

PROJET DE REAMENAGEMENT DE LA CITE JARDIN DE CHATENAY MALABRY (92)

ETUDE DE FAISABILITE SUR LE POTENTIEL D'APPROVISIONNEMENT
EN ENERGIES RENOUVELABLES DE LA Cité Jardin à Chatenay Malabry



Date de mise à jour : Septembre 2023
INDICE 2

Contenu

Table des matières

I.	Périmètre de l'étude et objectifs	3
1.	HdB Habitat	3
2.	La Cité-Jardin	3
3.	Les enjeux énergétiques	5
II.	Etude des besoins énergétiques propres à la zone	6
1.	Méthode d'évaluation des besoins énergétiques	6
2.	Méthode d'évaluation des puissances	7
3.	Répartition des besoins énergétiques	8
4.	Les besoins en puissance	9
III.	Les Energies renouvelables et fatales applicables	10
1.	Panorama des énergies renouvelables et fatales	10
2.	Perspectives d'intégration des énergies renouvelables	12
IV.	Description détaillée des scénarios	20
V.	Analyse comparative des scénarios	25
1.	Comparaison des différents scénarii	25
2.	Résultats/ Synthèse des coûts	29
1-	Les scénarii et leurs coûts	29
2-	Synthèse des coûts	29
3-	Impact carbone des solutions proposées	30
VI.	Conclusion	31

I. Périmètre de l'étude et objectifs

1. HdB Habitat

Fusion de trois établissements publics de coopération intercommunale : L'Etablissement public territorial Vallée Sud - Grand Paris résulte de la fusion de trois établissements publics de coopération intercommunale : la Communauté d'agglomération des Hauts de-Bievre, la Communauté d'agglomération de Sud-de-Seine, et la Communauté de Communes de Châtillon-Montrouge.

Il compte 11 communes (Antony - Bagneux – Bourg la Reine – Châtenay-Malabry – Châtillon – Clamart - Fontenay aux Roses – Malakoff - Montrouge – Le Plessis Robinson – Sceaux) et 400 617 habitants au 1er janvier 2019.

2. La Cité-Jardin

Le quartier de la Cité Jardin est situé au sud-est de la commune de Châtenay-Malabry à proximité des grands axes routiers. Elle est bordée par l'avenue de la Division Leclerc au Nord, la rue Jean Baptiste Clément à l'Ouest, et par la N385 au Sud. L'avenue de la division Leclerc (D986), axe historique reliant Choisy-le-Roi à Versailles, marque fortement le territoire qu'elle traverse d'Est en Ouest. La ligne de tramway T10 y circule à partir de juin 2023. Le secteur est bien desservi par les axes routiers. La commune de Châtenay-Malabry est avant tout caractérisée par la diversité des tissus urbains et la forte mixité spatiale qui en résulte. Notamment bordée au sud et l'ouest par la forêt de Verrières.

L'objectif est d'encadrer et maîtriser le développement de ce secteur en élaborant un projet d'aménagement d'ensemble cohérent. Ce projet d'aménagement aura pour objectif de promouvoir la mixité fonctionnelle, sociale et urbaine du secteur et d'intégrer une démarche de développement durable. En effet, lors de l'approbation du PLU en 2015, la volonté était de faire évoluer le schéma urbain, d'ambitionner un territoire vert (favoriser le développement des énergies renouvelables, Le renforcement de l'armature végétale existante et le développement d'une 'trame verte' reliant les grands espaces paysagers entre eux et assurant des fonctions écologiques et récréatives ...)

L'enjeu est aujourd'hui de structurer ce quartier pour que la population, les associations, les entreprises et les commerçants y vivent ensemble et profitent de cette localisation exceptionnelle.

Le projet d'aménagement est fondé sur le principe de protection de l'environnement et de la nature en ville. En effet, le projet créera des espaces verts (parc, jardin, square) afin d'améliorer le cadre de vie tout en luttant contre l'effet d'îlot de chaleur urbain, les risques de ruissellement des eaux pluviales et participera ainsi à rendre la ville de Châtenay-Malabry plus résiliente face aux effets du changement climatique. Enfin, le projet devra s'inscrire dans une démarche d'écoquartier en promouvant une démarche de chantier "bas carbone" ainsi que la haute performance énergétique et environnementale du bâti, notamment pour les constructions neuves.

LA CITE JARDIN EN QUELQUES CHIFFRES pour cette étude :

- Environ 60 ha
- SDP Totale de 300 000 m² environ dont :
 - 275 156 m² de logements (92%*)
- Logements Neufs : 137 101 m²
- Logements Rénovation : 138 055 m²
 - 3 500 m² pour services et commerces (1%*)
 - 21 000 m² d'équipements (7%*)

* Pourcentage des surfaces par rapport à la surface totale des constructions

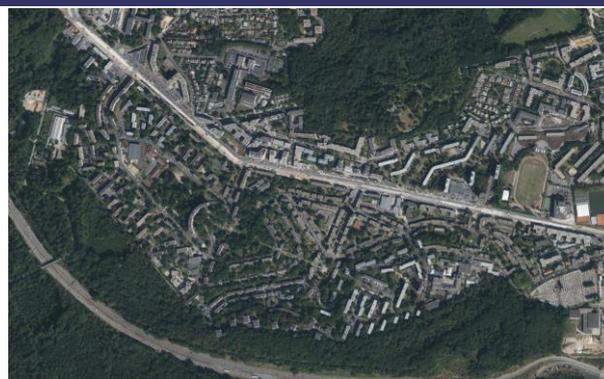


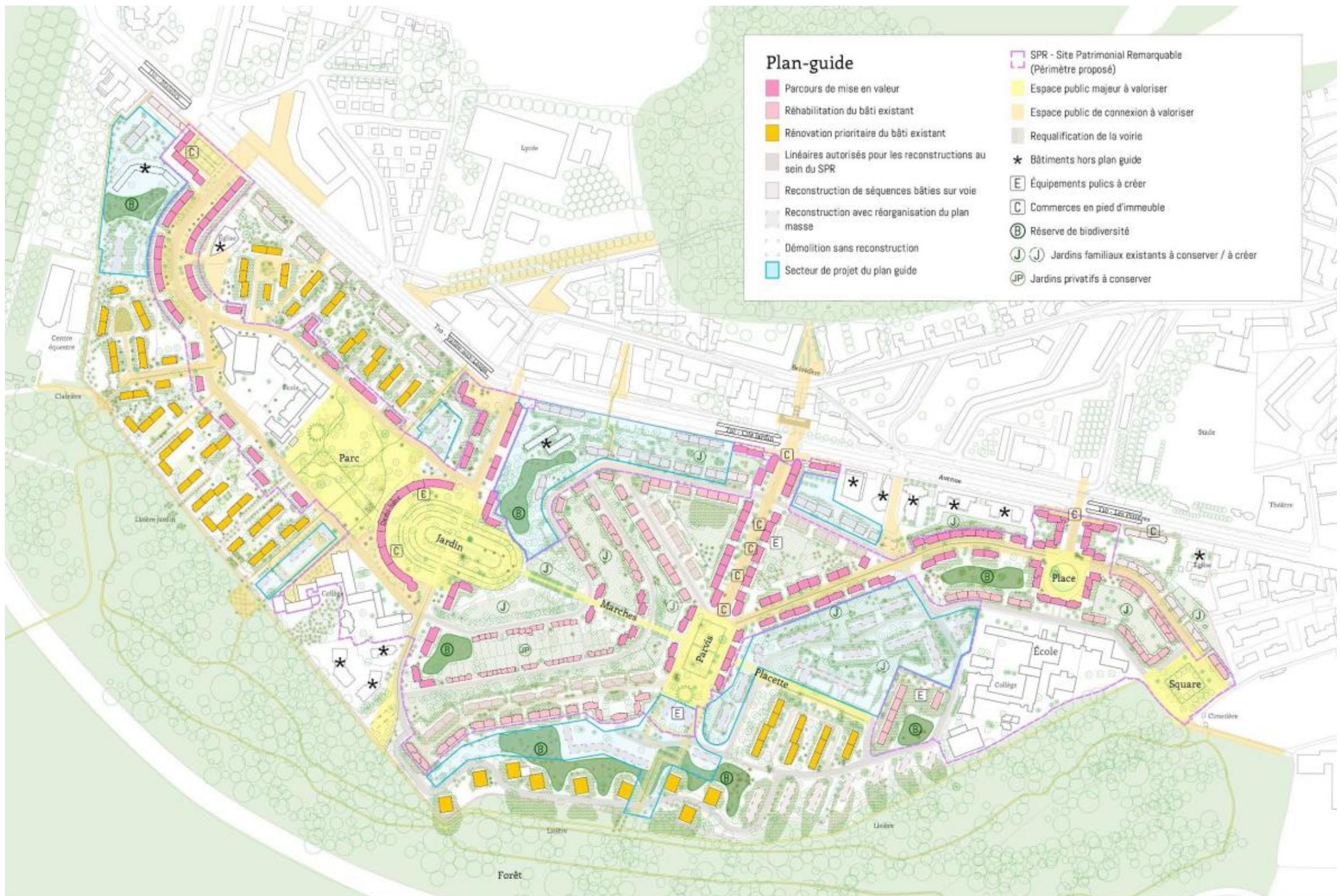
Figure 1: La Cité Jardin dans le territoire

La rénovation de la Cité Jardin va permettre une programmation ambitieuse de rénovation, extension ou création d'équipements publics de proximité, indispensables pour garantir l'exigence de mixité sociale qui est au cœur du projet. La stratégie de diversification résidentielle du projet global a pour objectif de favoriser le parcours résidentiel des habitants de la Cité Jardin en introduisant une offre sociale variée (PLAI /PLUS / PLS/ accession sociale) et une offre libre sur le quartier.

Le principe d'aménagement prévoit une mixité fonctionnelle au sein du programme avec en complément des logements, des équipements publics et des activités commerciales et tertiaires.

Les orientations d'aménagement et de programmation sont le socle de la mission de coordination globale paysage-urbanisme et architecture avec pour objectifs de :

- Valoriser les limites de quartier et les rendre perméables.
- Affirmer les entrées historiques comme des agrafes urbaines.
- Valoriser les identités de quartiers au sein du projet d'ensemble
- Créer de nouveaux lieux de destination
- Reconstruire l'intégrité paysagère des cœurs d'îlots
- Apporter des réponses en matière de mobilité et de stationnement
- Apporter des réponses en matière d'énergie
- Développer l'attractivité économique et culturelle de la Cité Jardin



Plan-guide

■ Parcours de mise en valeur	 SPR - Site Patrimonial Remarquable (Périmètre proposé)
■ Réhabilitation du bâti existant	■ Espace public majeur à valoriser
■ Rénovation prioritaire du bâti existant	■ Espace public de connexion à valoriser
■ Linéaires autorisés pour les reconstructions au sein du SPR	■ Requalification de la voirie
■ Reconstruction de séquences bâties sur voie	★ Bâtiments hors plan guide
■ Reconstruction avec réorganisation du plan masse	E Équipements publics à créer
■ Démolition sans reconstruction	C Commerces en pied d'immeuble
■ Secteur de projet du plan guide	ⓑ Réserve de biodiversité
	Ⓝ Jardins familiaux existants à conserver / à créer
	Ⓝ Jardins privés à conserver

3. Les enjeux énergétiques

Quelles énergies et quels systèmes techniques associés pour alimenter environ 300 000 m², principalement de logements, à l'horizon 2035 ?

Comment intégrer une part significative d'énergies **renouvelables ou fatales** dans le mix énergétique propre à ce nouveau quartier ?

Quel est le choix le plus respectueux de l'environnement et le plus viable économiquement pour les opérateurs devant construire et s'installer sur le territoire ?

Ces 3 questions résument les principaux enjeux pour l'approvisionnement énergétique de la Cité Jardin à Chatenay-Malabry.

ENJEUX ENERGETIQUES ET OBJECTIFS DE L'ETUDE :

- Comparer les solutions énergétiques exploitables sur le site de façon indépendante
- Identifier le mix énergétique intégrant les énergies renouvelables ou fatales disponibles sur cette zone et économiquement viable
- Disposer d'un taux de couverture des besoins en énergie des bâtiments de la Cité significatif
- Définir les possibilités de planification voire de « montée en charge » du mix énergétique afin de pouvoir programmer les investissements concomitamment avec l'ordre d'entrée en jeu des opérateurs en charge de la construction des lots

II. Etude des besoins énergétiques propres à la zone

1.Méthode d'évaluation des besoins énergétiques

Pour l'estimation des besoins énergétiques, nous utilisons en général les valeurs moyennes extraites d'études thermiques réalisées sur des opérations similaires avec des usages identiques.

Pour autant, il est à noter que la mise en place progressive de la RE2020, démarrée début 2022 pour les logements neufs et à partir de mi-2022 pour les activités tertiaires, impacte fortement la thermique des ouvrages et leurs besoins énergétiques.

Ainsi, la programmation prévue pour la cité Jardin intégrant essentiellement de la construction neuve, et au regard de la planification prévisionnelle de déploiement du quartier, il a été considéré une performance des bâtiments RE2020 -15%.

LA RE2020 : VERS DES BATIMENTS A ENERGIE POSITIVE

Les Bâtiments à Energie Positive sont des bâtiments qui produisent plus d'énergie (électricité, chaleur...) qu'ils n'en consomment, en moyenne globale.

Si la RT2012 prend en compte uniquement 5 usages liés au bâtiment (Chauffage, Refroidissement, Production d'Eau Chaude Sanitaire, Eclairage et Auxiliaires (Pompes, ventilateurs...)), la RE2020 prend en compte des usages supplémentaires liés aux appareils électriques et électroménagers ainsi qu'aux services généraux. Ce périmètre élargi permet de rapprocher les consommations théoriques des réelles.

Néanmoins, étant donné qu'il est régulièrement constaté un écart entre les études réglementaires et les consommations réelles des bâtiments en fonctionnement, une approche prudentielle a été observée pour l'évaluation des besoins : ainsi, une marge de correction par rapport aux valeurs issues des 1ers retours d'expérience des études thermiques réglementaires RE2020 a été prise. **Celle-ci représente environ +60% / consommations conventionnelles réglementaires converties en énergie finale.**

Dans le tableau ci-dessous, les ratios de besoins énergétiques pris en compte pour les différents usages dans le cadre de la présente étude sont précisés.

	Chauffage	Refroidissement	ECS	Eclairage	Ventilation	Auxiliaires	Total
Logements collectifs	34	0	22	2	2	2	62
Education	23	19	0	10	11	2	65
Commerces	23	86	0	130	10	1	250
Bureaux	23	19	0	11	5	1	59

Figure 2 - Besoins en énergie finale ($kWh_{ef}/m^2/an$) utilisés pour les usages réglementaires

De plus, les besoins en ECS des bâtiments non résidentiels étant minimes, ils ont été considérés dans tous les scénarios comme négligeables. Ils vont en effet, jouer un rôle anecdotique pour le dimensionnement et le choix des solutions techniques en énergie pour les zones non résidentielles et seront vraisemblablement traités par des solutions conventionnelles avec une réflexion sur la nécessité de disposer de systèmes à accumulation ou à production instantanée.

2. Méthode d'évaluation des puissances

Pour l'estimation des puissances appelées en chaud et en froid, variables sur l'année, les ratios utilisés sont détaillés dans le tableau ci-dessous.

	<i>Chauffage</i>	<i>Refroidissement</i>
<i>Logements collectifs</i>	48	0
<i>Education</i>	48	26
<i>Commerces</i>	67	43
<i>Bureaux</i>	48	26

Figure 3 – Ratios de puissance en W/m² utilisés pour les STD et adaptés

A noter que les valeurs de puissance sont des valeurs dimensionnantes pour évaluer les capacités des équipements associés aux différents scénarios étudiés. Cette affectation d'équipements techniques à chaque scénario permet ensuite la comparaison économique des différentes solutions. A contrario, une réévaluation des puissances propres à chaque opération sera nécessaire sur la base des caractéristiques précises des projets de bâtiments dans les phases de conception et c'est sur cette base là que le dimensionnement des équipements et des émetteurs associés pourra être effectué.

Ces ratios ont été adaptés à Châtenay-Malabry en utilisant les degrés-jours unitaires chaud et froid.

3. Répartition des besoins énergétiques

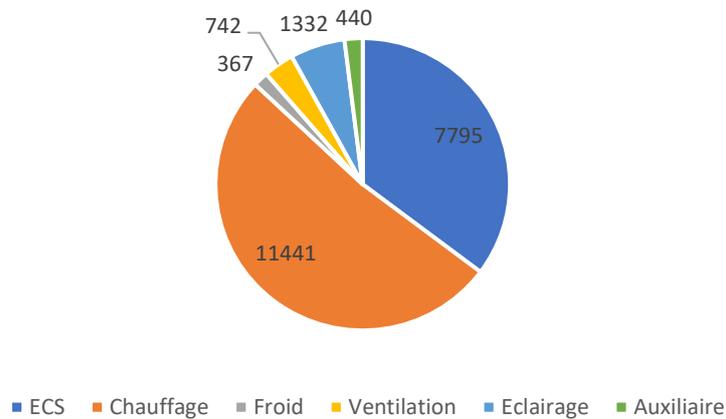
Les besoins totaux énergétiques pour les usages réglementaires pour l'ensemble des opérations prévues sur la Cité Jardin sont évalués à :

22 118 MWh pour les surfaces pris en compte dans l'étude

Si l'on considère seulement les besoins énergétiques requis pour le chauffage, le refroidissement ou le rafraîchissement et l'ECS, les besoins évalués s'élèvent à :

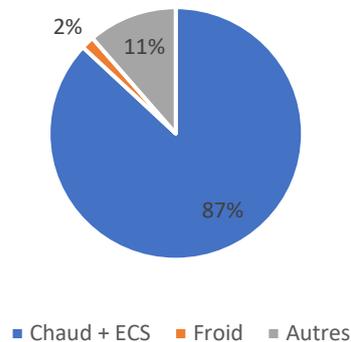
19 603 MWh

Répartition des besoins énergétiques du projet pour les 5 usages réglementaires - MWh/an



Evolution des besoins énergétiques pour tous les usages réglementaires

Répartitions des besoins énergétiques du projet pour les postes Chauffage, ECS et Froid - MWh/an



Répartition des besoins énergétiques pour le chaud et le froid

Les besoins en chaud sont prédominants sur l'ensemble des années et ceci est à mettre en liaison avec les conditions climatiques et le fait que les surfaces de commerces, bureaux, des équipements publics et du groupe scolaire sont minoritaires par rapport aux surfaces de logements qui représentent une majorité des surfaces de ce futur quartier.

Au-delà des besoins en chaud les plus importants, les besoins en froid des commerces ne sont pas pour autant négligeables.

4. Les besoins en puissance

Les besoins en puissance une fois l'ensemble des livraisons de la Cité Jardin réalisées, sont représentés sur les graphes ci-après :

Pour ces usages respectifs, les besoins en puissance sont :

- **Au total, les besoins en puissances atteignent environ 12 000 kW pour le chauffage et pour l'ECS (et aucun besoin en froid pris en compte pour les logements)**
- **Pour les commerces et les équipements, les besoins en chaud-ECS sont d'environ 2 000 kW et d'environ 920 kW pour le froid**

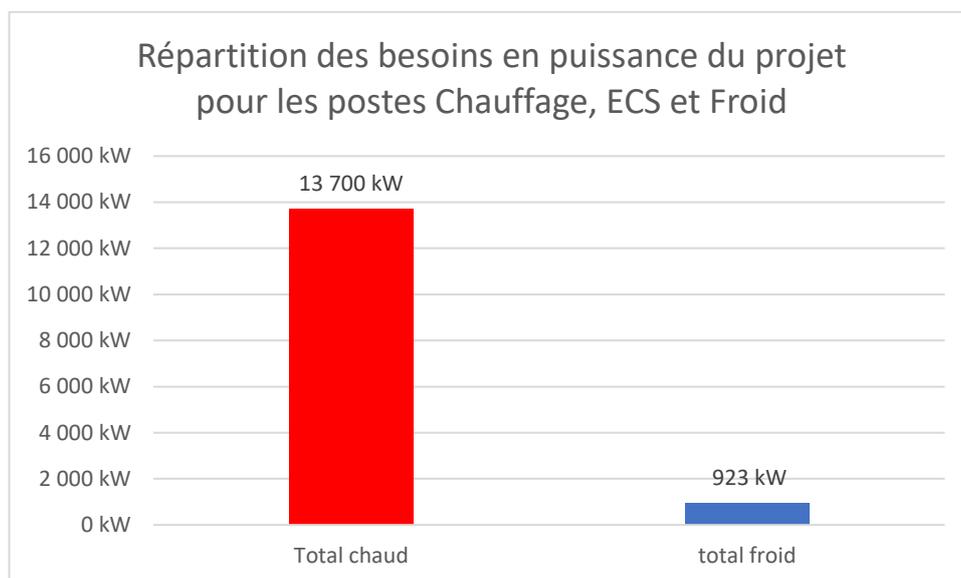


Figure 4 : Répartition de la puissance Chaud/Froid estimée pour le quartier

Du fait de la forte proportion de logements, les besoins de puissance en chaud sont plus importants que les puissances en froid : cela s'explique en partie par le besoin d'ECS nécessaire aux logements, dont la part croît relativement dans le bilan de logements performants thermiquement.

Rappel : Une réévaluation des puissances propres à chaque opération sera nécessaire sur la base des caractéristiques précises des projets de bâtiments dans les phases de conception de Maîtrise d'œuvre et c'est sur cette base là que le dimensionnement des équipements et des émetteurs associés pourra être effectué.

III. Les Energies renouvelables et fatales applicables

1. Panorama des énergies renouvelables et fatales

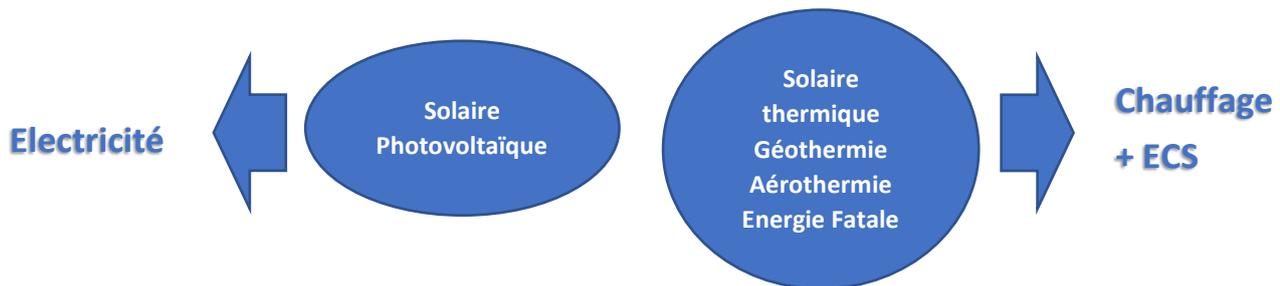
TYPE D'ENERGIE	CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE	APPLICABLE OU ADAPTE AU PROJET ?
<p>Solaire Thermique</p> 	<p><u>L'irradiation solaire annuelle et des températures extérieures</u></p> <p><u>Les contraintes d'inclinaison et d'orientation du matériel</u></p> <p><u>Les éventuelles zones d'ombrage</u> (arbres, bâtiments, reliefs naturels, ...) largement préjudiciables pour la production d'électricité</p> <p><u>Les aspects réglementaires</u> (PLU, ZNIEFF : zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique, zones classées, zones Natura 200, réserves naturelles, contraintes DGAC, intégration patrimoniale ...)</p> <p><u>L'impact visuel</u> : Afin de limiter les impacts sur le paysage, des techniques d'intégration existent et se développent progressivement pour offrir un panel de solutions plus étendu aux utilisateurs et une meilleure intégration architecturale</p>	<p>APPLICABLE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Potentiel solaire favorable - Existence de besoins énergétiques pour la production d'ECS (Eau Chaude Sanitaire) compte tenu de la présence significative de logements dans le programme de l'opération
<p>Solaire Photovoltaïque</p> 	<p><u>L'impact visuel</u> : Afin de limiter les impacts sur le paysage, des techniques d'intégration existent et se développent progressivement pour offrir un panel de solutions plus étendu aux utilisateurs et une meilleure intégration architecturale</p>	<p>APPLICABLE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bon potentiel solaire (env. 1 800 heures/an) - Avantage esthétique pour l'intégration du bâti à son environnement - Pas de contrainte réglementaire - Participation à la production décentralisée d'énergie et à la stabilisation du coût de l'énergie pour les usagers - Possibilité d'autoconsommation collective - Le site est situé à plus de 2 km de l'aéroport le plus proche
<p>Réseau de chaleur</p> 	<p><u>Présence d'un Réseau de chaleur existant</u> Distance au réseau raisonnable Compatibilité avec les besoins énergétiques à couvrir et la stratégie de développement du gestionnaire du réseau</p>	<p>APPLICABLE</p> <p>La commune a confirmé que « l'ensemble des bâtiments de la Cité Jardin seront raccordés au réseau communal de chaleur pour la production du chauffage et de l'eau chaude sanitaire ». Cependant le délégué sera connu seulement au printemps 2023 pour connaître les détails</p> <p>Moins de 2 km de distance du réseau le plus proche</p>
<p>Potentiel bois énergie</p> 	<p>Un besoin énergétique constant Surface disponibles pour installer la chaudière biomasse et le silo de stockage du bois, tous 2 devant être accessibles pour les livraisons L'établissement du compte d'exploitation prévisionnel</p>	<p>APPLICABLE MAIS PAS ADAPTE</p> <p>Potentiel en approvisionnement en plaquette bois suffisant dans la région et besoins énergétiques pour le chauffage suffisant. Solution adaptée pour les logements collectifs. Cependant, avec application d'un réseau de géothermie une installation de ce type n'est plus pertinente.</p>
<p>Potentiel éolien</p> 	<p><u>Le vent</u> : conditions de vent minimales acceptables 6 m/s en moyenne, soit 21 à 25km/h</p> <p><u>Le relief</u> : facteur important pour l'implantation d'une éolienne. Les sites à proximité d'obstacles (arbres, bâtiments, escarpements ...) sont à proscrire car les vents y sont trop turbulents.</p> <p><u>Les contraintes et servitudes</u> (cas de parc éolien) / Servitudes hertziennes, de captage d'eau, aériennes, radars, zones, servitudes de moyens de transports, contraintes environnementales, contraintes d'accessibilité... <u>L'impact visuel</u></p>	<p>NON APPLICABLE</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vitesses et puissance des vents insuffisants, vents irréguliers
<p>Potentiel Hydraulique</p> 	<p>Dénivelé et débit du cours d'eau ou du réseau d'eau potable ou pression suffisante dans le réseau</p>	<p>NON APPLICABLE POUR TECHNIQUES TRADITIONNELLES</p> <ul style="list-style-type: none"> - Absence de cours d'eau ou de réseau d'eau potable avec un dénivelé - Etude nécessaire pour analyser ce potentiel

TYPE D'ENERGIE	CONDITIONS DE MISE EN OEUVRE	APPLICABLE OU ADAPTE AU PROJET ?
<p>Potentiel maritime</p> 	<p>Proximité de la mer (1,5 km) – pour les échanges thermiques</p> <p><u>Force de la houle pour la production d'électricité</u></p>	<p>NON APPLICABLE</p> <p>- Thalasso thermie : L'opération se situe à une distance trop importante du bord de mer et par conséquent, la technique est inexploitable.</p>
<p>Potentiel de récupération d'énergie fatale</p> 	<p>Pour récupération sur eaux usées :</p> <p><u>Diamètre de conduite supérieur à 140 mm et débit minimal par temps sec de 12l/s (soit un bassin versant de collecte supérieure à 1800 EH)</u></p> <p><u>Température initiale des eaux usées supérieure à 10°C</u></p> <p><u>Distance entre l'échangeur et l'unité de production d'énergie inférieure à 250 m</u></p> <p><u>Accessibilité de la canalisation d'assainissement</u> <u>Existence d'un tronçon rectiligne d'au moins 20 m</u></p>	<p>APPLICABILITE A ETUDIER A PARTIR DE DONNEES SUR LE RESEAU D'EAUX USEES</p> <p>- La récupération de chaleur fatale sur les eaux usées est une bonne solution pour une production de chaleur. Probabilité de disposer d'un réseau d'eaux usées avec les caractéristiques ci-contre compte tenu de la situation de l'opération en centre urbain mais à étudier plus en détails</p> <p>APPLICABILITE A ETUDIER PAR RAPPORT AUX EQUIPEMENTS PRODUISANT DU FROID</p> <p>Possibilité de récupérer de la chaleur sur les équipements frigorifiques des commerces fortement utilisateurs de froid</p>
<p>Potentiel géothermique</p> 	<p>Les caractéristiques du terrain : Exposition au soleil, revêtement en dur (terrasse, piscine, ...), présence d'un lit de sable, pente du terrain..., Surface de terrain (entre 1,5 et 3 fois la surface chauffée).</p> <p>Nature du sol, place disponible pour l'installation des conduits</p> <p>La conductibilité thermique du sous-sol : la puissance d'extraction lui est directement proportionnelle. Plus le sol est uniforme, plus la conductivité est élevée.</p> <p>L'humidité naturelle du sol : elle améliore la conductibilité thermique et garantit un bon contact entre la sonde et le sous-sol.</p> <p>La présence d'eaux souterraines : Lorsqu'une sonde géothermique pénètre dans une nappe phréatique dont la vitesse d'écoulement excède quelques centimètres par jour, la quantité de chaleur qu'il est possible d'extraire augmente sensiblement.</p>	<p>APPLICABILITE A ETUDIER A PARTIR DE L'ETUDE DE SOL</p> <p>Géothermie sur nappe phréatique : Présence d'un aquifère en profondeur sous l'opération. Des difficultés de mise en œuvre sont à prévoir dû à la profondeur (500m) de l'aquifère</p> <p>Géothermie sur pieux ou grâce à une sonde verticale dans le sol : L'arbitrage sur le potentiel de cette technique nécessite de disposer d'une étude de sol pour avoir des données sur la conductivité et l'humidité du sol</p> <p>APPLICABILITE A ETUDIER A PARTIR DES ETUDES DE SOL</p> <p>Géothermie horizontale (puit provençal). Il sera étudié la faisabilité et la pertinence de ces installations</p>
<p>Potentiel aérothermique</p> 	<p>Des besoins en chaud ou froid du projet La température du milieu extérieur (air ou eau)</p>	<p>APPLICABLE</p> <p>Aérothermie : Utilisation d'une PAC réversible Air/Eau sur air extérieur pour la production de chaleur utilisable pour les opérations de chauffage et de refroidissement.</p>
<p>Potentiel Cogénération</p> 	<p>Surfaces disponibles pour loger la chaudière et le module cogénération</p> <p>Nécessité de prévoir une double évacuation des fumées</p>	<p>NON APPLICABLE</p> <p>L'unité de cogénération requise pour un quartier de cette taille nécessiterait une emprise au sol trop importante.</p>
<p>Potentiel d'utilisation de biogaz</p> 	<p>Existence d'une unité de production de biogaz à proximité</p>	<p>NON APPLICABLE</p> <p>- Pas d'unité de production de biogaz à proximité</p>

2. Perspectives d'intégration des énergies renouvelables

Sur la base des données disponibles à ce jour, les énergies renouvelables dont la disponibilité au niveau du site est la plus probable sont : le solaire photovoltaïque et le solaire thermique, la géothermie par le réseau de chaleur, l'aérothermie et l'utilisation de l'énergie fatale pour l'approvisionnement énergétique de la Cité Jardin à Châtenay-Malabry.

- **Le solaire photovoltaïque** : L'aménagement du quartier de la Cité Jardin, étant donné sa taille et les appels de puissance électrique qu'il va générer à terme, doit obligatoirement prendre en compte la fragilité de la desserte électrique en intégrant des productions électriques propres venant compenser la demande électrique supplémentaire qu'il amène d'une part et en proposant des solutions techniques en capacité de gérer de façon intelligente la demande électrique.
- **La géothermie** : Le sous-sol de la commune renferme des aquifères exploitables thermiquement. Il s'agit d'une ressource renouvelable connectée sur le réseau de chaleur en une réhausse gaz au niveau du quartier. Les lots de bâtiments du projet seront tous connectés à ce réseau de chaleur grâce à des sous stations.



La géothermie sera de type « profonde », environ 1 700 m de profondeur .

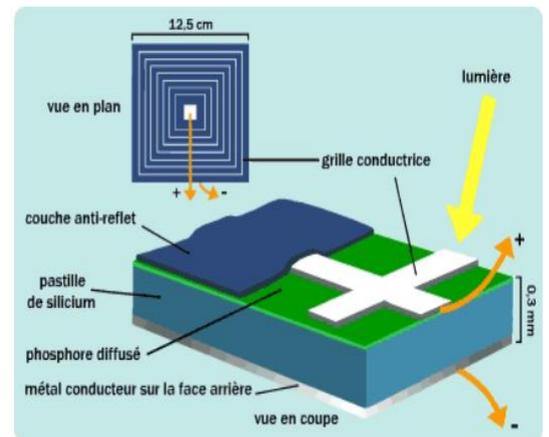
LE SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

PRINCIPE GENERAL

L'énergie solaire peut ensuite être directement valorisée par des systèmes actifs pour la production d'électricité ; cette technologie est appelée « solaire photovoltaïque ».

TECHNIQUES EN JEU

- Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui, exposé à la lumière, génère de l'électricité. En effet, l'effet photovoltaïque est un phénomène physique propre à certains matériaux appelés "semi-conducteurs" comme le silicium utilisé pour les composants électroniques. Lorsque les particules de lumière viennent heurter ce matériau, elles communiquent une énergie à ses électrons. Ces derniers se mettent alors en mouvement créant un courant électrique recueilli par des fils métalliques très fins.
- Les cellules photovoltaïques peuvent être utilisées seules (montres, calculatrices...) mais la plupart du temps les cellules sont regroupées dans des **modules ou panneaux photovoltaïques**. Plusieurs modules sont ensuite associés pour donner un générateur photovoltaïque, plus ou moins grand en fonction du besoin déterminé.
- Il existe plusieurs familles de cellules photovoltaïques. Actuellement, les plus répandues sur le marché sont **les cellules en silicium cristallin** et les **cellules en couches minces, généralement en silicium amorphe**.
- Les panneaux installés peuvent être ou non raccordés au réseau public d'électricité. Dans l'affirmative, un onduleur convertit le courant continu produit par les modules en un courant alternatif monophasé ou triphasé compatible avec les normes du réseau électrique. Dans la négative, l'électricité est consommée sur place mais cela nécessite obligatoirement un stockage via des batteries représentant un coût non négligeable tant en termes d'achat que d'entretien.
- Dans le cas présent, c'est une **autoconsommation à l'échelle du quartier** qui est envisagée, de façon instantanée par rapport à la production.



LA GEOTHERMIE

PRINCIPE GENERAL

Le mot géothermie désigne à la fois les phénomènes thermiques terrestres et leur utilisation pour la production de chaleur ou d'électricité.

Le principe consiste à exploiter la chaleur :

- Contenue dans le sous-sol directement dans le cas de la géothermie haute et moyenne énergie
- Avec une pompe à chaleur dans le cas de la **géothermie assistée par pompe à chaleur**.

C'est le rayonnement solaire et le noyau terrestre qui réapprovisionnent en permanence le sol en calories.

La géothermie est donc bien une énergie renouvelable inépuisable, utilisée sur place, indépendante des conditions climatiques et gratuite car non liée aux variations de coût des énergies fossiles.

Utiliser la géothermie permet de :

- Réaliser des économies financières car le bâtiment sera performant d'un point de vue énergétique
- Réduire ses émissions de gaz à effet de serre donc d'être environnementalement performant
- Avoir la possibilité de production de chaleur, de froid et d'eau chaude sanitaire avec un même équipement peut chauffer et/ou rafraîchir et/ou produire de l'eau chaude sanitaire.

RESEAU DE CHALEUR DE Meudon

Le réseau de chaleur de Meudon est situé à moins de 2 km de notre site, ce qui en fait une distance raisonnable. De plus, la commune a confirmé que « l'ensemble des bâtiments de la Cité Jardin seront raccordés au réseau communal de chaleur pour la production du chauffage et de l'eau chaude sanitaire ».

Réseau de Meudon

 Télécharger la fiche en pdf

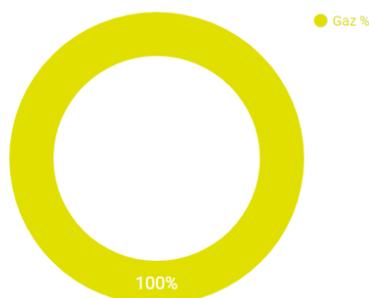
Performances environnementales

Livraisons totales de chaleur (MWh)	72 820 MWh
Taux d'EnR&R (%)	0%
Emissions de CO2 (g CO2/kWh)	234,0 g CO2/kWh
Equivalents Logements	7 240
Année de création du réseau	1962

Caractéristiques techniques

Longueur réseau (km)	8 km
Points de livraison	66
% Fluide caloporteur - Eau chaude	0 %
% Fluide caloporteur - Eau surchauffée	100 %
% Fluide caloporteur - Vapeur	0 %

Mix énergétique

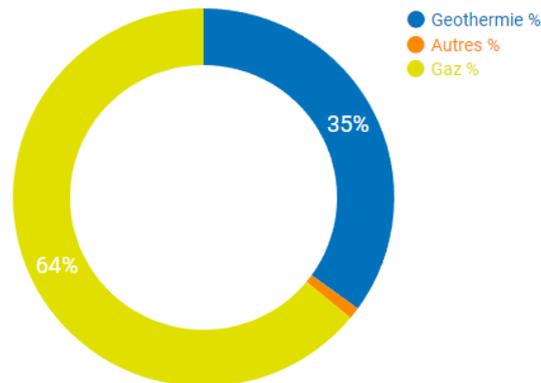


RESEAU DE CHALEUR DE Fresnes

Le réseau de chaleur de Meudon est situé à moins de 2 km de notre site, ce qui en fait une distance raisonnable

Performances environnementales		Caractéristiques techniques	
Livraisons totales de chaleur (MWh)	74 383 MWh	Longueur réseau (km)	13 km
Taux d'EnR&R (%)	60%	Points de livraison	115
Emissions de CO2 (g CO2/kWh)	81,0 g CO2/kWh	% Fluide caloporteur - Eau chaude	100 %
Equivalents Logements	7 080	% Fluide caloporteur - Eau surchauffée	0 %
Année de création du réseau	1986	% Fluide caloporteur - Vapeur	0 %

Mix énergétique



POTENTIEL AEROTHERMIQUE

L'aérothermie a pour principe thermique de récupérer les calories naturellement présentes dans l'air

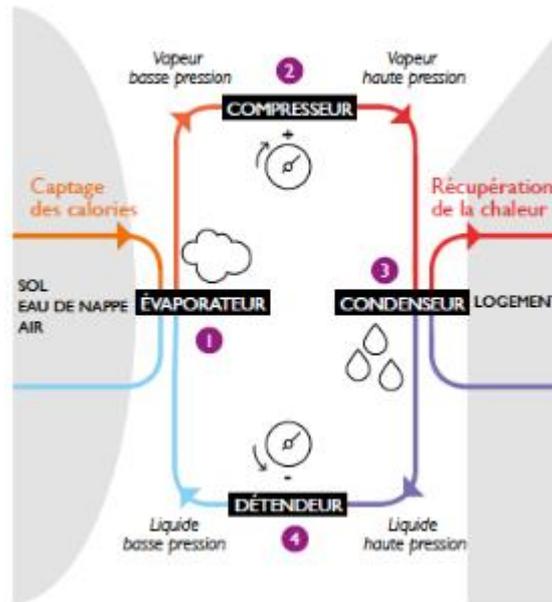
Cette énergie peut être utilisée avec deux technologies de pompe à chaleur soit air /eau soit air/air

La PAC fonctionne grâce à un fluide frigorigène qui y circule. Ce dernier puise l'énergie thermique dans l'air extérieur. Cela permet de le faire bouillir à une très basse température. Ainsi, la PAC produit de la vapeur qui va se transformer en chaleur à la suite de son passage dans le compresseur et le condenseur.

Les pompes à chaleur aérothermiques fonctionnent sur le principe thermodynamique de la réversibilité. En d'autres termes, une pompe à chaleur réversible peut réchauffer la pièce en hiver et la rafraîchir et la climatiser en été. Cette dernière, la climatisation aérothermique, puise les calories dans l'air intérieur afin d'extraire la chaleur et la rejeter dans l'air extérieur.

De plus l'aérothermie permet de produire du chauffage, de la climatisation, et de l'ECS efficacement.

Par ailleurs, la PAC aérothermique permet de réaliser des économies énergétiques comprises entre 50% et 70% par rapport à un chauffage électrique et également des économies financières.

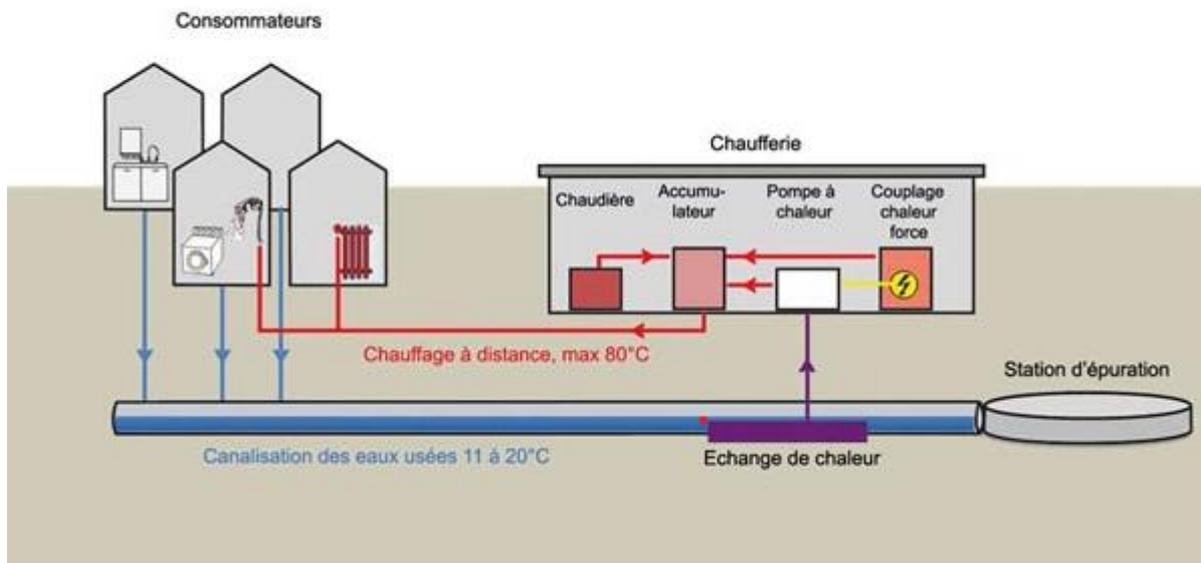


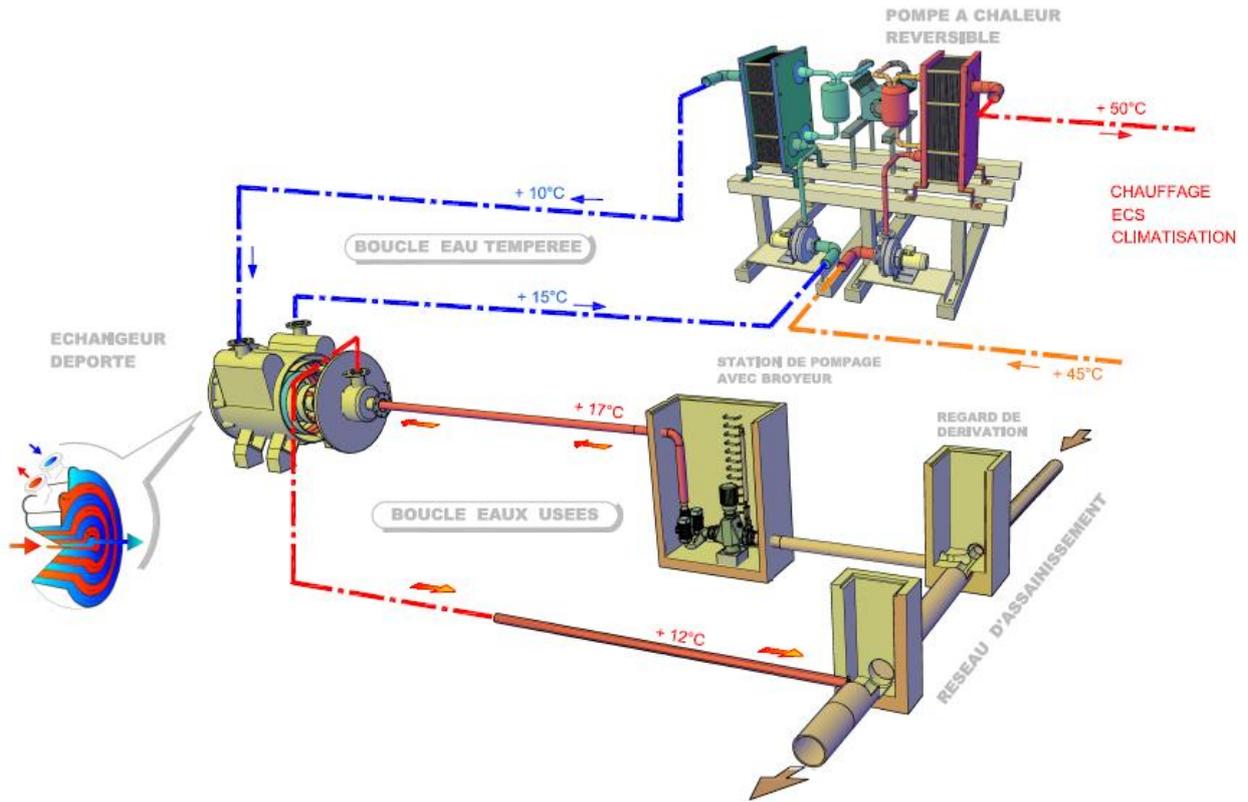
POTENTIEL DE RECUPERATION DE L'ÉNERGIE FATALE

La récupération de l'énergie fatale correspond à la récupération des calories présentes dans les eaux usées.

Le principe est assez banal : le long du trajet des eaux usées est disposé un échangeur de chaleur, dans lequel circule un fluide caloporteur. Les calories qui lui sont communiquées sont rapatriées vers une pompe à chaleur qui peut porter jusqu'à 65°C la température du fluide d'un système de distribution de chaleur : réseau urbain, émetteurs d'un immeuble, etc. On peut lui adjoindre une chaudière d'appoint par souci de sécurité ou s'il est nécessaire d'obtenir de l'eau à des températures plus élevées.

Ce type d'énergie permet de diminuer les consommations de CO2 et la pollution entrainer notamment par des chaudières à Mazut. C'est le cas si le système prévoit une utilisation réversible en mode rafraîchissement : les eaux usées, dont la température reste inférieure à celle de l'air ambiant en été, servent alors de source froide à la pompe à chaleur

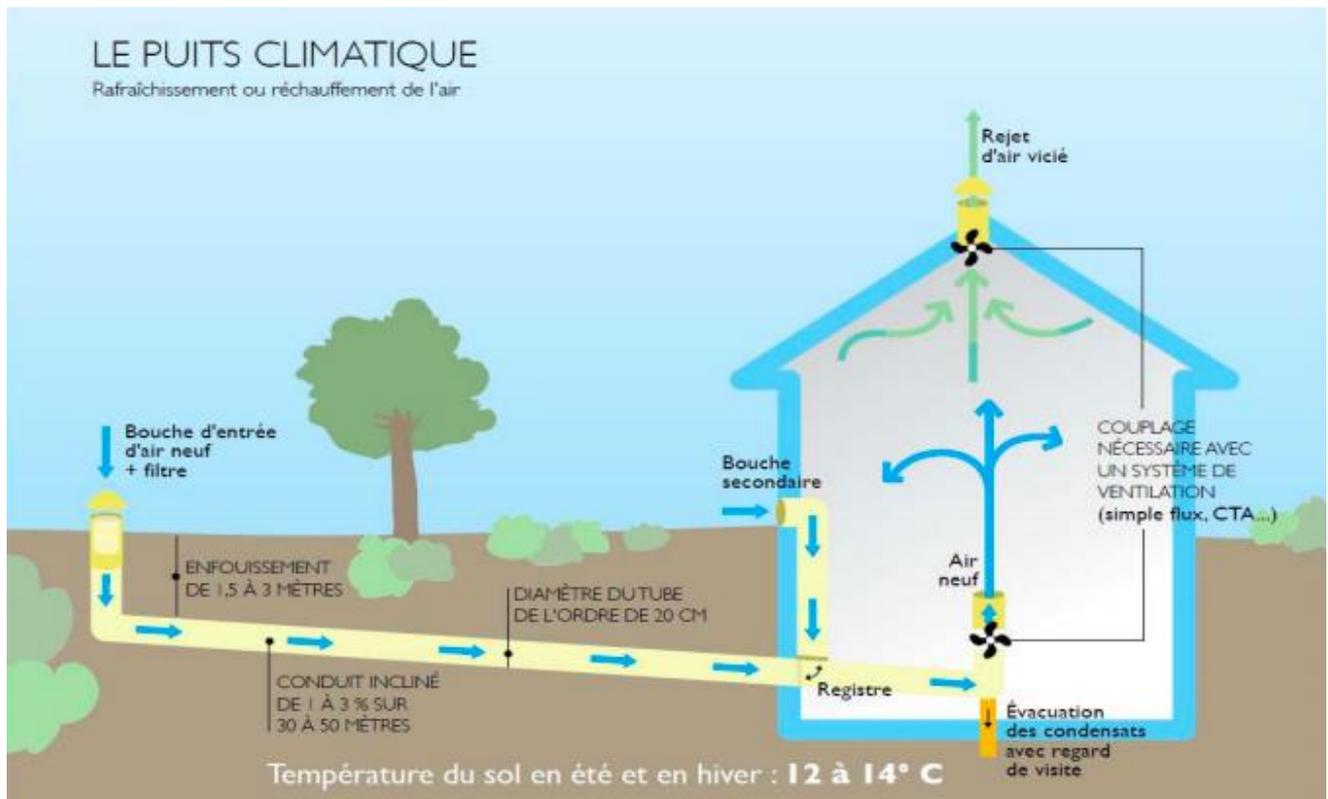




Le puits de chaleur Canadien

Le puits canadien, également appelé puits climatique ou puits provençal, permet d'utiliser la géothermie comme source d'énergie. Son utilisation principale reste la ventilation et le rafraîchissement. Seule une très petite quantité d'électricité est nécessaire pour le fonctionnement du ventilateur. Le principe du puits canadien est simple : après avoir été capté à l'extérieur de la maison, l'air circule dans un conduit souterrain avant d'être diffusé à l'intérieur de l'habitation. Grâce à la grande inertie du sol, l'air ambiant se trouve naturellement réchauffé en hiver et refroidi en été.

Le rendement énergétique du puits canadien est particulièrement élevé car son coefficient de performance (COP) est de l'ordre de 20, ce qui signifie qu'un watt consommé en restitue 20. L'écart entre la température de l'air intérieur et extérieur peut atteindre 10 à 15 degrés, en plus ou en moins, selon la saison. L'impact sur l'environnement et le voisinage est neutre.



3. Les composantes du mix énergétique

- **La Cité Jardin : l'opportunité pour un fonctionnement en réseau**

Un réseau de chaleur ou un réseau tempéré est un ensemble d'installations qui produisent et distribuent de la chaleur ou de l'eau tempérée à plusieurs bâtiments pour répondre à leurs besoins en chauffage ou d'eau chaude sanitaire.

La mutualisation et la centralisation de la production et/ou de la captation d'énergie permettent de réaliser des gains d'échelles importants, de diminuer les rejets atmosphériques (en gaz à effet de serre notamment).

Sur le plan économique, les réseaux de chaleur ou réseaux tempérés sont globalement compétitifs grâce aux gains d'échelle qu'ils génèrent.

Dans le cas présent, compte tenu de la taille du projet d'aménagement, la réflexion sur les opportunités de mise en réseau des équipements de production ou de captation d'énergie est incontournable.

- **Des énergies renouvelables faisables techniquement, viables économiquement pour les opérateurs et acceptables pour le public**

Les freins au développement des énergies renouvelables sont multiples : des freins économiques, en relation avec les coûts d'investissements, la viabilité économique des opérations en coût global, le portage financier..., des freins techniques liés aux habitudes de l'acte de construire ou d'aménager ou encore des freins sociétaux liés à l'acceptation publique des projets.

L'enjeu au niveau du déploiement du mix énergétique de la Cité Jardin, La Butte Rouge est bel et bien de lever l'ensemble de ces verrous, un à un, pour déployer de façon maîtrisée le mix énergétique le plus faisable, viable et acceptable.

- **La garantie d'une continuité de service**

Dans le cadre de la présente étude, chaque solution alternative intègre au besoin un système de secours en cas de panne des équipements ou de problèmes techniques sur le réseau afin de pouvoir assurer une continuité de service aux usagers. Les systèmes de secours représentent un investissement non négligeable mais nécessaire au bon fonctionnement des futures installations.

IV. Description détaillée des scénarios

1. Description technique des scénarios

Sur la base des énergies renouvelables disponibles sur le site, des scénarii d’approvisionnement énergétique ont été envisagés. Ils intègrent à la fois des systèmes de production individuels et la réalisation de réseaux thermiques à l’échelle du quartier.

L’ensemble des scénarios ont également été traités à la fois avec et sans intégration du photovoltaïque afin d’évaluer le potentiel du secteur à générer de la production électrique complémentaire aux productions de chaud et de froid.

Au regard de la présence d’un réseau de chaleur existant, performant énergétiquement et environnementalement, le raccordement à celui-ci ne fait pas de doute. Il est donc considéré systématiquement en base des scénarii étudiés. En effet, toute variante sur la production de chaleur serait moins performante en tous points.

Ainsi, nous nous sommes attachés, dans le cadre de la présente étude, à développer l’étude de variantes basées sur la production de ECS et sur la production solaire photovoltaïque.

Pour chaque scénario, un **page de synthèse décrivant le scénario**, tous lots confondus, a été rédigée

L’affectation des équipements a été effectuée pour chacun des usages (logements, bureaux, commerces et école) prévus dans chacun des lots. Pour autant dans les scénarios mettant en œuvre le réseau géothermique, une **mutualisation des équipements pour les logements** d’une part et **pour les autres types de locaux** d’autre part, pour les différents lots.

SCENARIO N°1

SCENARIO DE REFERENCE

Mixte thermodynamique (Chaud) - PAC AIR/AIR par bâtiment (Froid)

DESCRIPTION GENERALE DU SCENARIO

RESIDENTIEL	ACTIVITES
Chauffage + ECS par Mixte thermodynamique. Puissance Chaud neuf : 5 991.5 kW Puissance Chaud Réno : 6 925.2 kW	Chauffage par mixte thermodynamique. Système Froid : Système froid par bâtiment – COP global de l’installation de 3,5 Puissance Chaud : 1 470.8 kW Puissance Froid : 860 kW

Pompe à chaleur : AIR/Eau par bâtiments pour les logements

Pompe à chaleur et VRV : pour le chauffage et le refroidissement des commerces et équipements

SCENARIO N°2

Réseau de chaleur urbain avec réhausse gaz (Chaud) + Installation PV - PAC AIR/AIR par bâtiment (Froid)

DESCRIPTION GENERALE DU SCENARIO

RESIDENTIEL	ACTIVITES
Chauffage + ECS par réseau de chaleur urbain connecté à des sous-stations dans les bâtiments. Puissance Chaud neuf : 5 991.5 kW Puissance Chaud Réno : 6 925.2 kW	Chauffage par réseau de chaleur urbain connecté à des sous-stations dans les bâtiments. Système Froid : Système froid par bâtiment – COP global des installations de 3,5 Puissance Chaud : 1 470.8 kW Puissance Froid : 860 kW

Installation PV :

- 50% de la surface totale des toitures seront équipées, avec une exposition très favorable

Réseau de chaleur :

- Raccordement de tous les bâtiments au réseau de chaleur via des pompes de sous stations se trouvant dans chaque lot de bâtiment. De plus une réhausse gaz est prévu pour palier toutes éventualités.

SCENARIO N°3

Réseau de chaleur urbain avec réhausse gaz (Chaud) – installation panneaux solaires thermiques– Installation PV – PAC AIR/AIR par bâtiment (Froid)

DESCRIPTION GENERALE DU SCENARIO

RESIDENTIEL	ACTIVITES
Chauffage + ECS par réseau de chaleur urbain connecté à des sous-stations dans les bâtiments. Appoint avec mise en place d'un système de puits canadiens Puissance Chaud neuf : 5 991.5 kW Puissance Chaud Réno : 6 925.2 kW	Chauffage par réseau de chaleur urbain connecté à des sous-stations dans les bâtiments. Installation de panneaux solaires thermiques pour faire l'appoint en chaud et en froid Système Froid : Système froid par bâtiment – COP global de l'installation de 3,5 Puissance Chaud : 1470.8 kW Puissance Froid : 860 kW

Installation PV :

- 50% de la surface totale des toitures seront équipées, avec une exposition très favorable

Géothermie :

- Raccordement de tous les bâtiments au réseau de chaleur géothermique via des pompes de sous stations se trouvant dans chaque lot de bâtiment. De plus une réhausse gaz est prévu pour palier toutes éventualités.

Panneaux solaire thermiques :

- 20% de la surface totale des toitures seront équipées avec une exposition très favorable

SCENARIO N°4

Réseau de chaleur urbain avec réhausse gaz (Chaud) - PAC AIR/AIR pour bâtiment (Froid) – Installation réseau de récupération de l'énergie fatale des eaux usées + installation PV

DESCRIPTION GENERALE DU SCENARIO

RESIDENTIEL	ACTIVITES
<p>Chauffage + ECS par réseau de chaleur urbain connecté à des sous-stations dans les bâtiments.</p> <p>Mise en place d'un échangeur de chaleur le long des conduits des eaux usées permettant de récupérer leurs calories et de les envoyer dans une pompe à chaleur avant distribution dans le réseau urbain.</p> <p>Puissance Chaud neuf : 5 991 kW Puissance Chaud Réno : 6 925 kW</p>	<p>Chauffage par réseau de chaleur urbain connecté à des sous-stations dans les bâtiments.</p> <p>Mise en place d'un échangeur de chaleur le long des conduits des eaux usées permettant de récupérer leurs calories et de les envoyer dans une pompe à chaleur avant distribution dans le réseau urbain.</p> <p>Rajout de panneaux solaires thermiques pour faire l'appoint en chaleur</p> <p>Système Froid : Système froid par bâtiment – COP global de l'installation de 3,5</p> <p>Puissance Chaud : 1 471 kW Puissance Froid : 860 kW</p>

Installation PV :

- 50% de la surface totale des toitures seront équipées, avec une exposition très favorable

Géothermie :

- Raccordement de tous les bâtiments au réseau de chaleur géothermique via des pompes de sous stations se trouvant dans chaque lot de bâtiment. De plus une réhausse gaz est prévu pour palier toutes éventualités.

Panneaux solaire thermiques :

- 20% de la surface totale des toitures seront équipées avec une exposition très favorable

Récupération de l'énergie fatale :

- Mise en place d'une station de récupération de chaleur sur les eaux usées afin de faire l'appoint en chaleur

SCENARIO N°5

Réseau de chaleur urbain avec réhausse gaz (Chaud) - PAC AIR/AIR par bâtiment (Froid) – Installation PV – Puits de chaleur canadiens – mise en place de réseau de récupération d'énergie fatale – installation de panneaux solaires thermiques

DESCRIPTION GENERALE DU SCENARIO

RESIDENTIEL	ACTIVITES
<p>Chauffage + ECS par réseau de chaleur urbain connecté à des sous-stations dans les bâtiments. Mise en place de puits de chaleur et d'un échangeur de chaleur le long des conduits des eaux usées permettant la récupération de leurs calories afin de réutiliser cette chaleur dans le réseau urbain</p> <p>Puissance Chaud neuf : 5 991 kW Puissance Chaud Réno : 6 925 kW</p>	<p>Chauffage par réseau de chaleur urbain connecté à des sous-stations dans les bâtiments. Mise en place de panneaux solaires thermiques et Mise en place d'un échangeur de chaleur le long des conduits des eaux usées permettant de récupérer leurs calories et de les envoyer dans une pompe à chaleur avant distribution dans le réseau urbain. Peut être utilisé en chaud ou en froid</p> <p>Système Froid : Système froid par bâtiment – COP global de l'installation de 3,5</p> <p>Puissance Chaud : 1 471 kW Puissance Froid : 860 kW</p>

Installation PV :

- 50% de la surface totale des toitures seront équipées, avec une exposition très favorable

Réseau de chaleur :

- Raccordement de tous les bâtiments au réseau de chaleur via des pompes de sous stations se trouvant dans chaque lot de bâtiment. De plus une réhausse gaz est prévu pour palier toutes éventualités.

Panneaux solaire thermiques :

- 20% de la surface totale des toitures seront équipées avec une exposition très favorable

Puits canadiens :

- Apports de chaleur minime mais diminuer les consommations liées à la ventilation

Récupération de l'énergie fatale :

- Mise en place d'une station de récupération de chaleur sur les eaux usées afin de faire l'appoint en chaleur

Les installations photovoltaïques :

Les toitures ont été choisies suivant les masques proches. Les surfaces considérées dans le tableau de synthèse ci-dessous sont tirées des premiers plans fournis et des toitures choisies pour leur exposition solaire favorable.

				Puissance Module (Wc)	Surface Module (m ²)	Rendement panneau		
				400	1,7	0,2		
				Modules PV 400 Wc				
Type d'exposition	Surfaces	Taux util. [%]	Nbre de modules	Réduction d'irradiation (ombrage)	irradiation [kWh/m ² /an]	P.inst. [Wc]	Production annuelle estimée [kWh]	
Très favorable	72418,13	50,0%	21299	-5%	1063	8 519 780	7 313 145	
Favorable	72418,13	50,0%	21299	-10%	1063	8 519 780	6 928 242	

La surface totale de toiture est d'environ 72 000 m². Au vu du nombre de bâtiments allant détruits et reconstruits la surface totale de toiture est une approximation, les valeurs sont à titre indicatif.

Détail des hypothèses et sources des données :

Les dimensions et le rendement des panneaux sont issus de fiches techniques de Matériel standard du marché en 2023.

L'irradiation solaire à Chatenay Malabry provient du site Global Solar Atlas et les données d'autoconsommation avec surplus sont issues du site Photovoltaïque.info.

Le taux d'utilisation de la toiture prend en compte l'encombrement des installations techniques et du passage pour l'entretien et la maintenance de toutes les installations.

La différence entre les deux types d'exposition provient des masques solaires des toitures sélectionnées : l'exposition très favorable représente les toitures qui ne possèdent quasiment pas d'ombrage tout au long de l'année ; quant à elle, l'exposition favorable correspond à des toitures avec un léger ombrage (estimé à 10% sur toute l'année). Au vu de l'aménagement de la Cité Jardin, l'ombrage est très faible.

Prix de l'électricité 2023 : le montant est basé sur une valeur moyenne du kWh début 2023 soit 0,174 €HT/kWh.

Augmentation annuelle du prix de l'électricité à partir de 2024 selon ENERPLAN de l'ADEME : 2,5%

Frais de Gros-Entretien-Renouvellement : remplacement des onduleurs 1 fois en 25 ans

Réduction annuelle de la production des panneaux de 0,25%/an

Les coûts sont présentés en € constants dans le temps, hors actualisation

Aucun frais d'investissement ne sont considérés (frais liés aux emprunts)

Données et hypothèses modifiables	
Prime à l'investissement pour une installation 500kWc	0,125 €/Wc
Prix de vente du surplus	0,1312 €/Wc
Hypothèse coût de l'installation	1,35 €HT/Wc
Consommation Elec du quartier	25 752 000 kWh _{ef}
Pourcentage d'autoconsommation	70%

Hypothèses économiques considérées

v. Analyse comparative des scénarios

1. Comparaison des différents scénarii

Les différents scénarii ont été comparé par rapport à leur consommation d'énergie finale, énergie achetée, la consommation énergie primaire et l'énergie autoconsommée donc l'énergie apportée.

Le scénario 1 est celui de référence c'est-à-dire le plus simple à mettre en place et le moins couteux. Il consiste en la mise en place de Pompe à chaleur air/eau par bâtiment et donc correspond à une production individuelle.

Le scénario 2 est le scénario de raccordement au réseau de chaleur existant pour la production de chaud et ECS et la mise en place de panneaux photovoltaïques pour l'électricité.

Le scénario 3 est le scénario le plus avantageux, la source géothermique offre une grosse production de chaud qui permet de couvrir les besoins du quartier. L'installation de PV en toitures permet de couvrir une bonne partie des besoins d'électricité et donc de faire des économies auprès du fournisseur.

La spécificité du scénario 4 est la mise en place d'une station de récupération de l'énergie fatale sur les eaux grises pour la production de chaud, de froid et d'ECS.

Le scénario 5 a pour but de comparer l'efficacité d'un réseau de chaleur à gaz par rapport à un réseau mobilisant de la géothermie.

Consommation		Vecteur énergétique	Besoin énergie utile	Besoin énergie utile sur 25 ans	Systèmes appliqués
Scénario n°1 - Référence	Chaud + ECS	Electricité	19 236 MWh	480 900 MWh	Mixte thermodynamique
	Froid		367 MWh	9 174 MWh	
	Aux		2 515 MWh	62 868 MWh	
Scénario n°2 - Réseau de chaleur et PV	Chaud + ECS	Réseau de chaleur	19 236 MWh	480 900 MWh	Gaz + EnR > Rsx Ch Fresnel
	Froid	Electricité	367 MWh	9 174 MWh	Mixte thermodynamique
	Aux		2 515 MWh	62 868 MWh	Concessionnaire + PV
Scénario n°3 - Réseau de chaleur avec création de chaleur avec géothermie profonde avec appoint gaz + PV + Intégration de Panneaux solaires	Chaud + ECS	Réseau de chaleur	19 236 MWh	480 900 MWh	Gaz + EnR > New Rsx Ch Dogger + Panneau solaire thermique
	Froid	Electricité	367 MWh	9 174 MWh	Mixte thermodynamique
	Aux		2 515 MWh	62 868 MWh	Concessionnaire et pompe rsx + PV
Scénario n°4 - Réseau de chaleur avec création de chaleur avec géothermie profonde avec appoint gaz + Intégration de la récupération de l'énergie fatale + installation PV	Chaud + ECS	Electricité	19 236 MWh	480 900 MWh	Gaz + EnR > New Rsx Ch Dogger + Récup EU
	Chaud		367 MWh	9 174 MWh	Mixte thermodynamique
	Froid		2 515 MWh	62 868 MWh	Concessionnaire et pompe rsx + Récup EU + PV
Scénario n°5 - Réseau de chaleur avec appoint gaz + puits de chaleur + installation Panneaux solaires thermiques et photovoltaïques + utilisation énergie fatale	Chaud + ECS	Electricité	19 236 MWh	480 900 MWh	Gaz + EnR > Rsx Ch Fresnel + Récup EU + Puits de chaleur + Panneaux solaires thermiques
	Chaud		367 MWh	9 174 MWh	Mixte thermodynamique
	Froid		2 515 MWh	62 868 MWh	Concessionnaire et pompe rsx + Récup EU + PV

Consommation		Part du besoin utile	Conso energie finale estimée	Conso energie estimée sur 25 ans
Scénario n°1 - Référence	Chaud + ECS	19 236 MWh	6 534 MWh	163 358 MWh
	Froid	367 MWh		
	Aux	2 515 MWh	2 515 MWh	62 868 MWh
Scénario n°2 - Réseau de chaleur et PV	Chaud + ECS	19 236 MWh	7 694 MWh	192 360 MWh
	Froid	367 MWh	122 MWh	3 058 MWh
	Aux	3 646 MWh	3 646 MWh	91 156 MWh
Scénario n°3 - Réseau de chaleur avec création de chaleur avec géothermie profonde avec appoint gaz + PV + Intégration de Panneaux solaires	Chaud + ECS	19 236 MWh	7 921 MWh	198 018 MWh
	Froid	367 MWh	122 MWh	3 058 MWh
	Aux	4 778 MWh	4 778 MWh	119 444 MWh
Scénario n°4 - Réseau de chaleur avec création de chaleur avec géothermie profonde avec appoint gaz + Intégration de la récupération de l'énergie fatale + installation PV	Chaud + ECS	19 236 MWh	6 362 MWh	159 045 MWh
	Chaud			
	Froid	367 MWh	122 MWh	3 058 MWh
Scénario n°5 - Réseau de chaleur avec appoint gaz + puits de chaleur + installation Panneaux solaires thermiques et photovoltaïques + utilisation énergie fatale	Aux	4 934 MWh	4 934 MWh	123 342 MWh
	Chaud + ECS	19 236 MWh	6 135 MWh	153 387 MWh
	Chaud			
	Froid	367 MWh	122 MWh	3 058 MWh
Aux	3 802 MWh	3 802 MWh	95 053 MWh	

Consommation		Autoconsommation annuelle PV	Energie achetée sur 25 ans
Scénario n°1 - Référence	Chaud + ECS	0 MWh	226 226 MWh
	Froid		
	Aux		
Scénario n°2 - Réseau de chaleur et PV	Chaud + ECS	0 MWh	192 360 MWh
	Froid	-3 700 MWh	94 214 MWh
	Aux		
Scénario n°3 - Réseau de chaleur avec création de chaleur avec géothermie profonde avec appoint gaz + PV + Intégration de Panneaux solaires	Chaud + ECS	0 MWh	198 018 MWh
	Froid	-3 700 MWh	122 503 MWh
	Aux		
Scénario n°4 - Réseau de chaleur avec création de chaleur avec géothermie profonde avec appoint gaz + Intégration de la récupération de l'énergie fatale + installation PV	Chaud + ECS	0 MWh	159 045 MWh
	Chaud		
	Froid	-3 700 MWh	33 900 MWh
Scénario n°5 - Réseau de chaleur avec appoint gaz + puits de chaleur + installation Panneaux solaires thermiques et photovoltaïques + utilisation énergie fatale	Aux		
	Chaud + ECS	0 MWh	153 387 MWh
	Chaud		
	Froid	-3 700 MWh	5 612 MWh
Aux			

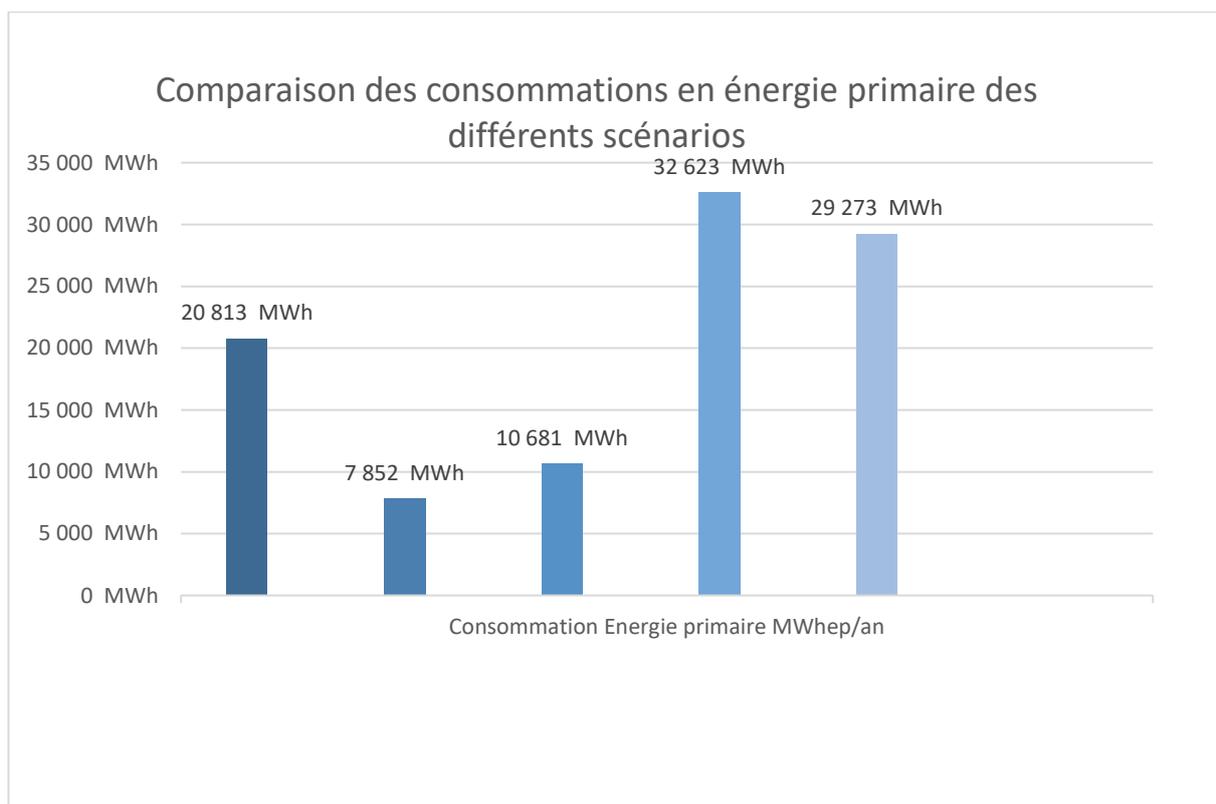
Consommation		Conso annuelle energie primaire	Conso energie primaire estimée sur 25 ans	% EnR	EnR autoconsommée
Scénario n°1 - Référence	Chaud + ECS	20 813 MWh	520 320 MWh	67%	13 069 MWh
	Froid			0%	0 MWh
	Aux				
Scénario n°2 - Réseau de chaleur et PV	Chaud + ECS	7 694 MWh	192 360 MWh	78%	14 936 MWh
	Froid	158 MWh	3 943 MWh	67%	245 MWh
	Aux			88%	3 200 MWh
Scénario n°3 - Réseau de chaleur avec création de chaleur avec géothermie profonde avec appoint gaz + PV + Intégration de Panneaux solaires	Chaud + ECS	7 921 MWh	198 018 MWh	76%	14 710 MWh
	Froid	2 760 MWh	69 006 MWh	67%	245 MWh
	Aux			77%	3 700 MWh
Scénario n°4 - Réseau de chaleur avec création de chaleur avec géothermie profonde avec appoint gaz + Intégration de la récupération de l'énergie fatale + installation PV	Chaud + ECS	6 362 MWh	159 045 MWh	67%	12 874 MWh
	Chaud	26 261 MWh		67%	245 MWh
	Froid			75%	3 700 MWh
	Aux				
Scénario n°5 - Réseau de chaleur avec appoint gaz + puits de chaleur + installation Panneaux solaires thermiques et photovoltaïques + utilisation énergie fatale	Chaud + ECS	6 135 MWh	153 387 MWh	68%	13 101 MWh
	Chaud	23 138 MWh		67%	245 MWh
	Froid			97%	3 700 MWh
	Aux				

Ci-dessous se trouve un petit récapitulatif des consommations énergétiques selon le scénario et des potentiels de chaque système énergétique :

		CONSOMMATIONS D'ENERGIE				% EnR
		Besoin Energie utile MWh/an	Consommation Energie finale MWh/an	Achat Energie finale MWh/an	Consommation Energie primaire	
Scénario n°1 - Référence	Global	22 MWh	9 MWh	9 MWh	21 MWh	53%
Scénario n°2 - Réseau de chaleur et PV	Global	22 MWh	11 MWh	11 MWh	8 MWh	83%
Scénario n°3 - Réseau de chaleur avec création de chaleur avec géothermie profonde avec appoint gaz + PV + Intégration de Panneaux solaires	Global	22 MWh	13 MWh	13 MWh	11 MWh	84%
Scénario n°4 - Réseau de chaleur avec création de chaleur avec géothermie profonde avec appoint gaz + Intégration de la récupération de l'énergie fatale + installation PV	Global	22 MWh	11 MWh	8 MWh	33 MWh	76%
Scénario n°5 - Réseau de chaleur avec appoint gaz + puits de chaleur + installation Panneaux solaires thermiques et photovoltaïques + utilisation énergie fatale	Global	22 MWh	10 MWh	6 MWh	29 MWh	77%

Synthèse du potentiel				
	Chaud et ECS	Froid	Electricité	TOTAL
	MWh/an	MWh/an	MWh/an	MWh/an
Solaire photovoltaïque	0	0	4850,0	4850
Solaire thermique	5069	0	0	5069
Puits Canadiens	2	2	0	4
Récupération d'énergie sur eaux grises	1559	0	0	1559
Réseau de chaleur (Géothermie)	7500	0	0	7500
TOTAL	14130	2	4850	18982
Comparaison potentiel/besoin	73%	1%	34%	

Afin de comparer les scénarii au niveau de leur consommation primaire, qui est un indicateur de consommation, voici un graphique sur lequel nous pouvons voir que les scénarii à privilégier sont le 2 et 3.



2. Résultats/ Synthèse des coûts

1- Les scénarii et leurs coûts

Sur la base des éléments de stratégie d’approvisionnement, les différents coûts (investissements, maintenance, consommation d’énergie, remplacement de certains éléments ...) ont été estimés pour proposer un ordre de grandeur des coûts engendrés. Certaines solutions étant innovantes, notamment la géothermie, les coûts présentés ici possèdent intrinsèquement une incertitude relativement importante.

Quelle que soit la stratégie d’approvisionnement, le fait d’avoir des besoins optimisés permet de réduire les coûts, notamment grâce à :

- Des besoins plus faibles
- Un investissement plus faible (moins de puissance nécessaire)
- Un recours plus important aux énergies renouvelables (qui sont moins coûteuses dans le temps que la consommation de gaz et d’électricité en provenance des réseaux nationaux).

2- Synthèse des coûts

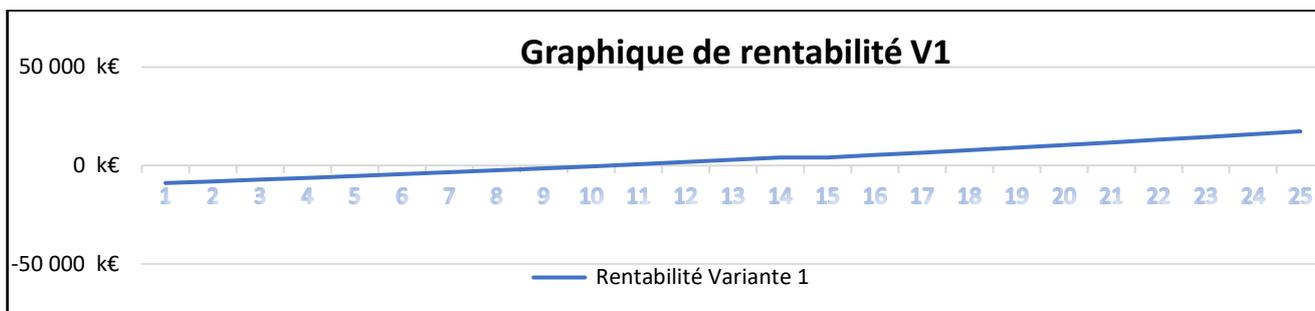
L’étude des consommations d’énergies est importante pour savoir si un scénario est plus avantageux qu’un autre mais l’aspect financier est le deuxième facteur de décision.

Voici une première estimation des investissements pour les différents systèmes à mettre en place :

	Investissement	% utilisation énergie renouvelable	Cout annuel	cout sur 20 ans
Scénario 1	6 534 k€	68%	3 390 k€	9 924 k€
Scénario 2	15 601 k€	78%	2 950 k€	18 552 k€
Scénario 3	30 551 k€	72%	3 568 k€	34 120 k€
Scénario 4	42 551 k€	69%	8 534 k€	51 085 k€
Scénario 5	39 601 k€	73%	2 987 k€	42 589 k€

Investissement		RSI
PV	8 500 k€	9 ans
Pompe à chaleur	6 534 k€	
Réseau de chaleur	7 101 k€	
Récupération énergies eaux usées	12 000 k€	
Panneaux solaires	12 000 k€	
Géothermie	14 950 k€	

La mise en place des PV est une solution excellente pour l’apport en électricité que le système va apporter aux quartiers ; de plus le retour sur investissement de ce système est d’environ 9 ans.



Rentabilité mise en place des PV : 9 ans

3- Impact carbone des solutions proposées

L'impact carbone des activités et des consommations de chaque personne et donc de chaque quartier est, évidemment un critère majeur d'analyse.

Le tableau ci-dessus est un indicateur des production Carbone de chaque famille de solutions de productions et types d'énergies pouvant potentiellement être mis en place sur la Cité-Jardin.

Il est possible de voir qu'un réseau de chaleur 100% gaz est très émetteur de carbone et à contrario un réseau de chaleur utilisant des énergies propres en proportions significatives émet 2/3 moins de carbone.

L'intégration de solutions de production d'énergie solaire photovoltaïque avec autoconsommation de l'énergie permet de réduire d'avantage et de manière significative (en fonction de la provenance des matériels mis en œuvre) l'impact carbone de l'énergie électrique consommée par rapport à celle du réseau public de distribution.

C A R B O N E	<i>Impact carbone électricité réseau</i>		79 geqCO2/kWh
	<i>Impact carbone Réseau Urbain de Meudon (100% Gaz)</i>		234 geqCO2/kWh
	<i>Impact carbone Réseau Urbain Fresnes (35% Géothermie + 64% Gaz + 1% Autres)</i>		81 geqCO2/kWh
	<i>Impact carbone PV</i>	module Chinois	44 geqCO2/kWh
		module européen	32 geqCO2/kWh
		module français	25 geqCO2/kWh
<i>Impact carbone PAC Air/Eau 200kW (Inies)(hors utilisation)</i>		14 kgeqCO2	

VI. Conclusion

Le déploiement du réseau de chaleur existant sur la Cité Jardin est une opportunité intéressante à tous points de vue pour la performance énergétique et environnementale des ouvrages du quartier.

La mobilisation d'autres sources d'énergies renouvelables pour la couverture des besoins chauds peut être pertinente comme la mise en place de panneaux solaires thermiques ou encore la récupération d'énergie fatale sur les eaux usées.

Les logements étant majoritaire, nous avons étudié la possibilité de combiné la production de chaleur par réseau urbain avec une énergie renouvelable tel que l'aérothermie, les panneaux solaires mais également la récupération d'énergie fatale.

Tous les scénarii intègrent une large production solaire photovoltaïque et une part importante d'autoconsommation, ce qui présente des indicateurs environnementaux et en coût global les plus performants.

La maximisation de l'autoconsommation de l'énergie produite par les PV est bénéfique sur le plan des émissions Carbone et sur la consommation minimale d'électricité.

Les besoins énergétiques globaux du projet à terme sont estimés à environ 22200 MWh/an (chaud, froid et électricité), décomposés de la manière suivante : 19200 MWh/an de chaleur, 367 MWh/an de froid et 2500 MWh/an pour les autres utilisations. Le potentiel d'approvisionnement en énergies renouvelables permet d'envisager un taux de couverture important pour chacun des usages. Ainsi, en fonction des différentes stratégies d'approvisionnement et des différents niveaux de besoins énergétiques il est possible d'atteindre 70 % de couverture par les énergies renouvelables et de récupération, avec dans certains cas, des excédents de production de chaleur, dont pourraient bénéficier les projets alentour.

Des aides pour l'installations d'énergies renouvelables sont proposées par l'Etat et par l'ADEME pour la géothermie par exemple. Ces dernières permettent l'encouragement à l'installations d'énergies propres.

La mise de place d'une station de récupération d'énergie sur les eaux grises est possible dans le quartier cependant elle demande beaucoup de place et un investissement assez élevé. Avec la mise en place du raccordement du réseau de chaleur géothermique, les besoins en chaud et en ECS peuvent être en grande partie comblés. De plus avec la réhausse en gaz et la pose de panneaux solaires thermiques, la création de la station de récupération d'énergie est excessive au vu de l'apport en énergie.

Chaque îlot pourra, selon les objectifs visés, améliorer le mix énergétique en intégrant une part de solaire plus favorable ou la mobilisation de solutions locales du type puits canadien, suivant les possibilités des projets.

L'analyse menée montre que le scénario le plus avantageux est le scénario 2 ou 3, avec le raccordement du quartier au réseau de chaleur alimenté par la géothermie, complété par la mise en place d'installations solaires. Ce scénario permet de mobiliser en grande quantité des énergies renouvelables et de combler les besoins du quartier en chaud/ECS et en partie en électricité.

