

ETUDE DE FAISABILITE SUR LE POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT EN ENERGIES  
RENOUVELABLES POUR LA SAINT-VINCENT-DE-PAUL A PARIS

----  
RAPPORT FINAL

27 Mai 2016

**climatmundi**

*Version/date du rapport : V4 du 27/05/16*

*Rédaction : Jean-Luc MANCEAU*

## SOMMAIRE

<b>RESUME NON TECHNIQUE.....</b>	<b>3</b>
<b>CONTRIBUTION DE CLIMAT MONDI POUR LA PARTIE « ETAT INITIAL ».....</b>	<b>4</b>
1. CONTEXTE ET ENJEUX.....	4
I. <i>Contraintes et obligations réglementaires.....</i>	4
II. <i>Enjeux liés à la consommation d'énergie.....</i>	4
2. SPECIFICATIONS ENERGETIQUES.....	6
I. <i>Prescriptions de la réglementation thermique RT 2012.....</i>	6
II. <i>Prise en compte du Plan Climat Energie de la ville de Paris.....</i>	7
III. <i>Des bâtiments à énergie positive en préfiguration de la RT 2020.....</i>	8
IV. <i>Prise en compte du SRCAE Ile de France.....</i>	9
3. PERIMETRE DE L'ETUDE ET SITUATION ENERGETIQUE EXISTANTE.....	15
I. <i>Périmètre de l'étude.....</i>	15
II. <i>Situation énergétique existante.....</i>	15
4. CONCLUSION.....	18
<b>CONTRIBUTION DE CLIMAT MONDI POUR LA PARTIE « ANALYSE DES IMPACTS ET MESURES ASSOCIEES ».....</b>	<b>20</b>
1. AMBITIONS DU PROJET.....	20
I. <i>Spécifications énergétiques retenues.....</i>	20
II. <i>Autres choix techniques envisageables.....</i>	22
2. BESOINS ENERGETIQUES.....	24
3. PREMIER INVENTAIRE DES GISEMENTS D'ENERGIES RENOUVELABLES ET DES POSSIBILITES TECHNIQUES ADAPTEES AU CONTEXTE.....	25
I. <i>Raccordement au réseau de chauffage urbain.....</i>	26
II. <i>Solutions pour le rafraîchissement des bâtiments.....</i>	26
III. <i>Combustion du bois.....</i>	27
IV. <i>Utilisation des toitures pour récupérer l'énergie solaire.....</i>	28
V. <i>Utilisation de l'énergie éolienne.....</i>	33
VI. <i>Utilisation de la géothermie.....</i>	36
VII. <i>Récupération de la chaleur des eaux usées.....</i>	42
I. <i>Potentiel total de production d'énergie renouvelable ou de récupération.....</i>	42
4. ANALYSE DE PLUSIEURS SCENARIOS D'ENERGIE RENOUVELABLE ET DE RACCORDEMENT A UN RESEAU.....	43
I. <i>Préambule.....</i>	43
II. <i>Les différents scénarios.....</i>	43
III. <i>Production d'énergie solaire.....</i>	45
IV. <i>Résultats de l'étude technique.....</i>	45
V. <i>Conclusion.....</i>	46
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>47</b>

## RESUME NON TECHNIQUE

La présente étude de potentiel en énergies renouvelables de la ZAC Saint-Vincent-de-Paul permet de mettre en valeur les différentes énergies renouvelables disponibles, leur potentiel, et de les confronter aux besoins futurs de consommation de la ZAC.

Les enjeux du changement climatique et de la raréfaction des ressources d'énergies fossiles au niveau planétaire se traduisent en objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de consommation d'énergie mais aussi d'augmentation de la part des énergies renouvelables et de récupération dans les consommations d'énergie.

Ces objectifs figurent sous différentes formes dans les textes européens (directive des 3 x 20), les lois françaises (loi POPE, lois Grenelle 1 et 2, loi de Transition Energétique), au niveau régional dans le SRCAE (Schéma Régional Climat Air Energie) et plus localement dans le Plan Climat de la ville de Paris.

La ZAC Saint-Vincent-de-Paul s'inscrit donc dans ces contraintes et devra présenter des caractéristiques exemplaires tant au niveau des caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments, que du recours à des sources d'énergie peu émissives de gaz à effet de serre : **raccordement au réseau de chauffage urbain géré par la CPCU** (Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain), recours aux énergies renouvelables comme le **solaire thermique** et le **solaire photovoltaïque** mais aussi à la **récupération de chaleur sur les eaux usées**. A défaut de pouvoir raccorder la ZAC au réseau de distribution de chaleur de la ville de Paris, la géothermie avec sondes géothermiques verticales et pieux géothermiques couplés avec des dispositifs de type pompes à chaleur au gaz ou à l'électricité pourrait être envisagée mais en tenant compte de lourdes contraintes liées au sous-sol parisien. L'étude d'implantation de sources d'énergies renouvelables, en particulier solaire en toiture, devra prendre en compte les prescriptions du Plan Local de l'Urbanisme de Paris et, surtout, les contraintes de proximité des bâtiments historiques exprimées par les Architectes des Bâtiments de France (ABF).

Compte tenu de la situation de la ZAC au cœur de Paris, desservi par un réseau de chauffage urbain performant, la situation à privilégier est le raccordement au réseau de chauffage urbain complété par des apports solaires thermiques et photovoltaïques et, éventuellement, la récupération d'énergie sur les eaux usées. Toutefois, cette situation a été comparée à deux autres scénarios. Le premier est celui de la facilité utilisant une chaudière à condensation au gaz dans chacun des nouveaux bâtiments avec un complément d'énergie solaire thermique pour l'eau chaude sanitaire et des capteurs solaires photovoltaïques pour produire de l'électricité et la récupération d'énergie sur les eaux usées. Le second, très volontariste du point de vue environnemental, ferait intervenir l'énergie géothermique en utilisant la technique des pieux géothermiques et des sondes géothermiques verticales. Ce scénario présente l'inconvénient d'être le plus onéreux. De plus, il se heurte à de fortes contraintes inhérentes à la nature du sous-sol (présence de carrières).

Pour la fourniture de froid, compte tenu de l'éloignement du réseau urbain de froid Climespace, il conviendra de privilégier, dès la conception bioclimatique des bâtiments destinées aux activités économiques, une minimisation du recours à la climatisation.

Ces premiers scénarios, envisagés de manière globale sur le projet, doivent être considérés comme une première approche. Ils devront être affinés par des études technico-économiques plus approfondies portant sur chacun des îlots, voire des bâtiments. Ces études devront en particulier intégrer dès la conception des bâtiments le raccordement au réseau CPCU ainsi que la récupération de chaleur sur les eaux usées.

## CONTRIBUTION DE CLIMAT MUNDI POUR LA PARTIE « ETAT INITIAL »

### 1. CONTEXTE ET ENJEUX

#### I. CONTRAINTES ET OBLIGATIONS REGLEMENTAIRES

Le Cadre légal du volet climat énergie de la présente étude est l'article L128-4 du code de l'urbanisme institué par l'article 8 de la loi dite « Grenelle 1 » :

« Toute action ou opération d'aménagement telle que définie à l'article L. 300-1 et faisant l'objet d'une étude d'impact doit faire l'objet d'une étude de faisabilité sur le potentiel de développement en énergies renouvelables de la zone, en particulier sur l'opportunité de la création ou du raccordement à un réseau de chaleur ou de froid ayant recours aux énergies renouvelables et de récupération. »

Réalisée dans le cadre de l'étude d'impact, il s'agit de mener une réflexion qui dépasse l'échelle du bâtiment et d'adopter un regard global, c'est-à-dire à l'échelle de l'opération mais aussi, selon les énergies étudiées, sur un périmètre plus élargi.

L'intégration de cette démarche en amont, dès l'étude d'impact est particulièrement pertinente car elle va permettre une meilleure prise en compte des énergies renouvelables et de récupération en phase opérationnelle, leur faisabilité ayant été étudiée au préalable.

Aucune des énergies ne doit être privilégiée, en conséquence, chaque énergie renouvelable doit faire l'objet d'une étude. Il s'agit bien en effet d'établir un inventaire objectif et exhaustif de toutes les pistes possibles. C'est suite à ce travail que le maître d'ouvrage sera amené à faire des choix quant aux énergies renouvelables et de récupération à privilégier dans le projet.

L'étude sur les énergies renouvelables et de récupération constitue un volet essentiel d'un projet d'aménagement. Elle va permettre d'alimenter le projet urbain dès sa conception. C'est pourquoi cette étude nécessite une forte collaboration entre le bureau d'études en charge de l'étude d'impact et l'organisme missionné pour l'élaboration de l'opération.

#### II. ENJEUX LIES A LA CONSOMMATION D'ENERGIE

L'humanité vit avec la double contrainte de diminuer ses émissions de gaz à effet de serre pour limiter l'ampleur des changements climatiques et de réduire ses consommations d'énergie dont la quasi-totalité repose sur des sources d'énergie présentes en quantité limitée sur la planète (énergies de stock : fossiles et nucléaire). Les deux problématiques sont liées par le fait qu'au niveau mondial environ 75% des émissions de gaz à effet de serre sont dues à la combustion de sources d'énergies fossiles.

Dès 2005, la France a inscrit dans la loi POPE (loi 2005-781 du 13 juillet 2005 – Loi de programme fixant les orientations de politique énergétique), la nécessité de diviser par 4 ses émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2050 en les diminuant de 3% chaque année.

En 2008, la directive européenne des 3 x 20 préconise :

- De faire passer la part des énergies renouvelables dans le mix énergétique européen à 20 % ;
- De réduire les émissions de CO<sub>2</sub> des pays de l'Union de 20 % ;
- D'accroître l'efficacité énergétique de 20 % d'ici à 2020.

La France s'est fixé un objectif plus ambitieux que l'objectif européen en se fixant un objectif de 23% de la consommation énergétique finale couvert par les énergies renouvelables (cf. art. 2 de la loi 2009-967 dite « Grenelle 1 » du 03/08/09).

Plus récemment, dans la loi portant sur la transition énergétique pour la croissance verte, des objectifs sont fixés aux horizons 2030 et 2050 pour la France :

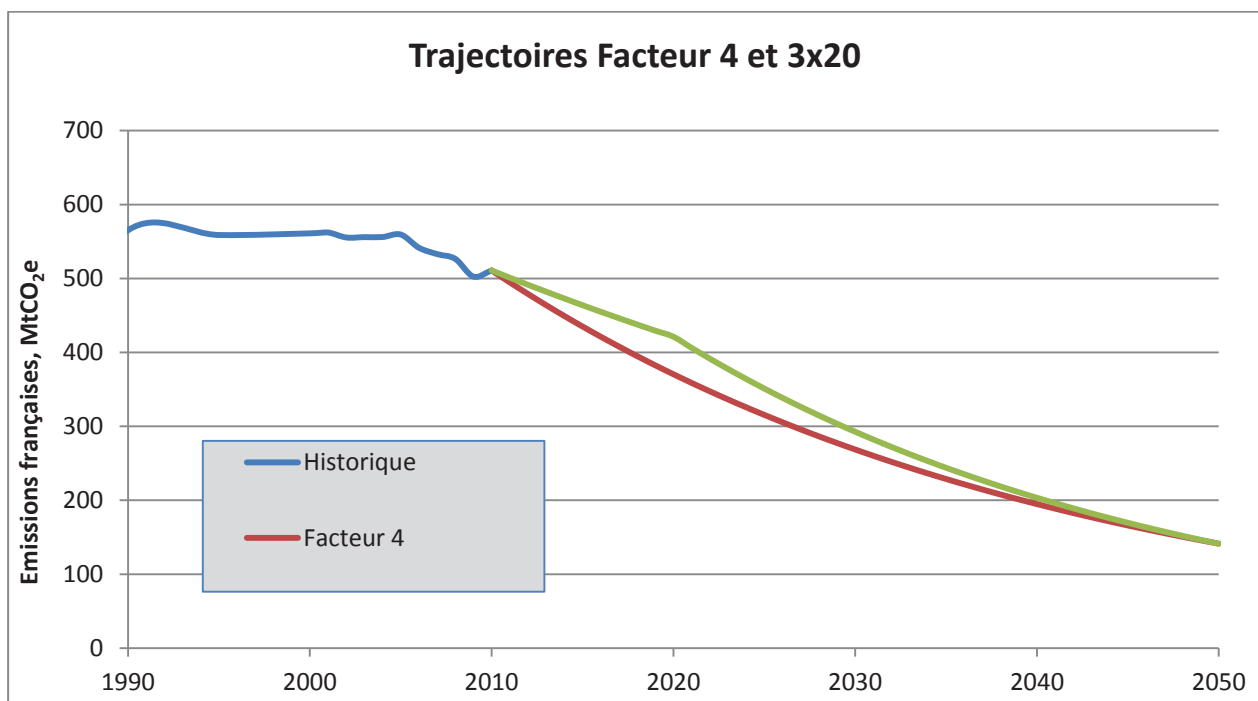
- -40 % d'émissions de gaz à effet de serre en 2030 par rapport à 1990 ;
- -30 % de consommation d'énergies fossiles en 2030 par rapport à 2012 ;
- Porter la part des énergies renouvelables à 32 % de la consommation finale d'énergie en 2030 et à 40 % de la production d'électricité ;
- Réduire la consommation énergétique finale de 50 % en 2050 par rapport à 2012.

Avec ces différents textes, il s'agit donc bien de réduire les émissions de gaz à effet de serre, à la fois en réduisant nos consommations d'énergie et en transférant progressivement nos consommations vers des sources d'énergies renouvelables et de récupération.

Fournies par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées ou encore la croissance des végétaux, les énergies renouvelables qui sont des énergies de flux (elles ne puisent pas dans des stocks limités mais utilisent les flux d'énergie liées à l'activité solaire) n'engendrent pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes. Elles participent donc à la lutte contre l'effet de serre et les rejets de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère, facilitent la gestion raisonnée des ressources locales et génèrent des emplois.

Les énergies de récupération, quant à elles, utilisent la chaleur fatale issue de la combustion des déchets, le biogaz émis par la fermentation des déchets fermentescibles ou encore la chaleur issue des eaux usées.

**Figure 1 : Trajectoires « facteur 4 » et « 3 x 20 » pour la France**



**Synthèse :** Depuis la loi POPE (politiques énergétiques) en 2005, jusqu'à la loi portant sur la transition énergétique pour la croissance verte adoptée le 18/08/2015, en passant par les lois issues du Grenelle de l'environnement (2010 et 2011), la législation française a concrétisé de manière de plus en plus opérationnelle les enjeux de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de diminution de la

consommation des ressources d'énergies fossiles (énergies de stock) par des objectifs au niveau national comme au niveau de la réalisation des projets d'aménagement.

La présente étude, rendue obligatoire par la loi Grenelle 1, a pour objectif d'établir des préconisations et de dresser les premiers scénarios de faisabilité faisant intervenir des énergies renouvelables et de récupération (énergies de flux) pour répondre aux besoins énergétiques résultant des contraintes et préconisations énergétiques s'appliquant au projet.

## 2. SPECIFICATIONS ENERGETIQUES

Dans le contexte dressé dans le chapitre précédent et compte tenu des enjeux décrits, le présent chapitre s'attache à déterminer les spécifications énergétiques qui pourraient s'appliquer aux bâtiments construits et rénovés dans le cadre de la ZAC Saint-Vincent-de-Paul ainsi que la situation existante en matière de réseaux de chauffage urbain et d'énergies renouvelables.

### I. PRESCRIPTIONS DE LA REGLEMENTATION THERMIQUE RT 2012

Les constructions doivent satisfaire a minima à la réglementation thermique 2012 (RT 2012) qui s'applique dès lors que les permis de construire sont déposés après le 01/01/13.

La consommation conventionnelle d'énergie primaire du bâtiment doit donc à ce titre être inférieure à une valeur maximum (Cepmax). Cette consommation inclut les 5 usages conventionnels suivants : chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire (ECS), éclairage, auxiliaires. L'énergie primaire est obtenue en additionnant les consommations finales de toutes les énergies sauf l'électricité qui est additionné avec un facteur multiplicatif de 2,58.

Cepmax est fonction de l'usage du bâtiment, de sa situation géographique, de l'altitude à laquelle il est construit, de la surface des logements, du mode de chauffage (suivant les émissions de gaz à effet de serre de chacun des modes de chauffage).

Calcul du Cepmax appliqué à la ZAC Saint-Vincent-de-Paul :

- Logements : 60 kWhep/m<sup>2</sup>.an
- Tertiaire : 77 kWhep/m<sup>2</sup>.an
- Enseignement primaire : 108 kWhep/m<sup>2</sup>.an
- Crèche : 93,5 kWhep/m<sup>2</sup>.an

Ces Cepmax sont déterminés en prenant pour hypothèse que les bâtiments ne seront pas alimentés par un réseau de chauffage urbain dont le facteur d'émissions est inférieur à 150 gCO<sub>2</sub>/kWh. C'est en effet le cas même si le réseau exploité par la CPCU (Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain) est utilisé car le facteur d'émission de l'énergie distribuée est de 195 gCO<sub>2</sub>/kWh.

Les autres catégories (équipement sportif, équipement social/culturel, commerce et artisanat) ne sont pas prévues dans la RT2012. Ces équipements seront assimilés à l'activité tertiaire.

**Synthèse** : La réglementation thermique spécifie le niveau d'exigence minimal requis pour les constructions neuves pour chaque type de bâtiment suivant son usage.

## II. PRISE EN COMPTE DU PLAN CLIMAT ENERGIE DE LA VILLE DE PARIS

La Ville de Paris s'est dotée dès 2007 d'un plan d'actions pour limiter ses émissions de gaz à effet de serre et ses consommations d'énergie. Il s'agit du Plan Climat Energie de Paris qui fixe pour le territoire un objectif de réduction de 25% en 2020 pour les émissions de gaz à effet de serre et pour la consommation d'énergie et une contribution à hauteur de 25% des énergies renouvelables en 2020 dans la consommation d'énergie du territoire.

Cet effort ne repose évidemment pas sur les seules opérations immobilières nouvelles. L'enjeu est en effet de diminuer les consommations d'énergie du parc immobilier existant mais aussi celles dues aux déplacements des personnes et au transport des marchandises. Néanmoins, les opérations d'aménagement font l'objet d'un objectif ambitieux, au moins pour celles qualifiées de « grandes » : la neutralité carbone (page 33 du Plan Climat Energie 2007).

Au-delà de la déclaration d'intention, la Ville de Paris a créé un guide de l'aménagement durable qui concerne tous les intervenants de l'aménagement (Référentiel « Un aménagement durable pour Paris »). En matière d'énergie, il s'agit d'associer les techniques les plus poussées en matière d'isolation, de récupération de chaleur et de dispositifs de production d'énergies renouvelables. L'action 13 « Réduire les émissions de gaz à effet de serre » de l'axe 3 « Une gestion responsable de l'environnement » impose des objectifs ambitieux pour les constructions neuves : atteindre la cible de consommation surfacique primaire de **50 kWhep/m<sup>2</sup>** pour les 5 usages conventionnels de l'énergie (chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire, éclairage et ventilation). Cette valeur peut être considérée comme une préfiguration de la valeur pivot de la RT 2012 (voir paragraphe précédent). Elle peut aussi être considérée comme la valeur cible à atteindre quelque soit l'usage du bâtiment et devient alors plus contraignante que la RT 2012.

Le même document préconise de privilégier les solutions passives en optimisant l'orientation des bâtiments et les techniques de constructions privilégiant l'apport de chaleur en hiver et la limitation des surchauffes en été. Il préconise enfin de **recourir aux énergies renouvelables à hauteur de 30% des besoins**.

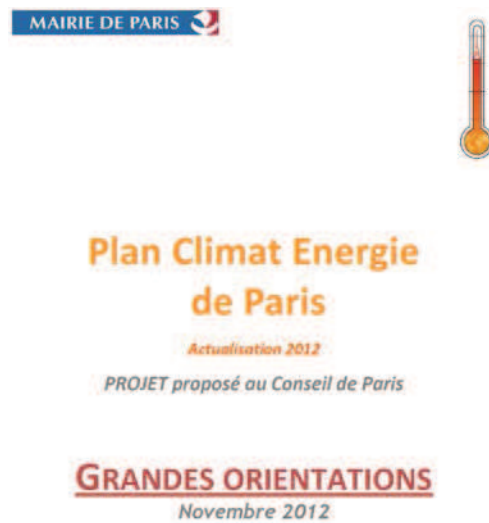
Ces orientations sont confirmées dans l'actualisation du Plan Climat Energie de Paris réalisée en 2012. La page 7 du document « Grandes orientations » de Novembre 2012 confirme la valeur cible de performance thermique de **50 kWhep/m<sup>2</sup>** pour la construction des bâtiments neufs (valeurs exactes : **48 kWhep/m<sup>2</sup>** pour les logements, RT2012-20% p14 et **53,9 kWhep/m<sup>2</sup>** pour les bureaux, RT2012-30% p23 correspondant au label Effinergie+).

Un paragraphe dédié aux ZAC et GPRU stipule que ces aménagements « continueront d'être le théâtre privilégié d'innovations qui équiperont la ville de demain, comme la géothermie dans l'Albien [...], la ville de Paris étudiera en priorité les choix énergétiques possibles en privilégiant au maximum le recours aux énergies renouvelables locales ou le raccordement au réseau de chaleur (CPCU) et/ou de froid (Climespace) tout en améliorant la qualité de l'air ».

Le Plan Local de l'Urbanisme (PLU), quant à lui, favorise la construction de bâtiments intégrant l'installation de dispositifs économisant l'énergie ou produisant de l'énergie renouvelable. Le prochain PLU en cours d'élaboration renforcera ces dispositifs.

Pour ce qui concerne la rénovation, l'actualisation 2012 du Plan Climat Energie de Paris, les pages 7 et 14 du document « Grandes orientations » de Novembre 2012 indiquent la valeur cible de **80 kWhep/m<sup>2</sup>** pour les logements.

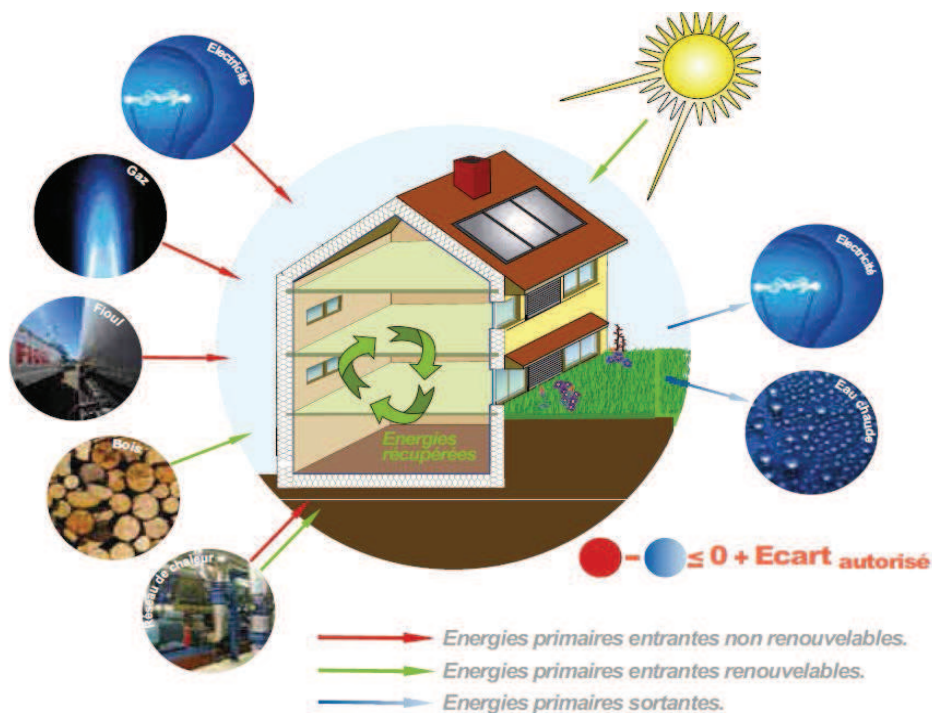
Figure 2 : Page de garde du document « grandes orientations » du PCE de Paris



### III. DES BATIMENTS A ENERGIE POSITIVE EN PREFIGURATION DE LA RT 2020

De la même manière que la réglementation en vigueur, RT 2012, a été élaborée sur la base du label Effinergie BBC (Bâtiment Basse Consommation), il est logique d’imaginer que la prochaine réglementation, RT 2020, sera élaborée largement sur la base du label Effinergie BEPOS (Bâtiment à énergie positive).

Figure 3 : Schéma de principe BEPOS – source Effinergie / plaquette BEPOS



« L’Ecart autorisé », objectif à atteindre pour le bilan des flux d’énergie dans un bâtiment tel que mentionné dans la figure précédente, varie suivant le type de bâtiment, la zone climatique et le nombre de niveaux du bâtiment.



Alors que la réglementation thermique actuelle ne prend en compte que les 5 usages réglementés de l'énergie, le label Effinergie BEPOS prend en compte toute l'énergie consommée par le bâtiment, y compris, celle liée à l'usage du bâtiment.

« L'Ecart autorisé » fait intervenir plusieurs paramètres comme la hauteur du bâtiment ainsi que son usage. Pour des bâtiments dédiés au logement et dépassant 5 étages comme c'est le cas pour la plupart des bâtiments du site, la valeur de cet « Ecart autorisé » est de **72,55 kWh/m<sup>2</sup>**.

A noter que dans le bilan d'énergie du bâtiment, l'énergie provenant d'un réseau de chauffage urbain alimenté avec plus de 50% d'énergie renouvelable est affecté d'un coefficient de 0,5.

#### IV. PRISE EN COMPTE DU SRCAE ILE DE FRANCE

---

##### Le Schéma Régional Climat Air Energie

---

Le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) de l'Île de France définit, pour la région Île de France, les grands objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre, de diminution de consommations énergétiques et de déploiement des énergies renouvelables ainsi que les moyens pour y parvenir. Le document identifie en particulier le levier de la rénovation des bâtiments comme étant le levier le plus important. Le développement des réseaux de chaleur est identifié comme étant le 2<sup>ème</sup> grand défi après la réhabilitation thermique des bâtiments.

- **Energies renouvelables et réseaux de chauffage urbains**

Nous pouvons aussi noter que le SRCAE fixe à 27% la part d'énergie thermique d'origine renouvelable en 2020 et préconise pour les collectivités l'élaboration d'un schéma directeur de développement des réseaux de chauffage et de froid urbain. Ce SRCAE préconise aussi le développement des filières biomasse, géothermie, solaire thermique et solaire photovoltaïque ainsi que biogaz.

L'action ENR 1.1A « Mobiliser les outils d'aménagement du territoire et d'urbanisme pour permettre le développement des réseaux de chaleur et de froid » prévoit « d'inscrire dans le règlement d'urbanisme des ZAC et de prévoir pour les quartiers en rénovation urbaine, des prescriptions imposant le raccordement à un réseau de chaleur et ainsi de faciliter le recours aux énergies renouvelables et de récupération disponibles sur le territoire. »

L'action ENR 1.3 préconise « d'encourager le développement et l'exploitation durable des géothermies » en s'appuyant sur l'étude réalisée par le BRGM en janvier 2012 « Etude préalable à l'élaboration du schéma de développement de la géothermie en Île de France. »

L'étude « Evaluation du potentiel de développement du chauffage urbain en Île-de-France » réalisée en octobre 2012 dans le cadre du SRCAE identifie les gisements de consommation théoriquement accessibles en croisant les réseaux existants, leur puissance disponible et les besoins en énergie dans les quartiers situés à proximité.

Ces deux études sont prises en compte dans les paragraphes suivants.

Outre les réseaux de chaleur, les bâtiments sont également propices au développement des énergies renouvelables. L'installation de pompes à chaleur géothermiques et aérothermiques performantes doit être encouragée. Le développement des énergies solaires devra se faire prioritairement par des projets intégrés au bâti afin de limiter la consommation d'espaces et l'artificialisation des sols. Enfin, l'usage du bois domestique par des systèmes individuels ou collectifs est également prévu avec une attention particulière quant à leurs impacts sur la qualité de l'air.

Le SRCAE prévoit que les besoins énergétiques régionaux devront être assurés par les énergies renouvelables :

- Pour la chaleur : à 27% en 2020 et 81% en 2050 (contre 9% en 2009).
- Pour l'électricité : à 6% en 2020 et à 38 % en 2050 (contre moins de 1% en 2009).

Soit, pour les principales filières (facteur multiplicatif en 2020 par rapport à 2010, en quantité d'énergie produite, à l'échelle régionale) :

- Géothermie : x2
- Biomasse sur réseau de chaleur : x27
- Pompes à chaleur : x1,5
- Solaire photovoltaïque : x68
- Solaire thermique: x45
- Biogaz : x7

Les éléments ci-dessus doivent être considérés comme des ordres de grandeur représentatifs de la moyenne régionale à atteindre ; ils doivent être adaptés aux spécificités locales par les collectivités. Autrement dit, lorsqu'une collectivité bénéficie d'un atout sur certains secteurs, ses objectifs doivent être supérieurs à l'objectif régional moyen, tandis qu'ils peuvent être inférieurs pour les secteurs défavorables.

- **Rénovations**

Pour ce qui concerne la rénovation thermique des logements, dans le cadre du SRCAE, la Région Ile-de-France a fait réaliser par le CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment) une étude sur le taux de retour sur investissement des travaux de rénovation thermique. Cette étude montre que la meilleure rentabilité est atteinte avec une approche globale intégrant la rénovation de l'enveloppe du bâtiment et le changement des systèmes techniques (chauffage, production d'eau chaude sanitaire, régulation-programmation, réseau de distribution, régulation et émissions terminales, ventilation). Si toutefois la capacité financière du propriétaire ne permet pas d'envisager cette approche, il convient de planifier les investissements en privilégiant dans l'ordre : la rénovation de l'enveloppe (remplacement des ouvrants, isolation des toitures, isolation des parois opaques) puis le changement des systèmes de chauffage (raccordement à un réseau de chauffage existant, chaudière gaz à condensation, pompe à chaleur géothermale, énergie solaire).

Le SRCAE insiste sur le fait que, pour atteindre le facteur 4 à l'horizon 2050, les rénovations thermiques « type BBC » permettant d'atteindre un gain énergétique supérieur à 50% (donc portant à la fois sur l'enveloppe et les systèmes techniques) sont à privilégier.

- **Constructions neuves**

Même si la priorité est la rénovation des bâtiments existants, la construction neuve n'est pas oubliée. L'orientation « BAT2 : Améliorer l'efficacité énergétique de l'enveloppe des bâtiments et des systèmes énergétiques » mentionne le rôle d'entraînement de la construction neuve pour la filière notamment en matière de formation des professionnels et d'innovation sur les matériaux et sur les systèmes énergétiques les plus efficaces à utiliser.

L'orientation « BAT 2.5 : Diminuer les consommations « d'énergie grise » et de « carbone gris » des bâtiments », souligne l'importance à accorder aux matériaux qui présentent un bilan extraction, transformation, recyclage, limitant au mieux la consommation d'énergie, tout en contribuant à la diminution de l'impact environnemental du bâtiment dans l'ensemble de son cycle de vie. Il s'agit de

matériaux biosourcés (matériaux d'origine végétale ou animale) et d'agromatériaux (comme le lin et le chanvre), notamment s'ils sont de production locale.

En effet, avec la baisse tendancielle des consommations énergétiques des bâtiments, la part d'énergie (et de gaz à effet de serre émis) consacrée à la construction devient relativement importante dans le cycle de vie global et renforce l'intérêt pour cette orientation.

#### L'étude « Evaluation du potentiel de développement du chauffage urbain en Ile-de-France »

Pour les 125 réseaux de chauffage urbain recensés en Ile-de-France, utilisant 16,5 TWh d'énergie primaire et distribuant 12 TWh de chaleur, il apparaît que la couverture en énergie renouvelable et de récupération est de 30% : 21% couvert par les Usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM), 7% par la géothermie et 1% par la biomasse.

Les études de potentiel réalisées à l'échelle de la région montrent que la valorisation des potentiels identifiés sur la chaleur fatale des UIOM, la géothermie et la biomasse permettra d'augmenter la part des énergies renouvelables et de récupération dans le bouquet énergétique des réseaux franciliens à plus de 50% en 2020 et de 85% en 2050. Dans le même temps, il est envisageable que la densification, l'extension et la construction de nouveaux réseaux permettent de desservir entre 34 TWh et 43 TWh de chaleur.

La ville de Paris bénéficie de la présence d'un réseau de chauffage urbain exploité par la Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain (CPCU). Il conviendra de vérifier si la ZAC Saint-Vincent-de-Paul peut être alimentée par ce réseau de chauffage urbain.

#### L'étude « Etude préalable à l'élaboration du schéma de développement de la géothermie en Ile de France »

Pour situer la hiérarchie des sources d'énergie pour les réseaux de chauffage urbain, il est rappelé dans le SRCAE que les opportunités de développement de la géothermie devront être envisagées après la mobilisation de la chaleur fatale des UIOM et prioritairement à l'usage de la biomasse.

Cette étude ne concerne pas le développement des Pompes à Chaleur (PAC) sur sondes géothermiques. Elle couvre le potentiel de développement des PAC sur aquifères superficiels ainsi que le potentiel de développement de réseaux de chaleur alimentés par la géothermie profonde.

Les aquifères dits « intermédiaires » (Albien, Néocomien, Lusitanien) sont à ce jour peu utilisés (3 opérations en Ile-de-France). Il convient en effet de prendre en compte les incertitudes sur les propriétés de la ressource thermique ainsi que le caractère stratégique de ces nappes pour la ressource en eau potable. Les nouvelles opérations en cours de réalisation devront permettre de progresser sur la connaissance de ces aquifères et la valorisation de leur potentiel thermique.

#### **Pompes à chaleur sur aquifères superficiels :**

En Ile-de-France, il peut y avoir jusque trois aquifères superposés entre 0 et 120 m de profondeur dans certaines zones.

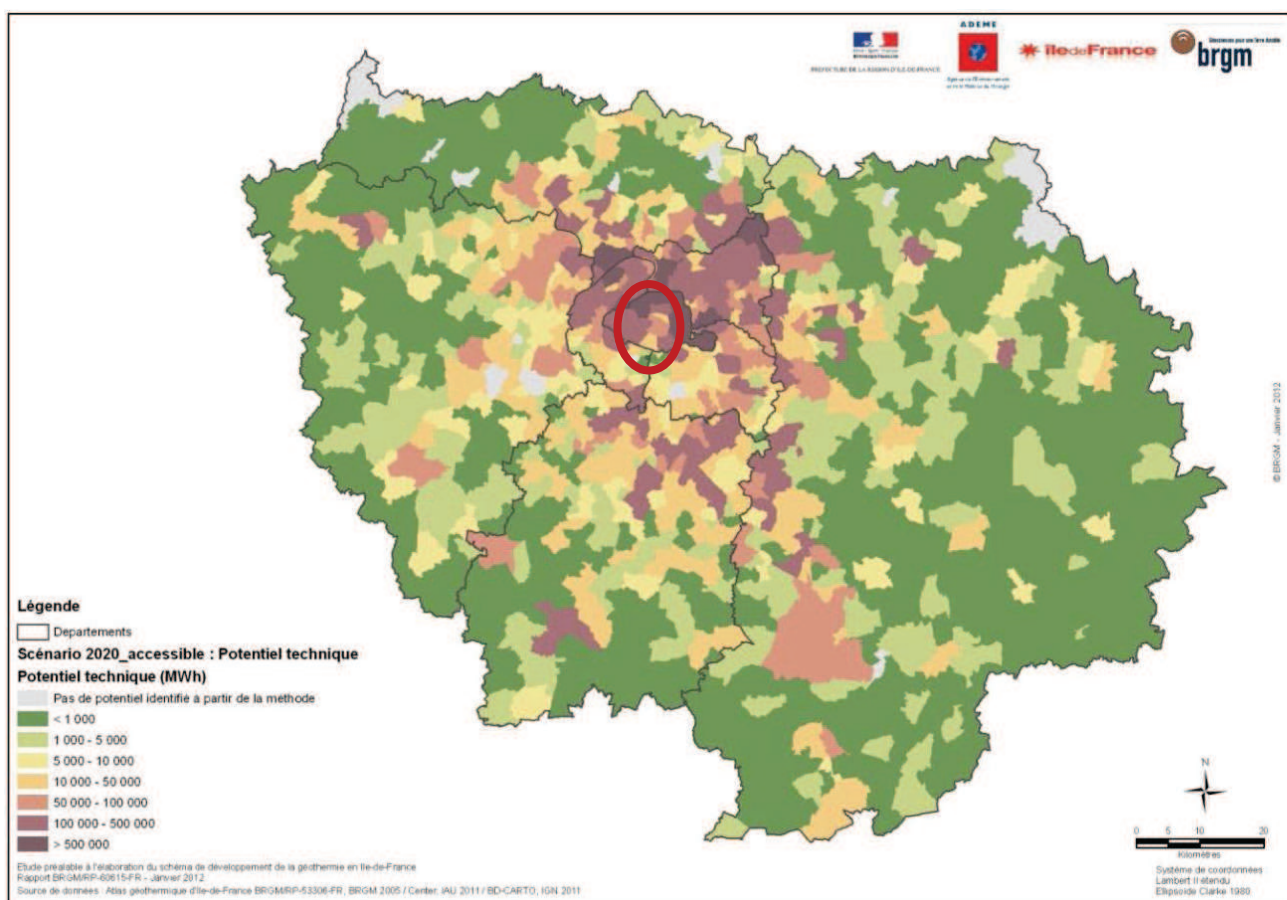
Une première étude permet d'exclure les zones avec des contraintes techniques et réglementaires : périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable, cavités, zones à gypse, opérations de géothermie existantes pour limiter les conflits d'usage.

Une seconde étude permet d'introduire une contrainte économique. Celle-ci a été définie en se basant sur la profondeur de forage, cette longueur nécessaire pour accéder à la nappe constituant l'un des postes principal pesant sur l'investissement.

La profondeur maximale de forage a été définie en fonction des besoins thermiques de surface et représente la profondeur limite au-dessous de laquelle la mise en place de l'opération de géothermie n'est pas rentable. Ainsi, pour chaque maille de l'étude, cette profondeur économique a été comparée à la profondeur de forage issue des données des caractéristiques des aquifères. Dans les cas où la profondeur maximale de forage est inférieure à la profondeur de la ressource en eau souterraine (rentabilité non assurée), le potentiel « technico-économique » a été considéré comme nul.

La carte obtenue ci-dessous identifie la ZAC Saint-Vincent-de-Paul à la confluence de trois zones au potentiel très différent : potentiel entre 10 et 50 MWh au sud de Paris, potentiel entre 50 et 100 MWh dans la partie centrale de Paris et potentiel entre 100 et 500 MWh pour le sud-ouest de Paris.

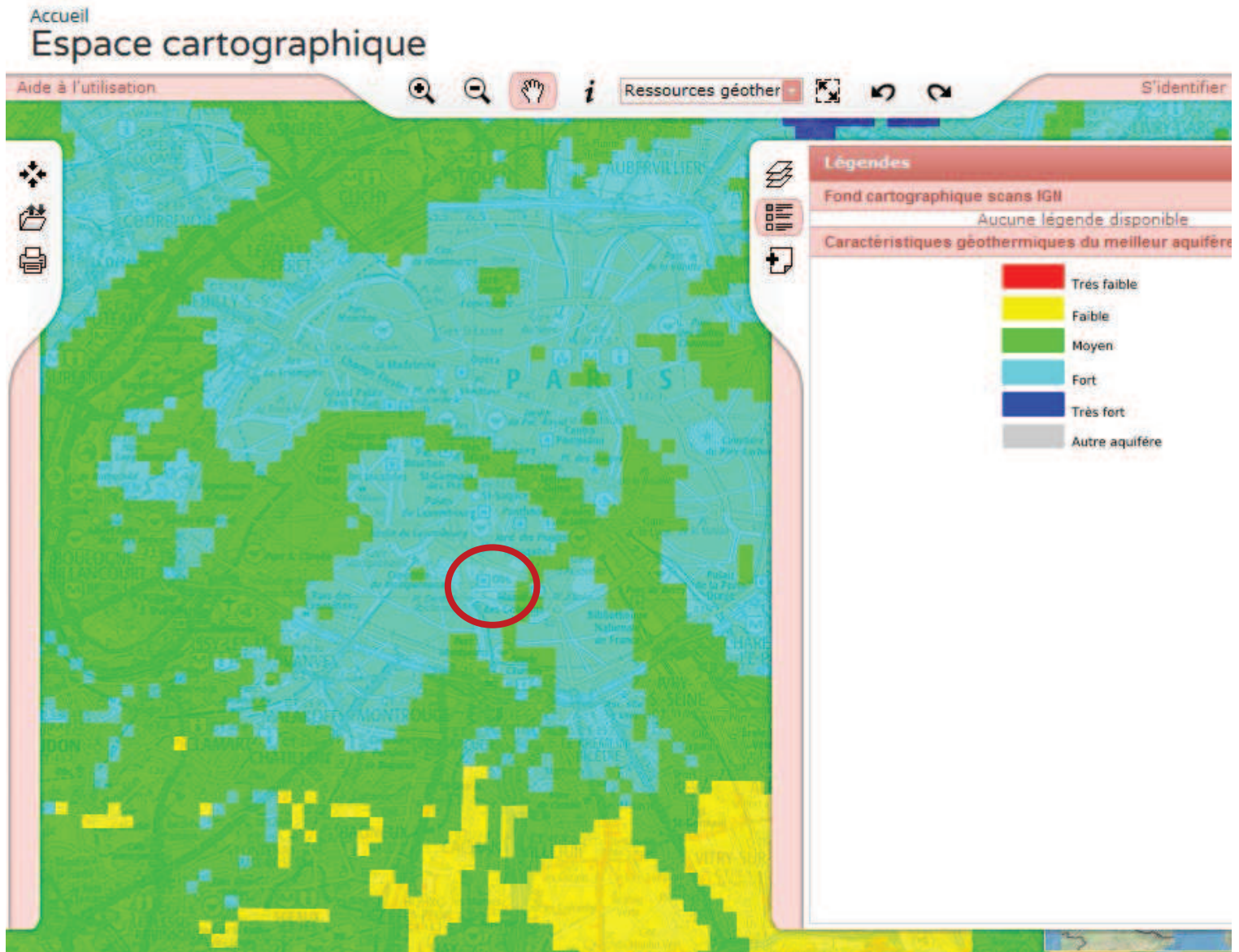
**Figure 4 : Géothermie – Potentiel technique accessible**



### Cartographie plus précise sur la ZAC Saint-Vincent-de-Paul :

Plus précisément sur la ZAC Saint-Vincent-de-Paul, la carte suivante indique la caractéristique géothermique du meilleur aquifère. Elle est issue de l'outil « Géothermie Perspectives » disponible sur Internet. La ZAC est sur une zone au potentiel fort (bleu).

**Figure 5 : Géothermie – Caractéristique géothermique du meilleur aquifère**

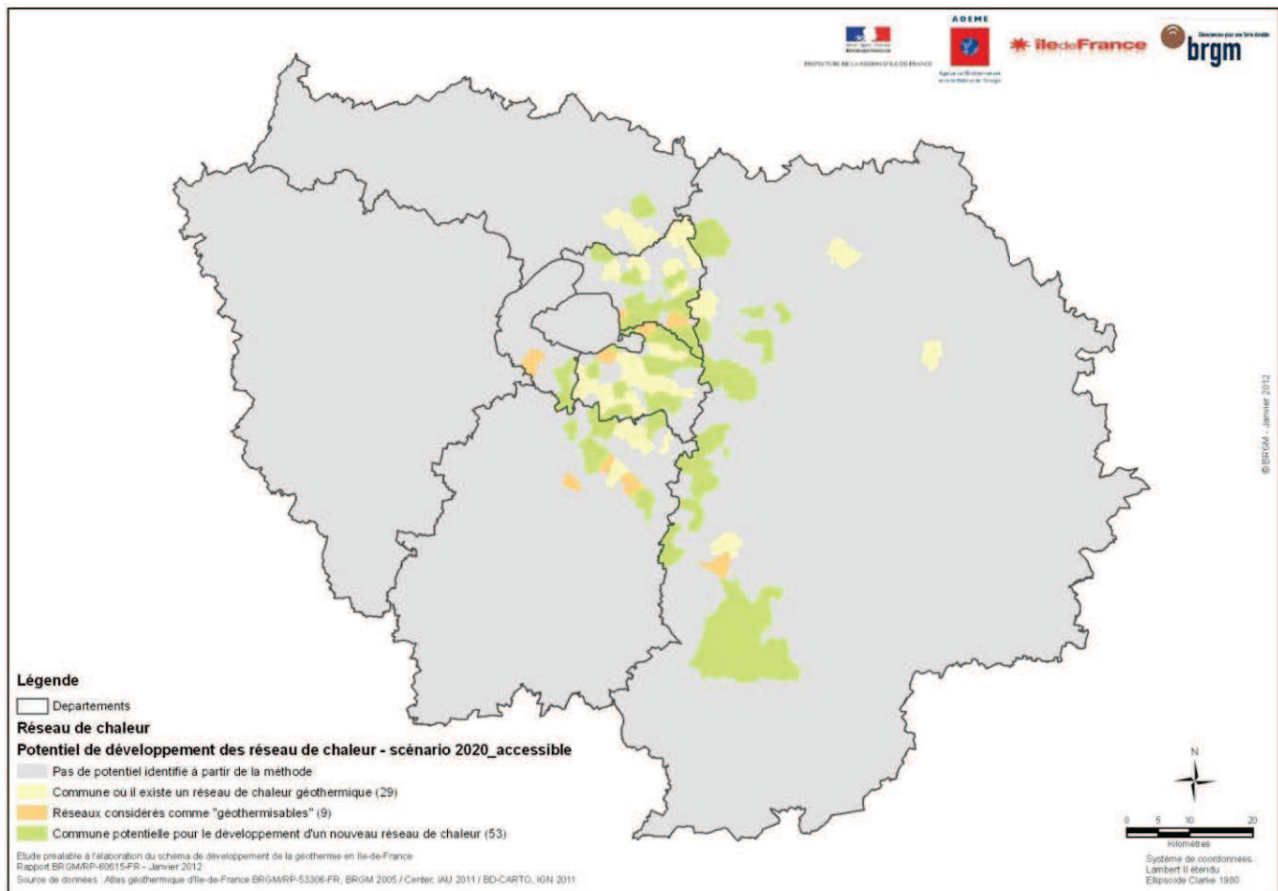


### Réseaux de chauffage urbains alimentés par la géothermie profonde :

En Ile-de-France, il existe plusieurs possibilités de géothermie profonde mais l'aquifère le plus utilisé est le Dogger (30 opérations). Les autres aquifères dits « profonds », l'aquifère du Trias ou celui du Lusitanien, sont traités dans l'étude sans que leur potentiel géothermique ne soit quantifié.

Une cinquantaine de communes ont été mises en avant comme pouvant potentiellement développer un réseau de chaleur géothermique. Comme le montre la carte ci-dessous, la ville de Paris n'en fait pas partie.

**Figure 6 : Géothermie – Potentiel de développement des réseaux de chauffage urbain**



**Synthèse :** Les spécifications thermiques s'appliquant à la construction et à la rénovation de bâtiments dans le cadre du Plan Climat Energie de la ville de Paris vont au-delà de celles présentes dans la réglementation thermique en vigueur (RT 2012). Ce même Plan Climat ainsi que le Plan Local de l'Urbanisme (PLU) de Paris préconisent de recourir au maximum aux énergies renouvelables et aux réseaux de chauffage (CPCU) et de froid (Climespace). Le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) de la région Ile de France renforce ces préconisations et deux études identifient les potentiels de développement de la géothermie et de développement des réseaux de chauffage urbains existants. Le SRCAE hiérarchise les sources d'énergie renouvelables pouvant alimenter les réseaux de chauffage urbain. Il s'agit dans l'ordre décroissant de : l'incinération des ordures ménagères, la géothermie et la biomasse. Enfin, le concept de Bâtiment à énergie positive (BEPOS) préfigure la Réglementation thermique 2020 en intégrant toutes les consommations d'énergie du bâtiment avec un niveau d'exigence plus important que les spécifications requises dans le Plan Climat de la ville de Paris.

### 3. PERIMETRE DE L'ETUDE ET SITUATION ENERGETIQUE EXISTANTE

#### I. PERIMETRE DE L'ETUDE

Deux scénarios sont envisagés : le scénario « Hypothèse 1 » correspond à 60 485 m<sup>2</sup> (Surface de Plancher) et le scénario « Hypothèse 2 » à 61 045 m<sup>2</sup> (Surface de Plancher).

Parmi les 9 îlots du projet, 4 correspondent à des rénovations, 4 à des démolitions/reconstructions et le dernier correspond à une rénovation complétée par une surélévation.

- **Rénovations**

Dans le cadre du projet, vont être rénovés :

- La maison des médecins : 254 m<sup>2</sup> d'activités sur deux niveaux,
- Le bâtiment Pinard : 1 400 m<sup>2</sup> d'activités, 2 370 m<sup>2</sup> pour un groupe scolaire, 925 m<sup>2</sup> pour une crèche et 1 735 m<sup>2</sup> pour un gymnase, sur trois niveaux,
- Le bâtiment Robin : 1 635 m<sup>2</sup> de logements et 705 m<sup>2</sup> de commerces, sur trois niveaux,
- Le bâtiment Oratoire : 3 925 m<sup>2</sup> de logements, 495 m<sup>2</sup> d'activités et 170 m<sup>2</sup> d'équipements, sur trois niveaux.

- **Destructions/reconstructions**

Dans le cadre du projet, vont être détruits et reconstruits :

- Le bâtiment Lepage : 2 685 m<sup>2</sup> de logements sur sept niveaux,
- Le bâtiment Chaufferie : 11 935 m<sup>2</sup> de logements, 1 055 m<sup>2</sup> d'activités sur six à dix niveaux,
- Le bâtiment Petit : 12 325 m<sup>2</sup> de logements, 1 055 m<sup>2</sup> d'activités sur six à dix niveaux,
- Le bâtiment Denfert : 4 065 m<sup>2</sup> de logements, 820 m<sup>2</sup> de commerces, 360 m<sup>2</sup> d'équipements sur sept niveaux.

Pour ce bâtiment, la variante du projet (« Hypothèse 2 »), prévoit : 6 000 m<sup>2</sup> d'activités et 360 m<sup>2</sup> d'équipements sur six niveaux.

C'est la seule différence entre les deux scénarios.

- **Rénovation + surélévation**

Seul le bâtiment Lelong est concerné avec 6 570 m<sup>2</sup> de logements et 6 000 m<sup>2</sup> d'activités sur sept étages pour l'hypothèse 1 et 10 635 m<sup>2</sup> de logements et 1 380 m<sup>2</sup> d'activités sur sept étages pour l'hypothèse 2.

#### II. SITUATION ENERGETIQUE EXISTANTE

- **Consommation des bâtiments existants**

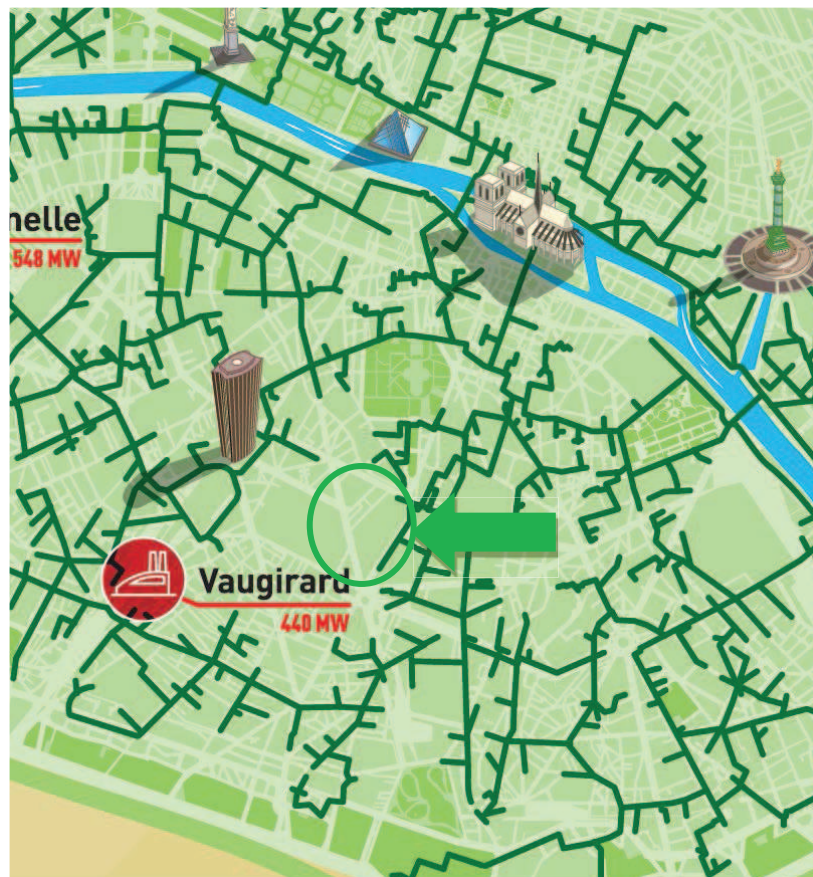
Les informations concernant les consommations d'énergie dans les bâtiments existants n'ont pas été communiquées.

Compte tenu de l'âge hétérogène des différents bâtiments, il est probable que les consommations d'énergie soient très hétérogènes avec des consommations d'énergie ramenées à l'unité de surface relativement importantes.

- **Présence du réseau de chauffage urbain et d'énergies renouvelables**

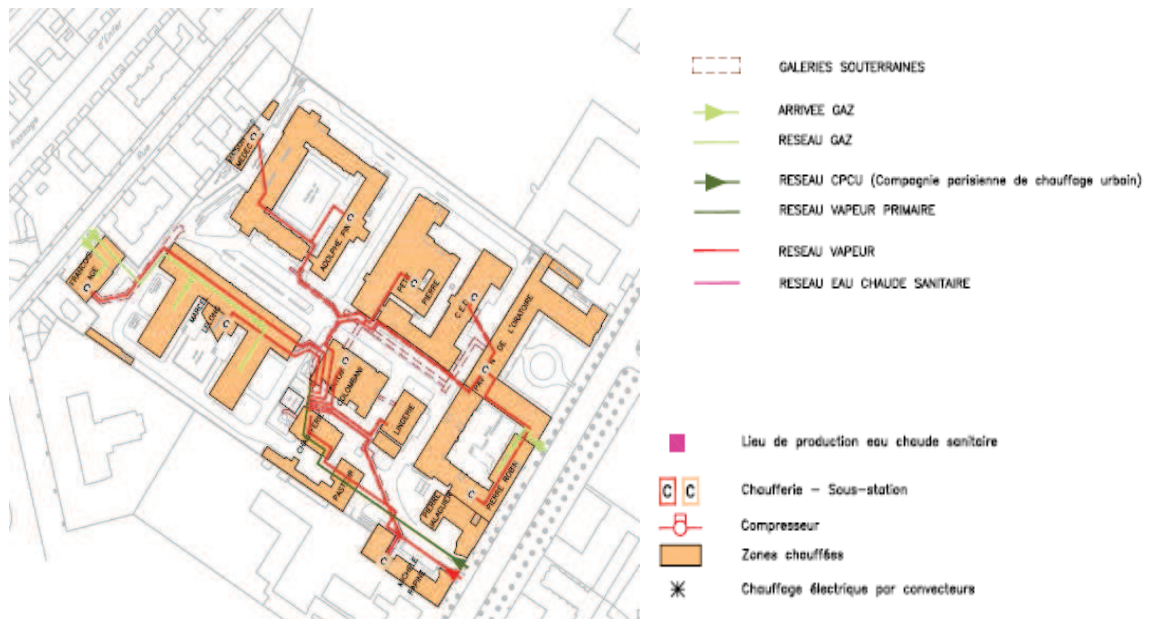
Le réseau de chauffage urbain de la CPCU dessert déjà le quartier via l'avenue Denfert Rochereau. Le site dispose d'une arrivée CPCU qui alimente l'ensemble des bâtiments en chauffage et eau chaude sanitaire via 10 sous stations. Le réseau d'énergie est globalement vétuste.

*Figure 7a : Extrait du plan du réseau CPCU*



*Figure 7b : Réseau de desserte interne*

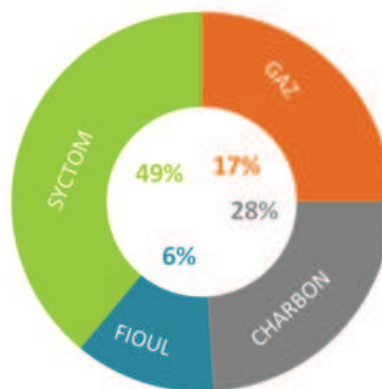




Le mix énergétique du réseau de chauffage urbain parisien était en 2015 représenté par le graphique suivant.

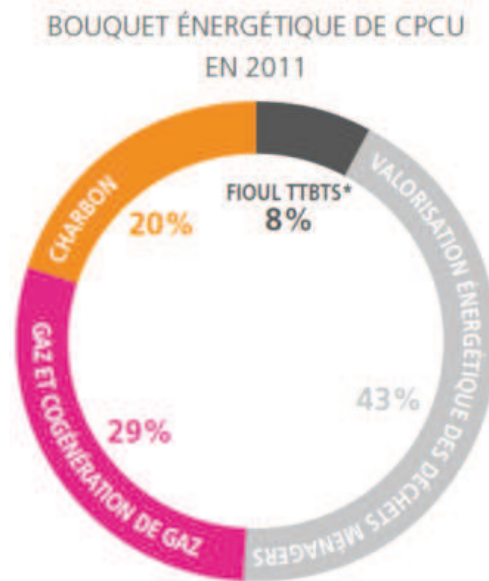
**Figure 8a : Bouquet énergétique CPCU 2015**

### BOUQUET ENERGETIQUE 2015



Avec ce mix énergétique, il s'agit d'une énergie de réseau moins émissive que le gaz (195 gCO<sub>2</sub>e/kWh au lieu de 237 gCO<sub>2</sub>e/kWh pour le gaz) mais encore relativement carbonée. Néanmoins, les perspectives offertes par le schéma directeur d'évolution de la CPCU permettent d'envisager dans les prochaines années une diminution significative du facteur d'émission de cette énergie par l'apport de combustible bois et la diminution de la part des combustibles charbon et fioul.

D'ailleurs, la comparaison avec le bouquet énergétique 2011, permet de constater une réelle amélioration entre les deux années pour ce qui concerne la part des sources d'énergie de récupération : passage de 43% à 49%. La diminution de 12% de la part de gaz et de 2% de la part de fioul s'est répartie entre une augmentation de la part de combustion des déchets de 6% et, malheureusement, une augmentation de la part du charbon de 8%. Ainsi, même si la part de combustible de récupération a augmenté significativement, le facteur d'émission est resté relativement stable à 194 gCO<sub>2</sub>/kWh.

**Figure 8b : Mix énergétique du réseau CPCU en 2011**

A ce jour, le recours aux énergies de flux (renouvelables et récupération) est limité à la proportion des énergies de récupération présente dans le mix énergétique du réseau CPCU alimentant le quartier. En effet, la CPCU utilise, entre autres sources d'énergie, la combustion des ordures ménagères. Il s'agit d'une énergie de récupération prise en compte pour la moitié de l'énergie produite, de manière conventionnelle, au titre d'énergie « renouvelable ».

**Synthèse :** Le projet concerne un potentiel global de plus d'environ 60 000 m<sup>2</sup> réparti en neuf ilots. Quatre ilots, soit 13 600 m<sup>2</sup>, correspondent à des rénovations de bâtiments anciens ; quatre ilots, soit 34 300 m<sup>2</sup>, correspondent à des destructions/reconstructions de bâtiments et un dernier ilot, soit 12 600 m<sup>2</sup> consiste en une opération mixant une rénovation avec une surélévation du bâtiment. Le réseau de chauffage urbain CPCU dessert le quartier via l'avenue Denfert Rochereau. Il s'agit de la seule source d'énergie de flux, la CPCU utilisant, entre autres sources, l'énergie récupérée de la combustion des ordures ménagères, considérée pour moitié de l'énergie produite comme énergie renouvelable.

#### 4. CONCLUSION

Les enjeux du changement climatique et de la raréfaction des ressources d'énergies fossiles au niveau planétaire se traduisent en objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre et de consommation d'énergie mais aussi d'augmentation de la part des énergies renouvelables et de récupération dans les consommations d'énergie.

Ces objectifs figurent sous différentes formes dans les textes européens (directive des 3 x 20), les lois françaises (loi POPE, lois Grenelle 1 et 2, Transition Énergétique), au niveau régional dans le SRCAE (Schéma Régional Climat Air Énergie).

Ces objectifs ont aussi été repris de manière ambitieuse par le Plan Climat 2012 de la Ville de Paris qui requiert des niveaux de spécification thermique supérieurs à la réglementation thermique en vigueur, tant pour la construction neuve que pour la rénovation de bâtiments existants.

Le projet d'aménagement de la ZAC Saint-Vincent-de-Paul s'inscrit donc dans ces contraintes et devra présenter des spécifications exemplaires tant au niveau des caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments, que du recours à des sources d'énergie peu émissives de gaz à effet de serre : raccordement au

réseau de chauffage de la CPCU, création d'un réseau de chauffage urbain alimenté par une source d'énergie renouvelable (géothermie basse profondeur), recours aux énergies renouvelables comme le solaire thermique et le solaire photovoltaïque, récupération de chaleur sur les eaux usées.

**Synthèse :** L'ambition de lutte contre le changement climatique affichée par la ville de Paris permet d'envisager, comme le préconise le SRCAE, le raccordement au réseau de chauffage urbain de la CPCU alimenté en partie par la combustion des ordures ménagères. D'autres sources d'énergies renouvelables et de récupération peuvent être envisagées en complément : le solaire thermique et le solaire photovoltaïque ainsi que l'utilisation de la chaleur issue des eaux usées.

## CONTRIBUTION DE CLIMAT MUNDI POUR LA PARTIE « ANALYSE DES IMPACTS ET MESURES ASSOCIEES »

### 1. AMBITIONS DU PROJET

#### I. SPECIFICATIONS ENERGETIQUES RETENUES

##### Pour la construction de nouveaux bâtiments

##### Scénario Plan Climat de la ville de Paris :

Compte tenu des chapitres précédents, pour les constructions neuves de la ZAC Saint-Vincent-de-Paul, en ce qui concerne les 5 usages conventionnels de l'énergie (chauffage, eau chaude sanitaire, éclairage, froid et ventilation/auxiliaires), nous proposons de retenir les spécifications énergétiques du Plan Climat de la ville de Paris, plus exigeantes que celles de la RT2012, à savoir la valeur de **53,9 kWhep/m<sup>2</sup>** prévue pour le tertiaire pour les catégories suivantes :

- Bureaux,
- Enseignement,
- Equipement sportif,
- Commerce.

Pour les logements : **48 kWhep/m<sup>2</sup>**.

Pour la crèche : **65,5 kWhep/m<sup>2</sup>** (RT2012 – 30%)

Il est en effet désormais possible de construire des bâtiments atteignant ces objectifs en prenant en compte les aspects suivants : conception bioclimatique (implantation et orientation prenant en compte l'ensoleillement et les couloirs venteux), éclairage naturel, choix des matériaux constructifs, inertie thermique, système de renouvellement d'air double flux, réduction des ponts thermiques, vitrages très peu émissifs (triple vitrages performants) permettant de trouver un compromis entre isolation et éclairage naturel, limitation du recours à la climatisation, végétalisation des parois verticales et des toitures (afin de limiter le stockage de la chaleur en été et favoriser l'isolation en hiver), protections amovibles pour captage de la chaleur en hiver et protection en été. Le surcoût estimé entre 5% et 10% par rapport à une construction répondant à la réglementation thermique RT 2012 serait amorti en moins de 50 ans sans tenir compte de l'augmentation du prix de l'énergie dans les prochaines années.

En plus des 5 usages conventionnels de l'énergie, il convient de considérer les usages non conventionnels que sont les usages de l'énergie liés aux équipements électrique présents dans un logement (réfrigérateur et autres équipements de la cuisine, audiovisuel, ordinateurs, lave linge / sèche linge ...) et dans les bureaux (ordinateurs, bureautique ...).

Pour les logements, il est habituel de considérer que cette consommation s'élève en énergie finale à environ 1 MWh/personne.an. Si l'on considère une surface moyenne occupée par une personne de 25 m<sup>2</sup>, en prenant l'hypothèse que cette énergie est à 100% d'origine électrique, la consommation moyenne surfacique à prendre en compte est alors de **100 kWhep/m<sup>2</sup>**.

Pour les bureaux, de récents retours d'expérience présentés lors d'une réunion de l'IFPEB (Institut Français de la Performance Energétique du Bâtiment) montrent que la consommation d'énergie peut varier de 50 à

100 kWhep/m<sup>2</sup> suivant l'usage du bâtiment et son taux d'occupation. Nous pourrions prendre dans le cas de la ZAC une consommation moyenne de **75 kWhep/m<sup>2</sup>**.

Dans les deux cas, nous constatons donc que les autres usages de l'énergie atteignent des niveaux de consommation supérieurs à la consommation des 5 usages conventionnels de l'énergie.

#### Scénario BEPOS (Bâtiment à énergie positive) :

Dans ce scénario, tous les usages de l'énergie sont pris en compte et le bilan énergétique du bâtiment doit rester inférieur à une valeur maximum appelée « Ecart Autorisé ». Cette valeur varie en fonction de l'usage du bâtiment et de sa hauteur.

Pour des bâtiments dédiés aux logements et dépassant les 5 étages, comme c'est le cas sur le site, la valeur de « l'écart autorisé » est de **72,55 kWhep/m<sup>2</sup>**.

#### Pour la rénovation thermique des bâtiments existants

Compte tenu des chapitres précédents, nous prendrons la cible de performance thermique de **80 kWhep/m<sup>2</sup>** pour la rénovation des bâtiments correspondant à celle préconisée par le Plan Climat de la ville de Paris.

L'étude menée par le CSTB pour la Région Ile-de-France (voir paragraphe sur le SRCAE) montre qu'une rénovation ambitieuse (gain énergétique sur les 5 usages réglementaires de l'énergie supérieur à 50%) incluant l'isolation de l'enveloppe d'un bâtiment et le remplacement des systèmes techniques est amortie en moins de 30 ans au coût actuel de l'énergie.

#### Besoins en rafraîchissement

Compte tenu de l'ambition énergétique du projet, les besoins en rafraîchissement seront minimisés par la mise en œuvre de protections solaires ou de systèmes de « free cooling ». La présence végétale dans les espaces communs ainsi que les cours intérieures à chacun des îlots contribueront à minimiser les besoins de rafraîchissement.

Il n'est pas envisagé de système de climatisation.

#### Une ambition énergétique qui doit s'inscrire au-delà des spécifications énergétiques

Si la définition de spécifications énergétiques ambitieuses est importante, elle doit être complétée par un suivi dans la mise en œuvre des solutions techniques qui auront été retenues.

Parmi les mesures à prendre pour s'assurer de la bonne réalisation des travaux, la recherche d'une certification attestant du résultat de la mise en œuvre des préconisations techniques peut permettre à la Ville de Paris de s'assurer que les preneurs respectent bien leurs engagements.

Parmi les possibilités de tels dispositifs de certification, figurent la labellisation Effinergie ou encore les certifications BREEAM ou LEED®. Ces dispositifs, en faisant intervenir un acteur tiers, permettent de s'assurer de la conformité de la réalisation des travaux avec les ambitions d'origine.

Si le référentiel Effinergie est bien connu en France, les deux autres dispositifs de certification le sont moins.

Développé par le Building Research Establishment (BRE) au Royaume-Uni en 1990, BREEAM est connu comme étant le premier système d'évaluation et de certification de la performance environnementale des bâtiments.

Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) est un système d'évaluation reconnu comme la marque internationale d'excellence pour les bâtiments durables dans plus de 132 pays. Depuis 2002, le Conseil du bâtiment durable du Canada (CBDCa) et LEED Canada ont contribué à redéfinir les bâtiments et les communautés durables au pays.

Enfin, il est nécessaire de conserver à l'esprit que les dispositifs de comptage individuels et les documents pédagogiques (type livret d'accueil) peuvent contribuer, lors de la phase d'exploitation/utilisation des bâtiments, à réduire les consommations d'énergie en permettant aux habitants de s'appropriier les éventuels dispositifs techniques liés au chauffage (thermostat, volets d'occultation, stores ...).

## II. AUTRES CHOIX TECHNIQUES ENVISAGEABLES

---

### Toitures végétalisées

---

Les toitures végétalisées présentent de nombreux avantages. Le premier est un avantage visuel pour les occupants des logements qui les surplombent. Cette végétalisation permet de récupérer l'eau pluviale, et par conséquent de diminuer les rejets dans les réseaux d'assainissement. Du point de vue des enjeux énergétiques et climatiques, elle contribue en outre à l'isolation thermique des bâtiments qu'elle couvre et contribue enfin à diminuer l'effet d'îlot de chaleur urbain lié à la densité du bâti parisien.

### Une mise en lumière prenant en compte l'enjeu énergétique

---

Les aménagements lumineux extérieurs pourront s'appuyer sur le SDAL (Schéma Directeur d'Aménagement Lumière) Paris Couronne. Les choix de sources et de mobilier pourront ainsi prendre en compte les enjeux énergétiques de la manière suivante :

**Sources de lumières :** le nouveau cahier des charges technique de la ville inclut les nouvelles sources à iodure qui limitent les pertes de flux par trois en deux ans de fonctionnement. Des sources de haut rendement (iodure métallique pour les piétons et sodium haute pression pour la voirie avec un rendement énergétique supérieur à 90 lumens/W), et des systèmes à diodes électroluminescentes pour les mises en lumières et la signalétique sont désormais retenus, ainsi que des luminaires signalétiques à énergie solaire pour les Jardins.

**Mobilier :** de même, le nouveau cahier des charges technique de la ville prévoit l'insertion du coefficient ULOR caractéristique des pertes vers le ciel. Moins de perte implique en effet un meilleur rendement énergétique. Le flux lumineux des appareils d'éclairage devra ainsi être maintenu systématiquement sous le plan horizontal (ULOR < 15%) ou cadré précisément sur la surface à éclairer. Par ailleurs, les luminaires retenus devront optimiser l'utilisation du flux des lampes.

Enfin, les dispositifs d'éclairage situés dans les aménagements paysagers devront être conçus de manière à ne pas perturber les espèces animales et végétales présentes ou futures.

Ces prescriptions ne concernent pas seulement les nouveaux aménagements mais aussi certains mobiliers devenus obsolètes, soient parce qu'ils créent une pollution lumineuse trop importante (luminaires à boules), soit qu'ils soient équipés de sources aujourd'hui abandonnées pour leur efficacité lumineuse médiocre et leur indice de rendu de couleur insuffisant (vapeur de mercure).

D'autre part, les nouvelles technologies de télégestion permettent de gérer de manière différenciée une temporalité fine de l'éclairage en ajustant la puissance et donc le flux d'éclairage en fonction de la période de la nuit. Cette gestion optimisée présente le double avantage de réaliser des économies substantielles d'énergie et de réduire la fréquence des changements de lampes.

**Synthèse** : Pour répondre aux enjeux et au cadre réglementaire décrits dans les deux premiers chapitres, il convient que les rénovations et les démolitions/reconstructions respectent les spécifications thermiques ambitieuses du Plan Climat Energie de la ville de Paris en matière de spécification thermiques mais aussi les spécifications techniques du Schéma Directeur d'Aménagement Lumière Paris Couronne et le cahier des charges de la ville de Paris en ce qui concerne les éclairages extérieurs. Certains bâtiments pourront même atteindre des spécifications thermiques plus ambitieuses en visant le niveau de performance BEPOS (Bâtiment à énergie positive).

## 2. BESOINS ENERGETIQUES

Cette étape consiste à quantifier les besoins en énergie de l'opération d'aménagement sur la base des documents disponibles :

- Chauffage des équipements et logements,
- Besoin en eau chaude sanitaire (ECS),
- Eventuels besoins en rafraîchissement l'été,
- Eclairage des parties communes et éclairage public (besoins pris en compte par un ratio de consommation électrique surfacique),
- Estimation des consommations énergétiques autres que chauffage et éclairage en fonction de l'usage prévu des différents bâtiments (besoins pris en compte par un ratio de consommation électrique surfacique).

A ce stade, seul le premier scénario (hypothèse 1) fait l'objet d'une quantification.

On considère pour la crèche et pour l'école que les spécifications retenues sont celles d'équipements neufs pour tenir compte du fait que ces équipements, même s'ils figurent dans la rénovation du bâtiment Pinard, vont faire l'objet de travaux qui peuvent être assimilées à des opérations neuves.

Les quatre catégories de spécification thermique sont donc prises en compte :

1 – Logements neufs : 48 kWhep/m<sup>2</sup>,

2 – Commerces et activités dans des bâtiments neufs + école dans le bâtiment Pinard : 53,9 kWhep/m<sup>2</sup>,

3 – Crèche dans le bâtiment Pinard : 65,5 kWhep/m<sup>2</sup>,

4 – Logements, commerce, activités et gymnase dans bâtiments rénovés : 80 kWhep/m<sup>2</sup>.

La répartition des consommations en fonction des différents usages est la suivante (en kWhep/m<sup>2</sup>) :

	Logement neufs	Commerce, activités, école neufs	Crèche	Rénovation logements	Rénovation autre
ECS	25	10	15	25	10
Chauffage	13	24,9	36,5	45	51
Eclairage	6	15	10	6	15
Auxiliaires	4	4	4	4	4
Electricité spécifique	100	75	100	100	75
Tous usages	<b>148</b>	<b>128,9</b>	<b>165,5</b>	<b>180</b>	<b>155</b>
5 usages réglementaires	<b>48</b>	<b>53,9</b>	<b>65,5</b>	<b>80</b>	<b>80</b>



## Besoins en énergie

Les besoins annuels de chauffage sont :	1 410 MWh
Les besoins annuels en eau chaude sanitaire sont :	1 260 MWh
Les besoins annuels pour l'éclairage sont :	515 MWh
Les besoins annuels pour les auxiliaires sont :	240 MWh
Les besoins annuels pour les usages spécifiques sont :	5 640 MWh
Soit un total de :	<b>3 425 MWh</b> pour les 5 usages réglementaires
Et de :	<b>9 065 MWh</b> pour tous les usages

## Besoins cumulés : chauffage + ECS

Le cumul des besoins chauffage + ECS donne le résultat suivant : **2 670 MWh**.

La puissance du système de chauffage nécessaire est, en cas de système centralisé, de : **1 MW**.

La puissance du système de chauffage nécessaire est, en cas de systèmes décentralisés, de : **3 MW**.

## Considération sur les bâtiments BEPOS

Pour ce qui concerne les bâtiments à énergie positive (BEPOS), le bilan énergétique doit rester en dessous de **72,55 kWh/m<sup>2</sup>**, tous les usages de l'énergie étant pris en compte. Cela signifie qu'à l'échelle du site, la production d'énergie renouvelable devrait couvrir a minima les 5 usages de l'énergie, soit 3 425 MWh et une partie des autres usages de l'énergie à hauteur de 1 250 MWh, soit un total de 4 675 MWh.

**Synthèse :** Avec, pour hypothèse de spécifications thermiques pour les bâtiments neufs et rénovés, celles du Plan Climat Energie de la ville de Paris (voir chapitre précédent), les besoins énergétiques du projet sont d'environ 9 GWh dont 3,5 GWh pour les 5 usages réglementaires (chauffage, eau chaude, éclairage, auxiliaires, froid). Si tous les bâtiments du site respectaient le niveau de spécification BEPOS, la production d'énergie renouvelable devrait être de presque 4,7 GWh.

## 3. PREMIER INVENTAIRE DES GISEMENTS D'ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DES POSSIBILITÉS TECHNIQUES ADAPTÉES AU CONTEXTE

Cette partie passe en revue les gisements d'énergies renouvelables et de récupération présents sur le site et les possibilités de raccordement à des réseaux (CPCU pour le chauffage et Climespace pour le froid). Pour chacune des sources d'énergies, il est envisagé le gisement potentiel d'énergie ainsi que la faisabilité technique liée au contexte particulier du projet.

Ce chapitre permet de faire un premier « tri » entre les différentes sources d'énergie renouvelable et de récupération.

En matière d'énergies renouvelables et de récupération, il n'existe pas de « solution miracle » permettant de répondre à tous les besoins mais plutôt un « bouquet » de techniques qu'il convient de prendre en compte suffisamment en amont du projet pour en favoriser la prise en compte dès la conception et dans une vision globale du bâtiment. Enveloppe du bâtiment, fondations, toiture, raccordements aux réseaux, valorisation énergétique des eaux usées : tous ces éléments peuvent et doivent contribuer à l'objectif de parvenir à des bâtiments avec une empreinte carbone la plus faible possible.

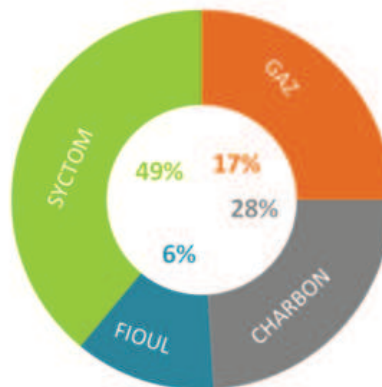
## I. RACCORDEMENT AU RESEAU DE CHAUFFAGE URBAIN

Compte tenu de sa présence dans le quartier actuel (voir paragraphe « Situation énergétique existante »), la ZAC Saint-Vincent-de-Paul doit intégrer la possibilité de **raccordement au réseau CPCU** pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire.

Avec le mix énergétique repris dans la figure ci-dessous, l'énergie distribuée par la réseau de la CPCU est une énergie moins émissive que le gaz (195 gCO<sub>2</sub>e/kWh au lieu de 237 gCO<sub>2</sub>e/kWh pour le gaz) mais encore relativement carbonée. Néanmoins, les perspectives offertes par le schéma directeur d'évolution de la CPCU permettent d'envisager dans les prochaines années une diminution significative du facteur d'émission de cette énergie par l'apport de combustible bois et la diminution de la part des combustibles charbon et fioul.

**Figure 9 : Bouquet énergétique CPCU 2015**

### BOUQUET ENERGETIQUE 2015



**Synthèse pour le réseau de chauffage urbain :** Compte tenu de la présence de son réseau sur le site, l'étude préconise de se rapprocher de la CPCU pour envisager un raccordement total ou partiel des immeubles du projet.

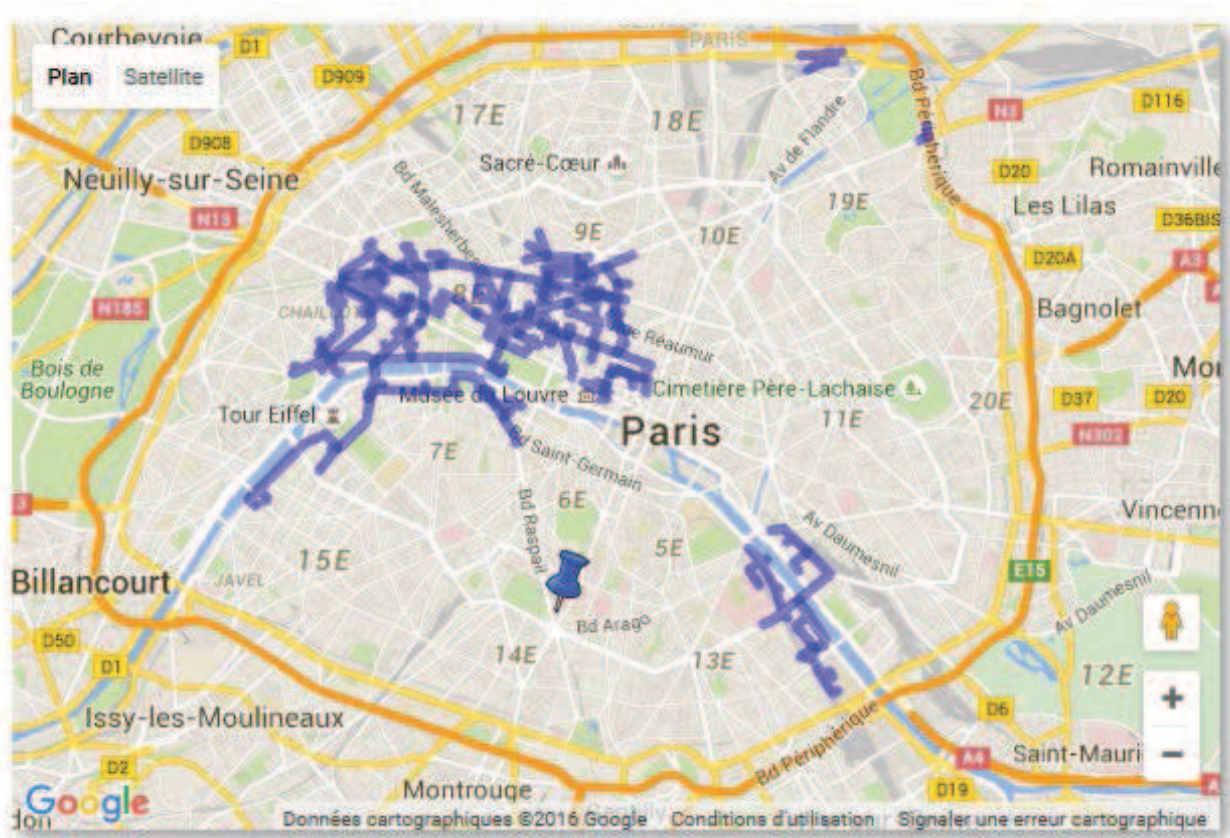
## II. SOLUTIONS POUR LE RAFRAICHISSEMENT DES BATIMENTS

Il existe plusieurs solutions permettant le rafraîchissement des immeubles de bureaux en période estivale (hors pompes à chaleur air/air) :

- Améliorer la conception du bâtiment dès l'origine du projet afin de prendre en compte les mécanismes bioclimatiques (optimisation de l'orientation des bâtiments, des surfaces vitrées, mise à profit de l'environnement, optimisation de l'inertie thermique du bâtiment profitant de la fraîcheur de la nuit pour la redistribuer le jour, mise en œuvre de puits canadiens, etc.). Cette mesure peut être imposée aux promoteurs.
- **Raccordement au réseau Climespace** pour le froid, évitant ainsi des systèmes locaux de climatisation fortement émetteurs de gaz à effet de serre. A ce jour, le raccordement le plus proche du réseau Climespace est à l'angle du Boulevard Saint-Germain et du Boulevard Raspail, soit à environ 2,5 km de la ZAC rendant cette possibilité peu envisageable compte tenu de la puissance.
- Mettre en œuvre une pompe à chaleur géothermique pour chaque bâtiment (technique approfondie dans le chapitre sur la géothermie).

Comme précisé plus haut, la première possibilité sera envisagée de manière à éviter tout système financièrement coûteux et peu cohérent avec les ambitions énergétiques du projet.

**Figure 10 : Le réseau Climespace**



**Synthèse pour la production de froid :** Compte tenu de l'ambition du projet et le réseau Climespace étant éloigné de 2,5 km, d'autres solutions devront être privilégiées comme des mécanismes de ventilation bioclimatiques.

### III. COMBUSTION DU BOIS

Jusqu'à présent, l'utilisation du bois comme combustible relevait de l'article 23 de l'arrêté du 22 janvier 1997 créant une zone de protection spéciale contre les pollutions atmosphériques en Ile-de-France et par l'arrêté interpréfectoral n°2007-1590 du 24 septembre 2007. Ces deux textes interdisaient de fait l'utilisation du bois comme combustible à Paris dans des chaufferies collectives. En effet, le combustible utilisé dans ces chaufferies n'est jamais du « bois sec » et son pouvoir calorifique est souvent de l'ordre de 12 à 15 MJ/kg.

#### Texte de l'article 23 de l'arrêté du 22 janvier 1997 :

A Paris, hormis les installations d'incinération de résidus urbains, soumises à l'arrêté du 25 janvier 1991, et toutes les installations de combustion de déchets industriels spéciaux réglementées au titre de la législation des installations classées, est interdite la combustion de tout déchet ou de tout combustible solide dont la teneur en cendres est supérieure à 20 % ou dont le pouvoir calorifique inférieur est inférieur à 23 mégajoules par kilogramme et dont la teneur en matières volatiles est supérieure à 15 %.

Toutefois, la combustion du bois commercialement sec est autorisée à condition qu'elle ne provoque pas de nuisance dans le voisinage, et dans les trois cas suivants :

- installations de combustion d'une puissance inférieure ou égale à 100 kW utilisées dans l'artisanat, lorsque cette combustion est liée au respect de certaines qualités de production ;

- poêles et cheminées à foyer fermé d'un rendement thermique supérieur à 65 %, utilisés en chauffage d'appoint ;
- cheminées à foyer ouvert uniquement utilisées en appoint ou à des fins d'agrément.

Le bois ainsi consommé doit être du bois soit à l'état naturel tranché, soit décheté en copeaux ou en morceaux, y compris son écorce, ou soit des résidus de l'industrie du bois non imprégnés non revêtus d'une substance quelconque

Le Plan de Protection de l'Atmosphère révisé en 2012 précise désormais qu'à l'intérieur de Paris l'ensemble des équipements de combustion du bois, neufs ou existants, doivent être faiblement émetteurs de particules pour pouvoir être utilisés, même en cas de chauffage d'appoint ou d'agrément.

En l'absence de nouveaux arrêtés annulant ceux du 22 janvier 1997 et du 24 septembre 2007, l'interdiction d'utiliser du bois dans des chaufferies collectives intra muros est donc toujours en vigueur.

**Synthèse pour la combustion du bois :** Les textes réglementaires empêchent la combustion du bois comme source d'énergie collective à l'intérieur de la ville de Paris. Il n'est donc pas possible d'envisager de chaufferie au bois pour couvrir les besoins de chauffage et d'eau chaude de ce projet.

#### IV. UTILISATION DES TOITURES POUR RECUPERER L'ENERGIE SOLAIRE

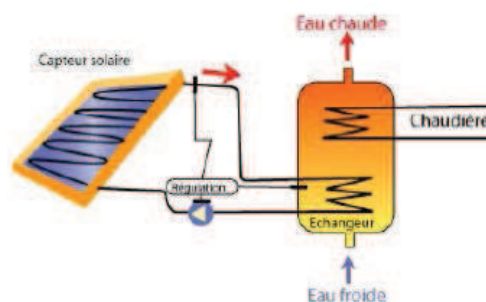
Il existe deux types d'énergie solaire :

- Le solaire thermique, qui permet de produire de la chaleur, dans le cas présent pour un usage de production d'eau chaude sanitaire.
- Le solaire photovoltaïque, qui permet de produire de l'électricité.

##### Principe et potentiel du solaire thermique

Un capteur solaire situé sur le toit, orienté au sud, concentre le rayonnement solaire (effet de serre) derrière un vitrage sur un fluide caloporteur confiné dans un circuit qui relie le capteur au réservoir d'eau à chauffer. Le fluide circule tant que la température du capteur est supérieure à celle de l'eau chauffée dans le réservoir jouant son rôle d'échangeur thermique entre les calories solaires captées et le réservoir d'eau.

**Figure 11 : Schéma de principe d'un chauffe-eau solaire (source GRDF)**



En Ile de France, avec un ensoleillement moyen annuel de 1 000 kWh/m<sup>2</sup>, une surface de capteurs solaires thermique de 1 m<sup>2</sup> par personne vivant dans les logements, orientés plein sud, inclinés à 45° par rapport à l'horizontale permet de couvrir la moitié de ses besoins en eau chaude sanitaire.

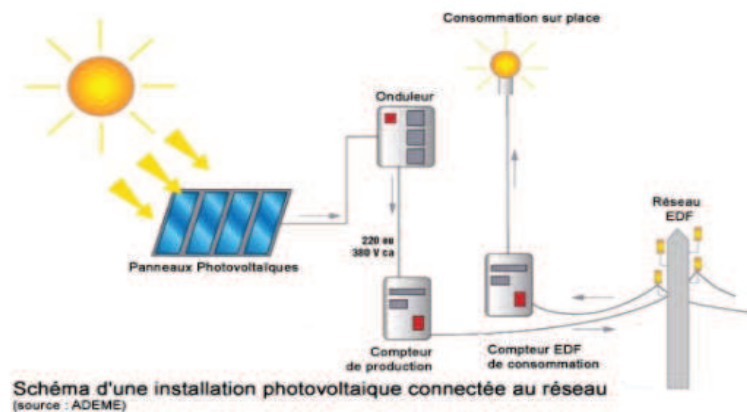
Cette énergie se substitue à l'énergie fossile ou électrique utilisée pour le chauffage de l'eau chaude sanitaire. Elle a pour avantage de ne pas émettre de gaz à effet de serre en exploitation.

L'énergie solaire thermique permet de respecter plus facilement le Cepmax puisque cette énergie solaire thermique, non émissive de gaz à effet de serre, est déduite de la consommation énergétique des locaux.

## Principe et potentiel du solaire photovoltaïque

Un capteur solaire situé sur le toit, orienté au sud, transforme le rayonnement solaire en courant électrique continu. Le courant continu est transformé en courant alternatif par un onduleur pour être consommé sur place ou vendu à EDF.

**Figure 12 : production solaire photovoltaïque, schéma de principe (source ADEME)**



En Ile de France, avec un ensoleillement moyen annuel de  $1\,000\text{ kWh/m}^2$ , une installation de  $1\text{ kWc}$ , soit environ  $6\text{ à }8\text{ m}^2$  de surface de capteurs photovoltaïques, orientée plein sud et inclinée à  $45^\circ$  par rapport à l'horizontale produit  $1\text{ MWh}$ .

L'électricité produite peut être utilisée et stockée sur place avec un coût d'investissement supplémentaire lié au système de batterie à installer.

La rentabilité économique d'un tel système n'est possible que si l'électricité est vendue intégralement à EDF. Les tarifs de vente de l'électricité à EDF ont été revus à la baisse ces dernières années. Pour une installation de puissance inférieure à  $100\text{ kWc}$  (environ  $650\text{ m}^2$ ), l'électricité produite est vendue à EDF à un tarif dont le prix est calculé en fonction du nombre de demandes d'installations déposées au niveau national chaque trimestre. Il est dégressif au cours du temps. Suivant le type d'intégration, le lieu de fabrication des panneaux et la puissance de l'installation, Ce tarif varie actuellement entre  $6,1$  et  $13,7\text{ c€/kWh}$ .

L'énergie solaire photovoltaïque permet de respecter plus facilement le Cepmax puisque cette énergie solaire photovoltaïque, non émissive de gaz à effet de serre, est déduite, avec un coefficient multiplicateur de  $2,58$ , de la consommation énergétique des locaux.

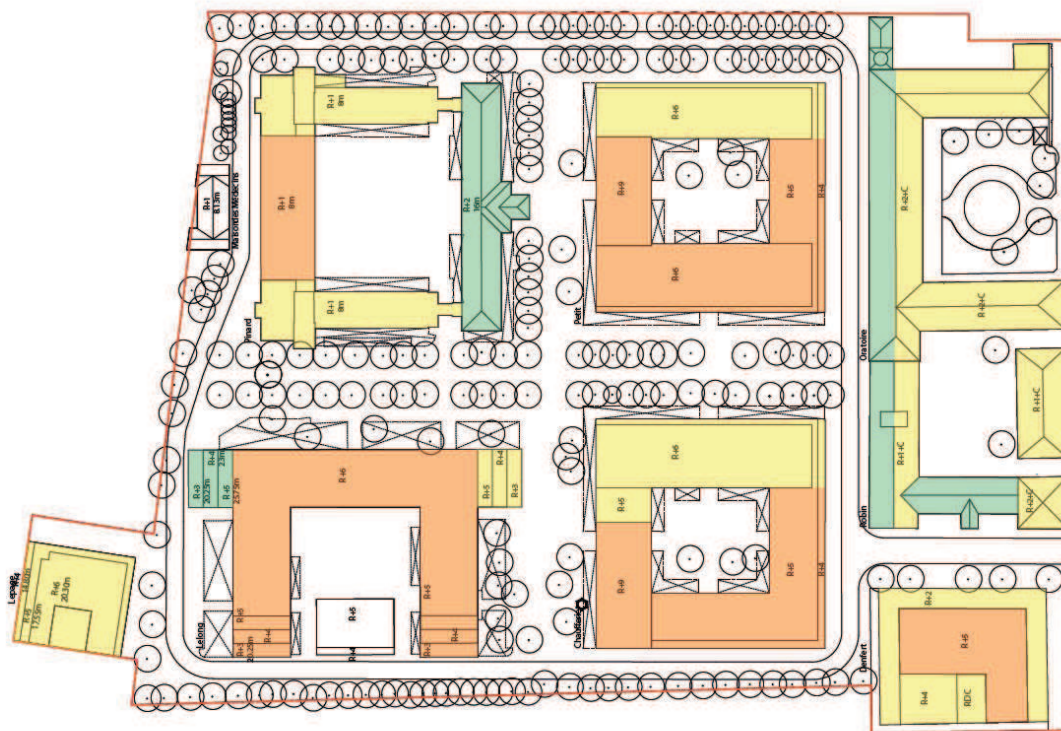
## Possibilités globale d'énergie solaire pour le site

La figure ci-dessous, issue du cadastre solaire réalisé pour le territoire de la ville de Paris, montre que quasiment tous les toits du périmètre concerné disposent d'un ensoleillement suffisant pour produire de l'énergie.

Figure 13a : Exposition solaire du site (source « cadastre solaire de Paris »)



Une étude d'ensoleillement plus poussée a été faite sur le site de la ZAC Saint-Vincent-de-Paul, son résultat confirme le cadastre solaire.

**Figure 13b : Etude portant sur l'exposition solaire des toitures de la ZAC****Ensoleillement des toitures des bâtiments**

- Toitures bénéficiant d'un ensoleillement continu
- Toitures sujettes à des ombres ponctuelles
- Toitures sujettes à des ombres fréquentes

Il convient donc d'explorer la possibilité de doter les toits exposés au sud et sans masque de **chauffe-eau solaires** pour couvrir les besoins en eau chaude sanitaire (pour les logements, la crèche et le gymnase qui sont des équipements consommant de l'eau chaude) mais aussi de **capteurs photovoltaïques** destinés à couvrir une partie des besoins en électricité des bâtiments ou à produire de l'électricité qui sera vendue à EDF.

Les deux technologies sont éprouvées. La contribution du solaire thermique est limitée à la couverture d'environ 50% des besoins en eau chaude sanitaire. L'équation économique du solaire photovoltaïque est étroitement liée au tarif d'achat de l'électricité par EDF et à la diminution du coût de la technologie.

Le projet d'aménagement de la ZAC Saint-Vincent-de-Paul prévoit un partage de l'utilisation des toits entre les différents usages que sont : la mise en œuvre de toitures végétalisées, une activité d'agriculture urbaine et la production d'énergie.

Il est nécessaire de prendre en compte par ailleurs que l'installation de panneaux solaires ne sera pas possible sur les bâtiments rénovés (contraintes architecturales et contraintes de hauteur, les bâtiments rénovés étant plus bas et susceptibles d'être tributaires de masques situés au sud), les toitures susceptibles d'accueillir une production solaire sont :

- Bâtiment Lepage : estimation 400 m<sup>2</sup>,
- Bâtiment Lelong : estimation 1 000 m<sup>2</sup>,
- Bâtiment Chaufferie : partie la plus haute : estimation 600 m<sup>2</sup>,
- Bâtiment Petit : partie la plus haute : estimation 600 m<sup>2</sup>,

- Bâtiment Denfert : partie la plus haute : estimation 300 m<sup>2</sup>.

En prenant un total optimiste d'une surface de toit disponible de 2 900 m<sup>2</sup> pour la production d'énergie, il est possible d'envisager :

- Production thermique : 1 000 m<sup>2</sup>, produisant 400 MWh, couvrant presque la moitié des besoins en eau chaude sanitaire pour 1 000 habitants (soit la moitié de la population du quartier),
- Production électrique : 1 000 m<sup>2</sup>, produisant 140 MWh, couvrant environ 5% des consommations d'électricité du quartier (cumul éclairage, auxiliaires et autres usages de l'électricité).

### Panneaux solaires et Plan Local de l'urbanisme de Paris

L'installation de panneaux solaires doit, comme tout ce qui touche à l'aspect extérieur des constructions, faire l'objet d'une déclaration préalable et respecter les règles d'urbanisme en vigueur. Ces règles sont rappelées de manière résumée dans la fiche thématique éditée par le CAUE (Conseil Architecture Urbanisme Environnement) de Paris concernant les panneaux solaires. Elles figurent principalement dans les articles 10 et 11 du Plan Local de l'Urbanisme de Paris. La volumétrie des équipements doit en particulier s'intégrer harmonieusement dans le cadre du bâti environnant.

Le dossier de déclaration préalable doit, pour faciliter l'instruction du dossier et son analyse par les services instructeurs de la ville, comporter des informations concernant l'insertion du projet dans le site, l'état du bâtiment avant et après travaux (pour l'existant), le projet vu depuis la rue et depuis les immeubles en vis-à-vis. Le délai d'instruction varie entre 2 et 3 mois.

Il est à noter que pour bénéficier de la prime dite « d'intégration au bâti » (tarif plus favorable d'achat de l'électricité par EDF), les équipements photovoltaïques doivent assurer, outre la production d'électricité, une fonction technique ou architecturale essentielle à l'acte de construction, en remplissant au moins une des fonctions suivantes : tenue mécanique, protection ou régulation thermique, protection physique des biens ou des personnes, recherche d'un esthétisme architectural particulier.

**Synthèse pour le solaire :** L'énergie solaire est d'autant plus adaptée au projet qu'elle est favorisée par le Plan Local de l'Urbanisme de Paris. Il convient toutefois de respecter les prescriptions d'intégration architecturale telles qu'elles sont formulées dans le PLU.

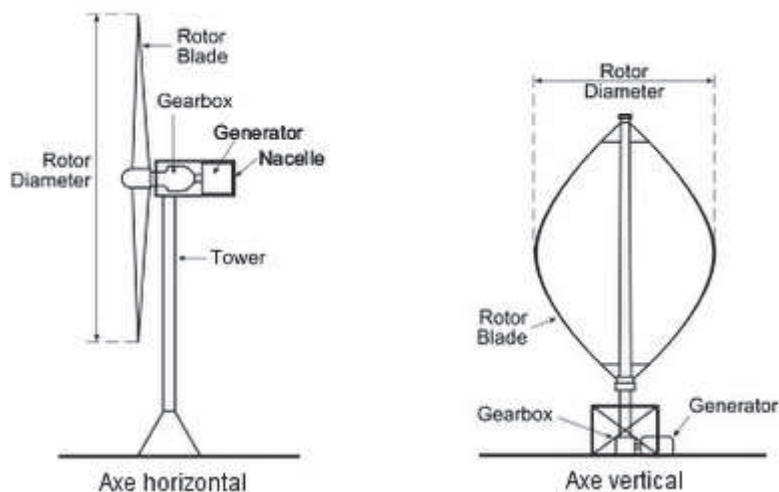


V. UTILISATION DE L'ENERGIE EOLIENNE

Principes du petit éolien

Les petites éoliennes offrent une puissance nominale comprise entre 100 watts et 50 kW. Elles sont perchées sur un mât qui peut atteindre 35 mètres de hauteur.

Figure 14 : différents types d'éoliennes

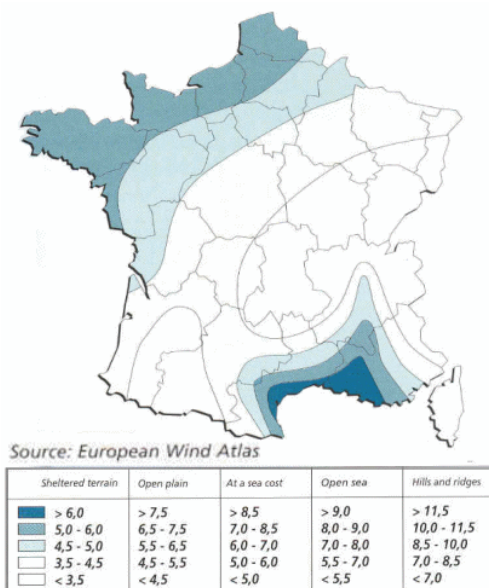


Le petit éolien a une rentabilité nettement plus faible que l'éolien industriel. Le retour sur investissement sera beaucoup plus incertain et dépend du prix d'achat de l'éolienne, des aides, du coût de la maintenance, du prix du marché de l'électricité et de la quantité d'électricité produite. Si le coût de production de l'électricité fournie par les éoliennes industrielles est situé autour de 50 euros le MWh (en Europe), il faut généralement s'attendre au double pour une petite éolienne.

L'énergie éolienne

La France est l'un des pays d'Europe qui dispose du meilleur potentiel éolien.

Figure 15 : Carte du potentiel éolien de la France



Néanmoins, chaque cas d'étude doit faire l'objet d'une étude approfondie :

- Utilisation d'un mâât de mesure pendant au moins un an,
- Détermination de la quantité de vent exploitable durant l'année,
- Détermination de la qualité du vent : régularité d'écoulement, absence de turbulence...
- Détermination de la vitesse du vent,
- Choix d'une éolienne adaptée aux conditions locales : turbulences, masquage.

### Le bruit des éoliennes

---

Bien que d'importants progrès aient été réalisés, il ne faut pas négliger cet aspect lors de l'installation d'une éolienne, surtout en milieu urbain. La propagation du bruit est un phénomène complexe qui dépend du terrain, du vent, du taux d'humidité dans l'air, etc.

Les éoliennes produisent par grand vent un bruit aérodynamique saccadé lié au frottement des pales dans l'air et un bruit mécanique qui provient de la génératrice.

Les petites éoliennes sont généralement très silencieuses car c'est souvent le réducteur de vitesse des grosses machines qui génère du bruit par gros vent. Les aérogénérateurs à axe vertical sont réputés pour leur silence de fonctionnement et un bon comportement dans les vents agités.

La loi sur le bruit (Code de la santé publique) indique que l'émergence sonore ne doit pas dépasser 5 dBA le jour et 3 dBA la nuit.

### Production annuelle

---

Un taux de charge de 1 600 heures est généralement constaté en France pour le petit éolien. En 2008, le facteur de charge de l'éolien industriel a varié mensuellement entre 10% et 37%, et la moyenne annuelle s'est établie à 23% (2015 heures) pour l'ensemble du parc éolien situé en métropole.

Pour une éolienne de 5 kW, une production de 8 000 kWh par an peut être attendue.

### Rentabilité

---

Si on tient compte du prix d'achat par EDF du kWh produit (l'éolien ne bénéficie pas des mêmes conditions de rachat que le solaire), une petite éolienne est amortie au bout de 15 à 20 ans de fonctionnement. Une très bonne exposition aux vents est la condition indispensable pour amortir une petite éolienne en 15 ans et espérer qu'elle fonctionne encore quelques années de plus. Si d'un point de vue financier, l'intérêt d'investir dans une petite éolienne pour substituer sa production à l'achat d'électricité sur le réseau EDF permet juste d'espérer l'équilibre, d'un point de vue écologique l'intérêt du petit éolien est indéniable puisque cette technologie ne produit pratiquement aucun déchet.

Le prix d'achat d'une petite éolienne de 2 kW se situe autour de 15 000 €, et de 30 000 € pour une petite éolienne de 10 kW (hors aides publiques).

Dans les conditions actuelles de rentabilité, le petit éolien sera avantageusement réservé aux zones non électrifiées, ou à des opérations exceptionnelles de valorisation.

### L'éolienne en milieu urbain en général et en particulier pour la ZAC Saint-Vincent-de-Paul

---

En milieu urbain, les mises en œuvre d'éoliennes sont rares. Historiquement, depuis 2006, une éolienne est installée sur le toit d'un immeuble HLM d'Equihen-Plage près de Calais. Depuis 2010, une autre a été

installée sur le toit de la Maison de l'air dans le 20<sup>ème</sup> arrondissement de Paris. Pour ces deux installations, les analyses de retour d'expérience ne sont pas disponibles.

Un retour d'expérience a été rendu public en 2012 par l'IFPEB (Institut Français de la Performance Energétique des Bâtiments) pour le bâtiment Hélianthe situé à Lyon Confluence. Le bâtiment est alimenté par une éolienne à axe vertical de 20 kW. Les calculs prévisionnels envisageaient une production électrique à hauteur de 2,2 kWh/m<sup>2</sup>. Au bout de la première année, la production réelle n'était que de kWh/m<sup>2</sup>. La première analyse pointait une surestimation du potentiel éolien urbain du site et un manque de maîtrise de cette technologie (conception et exploitation).

Plus récemment, a été inauguré en 2013, un nouveau bâtiment de 9 300 m<sup>2</sup> situé porte des Lilas dont le maître d'ouvrage est la RIVP. Ce bâtiment réunit un foyer pour migrants et jeunes travailleurs de 240 logements ainsi qu'une crèche de 66 berceaux. Il est surmonté de deux éoliennes à axe vertical installées en toiture. Elles alimentent la crèche dans la journée et basculent sur le foyer le soir. La production estimée à 25kWh/m<sup>2</sup> permet de répondre avantageusement au plan climat de Paris.

Ce choix de production énergétique encore expérimentale en milieu urbain est ici particulièrement justifié car le bâtiment dont l'altimétrie est élevée (9 étages), se trouve dans un couloir venteux.

**Figure 16 : Photo des éoliennes, porte des Lilas (source « Faiteslepleind'avenir.com »)**



Le recul d'expérience est encore un peu court mais il est certain que la réussite d'un tel projet nécessite au préalable une étude de gisement éolien réalisée par un bureau d'étude indépendant du fournisseur. Cette étude comporte le croisement du modèle météorologique, celui de rugosité (circulation à travers les immeubles) ainsi que l'étude du relief.

Pour la ZAC Saint-Vincent-de-Paul, l'étude d'impact montre, en première analyse, que le site est peu venté.

Plus généralement, une fiche technique publiée en février 2015 par l'ADEME sur le petit éolien préconise la plus grande prudence concernant l'installation d'éolienne en milieu urbain (voir extrait ci-dessous du tableau de synthèse).

**Figure 17 : Synthèse des recommandations de l'ADEME concernant le petit éolien (source ADEME)**

Typologie	Constat	Recommandations ADEME
Eoliennes rattachées au pignon des habitations	Peuvent mettre en danger la stabilité du bâtiment	Déconseiller systématiquement
Eoliennes en milieu urbain ou péri-urbain	i) Le vent est en général trop faible ou trop turbulent pour une exploitation rentable ii) Risque élevé de modification du paysage urbain, impactant la ressource en vent	Déconseiller les installations
Eolienne en zone rurale (connectée ou non au réseau électrique)	La ressource est plus facilement accessible. Les éoliennes à installer en milieu rural sont globalement plus homogènes, techniquement plus matures. Un soutien au déploiement sur ce secteur permettrait de suivre une courbe d'apprentissage plus rapide que pour des plus petites machines.	Secteur cible pour les petites et moyennes éoliennes. Etudes de faisabilité ou opération exemplaire pour un bouquet de travaux EnR-efficacité énergétique.

Compte tenu de ce qui précède (sensibilité aux turbulences en milieu urbain, bruit, rentabilité et avis de l'ADEME) et faute de disposer de retours d'expérience convaincants et d'une offre technico-économique probante, le petit éolien n'est pas préconisé pour le projet de ZAC Saint-Vincent-de-Paul.

**Synthèse pour l'éolien :** Les retours d'expérience sur le petit éolien utilisé en zone urbaine ne sont pas encore suffisamment probants pour envisager une diffusion plus large de la technologie et son utilisation dans le cas de la ZAC Saint-Vincent-de-Paul.

## VI. UTILISATION DE LA GEOTHERMIE

### Principes de l'énergie géothermique

La géothermie consiste à utiliser l'énergie contenue sous la surface de la terre. Pour des opérations d'urbanisme de cette ampleur, cette énergie peut être récupérée dans des nappes aquifères ou par des forages verticaux (pieux secs géothermiques ou forages secs verticaux).

Dans la région Ile de France, plusieurs nappes aquifères peuvent être utilisées. Parmi celles-ci, seule celle du Dogger possède une température suffisante (56°C à 85°C) pour une utilisation directe de la chaleur mais sa profondeur (1 500 à 2 000 m), donc les coûts de forage qui en résultent ne sont pas compatibles avec une opération de la taille de la ZAC. Les investissements nécessaires pour l'accès à la ressource (6 à 10 M€) sont rédhibitoires pour ce projet.

L'utilisation d'une nappe aquifère, même moins profonde que le Dogger, nécessite une étude approfondie qui n'a pas été menée dans le cadre de cette mission. En Ile de France, on trouve les calcaires du Lusitanien (Profondeur 1 500 m, température 40 à 60°C), les sables du Néocomien (Profondeur 750 à 1 100 m, température 35 à 50°C), les sables de l'Albien (Profondeur 600 m, température 25 à 30°C), les nappes superficielles (Profondeur < 100 m, température 12 à 15°C). Le potentiel d'une nappe dépend en effet de sa profondeur (plus la nappe est profonde, plus les coûts d'investissement liés au forage seront élevés), de ses caractéristiques techniques (température, épaisseur saturée, transmissivité, hydrochimie) qui permettront d'en déduire le potentiel énergétique.

L'étude réalisée par le BRGM en janvier 2012 « Etude préalable à l'élaboration du schéma de développement de la géothermie en Ile de France » ne détermine pas de potentiel de développement de solutions sur aquifères intermédiaires (Albien et Néocomien) étant donné les incertitudes sur les propriétés de la ressource thermique et le caractère stratégique de ces nappes pour la ressource en eau potable. Les nouvelles opérations en cours de réalisation (dont une dans le Nord de Paris intra muros) devront permettre de progresser sur la connaissance de ces aquifères et la valorisation de leur potentiel thermique.

Cette étude du BRGM identifie un potentiel de développement intéressant pour la géothermie sur nappe superficielle sur le territoire de Paris. Néanmoins, l'utilisation d'une telle ressource nécessite une étude approfondie de la ressource qui n'a pas été réalisée dans le cadre de cette mission. Le potentiel technique géothermique présent sur le site et montré aux figures 3 et 4 de la présente étude doit être pondéré par la figure suivante issue de l'étude BRGM sur le développement de la géothermie en Ile-de-France. Cette carte montre en effet que la zone de la ZAC est soumise à contrainte donc considérée comme ayant un potentiel nul.

**Figure 18 : Carte des contraintes concernant les pompes à chaleur sur aquifères superficiels (source BRGM)**

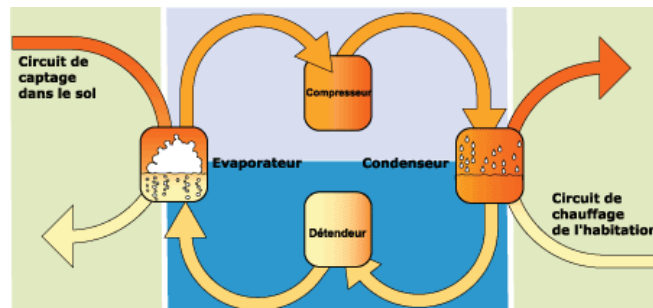


Compte tenu de ce qui précède, c'est la solution des pieux secs géothermiques (ou fondations géothermiques) qui est explorée dans le présent document. Cette technique a le mérite de pouvoir être prise en compte dans la conception même de la structure du bâtiment puisque ces pieux géothermiques peuvent aussi être utilisés comme éléments de fondation du bâtiment. Par ailleurs, elle présente l'avantage de ne pas être tributaire de la disponibilité des aquifères et des risques liés à l'exploitation de ceux-ci (pollution, qualité de l'eau ...).

La quantité restreinte d'énergie récupéré dans le sol (température moyenne de 10°C) rend obligatoire le recours à un dispositif « amplificateur » appelée Pompe à Chaleur (PAC) géothermale (ou géothermique).

Ce dispositif a pour rôle de prélever l'énergie dans le sous-sol à l'aide d'un dispositif de captage (ou capteurs), pour la transférer sous forme de chaleur dans le bâtiment à chauffer. Une PAC utilise l'énergie électrique (PAC électrique) ou l'énergie de combustion du gaz (PAC Gaz). Le rapport entre l'énergie fournie au bâtiment et l'énergie électrique (ou gaz) utilisée caractérise la PAC : c'est le COefficient de Performance (COP).

**Figure 19 : principe d'une pompe à chaleur (source Ademe).**



Pour cette opération, deux types de captage de l'énergie sont possibles : les sondes géothermiques verticales et les pieux géothermiques. Il est d'ailleurs fortement probable que les fondations géothermiques ne seront pas suffisantes et qu'il faudra avoir recours à un captage additionnel par des sondes géothermiques verticales.

Le captage d'énergie dans le sous-sol est en effet directement proportionnel à la longueur des sondes. La puissance thermique captée dans le sous-sol est de 50 W par mètre linéaire de forage.

#### Sondes géothermiques verticales

Les inconvénients des sondes géothermiques verticales sont leur coût élevé et la réglementation concernant la réalisation d'un forage. Celle-ci est en effet compliquée : elle est encadrée par différents codes, en particulier par le code minier. Pour résumer, le code minier implique la déclaration de tout forage supérieur à 10 m de profondeur et nécessite une autorisation (donc enquête publique avec établissement d'un document d'incidence) pour tout ouvrage supérieur à 100 m de profondeur.

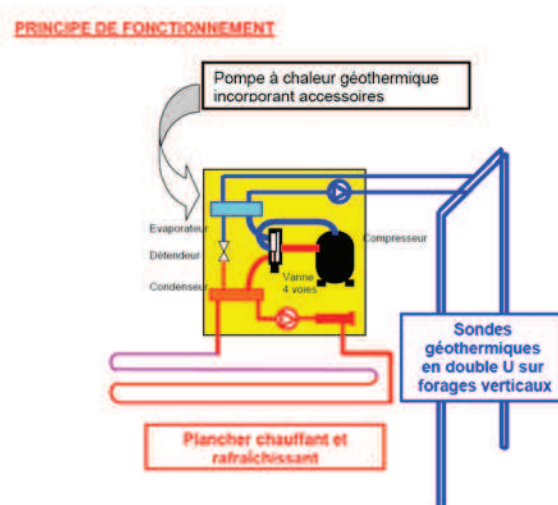
**Figure 20 : procédures administratives (Source Lemale – cours ENSAM)**

Référence réglementaire	Article ou Décret applicables aux sondes géothermiques	Dispositions applicables
Code civil	Articles 1792 et 2270	Tout constructeur d'ouvrage est responsable pendant 10 ans.
Code minier	Titre I, art. 3 - Titre IV, art.70 -Titre V, art.102 - Titre VIII, art. 131 - Décret 78-498 du 28/03/78	Les gîtes géothermiques sont considérés comme des mines. Tout forage de plus de 10 m oblige à déclaration préalable aux travaux. Les gîtes géothermiques de moins de 150 °C, de moins de 200 thermies/h (réf. 20 °C) : <ul style="list-style-type: none"> <li>• de moins de 100 m : simple déclaration.</li> <li>• de plus de 100 m : autorisation administrative.</li> </ul>
Code de l'environnement	Livre II « milieux aquatiques » - titre 1 « eau et milieux aquatiques » Décret n° 2003-868 du 11/09/03 (arrêté « forage ») - articles 3,4,6.	Le site d'un forage est choisi de façon à prévenir les risques de pollution depuis la surface ou souterraines par mélange de niveaux aquifères. La distance d'un forage doit être supérieure à 200 m de décharges et stockages de déchets ; 35 m de stockages d'hydrocarbures, de produits chimiques et phytosanitaires. 35 m d'ouvrages d'assainissement (dans ce dernier cas des dérogations peuvent être demandées au service instructeur). La réalisation d'un chantier de forage doit prendre en compte des précautions particulières pour prévenir les risques de pollution accidentelle.

Elles sont constituées de deux tubes de polyéthylène formant un U installés dans un forage (jusqu'à 80 m de profondeur) et scellés dans celui-ci par du ciment.

Pour ce type de chantier, Il est nécessaire de faire appel à une entreprise de forage qualifiée (le bureau de recherches géologiques et minières – BRGM – gère une liste de foreurs engagés dans une démarche de qualité) et de respecter les procédures administratives concernant la protection des sous-sols (cf paragraphe plus haut).

**Figure 21 : principes de fonctionnement d'une pompe à chaleur avec sondes géothermiques verticales (Source J. Bernier – Cours ENSAM)**



### Pieux géothermiques (ou pieux énergétiques ou encore fondations géothermiques ou thermoactives)

Certains bâtiments importants nécessitent pour des raisons de portance d'être construits avec des fondations sur pieux en béton. Ces pieux sont préfabriqués en usine et, lors de cette opération, il est possible de les équiper de capteurs (tubes de polyéthylène noyés dans le pieu). Le système de captage est ensuite connecté à une pompe à chaleur au moment de la réalisation du bâtiment. On parle alors de pieux géothermiques. Plus de 300 bâtiments, en Europe, sont équipés d'un tel système.

Ce principe présente l'avantage de ne pas occasionner de surcoût de forage puisqu'il aurait fallu forer pour installer les fondations. L'étude COFOGE (Conception de Fondations Géothermiques) réalisée par le BRGM et le CSTB pour l'Ademe en 2007 présente un retour d'expérience sur une étude complète. Cette étude mériterait bien évidemment une étude de faisabilité approfondie intégrée à l'étude sur chacun des bâtiments construits (structure et fondations du bâtiment). La solution technique des pieux géothermiques peut être couplée à la solution des sondes géothermiques verticales si les pieux de fondations ne présentent pas une longueur suffisante de sondes.

### Pompes à chaleur Electriques et pieux géothermiques

Dans une pompe à chaleur électrique, le compresseur figurant sur les figures 18 et 20 fonctionne avec une énergie électrique. Le liquide caloporteur circulant dans les sondes géothermiques transfère son énergie thermique à un gaz frigorigène et, refroidi, il retourne dans les sondes pour récupérer des calories dans le sol.

Le gaz frigorigène, ayant récupéré l'énergie thermique du sol, est ensuite réchauffé par compression. Il transfère alors son énergie à un liquide caloporteur qui circule dans les installations de chauffage collectif pour revenir en boucle chercher des calories à la pompe à chaleur.

Après avoir transféré ses calories au liquide caloporteur, le gaz frigorigène est détendu, donc refroidi. Il récupère alors l'énergie calorifique provenant du liquide caloporteur provenant des sondes.

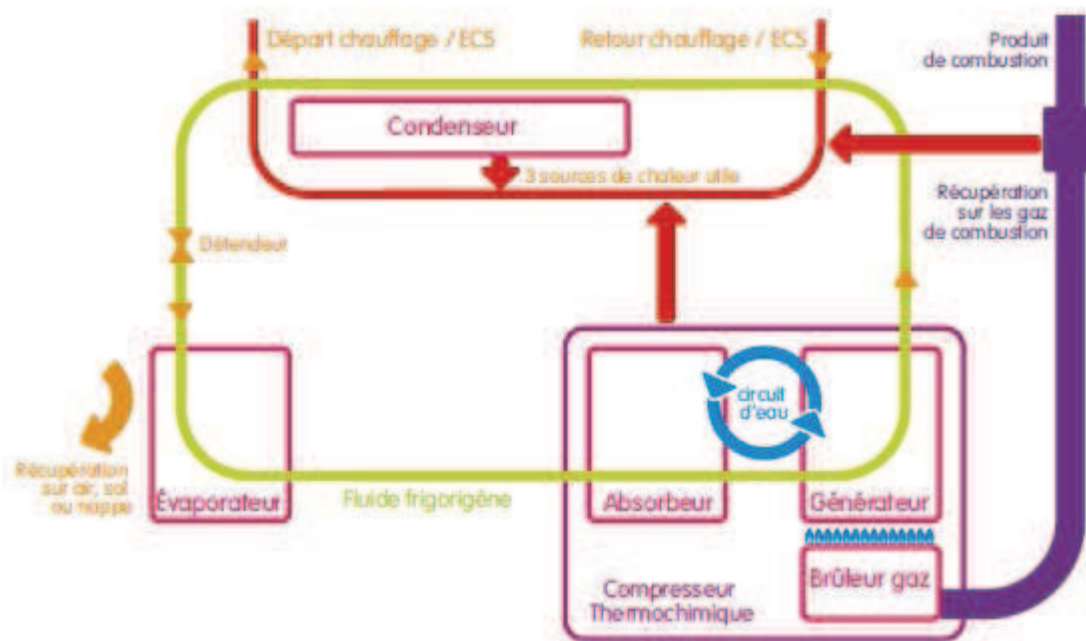
Pour une pompe à chaleur électrique, le COP usuel est de 3, c'est-à-dire qu'une puissance électrique de 1 kW permet d'obtenir une puissance thermique de 3 kW. Les 2 kW restant doivent être récupérés dans les sondes thermiques dont la longueur est fonction de la puissance.

Une puissance de 2 kW nécessite une longueur de sonde de 40 m.

### Pompes à chaleur Gaz et pieux géothermiques

**Figure 22 : Schéma de fonctionnement d'une pompe à chaleur gaz (source GRDF)**





Dans une pompe à chaleur gaz, le compresseur électrique est remplacé par un compresseur thermochimique dont la source d'énergie est un brûleur gaz. Ce système, amélioré par la récupération des calories des gaz de combustion comme sur une chaudière à condensation, permet d'obtenir un rendement de 170% (ou un COP de 1,7).

Avec une pompe à chaleur gaz à absorption, la chaleur environnante est portée, à l'aide d'un circuit de fluide frigorigène, d'une température faible à un niveau de température plus élevé. Ce fluide est dans ce cas l'ammoniac, dissous alternativement dans la machine sous forme gazeuse et dans de l'eau. L'entraînement du circuit est assuré par un brûleur à gaz, qui réchauffe la solution eau-ammoniac, faisant s'évaporer l'ammoniac de l'eau. Le gaz ammoniac chaud arrive dans le condenseur, dégage de la chaleur pour de l'énergie de chauffage et revient à l'état liquide. L'ammoniac liquide arrive ensuite dans le condenseur, où il absorbe de la chaleur environnante et retrouve sa forme gazeuse. A l'étape suivante, dans l'absorbeur, le gaz ammoniac se dissout dans l'eau, et dégage ainsi la chaleur absorbée. Le mélange eau-ammoniac est de nouveau pompé de l'absorbeur dans le générateur, et le circuit recommence. La pompe à chaleur à absorption à gaz permet également, en inversant le circuit, de produire du froid au lieu de la chaleur.

Une puissance gaz de 1,8 kW permet d'obtenir une puissance thermique de 3 kW. Les 1,2 kW restant doivent être récupérés dans les sondes thermiques dont la longueur est fonction de la puissance.

Une puissance de 1,2 kW nécessite une longueur de sonde de 24 m.

#### La géothermie dans le cas de la ZAC Saint-Vincent-de-Paul

Comme expliqué précédemment, la géothermie, même sur pieux secs, nécessite de nombreux forages et par conséquent, elle nécessite un sol aux caractéristiques adaptées.

Or, les études réalisées sur la qualité du sous-sol révèlent la présence d'anciennes carrières utilisées pour l'exploitation du calcaire situé sous la ville de Paris. Tout forage devra donc être réalisé avec beaucoup de précautions.

Par ailleurs, cette technique, intégrée à la conception des bâtiments, ne peut s'appliquer qu'aux bâtiments neufs. L'utilisation de cette technique pour les bâtiments neufs, nécessiterait de trouver une autre solution pour les autres bâtiments de la ZAC (bâtiments en rénovation).

**Synthèse pour la géothermie :** La technique des pieux géothermiques couplés avec une pompe à chaleur électrique ou à gaz mériterait d'être explorée dans le cadre de la conception de bâtiments neufs. Cette technique permet en effet d'utiliser l'énergie géothermique sans utiliser les aquifères situés en profondeur dont l'exploitation nécessiterait une étude approfondie et des coûts de forage non adaptés à la dimension de ce projet. Néanmoins, la qualité du sous-sol (présence d'anciennes carrières) et la nécessité de trouver une solution qui soit de préférence commune à tous les bâtiments de la ZAC dont certains seront rénovés, rendent cette solution beaucoup moins intéressante que le raccordement au réseau de chauffage urbain de la ville géré par la CPCU.

## VII. RECUPERATION DE LA CHALEUR DES EAUX USEES

Lors de leur évacuation, les eaux usées ont une température moyenne comprise entre 10° et 20° (selon la région et les saisons). Issues des cuisines, salles de bains, lave-linges et lave-vaisselles, les calories de ces eaux grises peuvent être utilisées pour le chauffage ou le refroidissement des bâtiments.

Fonctionnant sur le même principe qu'une VMC double flux pour l'air, un échangeur thermique permet de récupérer les calories dans les canalisations d'évacuations et de les transférer aux bâtiments via une pompe à chaleur.

Le système est réversible, il permet de rafraichir les bâtiments en été lorsque la température des eaux usées est inférieure à la température intérieure des bâtiments.

La Lyonnaise des Eaux propose un système de chauffage à partir de la récupération des calories des eaux usées. Baptisée "Degrés bleus". Cette offre est en particulier testée au centre aquatique de Levallois. Le coût d'un tel dispositif varie en fonction du contexte urbain (constructions nouvelles, anciennes, accessibilité...) pouvant être amorti en quelques années pour une durée de vie de 30 ans.

Comme la précédente, cette technique nécessite d'être étudiée dans le cadre de la conception de chacun des bâtiments neufs.

Une étude récente sur des bâtiments d'habitations rénovés dans le cadre du GPRU situés rue L'Herminier et rue Faure à Paris montrent qu'une récupération des calories sur les eaux usées pour préchauffer l'eau chaude sanitaire permettant d'économiser 12 kWh/m<sup>2</sup>.

**Synthèse pour la récupération d'énergie sur les eaux usées :** Comme la géothermie sur pieux secs, cette technique mérite d'être intégrée dès la conception des bâtiments neufs.

## I. POTENTIEL TOTAL DE PRODUCTION D'ENERGIE RENEUVELABLE OU DE RECUPERATION

Les principales sources d'énergies renouvelables ou de récupération quantifiées sont la partie liée à l'incinération des ordures ménagères présente dans le réseau de chauffage urbain de la ville de Paris (49%), la production d'eau chaude sanitaire avec des capteurs solaires thermiques et la production d'électricité solaire photovoltaïque.

La production totale d'énergie renouvelable quantifiée se décompose ainsi :

- Réseau de chauffage urbain : 1 310 MWh (49% de la partie chauffage et eau chaude),
- Solaire thermique : 400 MWh,
- Solaire photovoltaïque : 140 MWh (360 MWh en énergie primaire).

Soit un total de 2,1 GWhep.

En rapprochant cette production du besoin d'énergie de 9,1 GWh, le taux de couverture serait donc de 23%, inférieur au taux de couverture requis de 30%. Mais il conviendrait d'y ajouter la récupération de chaleur sur les eaux usées pouvant atteindre plusieurs centaines de MWh.

Ce taux de couverture serait amené à évoluer avec l'évolution du mix énergétique des usines d'incinération en faveur des ordures ménagères et de la biomasse.

**Synthèse globale du chapitre :** Compte tenu du contexte, certaines sources d'énergies renouvelables et de récupération peuvent être abandonnées car elles ne sont pas adaptées alors que d'autres peuvent être envisagées. Parmi ces dernières, figurent : le raccordement au réseau CPCU, la récupération de chaleur sur les eaux usées, le solaire thermique et le solaire photovoltaïque. La géothermie sur pieux secs, nécessitant des études complexes et approfondies, peut être envisagée si le raccordement au réseau de chauffage urbain n'était pas possible. L'enjeu est que les études spécifiques concernant ces différentes techniques soient intégrées dès la conception des bâtiments. Le potentiel de production quantifié dans le scénario « CPCU + solaire + récupération de chaleur sur les eaux usées » aboutit à un taux de couverture d'environ 25% des besoins d'énergie par des sources d'énergies renouvelables et de récupération.

## 4. ANALYSE DE PLUSIEURS SCENARIOS D'ENERGIE RENOUVELABLE ET DE RACCORDEMENT A UN RESEAU

### I. PREAMBULE

L'objectif de ce chapitre est, en repartant du premier inventaire des techniques possibles pour la ZAC Saint-Vincent-de-Paul effectué dans le chapitre précédent, d'envisager la mise en œuvre de plusieurs scénarios sur les plans organisationnels et économiques.

Cette pré-étude n'a pas d'autre objectif que d'apporter un premier éclairage comparatif entre les différents scénarios. Elle ne se substitue pas à des études technico-économiques approfondies qui seront indispensables pour poursuivre la démarche.

A ce stade, les différents scénarios sont envisagés globalement pour la totalité du projet. Dans la suite des études qui seront menées, il est probable que cette étude globale devra être menée de front avec une étude plus détaillée par secteur ou par immeuble.

### II. LES DIFFERENTS SCENARIOS

Parmi les besoins en énergie évalués, les besoins en électricité sont couverts par un raccordement au réseau électrique qui permet en outre d'écouler la production d'électricité. En effet, d'une part la mise en œuvre d'une production solaire photovoltaïque ne permet pas de couvrir les besoins en quantité (dans le cas présent à peine plus de 2% des besoins de consommation électrique peuvent être couverts par une production locale photovoltaïque) et d'autre part la vente à EDF de l'électricité produite est économiquement plus avantageuse que son autoconsommation (tarif de vente à EDF supérieur au tarif de consommation).

Les besoins thermiques (chauffage et eau chaude sanitaire) peuvent être couverts de trois manières :

- Chaudière collective à condensation au gaz dans chaque bâtiment,
- Raccordement au réseau de chauffage urbain CPCU,
- Technique des pieux secs géothermiques.

Faire le choix entre ces trois solutions n'est pas anodin :

- Du point de vue de l'organisation : un chauffage collectif nécessite une entité organisatrice. Si le chauffage collectif est simple à mettre en œuvre au niveau d'un gestionnaire unique (organisme HLM ou promoteur), il nécessite une entité organisatrice si la chaufferie et le réseau alimentent des bâtiments gérés par différents gestionnaires. Dans le cas de Paris, l'entité organisatrice existe, c'est la CPCU.
- Du point de vue économique : les coûts d'investissement et d'exploitation seront différents entre les trois types d'alimentation en énergie thermique et suivant le type de technologie retenue.
- Du point de vue environnemental : les émissions de gaz à effet de serre seront différentes entre les trois types d'alimentation en énergie thermique et suivant le type de technologie retenue. Le recours aux énergies renouvelables (géothermie, solaire) permettra de diminuer la consommation d'énergie fossile (gaz) ou électrique, diminuant ainsi les émissions de gaz à effet de serre du projet.

La solution en général privilégiée est la chaudière gaz à condensation pour chacun des équipements. Cette solution constituera donc le **scénario 1**, scénario de référence auquel les autres scénarios seront comparés.

Dans le **scénario 2**, le réseau de chauffage urbain CPCU dessert tous les bâtiments.

Dans le **scénario 3**, chaque équipement est alimenté par un système de pieux secs géothermiques associé avec une pompe à chaleur électrique ou gaz.

Chacun de ces scénarios peut être complété par des apports complémentaires en énergies renouvelables et de récupération :

- Energie solaire thermique pour couvrir une partie des besoins en eau chaude sanitaire pour les équipements consommateurs d'eau chaude sanitaire : logements, crèche et gymnase.
- Energie solaire photovoltaïque pour couvrir une partie des besoins en consommation d'électricité ou être vendue à EDF.
- Récupération de l'énergie des eaux usées.

Les scénarios sont comparés avec le scénario de référence (scénario 1) suivant les critères suivants :

- Difficultés de mise en œuvre organisationnelle,
- Difficultés de mise en œuvre technique,
- Consommation surfacique chauffage et ECS ( $\text{kWh}_{EP}/\text{m}^2$ )
- Taux ENR chauffage et ECS (%)
- Emissions de gaz à effet de serre évitées ( $\text{tCO}_2$  évitées)
- *Investissement supplémentaire (I)\**
- *Coût global actualisé ramené au MWh consommé\**
- *Valeur actualisée nette sur 20 ans sur projet (VAN)\**
- *Temps de retour brut de l'investissement supplémentaire (Trb)\**
- *Rentabilité de l'investissement (%) =  $VAN/I$ \**

(\*) : A ce stade de l'étude, la comparaison économique n'a pas été réalisée.

### III. PRODUCTION D'ENERGIE SOLAIRE

Les surfaces en terrasse disponible sont estimées à environ 2 000 à 3 000 m<sup>2</sup>. Elles pourraient utilement accueillir des systèmes de chauffe-eau solaires pour l'eau chaude sanitaire et de production d'électricité photovoltaïque. Nous estimons en première approximation à 2 000 m<sup>2</sup> la surface utilisable pour tenir compte des masques et orientations.

Le potentiel de production d'énergie est de :

- Eau chaude sanitaire solaire : production de **400 MWh** pour une surface totale de 1 000 m<sup>2</sup>.
- Electricité photovoltaïque : production de **140 MWh** avec environ 1 000 m<sup>2</sup> de capteurs posés (hypothèse : production de 140 kWh/m<sup>2</sup> installé).

### IV. RESULTATS DE L'ETUDE TECHNIQUE

#### Difficultés organisationnelles et de mise en œuvre

La comparaison des scénarios sous l'angle des études, de l'organisation et de la mise en œuvre technique est résumée par le tableau suivant :

	Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Descriptif du scénario	Chaudières collectives à condensation	Raccordement au réseau de chauffage urbain CPCU	Géothermie sur pieux secs et sondes géothermiques verticales, pompes à chaleur électrique ou gaz
Etudes à mener dès la conception des bâtiments	aucune	Raccordement CPCU	Pieux secs géothermiques
Difficultés de mise en œuvre organisationnelle	aucune	Implication de la CPCU (difficulté faible)	aucune
Difficultés de mise en œuvre technique	Adduction gaz	Raccordement au réseau	Forage (difficulté forte) et adduction gaz

#### Comparaison technique

La comparaison des scénarios sous l'angle technique (% d'énergie renouvelable) et environnemental (émissions de CO<sub>2</sub>) est résumée par le tableau suivant :

		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
<b>Consommation surfacique Energie Primaire (Chauffage/ECS)</b>	<b>kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.an</b>	<b>59,5</b>	<b>61,8</b>	<b>18,6 (électrique) 36,8 (gaz)</b>
<b>Consommation surfacique Energie Primaire (5 usages)</b>	<b>kWh<sub>EP</sub>/m<sup>2</sup>.an</b>	<b>71,3</b>	<b>73,6</b>	<b>30,3 (électrique) 48,5 (gaz)</b>
<b>Taux EnR (chauffage/ECS)</b>	<b>%</b>	<b>0%</b>	<b>25%</b>	<b>69% (électrique) 38% (gaz)</b>

<b>Emissions de CO2 évitées sur 20 ans (/scénario 1)</b>	<b>tCO<sub>2</sub></b>		<b>1 400</b>	<b>8 000 (électrique) 4 400 (gaz)</b>
--	------------------------	--	--------------	---

Le scénario 3 est celui qui a le plus fort taux d'énergie renouvelable et qui est le moins émissif de gaz à effet de serre mais l'évolution du mix du réseau de la CPCU peut amener le scénario 2 à être dans les prochaines années le moins émissif.

Le scénario 2 constitue donc le meilleur compromis avec proportion d'énergie renouvelable de 25% qui ne peut que croître compte tenu de la part de plus en plus importante des énergies renouvelables dans le mix de la CPCU et des émissions de gaz à effet de serre évitées significatives par rapport au scénario 1.

## V. CONCLUSION

Compte tenu de ce qui précède, les scénarios envisagés peuvent être qualifiés de la manière suivante :

- Le plus raisonnable et plus logique : scénario 2, raccordement au réseau de chauffage urbain géré par la CPCU avec de l'énergie solaire (thermique et photovoltaïque) comme apport d'énergie renouvelable et la récupération d'énergie sur les eaux usées.
- En solution de repli : scénario 3, mise en œuvre d'une géothermie avec sondes géothermiques verticales et pieux secs couplés avec une pompe à chaleur électrique ou gaz. C'est en effet ce scénario qui intègre le plus fort taux d'énergie renouvelable (géothermie) mais sa mise en œuvre est complexe par rapport au scénario 2 aisé à mettre en œuvre. Il peut être complété avec du solaire (thermique et photovoltaïque) et la récupération d'énergie sur les eaux usées.

Cette piste nécessite une étude de faisabilité technico-économique concernant les forages et le surcoût des pieux géothermique dans la conception des bâtiments.

Chacun de ces deux scénarios peut être couplé avec l'énergie solaire thermique et photovoltaïque : Pour déployer ces technologies, il n'y a pas besoin d'étude de faisabilité supplémentaire. Il convient de respecter les prescriptions du Plan Local de l'Urbanisme de Paris et déposer une demande d'autorisation préalable. Pour le solaire thermique, le cahier des charges de maîtrise d'œuvre des bâtiments peut imposer un taux de couverture de 50% de l'eau chaude sanitaire. Pour le solaire photovoltaïque, le même cahier des charges peut spécifier l'intégration au bâti de capteurs photovoltaïques tels que des casquettes ou des gardes corps en façade sud ou encore de capteurs solaires photovoltaïques plans intégrés dans les toitures inclinées orientées au sud. Ces deux technologies peuvent être subventionnées par la région et par l'Ademe. Pour le photovoltaïque, il conviendra de ne pas dépasser les 650 m<sup>2</sup> de capteurs par bâtiment afin de rester en dessous de la limite de 100 kWc et pouvoir ainsi bénéficier du tarif d'achat par EDF.

Ces premiers scénarios, envisagés de manière globale sur le projet, doivent être considérés comme une première approche. Ils devront être affinés par des études technico-économiques plus approfondies. Ces études devront en particulier intégrer dès la conception des bâtiments la possibilité de raccordement au réseau CPCU ainsi que la récupération de chaleur sur les eaux usées.

## BIBLIOGRAPHIE

- Plan Climat Energie de Paris – Grandes orientations, novembre 2012.
- Schéma Régional Climat Air Energie de l’Ile de France.
- Synthèse de l’étude préalable à l’élaboration du schéma de développement de la géothermie en Ile-de-France - rapport final, janvier 2012.
- Evaluation du potentiel de développement du chauffage urbain en Ile-de-France – document d’analyse réalisé à partir de l’étude sur les réseaux de chaleur contributive à l’élaboration du SRCAE, octobre 2012.
- Plan de Protection de l’atmosphère (PPA) de la région Ile-de-France, juillet 2012.
- Fiche thématique, cahier de recommandations environnementales du CAUE de paris – Edition n°2, octobre 2009.
- Arrêté du 7 janvier 2013 fixant les nouveaux tarifs d’achat de l’électricité solaire photovoltaïque ainsi que les conditions de majoration suivant le lieu de fabrication.
- Rapport final de l’étude COFOGE (Conception de Fondations Géothermiques) septembre 2007 pour l’Ademe (Etude BRGM et CSTB).
- Eude du Conseil Général des Mines « Les réseaux de chaleur » 29 mars 2006 pour le ministère de l’économie, des finances et de l’industrie.
- Documents sur les PAC gaz Géothermiques : GRDF, Robur.
- Arrêté du 24 mai 2006 relatif aux caractéristiques thermiques des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.
- Document Ademe : « Le contenu en CO<sub>2</sub> du kWh électrique : Avantages comparés du contenu marginal et du contenu par usages sur la base de l’historique ».
- Document Ademe : « Passez aux énergies renouvelables avec le fonds chaleur ».
- Document Ademe : « Méthode de calcul du niveau d’aide 2010 ».
- Document conjoint Ademe et Conseil régional Ile-de-France : « AIDES ENERGIE » V3.3 de 14 juin 2010.
- Guide d’aide à la décision pour l’installation de pompes à chaleur sur nappe aquifère en région Ile de France (ADEME/BRGM).