharge, la quantité de déchets aujourd'hui encore mise directement en décharge est importante et ceux-ci devraient faire l'objet de façon préférentielle d'une valorisation énergétique. Toutefois, aujourd'hui, le Plan régional d'élimination des déchets ménagers et assimilés (PREDMA) ne prévoit pas de nouvelle installation en limitant la capacité d'incinération à son niveau de 2005.

Dès lors que la capacité maximale d'incinération est atteinte, la question de la place et de l'acceptabilité de la **méthanisation** en milieu dense se pose. En France, le secteur de la méthanisation a connu un développement très mesuré et principalement axé sur les secteurs des boues urbaines et industriel. La directive européenne sur les déchets de 2008 et les aides financières mises en place en France dans le cadre de la lutte contre l'effet de serre ont fait naître un fort regain d'intérêt pour ce procédé. En effet, il répond aux objectifs du Grenelle Environnement de valorisation de la part organique des déchets et de développement de la production de chaleur et d'électricité renouvelables. Tout déchet organique d'origine végétale peut fermenter et produire du méthane. Cela représente un gisement considérable, environ 75 % du contenu des ordures ménagères.

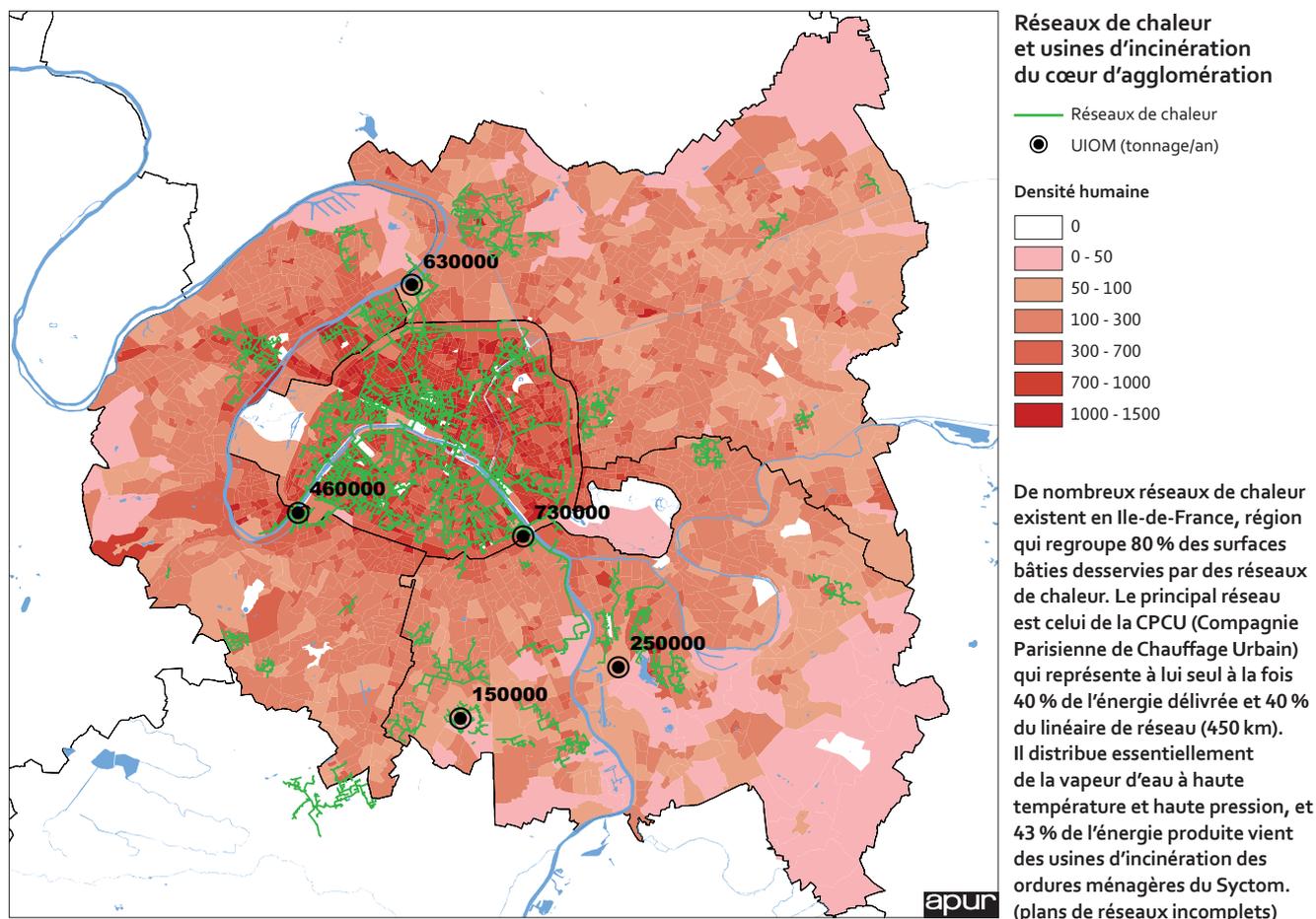
Souvent présenté comme la solution miracle, le procédé de méthanisation, viable d'un point de vue théorique requiert néanmoins une grande rigueur dès la conception et la mise en place de compétences spécifiques. Elle offre des avantages certains dans les zones périurbaines denses : emprise au sol réduite,

maîtrise des risques de nuisance olfactive et production d'une énergie locale et renouvelable.

Mais, dans ce domaine on ne peut que constater les difficultés de lancement d'opérations d'envergures, en atteste le gel de l'opération de Romainville. Ces craintes proviennent de retours d'expériences négatifs comme celui du site de Montpellier où les nombreux dysfonctionnements et nuisances ont provoqué colère des riverains et échec économique. Il semble cependant que le procédé de méthanisation ait un fort potentiel théorique sous condition d'une structuration de la filière déchets et du développement de connaissances spécifiques que ce soit pour la réalisation ou l'exploitation des sites. Un des enjeux à venir pourrait être la création d'installations centralisées, mixant tous les secteurs.

Le renforcement de la production massive d'énergie au niveau local renvoie à l'enjeu fort de la localisation de ces grands services urbains, enjeu très sensible du point de vue de l'acceptabilité à laquelle ils renvoient vis-à-vis des populations riveraines mais aussi des élus locaux. Partant de là, l'élaboration de solutions d'intégration acceptables et optimales semble être un enjeu majeur.

L'atteinte des 50 % d'ENR sur le réseau passe aussi par une exploitation des **ressources souterraines**, la région possède un long vécu en matière de géothermie et possède des ressources géologiques très favorables, nombreuses et accessibles. L'intérêt est actuellement à la diversification des moyens d'exploitations de la ressource (pompes à chaleur, géothermie basse température, géothermie sur roches chaudes fracturées) afin de pouvoir alimenter tout type de tissu urbain tout en préservant la ressource.



TRANSPORTER ET RACCORDER

La région Ile-de-France est déjà particulièrement maillée en réseaux de chaleur, elle compte 127 réseaux pour 13.6 TWh livrés. Perçus comme des outils de mobilisation des énergies renouvelables, ils ont connu un regain d'intérêt à la fin des années 2000, grâce à leur rôle dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre (dont un tiers provient de la fourniture de chaleur dans le tertiaire et le résidentiel). L'un des objectifs du SRCAE pour 2020 est d'avoir +40 % de logements connectés (1,1 = > 1,55 million d'éq. Logements) en Ile-de-France.

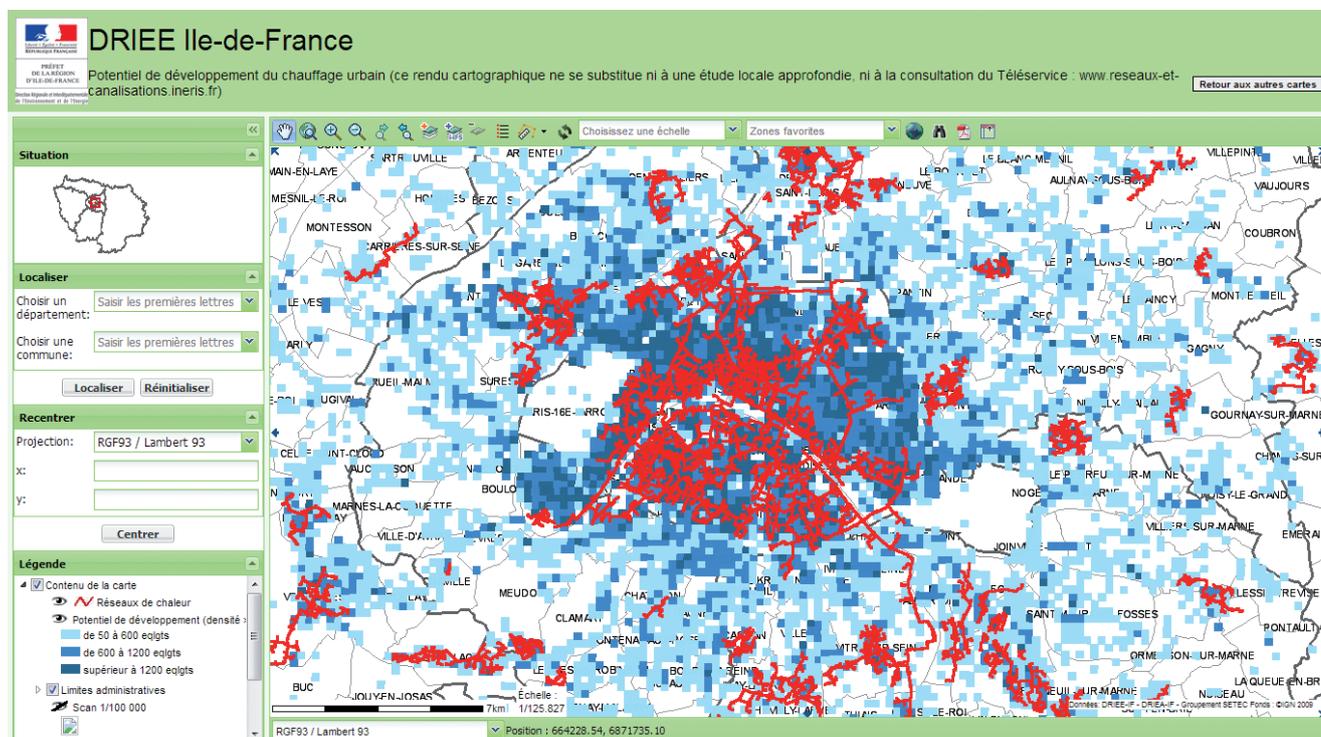
Le dernier dispositif mis en place pour augmenter la part des ENR & R dans l'alimentation des réseaux est la réduction du taux de TVA à 5,5 % sur la chaleur provenant de réseaux alimentés à 50 % minimum par des énergies renouvelables.

La volonté d'arriver à un PLU thermique amène à se poser la question de la **stratégie de développement des réseaux à adopter** (chauffage urbain, gaz, électricité). Faut-il développer le réseau partout afin d'offrir un choix plus large à l'utilisateur ou faut-il raisonner territoire par territoire, en faisant une analyse de faisabilité multicritère (morphologie urbaine, datation du bâti, utilisation du bâti, présence ou non de ressource et/ou d'un réseau à proximité) ?

Le terme même de réseau amène à se poser la question de sa nature : s'agit-il de **réseaux centralisés** de tailles conséquentes, résultat d'interconnexions entre plusieurs réseaux ou bien d'une somme de **petits réseaux indépendants** ?

Au-delà de la taille même du réseau, la **nature du fluide** revêt une importance majeure en terme de pertes et d'origine de la chaleur transportée. Il apparaît clairement aujourd'hui que le modèle « eau chaude » est plus attrayant sur bien des aspects : interconnexions moins coûteuses, adapté à toute source de production. Il est important de garder en tête que la température du fluide transporté est le premier levier pour réduire les pertes en lignes. En ce qui concerne la région Ile-de-France, la possibilité de développement de réseaux de chaleur est fortement dépendante de l'optimisation de l'existant (pertes en ligne, sous-stations, compteurs individuels, réhabilitation du bâti, monitoring...). Une politique ciblée d'**interconnexions** pourrait quant à elle permettre de réaliser des économies d'échelle et de lutter contre l'intermittence des ENR tout en réduisant la part du fossile.

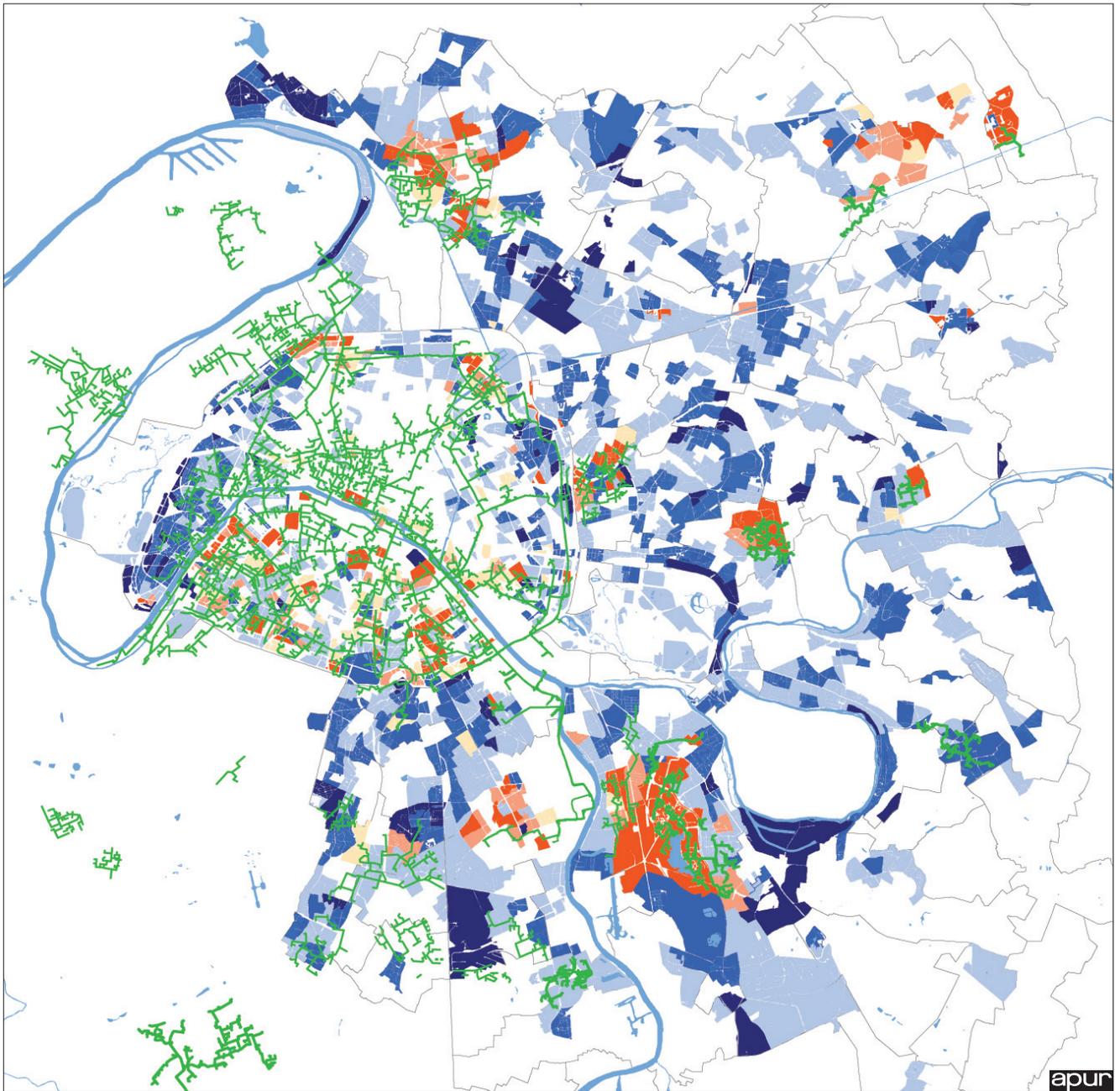
S'associe à cette stratégie de développement une **politique de raccordement** : actuellement, les cibles privilégiées sont les grands équipements publics, les logements sociaux et le tertiaire. La place de la copropriété dans cette clientèle est un enjeu majeur, il s'agit d'établir des critères cohérents sur le plan économique et environnemental permettant de dire si une copropriété est raccordable ou pas. Par exemple, les copropriétés du centre parisien possédant des chauffages électriques ne sont pas des cibles envisageables aujourd'hui (faibles émissions de gaz à effet de serre, coût, jeunes actifs coupant le chauffage en journée). Au Danemark, plus de la moitié des logements sont chauffés par des réseaux de chaleur, et les habitants sont très impliqués dans la gestion des réseaux.



L'étude menée par la DRIEE et la DRIEA sur le potentiel des réseaux de chaleur a permis de quantifier et de localiser les secteurs à privilégier pour développer les réseaux.

Extrait du site web de la DRIEE :

http://carmen.developpement-durable.gouv.fr/index.php?map=Potentiel_global_chauffage_urbain.map&service_idx=18W

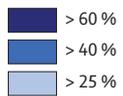


apur

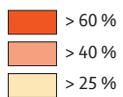
Chauffage collectifs et chauffage urbain

— Réseaux de chaleur

Part de chauffage collectif hors chauffage urbain



Part de chauffage urbain



Chauffage collectifs et chauffage urbain

En bleu figurent les îlots où les installations de chauffage collectif non connecté aux réseaux de chaleur prédominent.

En rouge, ceux qui sont connectés (source RGP).

(Données non encore disponibles dans le CG92)

OPTIMISER

Le raccordement s'effectue au niveau de la **sous-station**, poste problématique des réseaux de chaleur. Une sous-station de grande taille, bien que moins chère ne permet pas d'optimiser le ratio production/demande et peut être un poste important de pertes lorsqu'elle est vieillissante ou mal entretenue.

De nombreux exemples tels que celui de Riga montre que le développement des réseaux de chaleur urbains passe d'abord par une optimisation de l'existant. Le réseau de chaleur de Riga compte 8 000 clients. Tous sont à présent équipés d'une sous-station thermique automatique. Celle-ci dispose depuis 2012 d'un système de télémesure permettant de suivre la consommation de chaleur à distance. Ces 8 000 sous-stations individuelles modernisées ont remplacé les 185 existantes. À Riga, l'optimisation des canalisations du réseau primaire couplée à l'individualisation des sous stations a permis de diviser les déperditions thermiques par 2,3 sur le réseau en une quinzaine d'années.

Le sujet des **pertes** concerne de nombreux types de réseaux. Pour les réseaux de chaleur, les pertes s'opèrent à plusieurs niveaux : le réseau primaire, les sous-stations et à un degré moindre le réseau secondaire.

L'obligation de mise en place de **compteurs individuels** à l'horizon 2017 est un moyen efficace de sensibilisation de l'utilisateur. Le SRCAE vise une réduction de 5 % des consommations électriques à 2020 et de 10 % à 2050 par rapport à 2005. Or, on sait que le passage au compteur individuel peut entraîner des baisses de l'ordre de 25 %.

Autre outil d'optimisation des réseaux, la mise en place de « **smart-grids** » ou réseau intelligent/futé dont les premières expérimentations proviennent des réseaux électriques. En effet, la plus souple et la plus commode des énergies pour ses utilisateurs, l'électricité est aussi la plus contraignante à produire : elle ne se stocke quasiment pas. Or les besoins en

énergie lorsqu'ils s'expriment spontanément sont aléatoires et présentent des pics importants. En outre, les nouvelles sources que sont le solaire et l'éolien produisent une puissance électrique très variable dans le temps. Enfin, dernier paramètre aggravant, la seule réponse aujourd'hui disponible à la demande de pointe est la mise en marche de centrales thermiques au charbon, au fuel et au gaz, fortement émettrices de gaz à effet de serre.

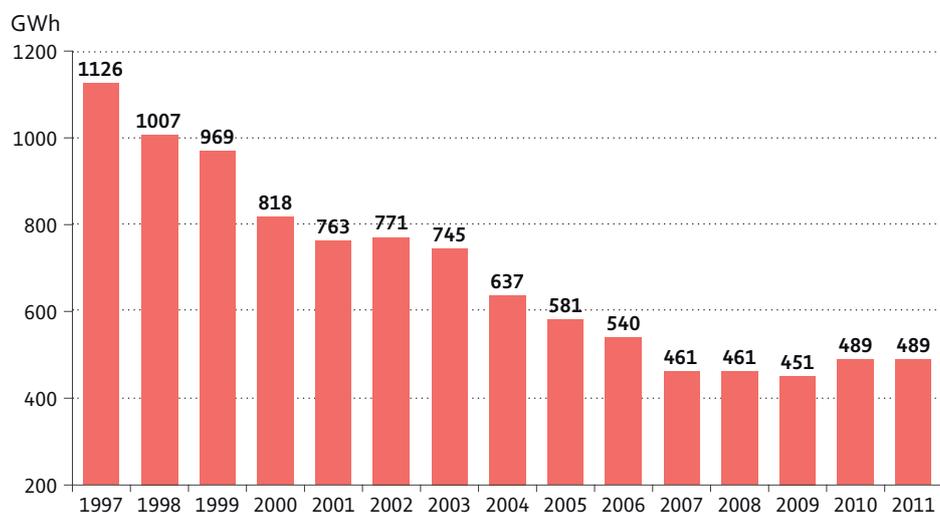
Or il serait parfaitement imaginable d'organiser les consommations électriques en reportant sur les heures creuses celles qui peuvent être décalées dans le temps : utiliser une machine à laver, charger une voiture électrique, chauffer un ballon d'eau chaude, tirer parti de l'inertie d'un bâtiment pour le réchauffer en dehors des pics de consommation...

La gestion fine de ces consommations est envisageable par la mise en place de réseaux électriques intelligents : les « **smarts grids** ». Ils envoient à l'utilisateur un message l'informant d'une période de pic et le réseau électrique de l'utilisateur configuré dans ce but interrompt l'alimentation électrique des activités non indispensables.

Un tel dispositif existe depuis de nombreuses années au Canada où des chaudières mixtes gaz-électricité assurent le chauffage des habitations. En période creuse quand l'énergie est hydro-électrique, une résistance électrique chauffe l'eau de la chaudière ; en pic de consommation le gaz prend le relais pour éviter de consommer une électricité fortement carbonée qui, entre le rendement de la centrale et les pertes en ligne, n'arrive chez l'utilisateur qu'à hauteur d'un tiers ou un quart de l'énergie dépensée pour la produire.

L'intégration des énergies renouvelables aux réseaux pose nécessairement la question d'un des plus grands enjeux de demain, le **stockage**. L'objectif étant de faire face aux pics de consommation sans avoir recours aux énergies fossiles en stockant l'excédent accumulé en période creuse. Le stockage par chaleur sensible est utilisé en France et à l'étranger, son avantage principal est son faible coût et l'inconvénient majeur est l'encombrement. Il s'agit d'une technique maîtrisée ne manquant pas de retours d'expériences.

Pertes thermiques dans les réseaux de chaleur à RIGA



EAU ET ÉNERGIE

Quelques chiffres sur l'eau à Paris

(données livre bleu, Ville de Paris, 2012)

Eau potable:

Production d'eau potable: 490 000 m³/j en moyenne (2011), 196 600 000 m³ en 2011

Pic de consommation en juin 2011: 636 000 m³

Capacité de production de pointe: 1 000 000 m³/j

Capacité de stockage (5 réservoirs et 2 châteaux d'eau): 1 000 000 m³

2 000 km de conduites de distribution d'eau potable

Eau non potable (ENP):

Évolution de la production ENP: de 160 000 m³/j (avant 2011) à 230 000 m³/j (été 2012)

soit + 30 % par rapport aux années antérieures

Capacité de production de pointe: 460 000 m³/j

Capacité de stockage des 7 réservoirs: 180 000 m³

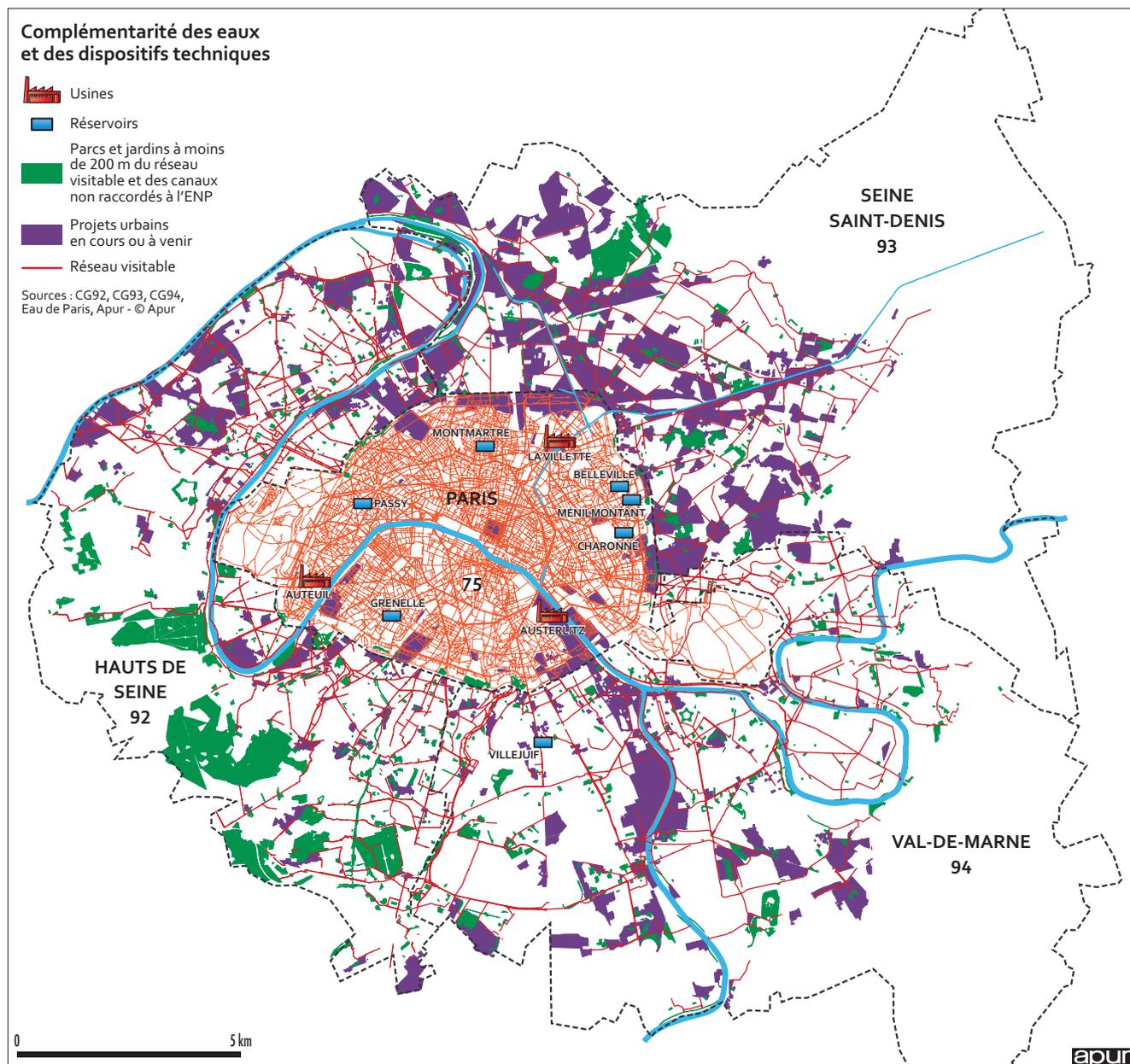
1 820 km de canalisations d'eau non potable

Eaux usées:

900 000 m³/jour d'effluents produits

2 500 km de réseau d'assainissement dont 130 km de collecteurs et 1 500 km d'égouts élémentaires

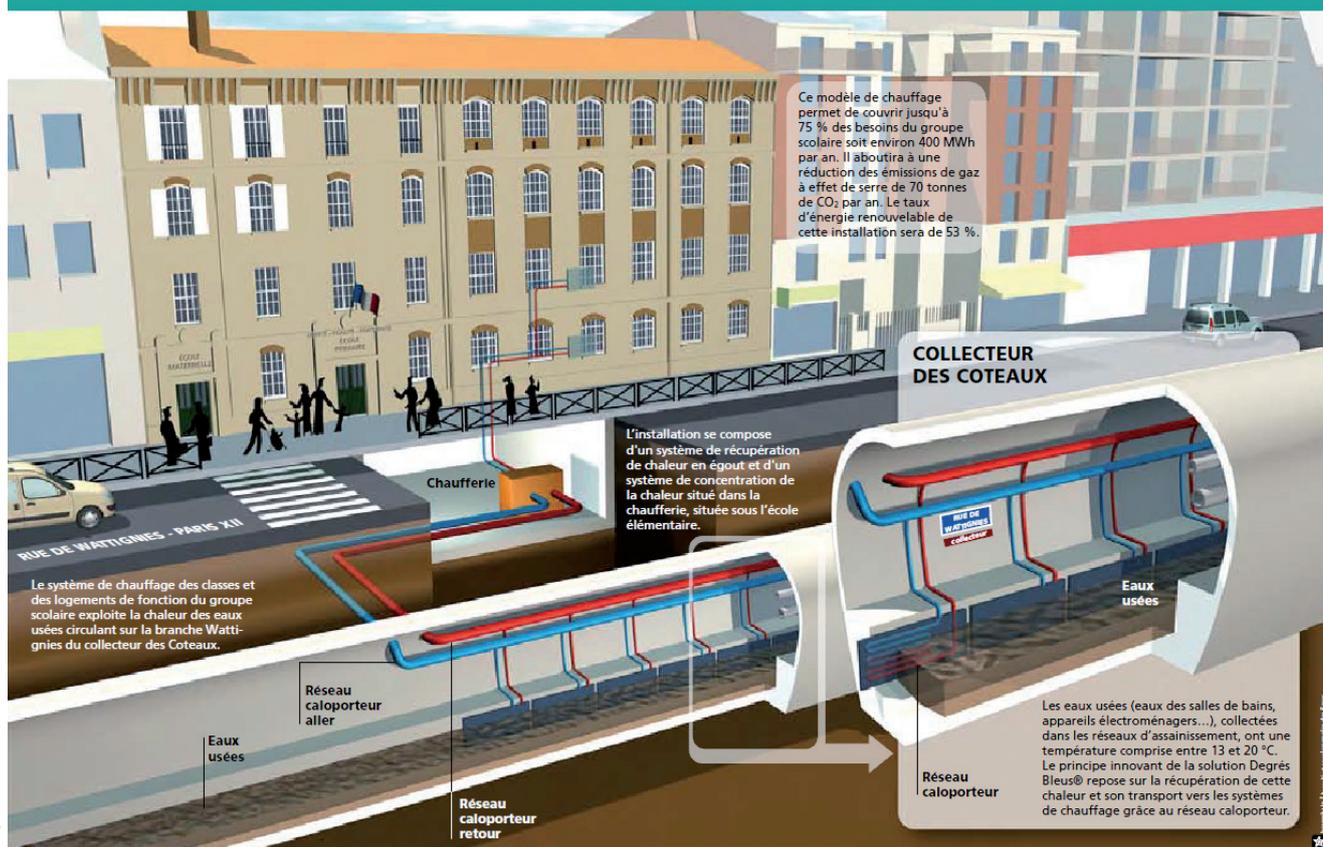
Il apparaît de plus en plus que l'eau, au-delà de son usage direct pour la consommation, l'arrosage ou l'industrie, à un rôle potentiellement important en matière d'énergie. Source de chaleur ou de froid (réseaux de froid ou de chaud), traitement des îlots de chaleur urbains, récupération d'énergie sur les eaux usées; les possibilités d'exploitation de l'eau sous toutes ses formes à des fins énergétiques sont multiples.



Les eaux fluviales : La plus abondante des sources d'énergie renouvelable étant l'énergie thermique potentiellement contenue dans les eaux de la Seine, moins aléatoire que le solaire, l'éolien, ou la chaleur de l'air. La Seine est déjà exploitée par Climespace pour la production de froid. Sa valorisation à grande échelle, pour le chauffage des bâtiments riverains, est aussi envisageable. La Seine, à Paris, débite en moyenne 300 m³/seconde dans lesquels un prélèvement thermique correspondant au refroidissement de un degré, par des Pompes à Chaleur (PAC) mettrait à disposition 1 250 MW thermiques. Le concept consiste à faire transiter, par dérivation, de l'eau de la Seine vers des pompes à chaleur (PAC) installées dans les sites à chauffer. Le retour de l'eau à la Seine se faisant avec un faible écart de température, ne modifierait en rien l'équilibre environnemental du fleuve. La chaleur ainsi puisée pourrait servir au chauffage de bâtiments résidentiels ou tertiaires et à la préparation de l'eau chaude sanitaire. Cette technique de production de chaleur, par l'intermédiaire de PAC, est éprouvée depuis de nombreuses années. Ces PAC, dites eau-eau, car elles prennent les calories dans de l'eau et les restituent dans un système de chauffage à eau chaude (le plus répandu) peuvent être mises en œuvre économiquement à Paris.

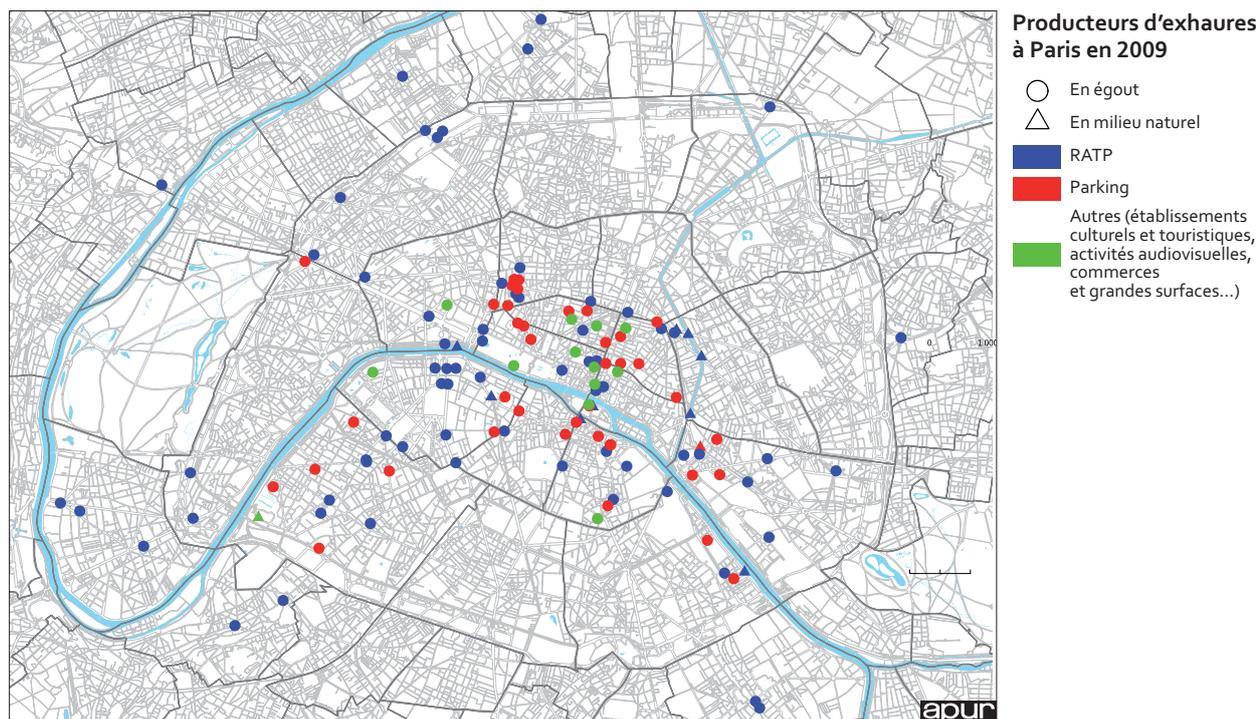
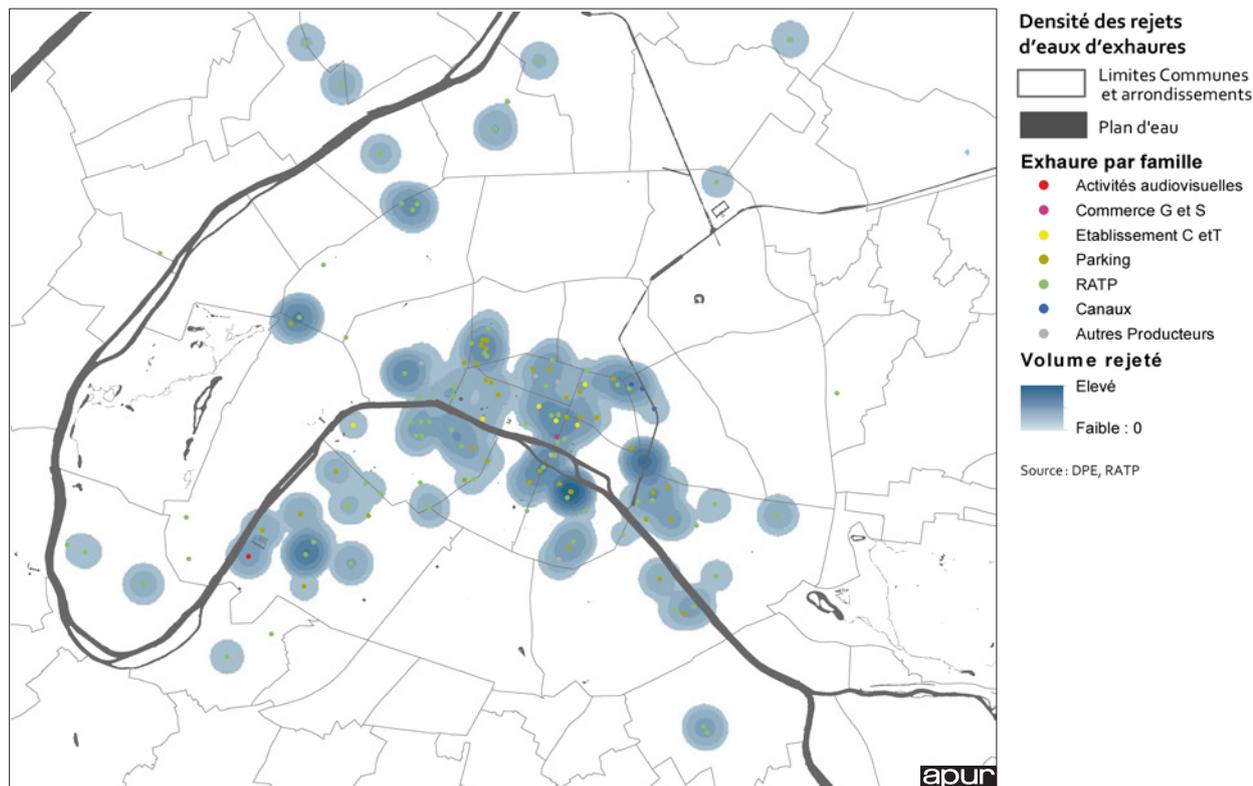
Les eaux grises : Le réseau d'assainissement parisien reçoit les eaux usées et les eaux pluviales, qui sont à une température moyenne comprise entre 12 et 20 °C. Il est possible de récupérer la chaleur de ces effluents pour des besoins de chauffage et d'eau chaude. Une expérimentation a été menée en 2010 et 2011 par la CPCU sur le collecteur de la rue de Wattignies (12^e) en vue d'alimenter le groupe scolaire du même nom. Cette opération a depuis été pérennisée et d'autres opérations ont été mises en place ailleurs ou sont envisagées : la piscine de Levallois-Perret, l'hôtel de Ville de Valenciennes, l'hôtel de la communauté à Bordeaux. Le quartier Boule Ste Geneviève à Nanterre constitue un autre exemple de mise en place du dispositif Degrés bleu® : il permet de chauffer non pas un équipement public mais un quartier de 5 ha (650 logements) grâce à la mise en place d'un réseau de chaleur local de 800 m ; avec 39 % de l'énergie issue de la récupération d'énergie fatale et 14 % de la géothermie de surface, son mix énergétique est de 53 % d'ENR.

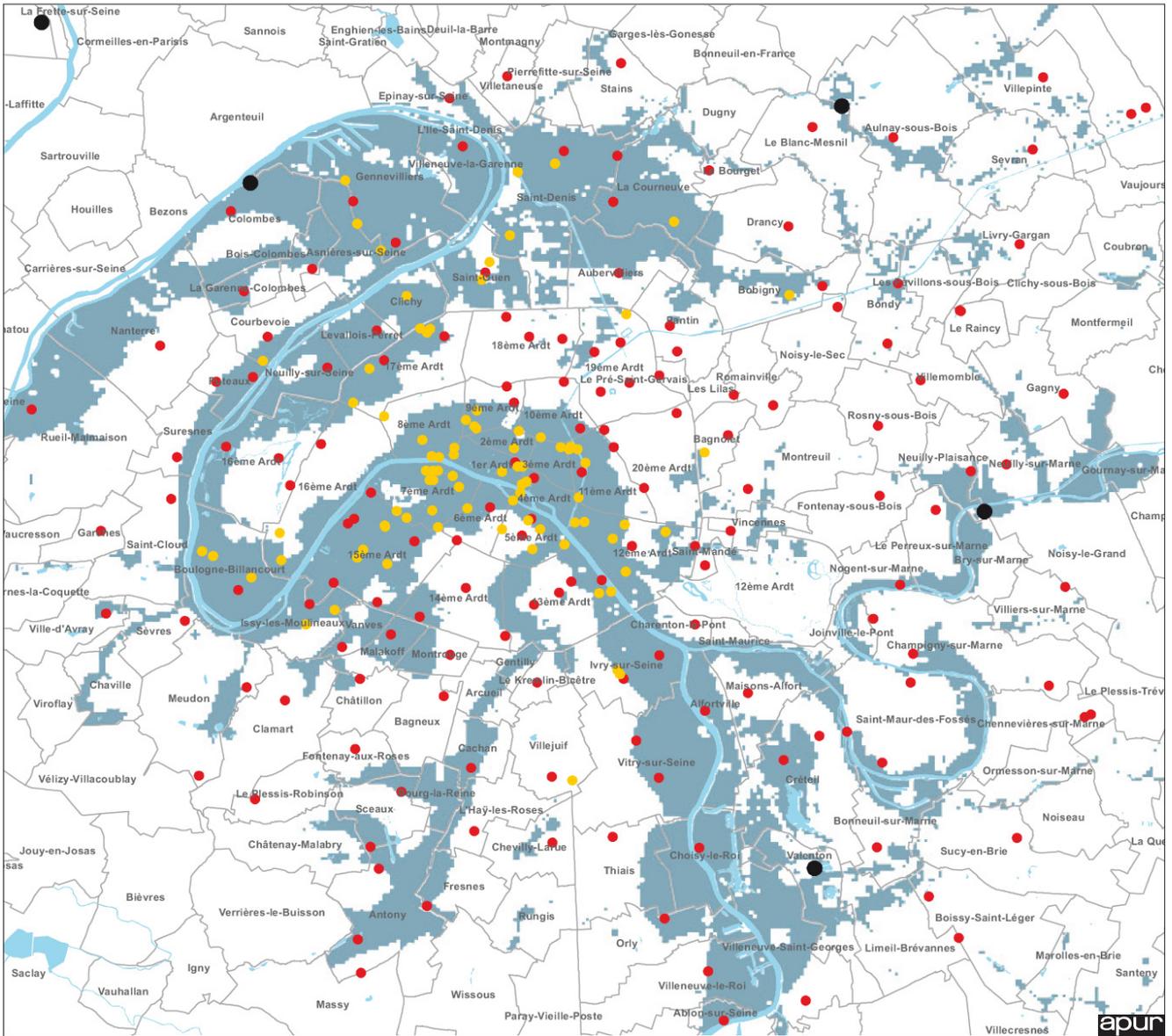
UN CHAUFFAGE ÉCOLOGIQUE À L' ÉCOLE DE LA RUE WATTIGNIES À PARIS (12^e)



Les eaux souterraines : La valorisation de la température des nappes ou géothermie très basse température, qui apporte un complément de chaleur en hiver et un complément de fraîcheur en été est également un axe à développer. À titre d'exemple, la rénovation du cinéma Louxor (10^e arr.) a conduit à un forage dans la nappe du Lutétien (nappe située à 80 mètres de profondeur) permettant de chauffer le bâtiment en hiver et de le refroidir en été.

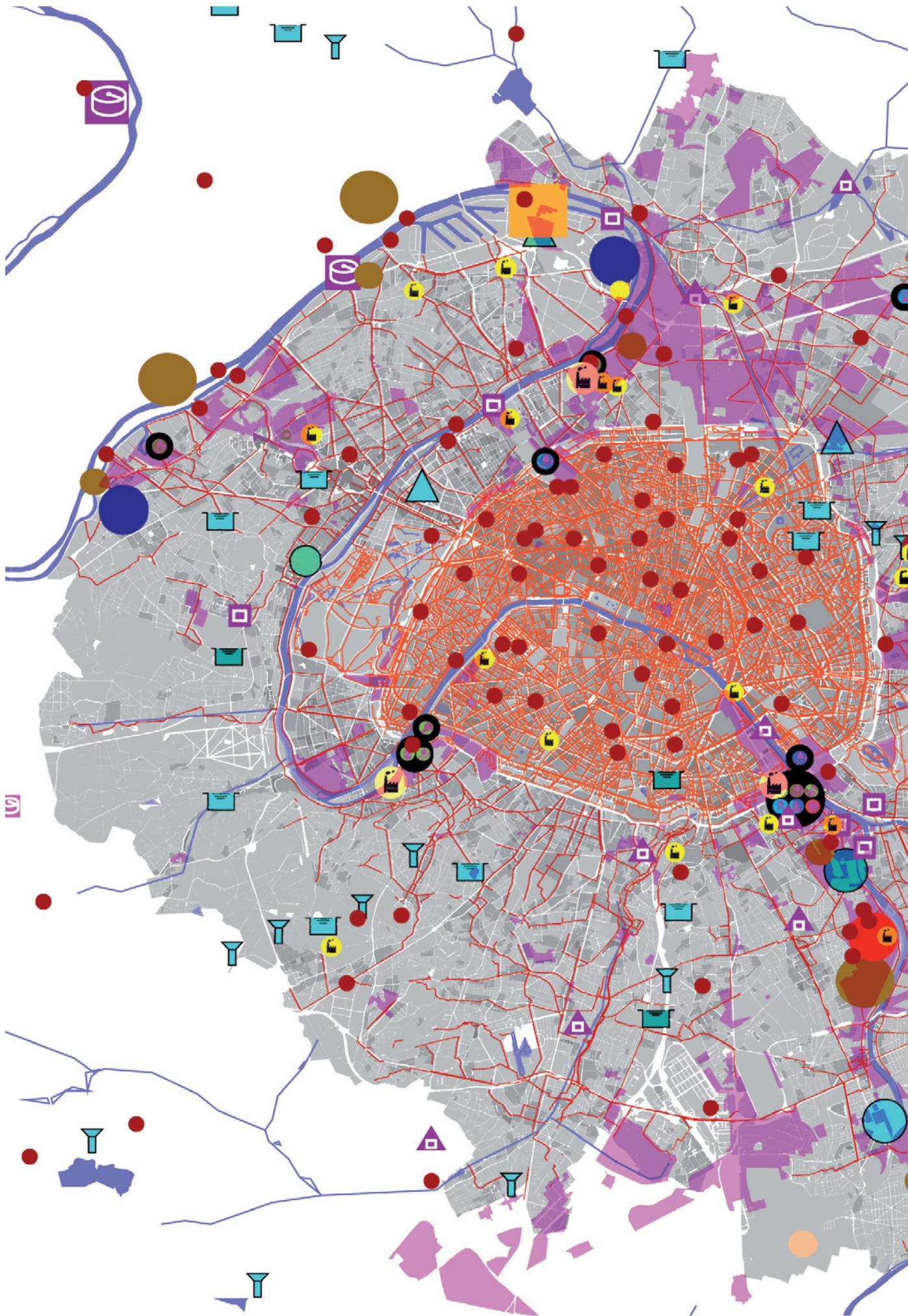
Les eaux d'exhaure : Les eaux d'exhaure représentent à Paris pour la seule RATP 8 millions de m³/an en moyenne dont 6 sont rejetés dans le réseau d'assainissement. L'eau de nappe qui s'infiltré dans les tunnels et bâtiments est une ressource thermique (16 °C) qui peut améliorer les performances énergétiques de groupe froid ou de pompe à chaleur, mais également alimenter le réseau d'eau non potable. Le déchet initial qui partait dans les égouts deviendrait ainsi une double ressource, en soulageant le réseau d'assainissement.





État des ressources en eau brute exploitable sur Paris et la petite couronne

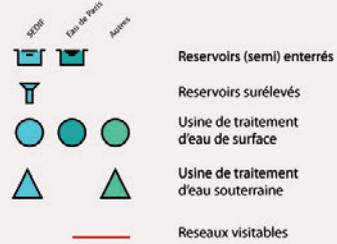
- Piscine municipale
- Exhaures - RATP
- Station d'épuration
- Nappe sub-affleurante



Services urbains Eau et énergie

Adduction d'eau

Ouvrages

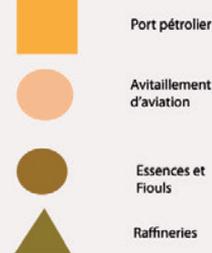


Transport et stockage de gaz en Région Ile de France



Transport et stockage de pétrole en Région Ile de France

Principaux dépôts et gisements
> 100 000 m³ > 50 000 m³

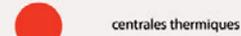


Transport d'électricité en Région Ile de France

Postes



Centrales Thermiques



SIAAP



Chauffage urbain



Syctom

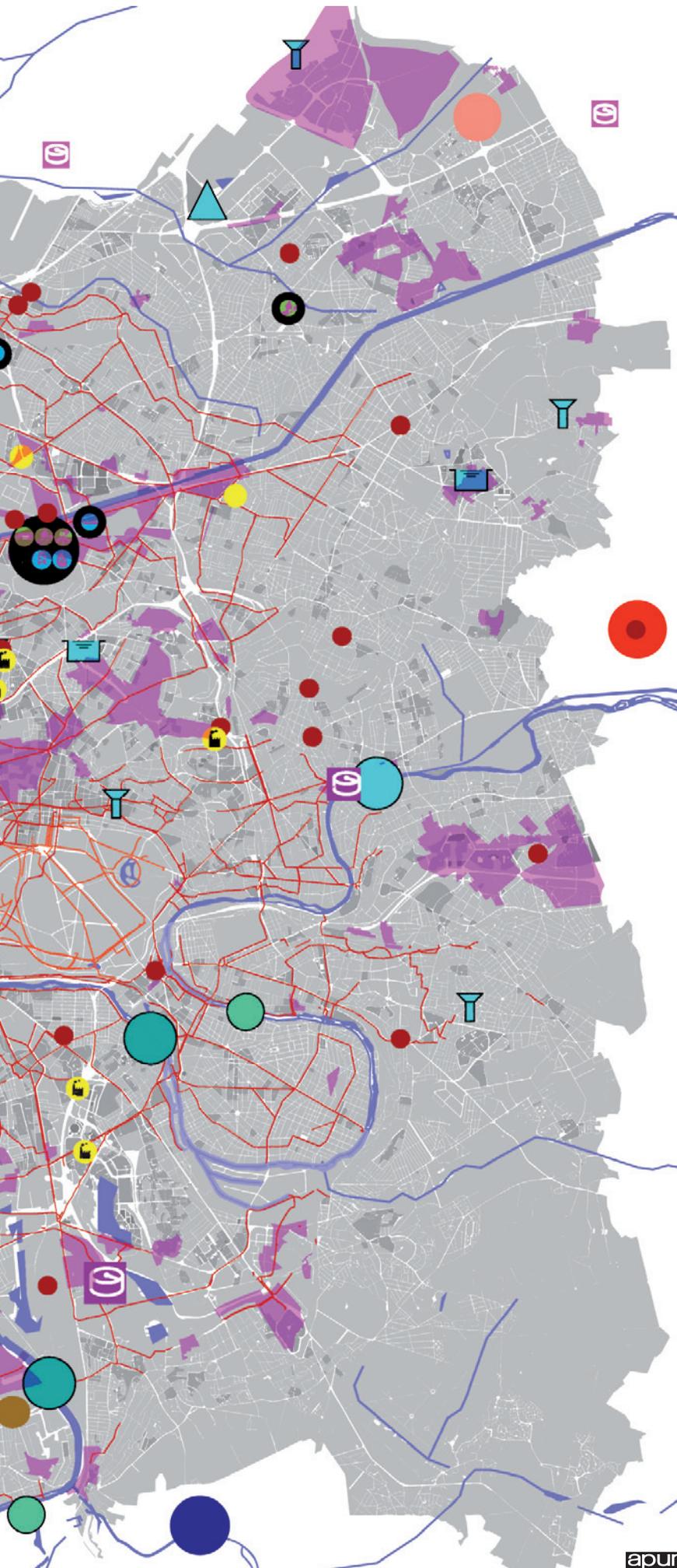
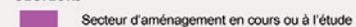
Centre existant



En projet



SECTEURS



L'eau non potable offre des solutions microclimatiques. L'utilisation de l'eau pour rafraîchir l'air ambiant par arrosage permet de lutter contre les îlots de chaleur, voire réduire la présence de polluants fait également l'objet d'études.

Les eaux de retour du chauffage urbain qui sont pour partie rejetées dans le réseau d'assainissement constituent aussi un double enjeu important en termes de ressources cachées. Si l'intérêt premier consiste à limiter au maximum les pertes d'eaux pour toutes les compagnies de chauffage urbain, une autre exploitation de ces eaux peut néanmoins être imaginée. D'une part, c'est une ressource en eau qui pourrait être exploitée différemment et, par exemple, injectées dans le système d'eau

non potable quand il existe; d'autre part, c'est une eau chaude (55° dans le cas parisien), dont les calories doivent être récupérées avant d'être déversées dans un autre réseau, leur potentiel énergétique étant particulièrement fort.

Enfin, de nombreuses autres pistes peuvent permettre d'exploiter davantage et mieux le potentiel énergétique de l'eau: aller vers une meilleure complémentarité entre la production de chaleur et de froid comme le montre l'expérimentation en cours à l'hôtel de Ville de Paris, ou encore utiliser l'eau comme réservoir énergétique tout en veillant à ne pas bouleverser les milieux aquatiques par une modification importante de la température de l'eau.

Améliorer le bien-être en ville en période de fortes chaleurs



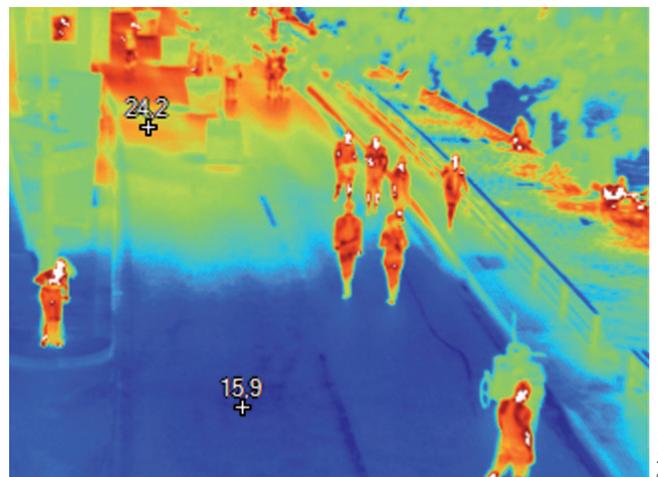
Rafraîchir avec l'eau, Takayama, Japon



© Apur

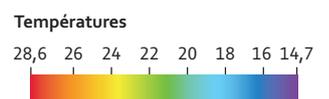


Chaussée mi-mouillée, mi-sèche...



et cliché infra-rouge montrant les températures du sol

© Apur



SOURCES D'ÉNERGIE LOCALISÉES

Il s'agit ici d'aborder la question de la production et de l'utilisation d'énergie renouvelable ou de récupération à petite ou moyenne échelle, ou très locale : récupération de chaleur sur les data-centers, solaire thermique ou photovoltaïques, biomasse, pompes à chaleur, géothermie très basse température sur sol ou sur nappe superficielle... car l'élaboration d'un PLU thermique repose sur l'identification, l'inventaire, et la prise en compte de préconisations d'usages concernant ces ressources localisées. La finalité, outre leur exploitation, consiste à être en adéquation avec les consommations identifiées alentours.

LA GÉOTHERMIE

La géothermie peut exploiter la chaleur contenue dans des aquifères profonds comme le Dogger à environ 1 200 mètres ou intermédiaires comme l'Albien à environ 600 mètres. L'eau est alors suffisamment chaude pour assurer directement le chauffage de bâtiments ou d'équipements (c'était le cas par exemple de la piscine de la Butte aux Cailles à Paris chauffée par un forage dans l'Albien). L'eau chaude pompée dans la nappe est renvoyée une fois refroidie dans un autre forage situé un peu plus loin

pour recharger la nappe. L'Ile-de-France est une des régions les plus riches de France en matière de potentiel de géothermie à moyenne ou grande profondeur, notamment dans la moitié est du cœur de métropole.

Mais les limites de ce type de géothermie sont doubles :

- d'une part la puissance fournie par ces forages est très importante, ce qui suppose une concentration des bâtiments à chauffer. Ce type de géothermie n'est rentable que pour la zone dense de la Métropole, ou pour des grands équipements comme l'aéroport d'Orly, d'ailleurs alimenté en chaleur par ce procédé ;
- d'autre part le périmètre d'influence d'un forage est important : aucun autre pompage d'eau chaude n'est possible autour de lui dans un rayon d'en moyenne de 1,5 km.

En 2013, la région compte 36 installations géothermiques profondes, ce qui correspond à 187 000 équivalents logements desservis. L'aquifère du Dogger est relativement bien connu car exploité depuis des décennies. Les autres aquifères intermédiaires et profondes le sont moins mais pourrait être de réelles alternatives à l'exploitation parfois excessive du Dogger dans certaines zones. La plupart de ces opérations sur le Dogger ont été conçues il y a une trentaine d'années et sont en renouvellement depuis 2008.



Solaire thermique



Solaire photovoltaïque

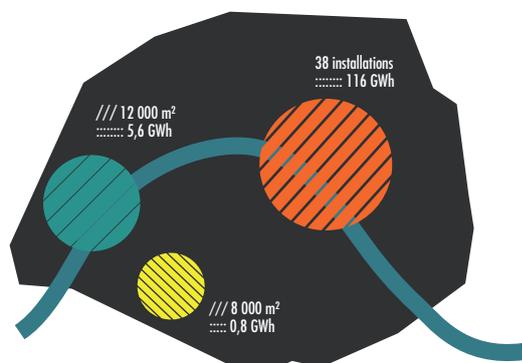


Géothermie

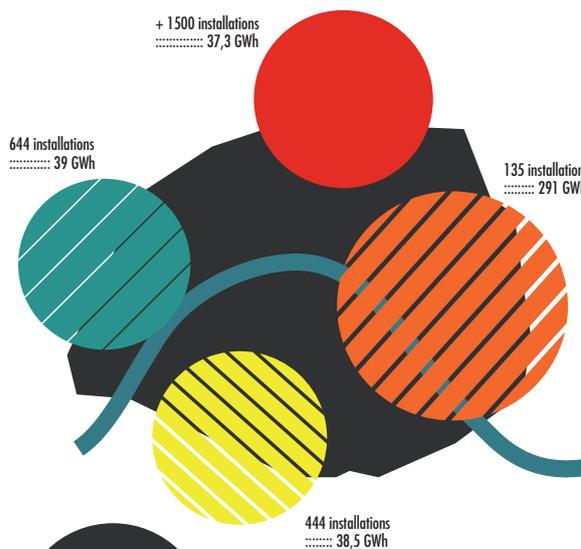


Récupération de chaleur

POTENTIEL DE PRODUCTION D'ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DE RÉCUPÉRATION (ENR²) À PARIS



2009



2020

Un autre type de géothermie existe et commence à peine à se développer, il s'agit de la **géothermie de surface** dite aussi de **très basse température**. Au-delà de quelques mètres de profondeur, le sol est à une température constante tout au long de l'année (12 à 14 °C en Ile-de-France). Le principe de la géothermie de surface est de récupérer cette chaleur constante par une circulation d'eau glycolée dans un forage descendant au maximum à 100 mètres de profondeur. La présence d'une nappe phréatique n'est pas indispensable. La température de l'eau glycolée est ensuite élevée autour de 30 °C en fonction des besoins par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur et la chaleur est diffusée à travers des planchers ou des murs chauffants. Par rapport à une pompe à chaleur prenant son énergie sur l'air extérieur, l'avantage est double :

- le coefficient de performance de la pompe à chaleur (rapport entre l'énergie dépensée et celle fournie) est de l'ordre de 5 dans le cas de la géothermie de surface et il reste constant tout au long de l'année alors qu'il est inférieur à 2 pour une pompe à chaleur sur l'air extérieur pendant les périodes les plus froides ;
 - la géothermie de surface assure en été un rafraîchissement quasi gratuit des bâtiments, la pompe à chaleur étant désactivée, seule une pompe fonctionnant pour faire circuler l'eau.
- Enfin ce type de géothermie peut se combiner avantageusement avec les fondations des bâtiments lorsque celles-ci nécessitent la présence de micropieux : il suffit alors d'insérer une boucle d'eau chaude dans l'armature de ceux-ci avant de couler le béton. Le périmètre d'influence de ce type de géothermie est très limité : un forage est possible tous les 10 mètres, et cette technique peut convenir à la fois à l'habitat individuel comme au collectif, ainsi qu'à des équipements. Dans les conditions climatiques de l'Ile-de-France, un forage à 100 mètres permet, couplé à une pompe à chaleur, d'assurer le chauffage d'environ 100 m² de bâtiment.

L'AVENIR DE LA GÉOTHERMIE EN ILE-DE-FRANCE

En Ile-de-France l'avenir à court terme semble tendre vers une optimisation de l'utilisation du Dogger et des réseaux de chaleur tout en continuant à développer le système de PAC sur aquifère superficiel en donnant la priorité aux logements individuels. Cependant, la géothermie ne se limite pas à ces types d'opérations, des systèmes innovants ou simplement peu développés jusqu'à aujourd'hui commencent à voir le jour :

- La géothermie sur roches chaudes fracturées avec notamment le projet de Sultz-sous-Forêts issu d'une association France-Allemagne en 1987.
- Le captage et stockage de CO₂, cela consiste à réinjecter le gaz carbonique issu des activités industrielles dans les aquifères profonds sous forme liquide.
- La multiplication de systèmes hybrides en associant la géothermie à d'autres ENR ou énergies fossiles.

Il ressort que l'enjeu principal pour la région est de promouvoir la filière géothermie sous toutes ses formes tout en veillant à préserver la ressource, superficielle ou profonde. La conjoncture actuelle semble favorable à une installation durable de la géothermie dans le paysage énergétique de la région. La présence d'un réseau de chaleur conséquent, de gisements géologiques forts associés aux objectifs de réduction d'émission de gaz à effet de serre sont autant d'éléments favorables à son développement.

LES POMPES À CHALEUR

La présence d'aquifères superficiels est reconnue de tous. Il peut exister jusque trois aquifères superposés entre 0 et 120 m de profondeur dans certaines zones.

Fin 2010, on dénombre 100 installations de PAC sur aquifères superficiels et sur champs de sondes dans le résidentiel collectif et tertiaire. Une forte croissance est à prévoir dans les années à venir, c'est pourquoi une typologie des bâtiments et un guide de mise en œuvre semble indispensable pour un développement cohérent et optimal. En effet, cette forme de géothermie émergeant depuis seulement une dizaine d'années, la quantité de retours d'expériences sur lesquels s'appuyer n'est pas encore conséquente. Il s'agit pourtant d'une énergie renouvelable très prometteuse ayant un coût global faible au regard des autres énergies.

LES DATA CENTERS

En 2011, les 99 Data Centers français représentaient 7 % de la consommation d'électricité de l'hexagone. Cela représente un flux considérable d'énergie valorisable localement. La région Ile-de-France (37 Data Centers) et plus particulièrement la Seine-Saint-Denis accueillent une forte concentration de Data Centers, la plaine Saint-Denis représentant la première concentration d'Europe.

Un Data Center a une durée de vie de 20 ans. Un Data Center de 10 000 m² consomme autant d'électricité qu'une ville de 50 000 habitants. Dès lors, la question de la valorisation de la chaleur fatale de ces entités semble alors essentielle et nécessaire.

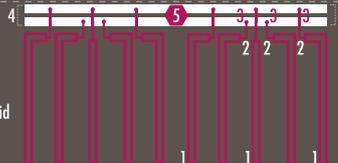
Plusieurs projets de valorisation énergétique de ces Data Centers existent. Parmi ceux-ci, le projet de Marne-la-vallée de Data Center d'un groupe bancaire, combiné à la mise en place d'un réseau de chaleur de 4 km offrira à terme une puissance de 26 GWh/an à une potentiel de 600 000 m² raccordable. Le principe repose sur un fonctionnement analogue à celui des pompes à chaleur des réfrigérateurs domestiques : l'air chaud, rejeté à l'extérieur, passe sur des échangeurs thermiques qui restituent les calories à une boucle d'eau chaude à 55°. Celle-ci, reliée à une centrale énergétique où ces calories sont transmises au réseau de chaleur.

GÉOTHERMIE TRÈS BASSE TEMPÉRATURE

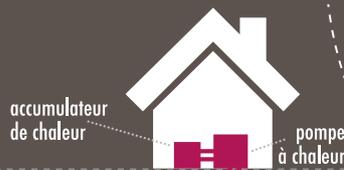
LES PIEUX ÉNERGÉTIQUES



- 1 :: pieux énergétiques
- 2 :: conduites de connexion aux pieux
- 3 :: collecteur des connexions aux pieux
- 4 :: conduite principale
- 5 :: centrale de production de chaud/froid

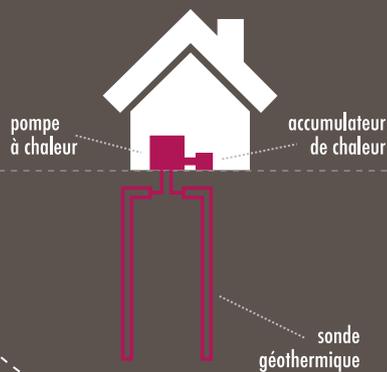


LES CAPTEURS HORIZONTAUX



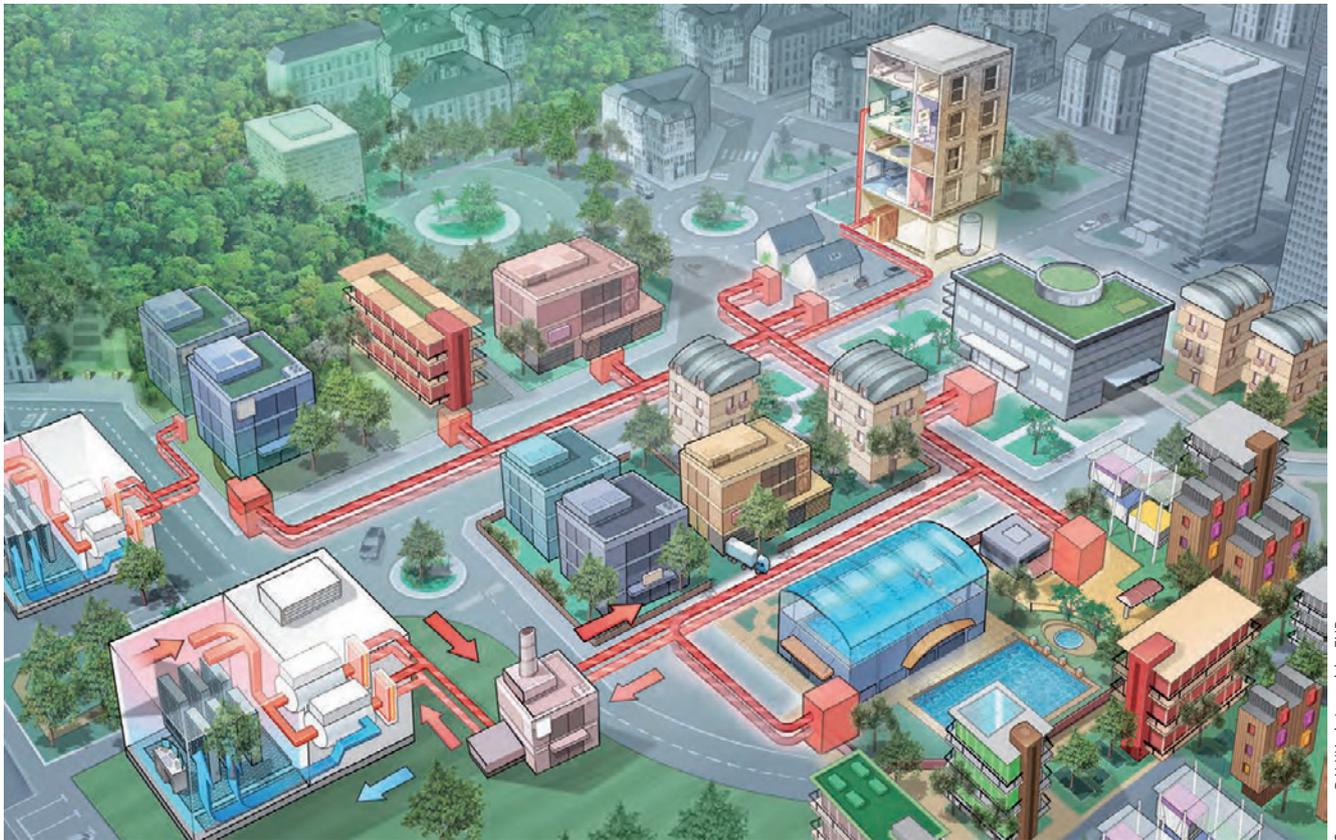
nappe de tubes

LES CAPTEURS VERTICAUX



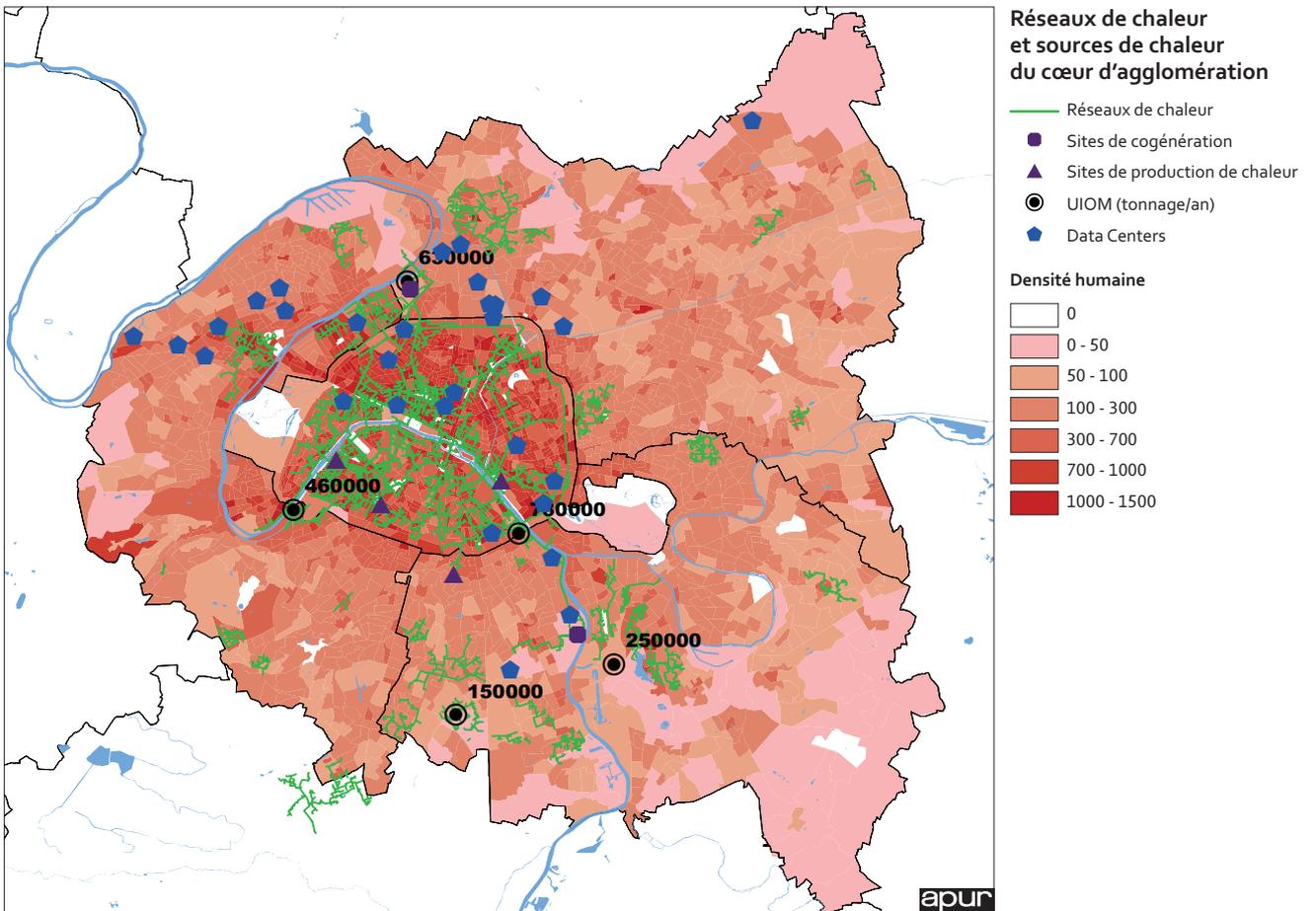
GÉOTHERMIE SUR AQUIFÈRE GRANDE PROFONDEUR





Récupération d'énergie sur Data Center

Source : DALKIA - le Journal des ENR



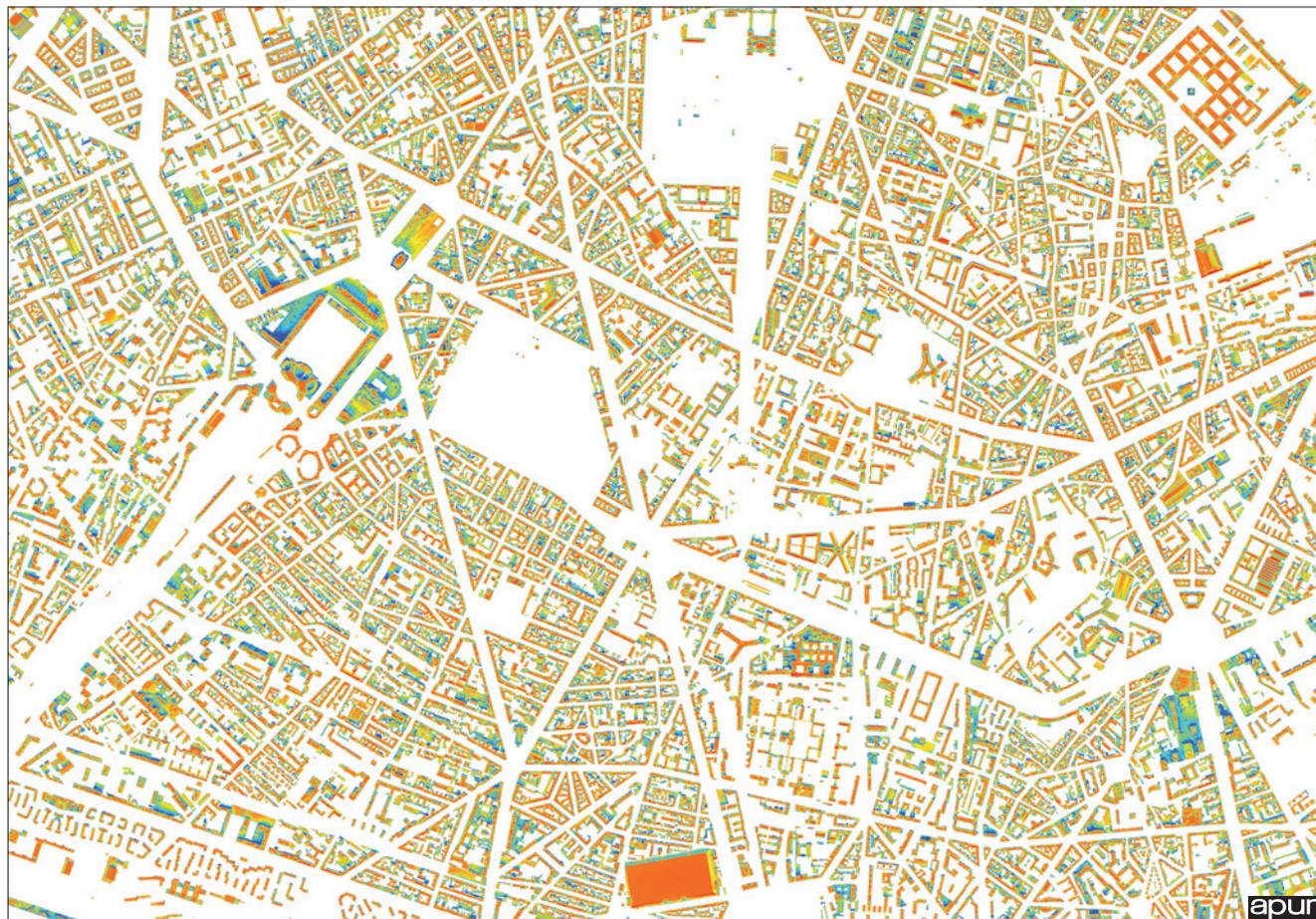
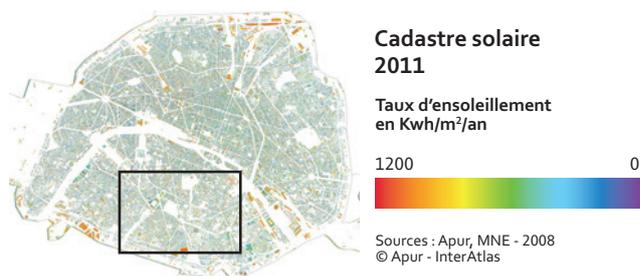
Un travail de recensement précis des Data Centers est actuellement en cours. Néanmoins, la carte des localisations de Data Centers connus montrent tout l'intérêt que les Data Centers peuvent apporter via l'utilisation de réseaux locaux de chaleur, certains d'entre eux étant localisés dans des secteurs à occupation dense (habitat et emploi).

LE POTENTIEL SOLAIRE

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. 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). Le solaire est également particulièrement adapté à l'habitat individuel (on évite les problèmes liés à la gestion des copropriétés).

Les pistes d'action possibles pour approfondir le potentiel solaire concerne l'extension à la petite couronne du cadastre solaire réalisé sur Paris dans le cadre du projet européen POLIS. La communauté d'agglomération Grand Paris Seine-Ouest a d'ores et déjà réalisé le cadastre solaire sur son territoire.

La réalisation à partir de ces cadastres solaires de cartographies au pixel INSEE (200 m x 200 m) du potentiel cumulé au pixel pour les toitures présentant un potentiel supérieur à 800 ou 1 000 kWh/m²/an combinée à l'étude typologique selon la forme des toitures (terrasses, Mansart, autres...) et la nature des bâtiments (bailleur, copropriétés...) et lorsque l'information est connue de la nature du chauffage, du type optimal d'utilisation de l'énergie solaire (thermique, photovoltaïque, renvoyé sur le réseau ou consommé sur place) permettra d'affiner une stratégie territoriale de déploiement de l'exploitation du solaire.



Le cadastre solaire de Paris, réalisé par l'Apur, 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 donnant pour chaque bâtiment les surfaces de toitures présentant un ensoleillement inférieur à 700 kWh/m²/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.



© Apur — David Bourreau

Point de vue sur la Halle Pajol avec la centrale photovoltaïque installée sur le toit, architecte Françoise-Hélène Jourda

LA BIOMASSE

La biomasse est largement sous-exploitée en Ile-de-France. Son utilisation peut être collective à travers des réseaux de chaleur, ou individuelle à travers des cheminées. Dans les deux cas, la condition indispensable est la limitation de l'émission de particules fines très pénalisantes pour la santé publique. Pour y parvenir, le SRCAE interdit dans la zone dense de l'agglomération les foyers ouverts et préconise le remplacement des foyers ouverts existants par des inserts ou des foyers fermés.

Le développement de la filière bois-énergie en milieu dense représente un véritable enjeu pour la région Ile-de-France. Cela nécessite une structuration intelligente de la filière bois (création d'emplois non délocalisables) en prenant en compte l'ensemble de la chaîne considérée en particulier le poste de transport.

LES BÂTIMENTS À ÉNERGIE POSITIVE

Un bâtiment à énergie positive est un bâtiment qui produit plus d'énergie qu'il n'en consomme pour son fonctionnement. C'est généralement un bâtiment passif très performant et fortement équipé en moyens de production d'énergie par rapport à ses besoins en énergie. Les toits, murs, voire les fenêtres ou d'autres éléments (verrières de véranda ou balcons, murs d'enceinte, fondations, etc.) peuvent être mis à profit pour accumuler et restituer de la chaleur ou produire de l'électricité. Le caractère excédentaire en énergie (« positif ») est permis par des principes constructifs et bioclimatiques, mais aussi par le comportement des usagers (gestion efficace des usages, des consommations de l'électroménager et de l'informatique, de la mobilité...).

À Paris, l'immeuble de logements social de la RIVP de la rue Guénot (11^e), livré en février 2013, s'inscrit dans ce cahier des charges (1 435 m² en 17 appartements familiaux) La toiture est une véritable source d'énergie : apport de lumière (verrière + photovoltaïques transparents), production d'eau chaude (panneaux solaires), production d'électricité (photovoltaïques) pour répondre ainsi aux exigences du Plan Climat adopté par la Ville de Paris soit < 50 kWh/m²/an.



Pour produire plus d'énergie qu'il n'en consomme, ce bâtiment très compact (Paris 11^e) de 17 logements sociaux, met en œuvre traitement des ponts thermiques, isolants épais, capteurs solaires thermiques et photovoltaïques. RIVP maître d'ouvrage, Baudouin Bergeron architectes.

Morphologie des bâtiments

Types de bâtiments

- Emprise bâti de 3 à 190 m²
hauteur < 10 m
- Emprise bâti de 190 à 500 m²
hauteur < 10 m
- Emprise bâti de 500 à 1000 m²
hauteur < 10 m
- Emprise bâti < 1000 m²
hauteur de 10 à 37 m
- Emprise bâti > 1000 m²
hauteur < 20 m
- Emprise bâti > 1000 m²
hauteur de 20 à 37 m
- Hauteur > 37 m

Sources : Apur -
Emprises du bâti : CG 92, 93, 94
MNT, MNE - 2008 - © Apur - InterAtlas



La typologie des formes urbaines est un critère clé pour l'établissement du « PLU thermique ». Les solutions préconisées seront en effet très différentes en tissus pavillonnaires (solutions locales), dans les grands ensembles (propices aux réseaux de chaleur) ou dans les tissus industriels (les grandes toitures accueillent facilement du solaire).

