PLQ Communaux d'Ambilly
Plan localisé de quartier n° 29'743

Concept énergétique

Janvier 2010

REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE

Mandataire

edms ingénieurs

1	**RESUME**	**3**
2	**AVANT-PROPOS**	**3**
3	**PARTIE AYANT REQUIS L'ETUDE**	**4**
4	**OBJET DE L'ETUDE**	**4**
5	**INTRODUCTION**	**5**
5.1	Cadre de l'étude	5
5.1.1	Projet géothermique des SIG	5
5.1.2	Aspect législatif	5
5.1.3	Aspect réglementaire	5
5.1.4	Aspect politique	5
5.1.5	Etudes antérieures	6
5.2	Démarche de l'étude	6
6	**SITUATION ACTUELLE**	**7**
6.1	Périmètre d'étude et d'influence	10
6.1.1	Périmètre d'influence	11
6.2	Qualité de l'air	12
7	**EVALUATION DES BESOINS EXISTANTS**	**13**
7.1	Belle-Idée	13
7.2	Bâtiments existants	14
7.2.1	Zone Ouest	14
7.2.2	Zone Est	15
7.3	Zone Villas	16
7.4	Champ-Dollon	17
8	**EVALUATION DES BESOINS FUTURS**	**18**
8.1	MICA	18
8.1.1	Etapages	18
8.1.2	Standards de construction et évaluation des besoins	19
8.1.3	Solaire passif - recommandations	21
8.1.4	Eclairage des communs d'immeubles - recommandations	21
8.1.5	Eclairage des espaces publics – recommandations	22
8.2	Belle-Idée	22
8.3	Curabilis	23
8.4	Etoile Annemasse	23

9 SYNTHESE DES BESOINS ET DES PUISSANCES EXISTANTS ET FUTURS 25

10 POTENTIEL ENERGETIQUE 26

10.1 Solaire 27

10.2 Géothermie 28
10.2.1 Champ de sondes – faible profondeur (15.5-20° C, 150-300 m) 28
10.2.2 Sonde unique - moyenne profondeur (60-75° C, 2.7 km) 29
10.2.3 Doublet géothermique - moyenne profondeur (100-125° C, env. 3 km) 29
10.2.4 SGS - grande profondeur (5-6 km) 30

10.3 Eaux usées 30

10.4 Air des parkings souterrains 31

10.5 Biomasse - Déchets verts 31

10.6 Bois (échelle régionale) 31

11 SCENARII D'APPROVISIONNEMENT 32

11.1 Stratégie 1 34
11.1.1 Analyse de l'offre et de la demande 34
11.1.2 Réseau de chauffage à distance 37

11.2 Stratégie 2 38

11.3 Opportunités et irréversibilités 39

11.4 Variantes d'approvisionnement privé - A2-B-C2 41
11.4.1 Evaluation des variantes 42
11.4.2 Synthèse 43

12 CONCLUSIONS 44

ANNEXES

1. Formules et hypothèses 41

2. Indices énergétiques, consommation d'énergie et puissances nécessaires 44

3. Energies renouvelables locales – Guide pour le non-averti 47

4. Détail des variantes d'approvisionnement privé 54

1 RESUME

Le site Mon Idée - Communaux d'Ambilly (MICA), situé sur les communes de Thônex et de Puplinge, est l'un des périmètres d'aménagement coordonné (PAC) identifié par le plan directeur cantonal. Ce rapport a pour but de présenter l'étude énergétique préliminaire de l'intérieur de ce périmètre, dans le cadre de l'élaboration du PLQ des pièces urbaines A2-B et des espaces publics, tout en gardant une vision élargie relative au PAC MICA. Parallèlement, le site de MICA a été choisi comme emplacement alternatif au projet géothermique de la presqu'île d'Aïre et s'est inspiré du projet bâlois « Deep Heat Mining » (géothermie grande profondeur produisant de la chaleur et de l'électricité). Les SIG sont chargés de mener à bien ce vaste programme géothermique qui consiste à réussir à terme l'exploitation de la géothermie profonde et d'en faire un projet pilote à l'échelle de la Confédération.

La réalisation du PAC MICA correspond, selon l'avant-projet 2005, à la construction d'environ 500'000 m^2 de SBP s'étendant au-delà de 15 ans. Cela correspond à un besoin de chaleur d'environ 30 GWh et à une puissance de 12 MW. La mise en place d'un doublet géothermique d'une puissance de 15 MW thermique pouvant fournir 45 GWh doit encore être vérifiée, mais pourrait assurer l'alimentation de ce quartier au travers d'un réseau de chaleur à distance moyenne température. Comme ce projet d'aménagement coïncide avec celui d'Etoile Annemasse situé à moins de 2 km au sud, une connexion avec celui-ci permettrait l'entière utilisation du potentiel thermique du doublet.

La production géothermique moyenne-grande profondeur de chaleur étant encore incertaine, cette étude analyse l'offre en énergie renouvelable locale. Le solaire, la géothermie faible profondeur, les eaux usées et la chaleur des parkings souterrains sont autant d'options envisageables. Le bois, quant à lui, ne sera à prescrire qu'en dernier recours afin de limiter la pollution atmosphérique.

Etant donné que les constructions des pièces urbaines A2-B et le secteur d'équipements publics C2 pourraient précéder la mise en service du doublet, une autre alternative d'approvisionnement doit être envisagée. En toute logique, les SIG proposent d'offrir de la chaleur clé en main aux maîtres d'ouvrage. Elle proviendrait en partie du forage existant (ancien forage exploratoire de 2'700 m) et serait complétée par une ou diverses sources locales avec pour cible 100 % d'énergie renouvelable. Finalement, elle serait acheminée par le CAD précédemment mis en place au moment de la construction du mail central. Un réseau de chaleur à distance n'étant pas exclusif, la pose de panneaux solaires thermiques devrait être considérée. Cette technologie produisant de l'énergie renouvelable est bon marché, en plus d'être simple et hautement maîtrisée.

2 AVANT-PROPOS

Le site de MICA a été choisi comme emplacement alternatif au projet géothermique de la presqu'île d'Aïre et s'est inspiré du projet bâlois « Deep Heat Mining » (géothermie grande profondeur). Les SIG sont chargés de mener à bien ce vaste programme géothermique qui a pour objectif l'exploitation de la géothermie profonde et d'en faire un projet pilote à l'échelle de la Confédération.

La présente étude énergétique préliminaire est développée dans cette perspective. Cependant, elle garde toutes les possibilités d'approvisionnement énergétique ouvertes, car la faisabilité de ce projet géothermique doit encore être vérifiée.

3 PARTIE AYANT REQUIS L'ETUDE

Etat de Genève – DT – DGAT
Rue de l'Hôtel-de-Ville 2
CP 3918
1211 Genève 3

Commune de Thônex
Chemin du Bois-Des-Arts 58
CP 64
1226 Thônex

Batima (Suisse) SA – C2I Comptoir d'Investissements Immobiliers SA
Cours de Rive 7
1200 Genève

4 OBJET DE L'ETUDE

Dans le cadre de l'élaboration du PLQ des pièces urbaines A2-B et du secteur d'équipements publics C2, ce rapport a pour but de présenter l'étude énergétique préliminaire de cette zone.

Cependant, le projet géothermique implique une vision géographique à plus vaste échelle. De plus, la planification énergétique territoriale est désormais devenue incontournable pour un développement durable de notre société. C'est donc dans ces perspectives que s'oriente l'étude et offre de ce fait une aide à la décision pour tout acteur/décideur amené à prendre des décisions dans le périmètre concerné.

5 INTRODUCTION

5.1 Cadre de l'étude

5.1.1 Projet géothermique des SIG

Les SIG, avec l'appui de l'Office Fédéral de l'Energie et du Service Cantonal de l'Energie, ont pour mandat de développer l'exploitation géothermique sur le site du PAC MICA. Le projet est développé en trois phases qui aboutiront aux alentours de 2020.

Le site a été choisi en raison d'un forage exploratoire de 2'700 m, pratiqué dans les années 1990 à la demande de l'Etat. Actuellement, l'objectif est de l'équiper d'une sonde géothermique, ainsi que de sondes sismiques qui serviront aux prochaines étapes.

La seconde étape consiste à exploiter la chaleur d'une nappe phréatique profonde. Un deuxième forage sera alors réalisé, dont la position reste encore à définir. Sa profondeur se situera entre 3'500 et 4'000 m de profondeur. Plusieurs essais doivent ensuite être effectués afin de déterminer si l'exploitation d'un doublet géothermique (voir Annexe 3 pour explication) est envisageable. Si les études sont concluantes, un troisième forage sera opéré et le doublet géothermique ainsi créé fournira de la chaleur en grande quantité et de l'électricité. Si le doublet géothermique s'avère impossible, le 2^{e} forage pourra être équipé d'une sonde géothermique.

La dernière étape consiste à exploiter la chaleur à très grande profondeur (5'000 à 6'000 m), cela en fissurant la roche cristalline pour y injecter de l'eau qui atteindrait alors une température de 160 à 200°C. Une grande quantité de chaleur et d'électricité serait alors produite.

5.1.2 Aspect législatif

- L 2 30, Loi sur l'énergie
- L 2 30.01, Règlement d'application de la loi sur l'énergie
- Module 2 et section C du Modèle de Prescriptions Énergétiques des Cantons (MoPEC, 2008)
- SIA 380/1 (2009), L'énergie thermique dans le bâtiment

5.1.3 Aspect réglementaire

- Directive relative aux concepts énergétiques et procédure administrative
- Directive relative aux constructions de haut standard énergétique

5.1.4 Aspect politique

- Plan directeur cantonal de l'énergie 2005-2009
- Conception générale de l'énergie 2005-2009
- Modèle de Prescriptions Énergétiques des Cantons (MoPEC, 2008)

5.1.5 Etudes antérieures

En 2006, CSD avait élaboré l'*Etude énergétique préliminaire des projets « PAC MICA » & « Etoile Annemasse »*. Elle a été effectuée dans le cadre de la procédure de Plan Directeur de Quartier horizon 15 ans (PDQ n° 29'677) adopté par le Conseil Municipal de la Commune de Thônex le 24 juin 2008 et par le Conseil d'Etat le 27 août 2008. Cette présente étude fait donc suite au travail précédent en tenant compte des nouvelles données et d'un périmètre élargi. Les études suivantes ont aussi servi à la synthèse de ce rapport :

- « *Valorisation du forage géothermique de Thônex 1, étude d'opportunités : rapport intermédiaire* », août 2008
- « *Etude énergétique préliminaire – rapport d'étude ; plan directeur de quartier n° 29'655, site de Belle-Idée* », D. Hirt mai 2008
- « *Concept énergétique – Curabilis* », 23 février 2008
- « *Valorisation du forage géothermique de Thônex, étude de qualification* », juillet 2007

5.2 Démarche de l'étude

La démarche de l'étude doit s'inscrire dans les principes d'une société à 2'000 Watts sans nucléaire et dont les objectifs sont l'utilisation rationnelle de l'énergie et le développement des énergies renouvelables[1]. En outre, elle doit tenir compte du programme géothermique et proposer des scenarii intermédiaires palliant le décalage entre le planning de construction et celui du développement énergétique des SIG. De même, l'échelonnage temporel des différentes pièces urbaines doit aussi être intégré à la réflexion.

La démarche de l'étude suit ces grandes lignes de réflexion :

- Analyse du site d'implantation et de ses environs
- Définitions des besoins futurs
- Analyse exhaustive du potentiel énergétique local et régional, en prenant en compte les opportunités et les contraintes d'approvisionnement
- Elaboration de scenarii d'approvisionnement
- Analyse multicritère des scenarii précédemment établis
- Sur la base d'indicateurs et des principes d'une société à 2'000 Watts sans nucléaire, prise de position objective sur les scenarii retenus.

L'échelle spatiale des études est la suivante :

- Besoins : périmètre large (ou périmètre d'influence, voir chapitre 6.1)
- Synergies : périmètre large (ou périmètre d'influence, voir chapitre 6.1)
- Potentiel énergétique local : limité au PAC MICA
- Variantes d'approvisionnement : limité au PLQ

Même limitée au premier PLQ (pièces A2-B et équipements C2), les variantes d'approvisionnement peuvent servir d'exemple pour ensuite être reconduites sur l'ensemble du PAC MICA, en prenant en compte l'évolution des technologies.

[1] Les intentions de Batima (Suisse) SA et de C2I Comptoir d'Investissements Immobiliers SA sont d'atteindre la cible du

6 SITUATION ACTUELLE

Le site Mon Idée - Communaux d'Ambilly est l'un des périmètres d'aménagement coordonné (PAC) identifiés par le plan directeur cantonal.

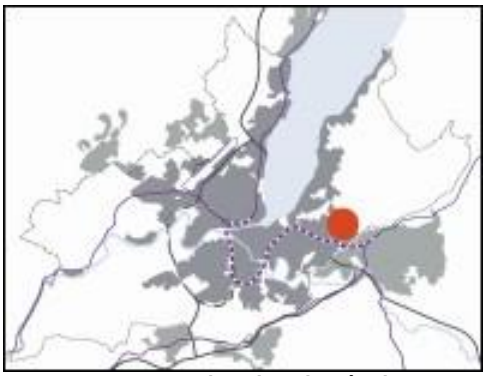

Figure 1 : Le PAC MICA dans l'agglomération genevoise

Situé sur les communes de Thônex et de Puplinge, il est composé de trois sous-périmètres :

- Communaux d'Ambilly (CdA) sur la commune de Thônex
- Grand-Pré sur la commune de Puplinge
- Mon-Idée sur la commune de Puplinge

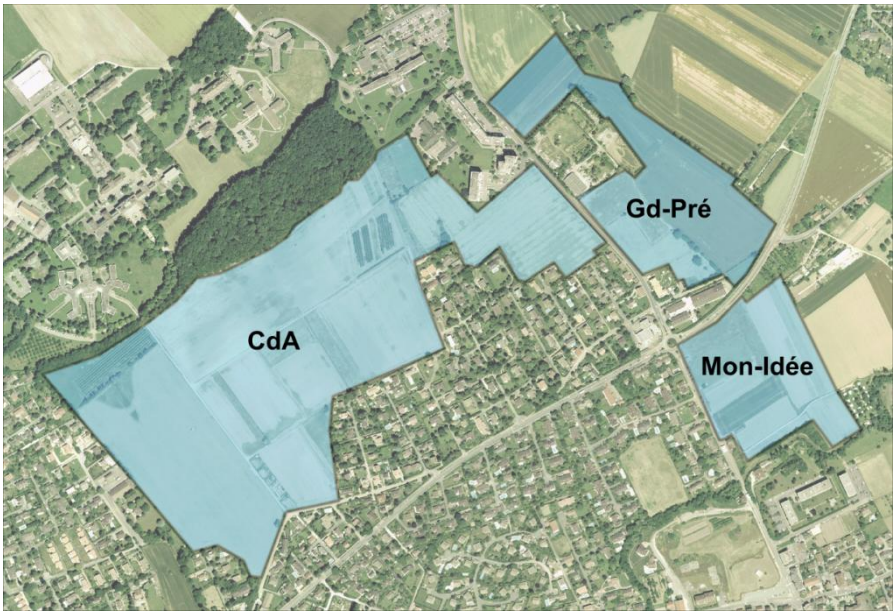

Figure 2 : Les 3 sous-périmètres du PAC MICA

Le PAC MICA a donné naissance en 2006 à un PDQ (n°29'677) qui traite du projet d’aménagement horizon 15 ans du sous-périmètre des Communaux d’Ambilly.

Figure 3 : Projet d'aménagement horizon 15 ans

Enfin, comme mentionné précédemment, cette étude accompagne le PLQ relatif aux pièces urbaines A2-B et au secteur d'équipements publics C2 du sous-périmètre des Communaux d'Ambilly.

Figure 4 : Zones d'aménagement du PLQ

A partir des éléments précédents, il est désormais possible de définir les périmètres d'études et d'influences.

6.1 Périmètre d'étude et d'influence

Au stade actuel du projet, nous définirons trois zones :

- zone d'étude relative au PLQ, soit les **pièces urbaines A2-B** et le **secteur d'équipements publics C2**. La réflexion pour cette zone sera portée sur l'étude des variantes d'approvisionnement énergétique et leur évaluation environnementale et économique.
- zone de réflexion relative au **PAC MICA** pour tenir compte d'une vision énergétique globale sur ce périmètre de construction.
- zone de réflexion élargie relative aux **périmètres d'influences** et à leur développement synergétique.

Lors de la réflexion, la considération simultanée de ces trois échelles d'étude permet une meilleure approche de la problématique énergétique.

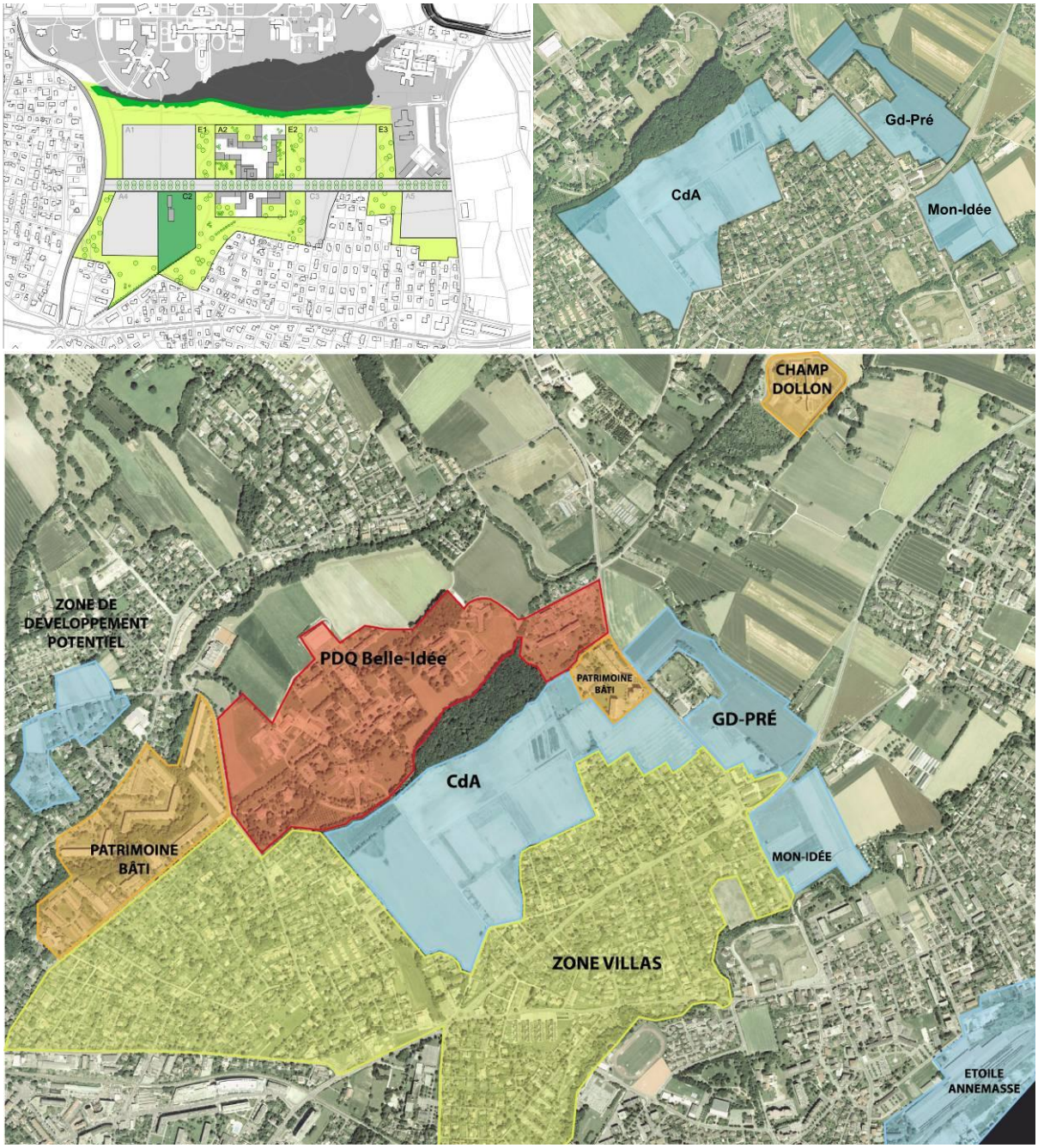

Figure 5 : Définition des zones d'étude

6.1.1 Périmètre d'influence

Ce projet d'aménagement coïncide avec celui d'Etoile Annemasse qui sera implanté dans l'espace urbain constitué par la gare d'Annemasse et ses quartiers adjacents.

A proximité du PAC MICA, se trouve le site hospitalier de Belle-Idée. Actuellement, une centrale thermique fonctionnant au gaz alimente un réseau de chaleur à distance local.

Des barres d'immeuble bordent l'est et l'ouest du site de Belle-Idée. Ces zones autonomes, actuellement dépendante d'énergie fossile (principalement du mazout) à quelques exceptions près, pourraient représenter un potentiel de synergie.

Au nord-est se trouve l'établissement pénitentiaire de Champ-Dollon et sa future extension (Curabilis). Malgré sa position un peu excentrée, ce site, fonctionnant actuellement au gaz, pourrait représenter un potentiel synergétique.

Une zone villa borde d'est en ouest en passant par le sud le périmètre d'étude. Cette zone actuellement dépendante d'énergie fossile à quelques exceptions près, pourrait dans une moindre mesure, également représenter un potentiel de synergie. L'IUS est de 0.25.

Enfin, à l'ouest de Belle-Idée, sur la commune de Chêne-Bougeries, se trouve une zone potentiellement constructible (en outre le PLQ 29'701 rte Jean-Jacques Rigaud). En effet, les parcelles 1563 et 1564 sont soumises à un PLQ actuellement en consultation. Sur les parcelles 2780, 2253 et 2255 se trouvent actuellement des logements ouvriers. Une décision concernant leur maintien ou leur démolition doit encore être prise. Enfin, la parcelle 1567 est aussi amenée à être densifiée. L'IUS futur de ce périmètre sera théoriquement de 0.8. Vu le manque d'information, seule une estimation des besoins de chaleur et de la puissance à installer peuvent être consultés au chapitre 9 (p. 25).

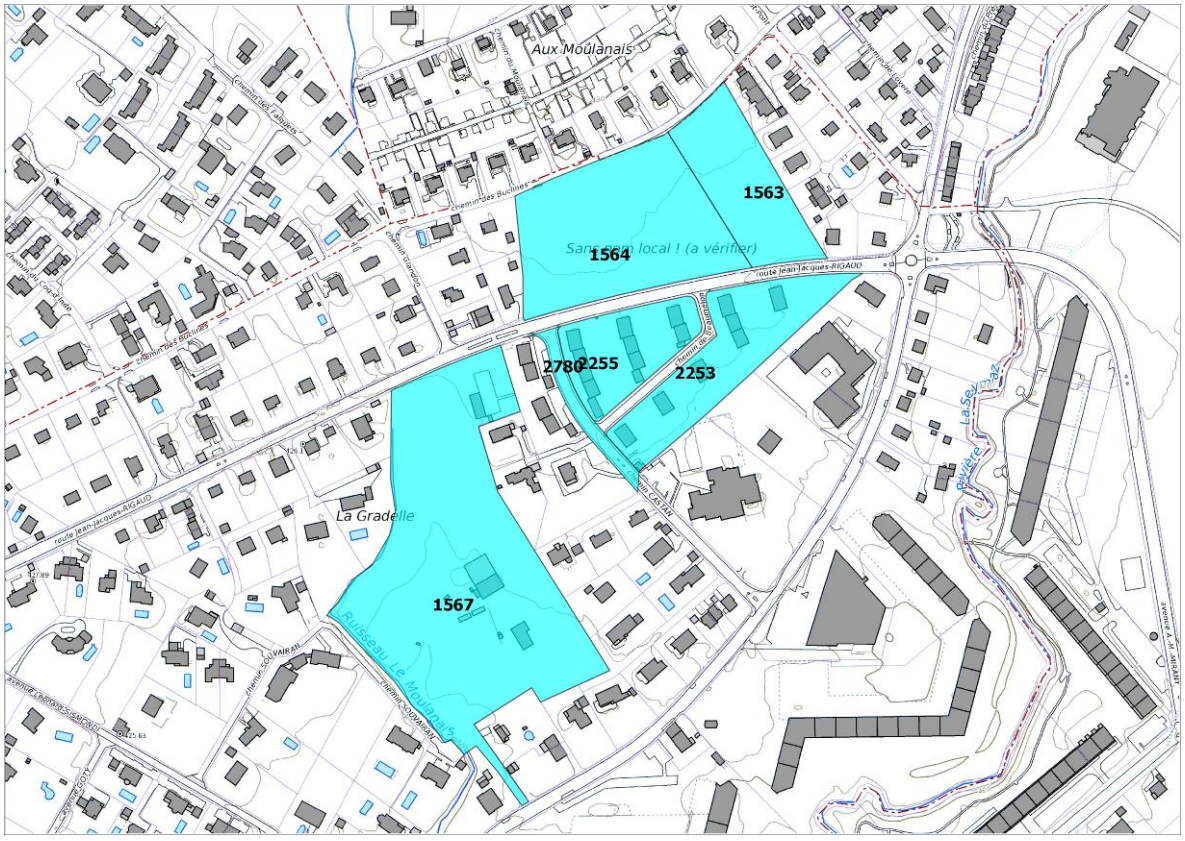

Figure 6 : Zone potentiellement constructible

6.2 Qualité de l'air

Sur la base des mesures relevées par le Service Cantonal de la Protection de l'Air (station ROPAG « Foron » et réseau des capteurs passifs), les concentrations moyennes annuelles des principaux polluants de l'air sont les suivantes :

- NO_2 : 24-30 µg/m^3 respect des valeurs limites d'immission (VLI) de l'Ordonnance sur la protection de l'air (30 µg/m^3)
- PM10 : 19-27 µg/m^3 non-respect de l'OPair (20 µg/m^3)
- SO_2 respect de l'OPair (20 µg/m^3)

Pour les PM10, les nombres de dépassement de la moyenne journalière fixée à 50 µg/m^3 se situent entre 10 et 33 fois par année.

Enfin, en ce qui concerne l'ozone, la moyenne journalière est régulièrement dépassée au printemps et en été sur l'ensemble du bassin genevois.

7 EVALUATION DES BESOINS EXISTANTS

Sur la base des données transmises par le ScanE et le Service de l'organisation et des systèmes d'information, les besoins existants en chaleur ont pu être évalués.

7.1 Belle-Idée

Le site de Belle-Idée, selon son PDQ (n° 29'655), est amené à être densifié. Actuellement, l'ensemble du site est autonome en production de chaleur et desservi par un réseau de chaleur à distance local fonctionnant à une température de 120°C. Une centrale thermique, située dans le bâtiment « PSY » au centre du domaine, alimente l'ensemble du site, y compris l'hôpital des Trois-Chênes (anciennement Hoger) depuis août 2007, ainsi que le cycle d'orientation de la Seymaz.

Depuis octobre 2008, les pavillons Erables, Comptines et Magnolias sont aussi raccordés. Les générateurs de chaleur fonctionnent au gaz avec secours possibles au moyen de mazout extra léger.

Le tableau ci-dessous résume les puissances installées :

Centrale thermique en PSY			
Type de chaudière	**Puissance [kW]**	**Année d'installation**	**Remarque**
Chaudière gaz/mazout	1'865	1994	
Chaudière gaz/mazout	3'485	1994	
Chaudière gaz/mazout	3'485	1994	Chaudière de réserve
Chaudière gaz/mazout	3'485	2007	
Total	**12'320**		

Source : Site de Belle-Idée - étude énergétique préliminaire, D. Hirt, mai 2008

La puissance encore disponible, tout en gardant la sécurité d'une chaudière, est de 895 kW.

Les besoins en termes de puissance par raccordement se résument comme suit :

Puissance du site de Belle-Idée					
[kW]	PSY	Trois-Chênes	Cycle Seymaz	Erables, Comptines et Magnolias	**Total**
Puissance hiver	5'320	1'960	500	160	**7'940**
Puissance été	420	150	40	30	**640**

Sources : HUG ; Site de Belle-Idée - étude énergétique préliminaire, D. Hirt, mai 2008

Les besoins de chaleur qui en découlent sont les suivants :

Besoins de chaleur du site de Belle-Idée[2]					
[MWh/an]	PSY	Trois-Chênes	Cycle Seymaz	Erables, Comptines et Magnolias	**Total**
Besoins de chaleur	18'611	6'837	1'500	632	**27'580**

7.2 Bâtiments existants

7.2.1 Zone Ouest

Les indices de dépense énergétique des deux dernières années (état en 2009) de la zone Ouest, située en bordure de l'avenue de A.-M. Mirany, sont présentés sur la figure suivante :

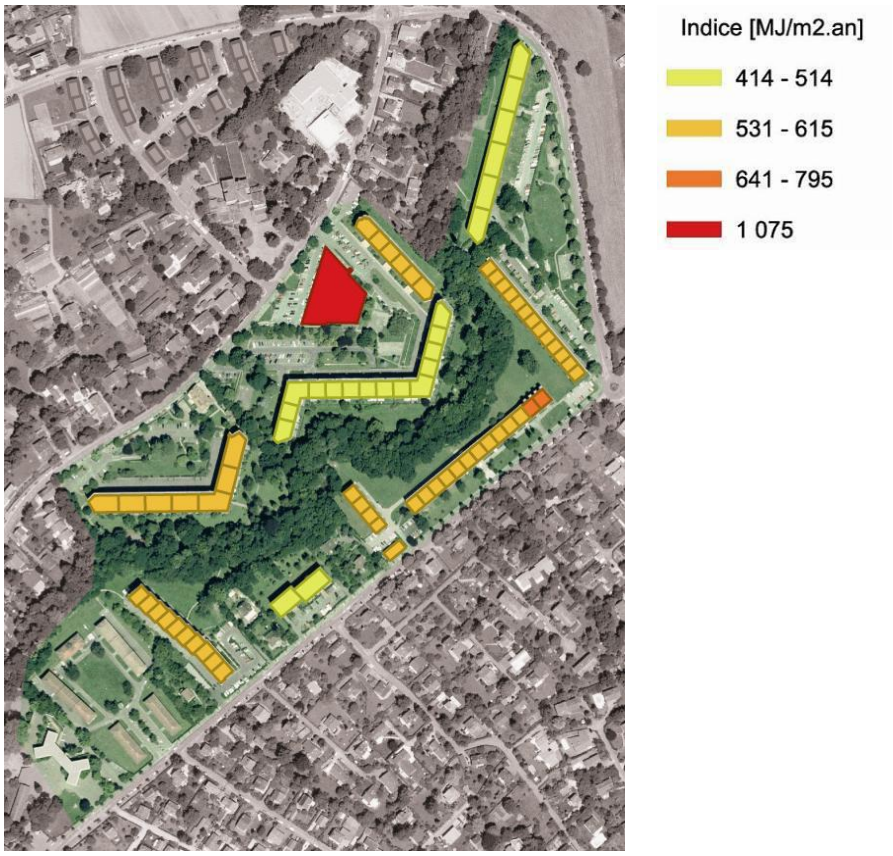

Figure 7 : Moyenne de l'indice de dépense énergétique des deux dernières années (état en 2009) – zone Ouest

[2] Voir Annexe 1 pour les hypothèses de calcul

Les deux tableaux suivants présentent les caractéristiques énergétiques de cette zone :

Zone Ouest – Signature énergétique			
	Mazout	**Gaz**	**Total**
Indice moyen des 2 dernières années [kWh/m^2_SRE·an]	157	130	**156**
Sommes des SRE [m^2_SRE]	120'071	4'906	**124'977**
Moyenne de consommation annuelle [MWh/an]	18'834	636	**19'471**

Zone Ouest – Estimation des puissances[3]			
[kW]	**Mazout**	**Gaz**	**Total**
Puissance été	307	13	**320**
Puissance hiver	6'565	218	**6'783**

7.2.2 Zone Est

Les indices de dépense énergétique des deux dernières années (état en 2009) de la zone Est, située en bordure de la route de Mon-Idée, sont présentés sur la figure suivante :

Figure 8 : Moyenne de l'indice de dépense énergétique des deux dernières années (état en 2009) – Zone Est

[3] Voir Annexe 1 pour les hypothèses de calcul

Les deux tableaux suivants présentent les caractéristiques énergétiques de cette zone :

Zone Est – Signature énergétique			
	Mazout	**Gaz**	**Total**
Indice moyen des 2 dernières années [kWh/m^2_SRE·an]	170	-	**170**
Sommes des SRE [m^2_SRE]	30'711	-	**30'711**
Moyenne de consommation annuelle [MWh/an]	5'228	-	**5'228**

Zone Est – Estimation des puissances			
[kW]	**Mazout**	**Gaz**	**Total**
Puissance été	79	-	**79**
Puissance hiver	1'833	-	**1'833**

L'école (bâtiments situés dans le coin supérieur gauche) a été prise en compte dans les calculs.

7.3 Zone Villas

Les indices de dépense énergétique pour la zone villa n'existent pas et ont donc été estimés sur la base des surfaces brutes de plancher, de la l'année (ou époque) de construction, ainsi que des éventuelles données de rénovation/agrandissement.

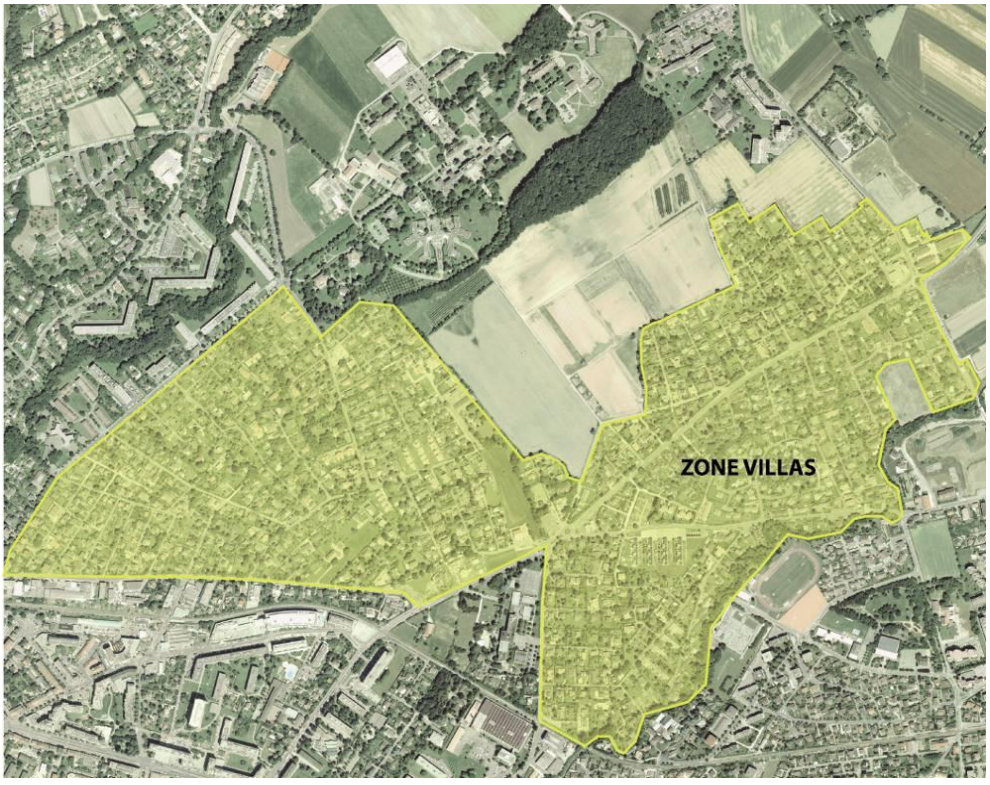

Figure 9 : Etendue de la zone villas considérée

Les deux tableaux suivants présentent les caractéristiques énergétiques de cette zone :

Zone Villas – Signature énergétique			
	Mazout	**Gaz**	**Total**
Indice estimé [kWh/m^2_SBP·an]	172[4]	?	**172**
Sommes des SBP [m^2_SPB]	271'504	?	**271'504**
Consommation annuelle [MWh/an]	46'669	?	**46'669**

Zone Villa – Estimation des puissances			
[kW]	**Mazout**	**Gaz**	**Total**
Puissance été	476	-	**476**
Puissance hiver	20'554	-	**20'554**

7.4 Champ-Dollon[5]

La puissance installée est résumée dans le tableau suivant :

Centrale thermique de Champ-Dollon			
Type de chaudière	**Puissance [kW]**	**Utilisation**	**Remarque**
Chaudière gaz	2'500	Chauffage en hiver	
Chaudière gaz	975	chauffage en entre-saison	peut être couplée à la 1ère en cas de besoins exceptionnels
Chaudière gaz	350	eau chaude sanitaire en été	
Chaudière mazout	3'500	chauffage en cas de panne d'alimentation de gaz	
Total	**7'325**		

Toutes les chaudières sont conforment à l'Opair 92. La consommation saisonnière pour une surface de 19'330 m^2 est de :

- mai 1999 à avril 2000 : 4'800 MWh
- mai 2001 à avril 2002 : 5'180 MWh

En admettant une consommation saisonnière moyenne de 5'000 MWh, le besoin en puissance est de 2'000 kW. La réserve de puissance est donc de 1'825 kW (la chaudière en cas de panne n'est pas prise en compte).

[4] Voir Annexe 1 pour les hypothèses de calcul
[5] Sources : Etablissement pénitentiaire de Champ-Dollon – Cahier des charges, DAEL, février 2005

8 EVALUATION DES BESOINS FUTURS

8.1 MICA

8.1.1 Etapages

Les étapes de réalisation du sous-périmètre CdA sont connues, mais encore approximatives. En ce qui concerne Grand-Pré et Mon-Idée, un PDQ doit encore être élaboré, ce qui engendre obligatoirement un décalage avec le sous-périmètre des CdA. Nous considèrerons, à raison de données plus précises, que leur achèvement se situera entre celui des pièces urbaines A1a-A3 et A1b-A4-A5-C3. L'étapage d'achèvement de réalisation du PAC MICA est décrit dans la figure suivante (scénario optimiste quant aux années d'achèvement) :

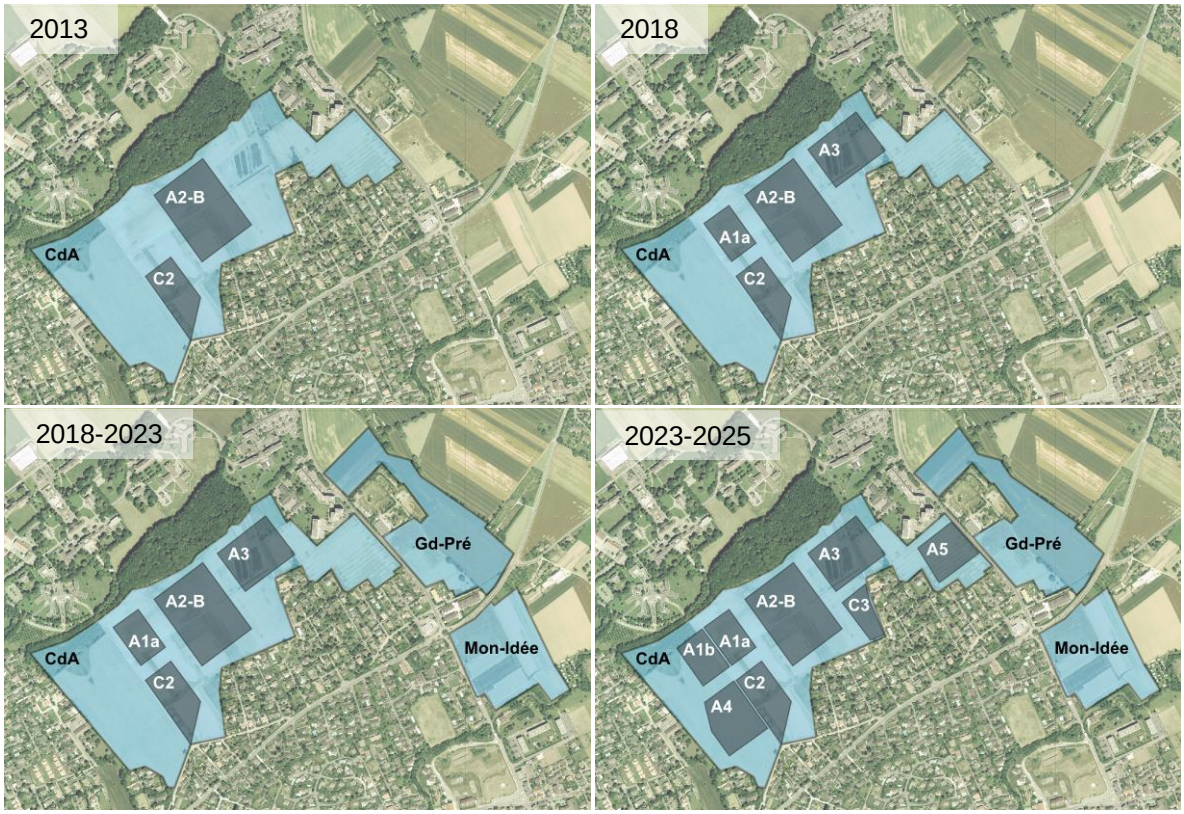

Figure 10 : Etapage d'achèvement de réalisation du PAC MICA

Les surfaces brutes de plancher sont résumées dans le tableau suivant :

SPB					
[m^2]	**A2-B-C2**	**A1a-A3**	**Gd-Pré**	**Mon-Idée**	**A1b-A4-A5-C3**
	2013	**2018**	**2018-2023**	**2018-2023**	**2023-2025**
Résidentiel	65'450	68'550	86'000	81'000	108'800
Commerce	6'680	5'160	14'000	0	11'800
Tertiaire/service	5'070	6'790	15'000	15'000	7'300
Ecole / Equipement	5'700	0	1'700	800	5'700
Total	82'900	80'500	116'700	96'800	133'600
Total cumulé	82'900	163'400	280'100	376'900	510'500

8.1.2 Standards de construction et évaluation des besoins

Nous partons du principe que la nouvelle loi sur l'énergie sera en force lors de la construction des nouveaux immeubles de l'ensemble des zones. Les points suivants feront partie des nouvelles mesures :

- Tous les bâtiments neufs d'importance devront être conformes à un standard de haute performance énergétique comme, par exemple, le label Minergie.
- Pour les bâtiments neufs, au minimum 20% des besoins admissibles en chaleur (chauffage et production d'eau chaude) devront être satisfaits par des énergies renouvelables (à moins que des techniques d'isolation particulières soient prévues). Ce point fait partie intégrante du module 2 du MoPEC.
- L'installation de panneaux solaires thermiques – permettant de produire au minimum 30% de la consommation d'eau chaude du bâtiment – sera rendue obligatoire pour les nouvelles constructions ainsi que lors de toute rénovation de toiture existante.

Les indices énergétiques retenus sont ceux de la norme SIA 380/1 2009[6], mais avec une qualité d'enveloppe thermique telle que définie dans le label Minergie, soit Q_h < 90% $Q_{h,li}$. Notons à ce sujet que selon des mesures effectuées sur des bâtiments Minergie labellisés entre 2004 et 2005 (CUEPE), les besoins de chaleur réels sont supérieurs de 30% à 50% à ceux calculés. Des performances moindres au niveau des bâtiments et le comportement des utilisateurs en sont les causes, avec un poids prépondérant pour le dernier facteur.

Pour prendre en compte cet artefact, les besoins de chauffage seront augmentés de 40% pour les deux premières étapes de constructions[7] (A2-B-C2-A1a-A3). Il est en découle les indices suivants :

A2-B-C2-A1a-A3 - **Indices énergétiques pour les calculs des besoins de chaleur**				
[kWh/m^2]	Résidentiel	Commerce	Tertiaire/service[8]	Ecole
Chauffage	49.0	40.3	59.0	53.9
ECS	20.8	6.9	8.7	6.9
Total	**69.8**	**47.2**	**67.7**	**60.8**

G.-Pré M.-Idée A1b-A4-A5-C3 **- Indices énergétiques pour les calculs des besoins de chaleur**				
[kWh/m^2]	Résidentiel	Commerce	Tertiaire/service	Ecole
Chauffage	35.0	28.8	42.1	38.5
ECS	20.8	6.9	8.7	6.9
Total	**55.8**	**35.7**	**50.8**	**45.4**

[6] Valeurs issues du tableau 31.
[7] Partant de l'hypothèse que les standards énergétiques auront évolué.
[8] Partant de l'hypothèse que cette catégorie est composée de 75% d'administration et de 25% de lieu de rassemblement

Les besoins de chaleur calculés avec ces indices sont résumés ci-dessous :

Besoins					
[MWh]	**A2-B-C2**	**A1a-A3**	**Gd-Pré**	**Mon-Idée**	**A1b-A4-A5-C3**
	2013	**2018**	**2018-2023**	**2018-2023**	**2023-2025**
Chauffage	4'082	3'967	4'110	3'498	4'674
ECS	1'494	1'523	2'031	1'823	2'452
Total chaleur	5'576	5'490	6'141	5'321	7'126
Total cumulé	5'576	11'066	17'206	22'527	29'653

Le tableau suivant présente les puissances qui en sont dérivées :

Puissance[9]					
[kW]	**A2-B-C2**	**A1a-A3**	**Gd-Pré**	**Mon-Idée**	**A1b-A4-A5-C3**
	2013	**2018**	**2018-2023**	**2018-2023**	**2023-2025**
hiver	2'184	2'140	2'334	2'010	2'690
été	170	174	232	208	280
cumulé hiver	2'184	4'324	6'658	8'668	11'358
cumulé été	170	344	576	784	1'064

Enfin, il est important d'avoir conscience que les standards de construction évoluent très rapidement et que les consommations indiquées peuvent diminuer de manière significative.

L'Annexe 2 présente les indices énergétiques et les consommations pour les variantes suivantes :

- SIA 380/1 2009, $Q_h < 90\% Q_{h,li}$ (Minergie), sans prise en compte d'artefact,
- SIA 380/1 2009, $Q_h < 60\% Q_{h,li}$ (Minergie-P), avec prise en compte d'artefact,
- SIA 380/1 2009, $Q_h < 60\% Q_{h,li}$ (Minergie-P), avec prise en compte d'artefact, 10% supplémentaire de surface brute de plancher (dans le cas d'un haut standard énergétique).

A titre de comparaison, le tableau suivant présente les indices énergétiques moyens et la consommation totale de chaleur pour le PAC MICA en fonction des différentes variantes :

PAC MICA – comparaison des différentes variantes de standard de construction				
	Minergie	**Minergie, Qh +40%**	**Minergie-P, Qh +40%**	**Minergie-P, Qh +40%, SBP +10%**
Indice moyen pondéré [kWh/m^2·an]	53.6	67.7	51.2	51.2
Besoin de chaleur [MWh]	27'353	29'653	26'151	28'766
Puissance [kW]	10'344	11'358	9'813	10'795

[9] Voir Annexe 1 pour les hypothèses de calcul.

Etant donné que les consommations réelles sont toujours plus élevées que celles calculées, une qualité d'enveloppe thermique telle que définie dans le label Minergie-P serait nécessaire pour atteindre des performances similaires à celle définie dans le label Minergie. Le chapitre suivant présente des recommandations pour aller dans ce sens.

8.1.3 Solaire passif - recommandations

Le rayonnement solaire peut être récupéré directement et stocké dans les matériaux qui constituent le bâtiment ; cela nécessite simplement une conception particulière qui s'adapte au climat et qui tient compte de l'orientation du soleil selon les saisons. La notion de solaire passif est incluse dans le concept plus général d'architecture bioclimatique. Cette dernière permet de réduire les besoins énergétiques, de maintenir des températures agréables, de contrôler l'humidité et de favoriser l'éclairage naturel.

L'emplacement, la forme et la hauteur des bâtiments étant déjà définis, il conviendra de maximiser l'apport en énergies passives (chaleur et lumière) par :

- une optimisation de la distribution et de la taille des fenêtres ;
- un degré élevé de transmission énergétique globale (coefficient Ug du verre) ;
- un aménagement de l'espace intérieur permettant l'utilisation (pièces habitables au sud) et un stockage efficace de la chaleur ambiante ;
- une minimisation des ombres portées par les balcons, les avant-toits et les arbres.

En outre, une attention particulière sera portée pour éviter les cas de surchauffe estivale.

8.1.4 Eclairage des communs d'immeubles - Recommandations

Suite à l'article 131 du règlement d'application de la loi sur les constructions et les installations diverses (RALCI, L 5 05.01) en juillet 2005, il n'impose plus d'éclairer les communs d'immeuble 24/24h. En outre, il précise que les installations d'éclairage doivent être aussi économes en énergie que possible. Des lampes économes avec détecteur de présence seront donc privilégiées. Les gains escomptés peuvent se monter jusqu'à 80% par rapport à une installation traditionnelle.

8.1.5 Eclairage des espaces publics – Recommandations

En huit étapes vers un éclairage public optimal :

	Critère / Recommandation
Etat des lieux	• Clarifier les besoins en matière d'éclairage des rues. Toutes les rues ne doivent pas forcément être éclairées.
Types de lampe	• Utiliser des lampes à vapeur de sodium. • Ou d'autres lampes ayant un aussi bon rendement d'éclairage.
Luminaire	• Utiliser des réflecteurs à haut rendement. • Eviter toute émission lumineuse au-dessus de l'horizon (pollution lumineuse).
Ballasts d'allumage	• Préférer les ballasts électroniques à longue durée de vie.
Puissance électrique spécifique	• Pour les rues d'une largeur inférieure à 10 mètres: valeur cible: 2 W/m, valeur limite: 3 W/m • Pour les rues d'une largeur de supérieure 10 mètres: valeur cible: 4 W/m valeur limite: 6 W/m
Heures de fonctionnement	• Allumage le soir: quand la luminosité descend au-dessous de 40 lux pendant plus de 5 minutes. • Extinction durant la nuit (p. ex. 24h00–05h30). • Réduction de l'intensité lumineuse la nuit si une extinction n'est pas possible (variation de la puissance lumineuse ou extinction partielle).
Consommation d'énergie	• Valeur cible: 8 kWh/m a • Valeur limite: 12 kWh/m a
Electricité renouvelable	• Couvrir avec de l'écocourant certifié une part à définir du besoin en électricité pour l'éclairage des rues. • Assurer avec des lampadaires solaires l'éclairage de rues non électrifiées.

Source : Eclairage public efficace Modèle de cahier des charges pour les communes, SAFE, 2006

8.2 Belle-Idée

Selon le PDQ, l'augmentation des surfaces brutes de plancher sera d'environ 60'529 m^2. Un premier bâtiment pour la psychiatrie adulte de 8'600 m^2 de SBP (268 kW) pourrait être construit à l'horizon 2020, lequel sera probablement suivi par une extension de l'hôpital des Trois-Chêne[10].

Selon les HUG, ces constructions entraineront une augmentation de la puissance installée de 2'200 kW et correspondra à une énergie de 19'000 MWh/an.

Nous fournissons ici à titre indicatif les besoins de chaleur calculés avec les SBP. En partant des mêmes hypothèses que le chapitre précédent (SIA 380/1 2009 avec $Q_h < 90\% Q_{h,li}$, +40% pour les besoins de chauffage), ce réaménagement entraînera une demande en chaleur supplémentaire de 4'732 MWh/an, correspondant à une puissance d'environ 1'700 kW[11].

[10] Source : HUG
[11] 3'800 heures d'utilisation sur 1 année, coefficient de sécurité de 1.3

8.3 Curabilis[12]

Le projet Curabilis est un agrandissement de l'actuel centre pénitencier. Selon son concept énergétique (23.02.2008), sa signature énergétique est la suivante (d'après les exigences de la SIA 380/1, édition 2001) :

- Surface de référence énergétique : 4'800.3 m^2
- Valeur-limite des besoins de chaleur pour le chauffage Chli : 161 MJ/m^2·an
- Besoins de chaleur pour le chauffage Qh : 119 MJ/m^2·an
- Besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire : 50 MJ/m^2·an
- Consommation calculée : 811'251 MJ/an (225 MWh/an)
- Puissance estimée : 82 kW

8.4 Etoile Annemasse

Les étapes de réalisation d'Etoile-Annemasse se divisent quant à elle en trois phases :

- Phase 0 : 2009-2013 (opérations lancées)
- Phase 1 : 2014-2018 (sud des voies ferrées)
- Phase 2 : 2018-2023 (nord des voies ferrées)

Une 4ème phase est prévue à la suite de la phase 2 afin d'étendre l'urbanisation aux réserves foncières (emprises ferroviaires inutilisées), mais aucune donnée n'est disponible quant aux surfaces prévues.

Les surfaces hors œuvre nette sont résumées dans le tableau suivant :

SHON[13]			
[m^2]	**2009-2013**	**2014-2018**	**2018-2023**
Résidentiel	50'000	18'000	0
Commerce	14'000	5'000	0
Tertiaire/service	31'000	11'000	47'000
Total	95'000	34'000	47'000
Total cumulé	95'000	129'000	176'000

[12] Source : Curabilis – justificatif thermique, Raymond E. Moser SA, novembre 2011
[13] Source : Camille Couvreur, Service Aménagement, Annemasse - Les Voirons Agglomération

Pour le moment, seules des volontés sont émises quant aux standards de construction. A défaut de plus amples informations, nous calculerons les besoins en énergie selon :

- la réglementation thermique des constructions neuves (RT 2005),
- les objectifs recommandés par le manuel pratique à l'usage des Maîtres d'Ouvrage et des acteurs du bâtiment « Qualité environnementale des bâtiments » publié par l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME),
- la norme SIA 380/1 2009 avec $Q_h < 90\% Q_{h,li}$ (voir chapitre 8.1.2).

Comparaison des indices énergétiques		
[kWh/m^2·an]	**Résidentiel**	**Tertiaire**
RT 2005[14]	95	105
ADEME[12]	50[15] (60)[16]	50 (60)
SIA 380/1 2009, $Q_h < 90\% Q_{h,li}$	55.8 (69.8)	50.8 (67.7)

Comme précédemment, les valeurs réelles (mesurées) seront utilisées pour le calcul des besoins de chaleur :

Besoins				
[MWh]	**2009-2013**	**2014-2018**	**2018-2023**	**Total**
RT 2005	9'475	3'390	4'935	17'800
ADEME	5'700	2'040	2'820	10'560
SIA 380/1 2009, $Q_h < 90\% Q_{h,li}$	4'866	1'742	2'388	8'997

Selon le standard choisi, les besoins varient du simple au double, mais on peut penser qu'ils seront de toute façon inférieurs à la norme RT 2005 (renforcement des exigences avec la nouvelle norme RT 2010 et orientation des politiques dans le sens d'un concept HQE). Par la suite, seules les valeurs issues de l'ADEME seront prises en comptes. Le tableau suivant présente les puissances qui en sont dérivées :

Puissances			
[kW]	**2009-2013**	**2014-2018**	**2018-2023**
hiver	2'254	807	1'169
été	161	58	47
cumulé hiver	2'254	3'061	4'230
cumulé été	161	218	265

En l'état des informations actuelles[17], une centrale de cogénération alimentée par de la biomasse d'origine forestière ou agricole locale serait mise en place. La puissance installée devrait être proche de 2'700 kW pour un rendement supérieur à 80% et une puissance thermique de 1'500 kW.

[14] Source : *Etude énergétique préliminaire des projets « PAC MICA » & « Etoile Annemasse »,* CSD, 2006
[15] Valeur théorique
[16] Retour d'expérience, valeur mesurée
[17] Source : *Etude énergétique préliminaire des projets « PAC MICA » & « Etoile Annemasse »,* CSD, 2006

9 SYNTHESE DES BESOINS ET DES PUISSANCES EXISTANTS ET FUTURS

Figure 11 : besoins existants – total de 104 GWh et 39 MW

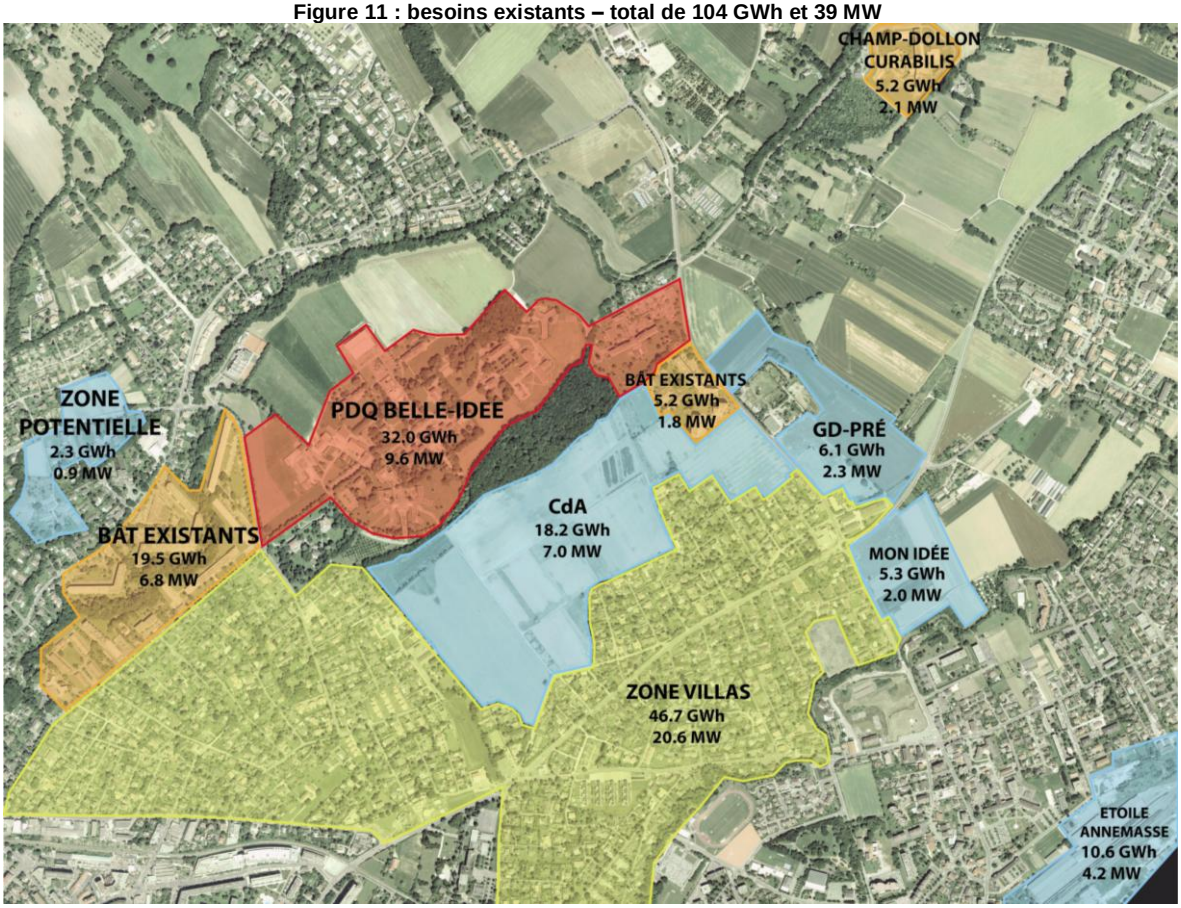

Figure 12 : besoins futurs – total de 151 GWh et de 58 MW

10 POTENTIEL ENERGETIQUE

Les énergies renouvelables locales potentiellement exploitables sont :

- le solaire
- la géothermie
- les eaux usées
- la chaleur des parkings souterrains
- les déchets verts ménagers

Le bois, quant à lui, fait partie des énergies renouvelables situées hors du périmètre d'étude. Le gaz peut aussi être un agent énergétique, mais non renouvelable.

Les énergies renouvelables non disponibles sont :

- l'éolienne
- l'hydraulique

10.1 Solaire

Comme toutes les toitures ne sont pas au même niveau, certaines subissent des ombres portées. Le plan suivant illustre les surfaces dont l'ensoleillement est maximum :

Figure 13 : toitures ne subissant pas d'ombre portée

En ne tenant pas compte des surfaces non utilisables[18] (accès au toit, ventilation, etc..), environ 8'500 m^2 de toiture sont rendus disponibles pour la pose de panneaux solaires.

A priori, les conflits d'usages entre la pose de panneaux solaires et les besoins de rétention en eaux claires ne devraient pas poser de problèmes. Pour ce faire, deux possibilités de gestion se présentent. La première est de privilégier la rétention sur les zones ombragées. Comme toutes les toitures doivent participer à la captation (selon les besoins calculés dans le schéma directeur de gestion des eaux), les eaux des toitures supérieures ne subissant pas d'ombre portée (R+5, R+6) doivent être amenées sur les toitures inférieures (R, R+1, R+3). Cette solution offre la possibilité d'intégrer les panneaux solaires directement à la toiture.

[18] Estimées à 10%

La deuxième est de mélanger les deux affectations (panneaux solaires et rétention au même endroit). Dans ce cas, seule une surface restreinte sera disponible pour intégrer directement les installations à la toiture.

L'intégration de panneaux solaires photovoltaïques sur les façades du bâtiment (BiPV) permet d'augmenter les surfaces disponibles. Les façades potentielles sont celles orientées SW-NE et SE-NW, ce qui donne une irradiation solaire de 880 kWh/m^2. En partant de l'hypothèse que seuls les niveaux supérieurs à R+3 peuvent être équipés et en ne tenant pas compte des parois subissant des ombres portées, environ 2'500 m^2 [19] de surfaces supplémentaires émergent (pour A2-B).

10.2 Géothermie[20]

10.2.1 Champ de sondes – faible profondeur (15.5-20° C, 150-300 m)

Pour l'instant, aucun test de réponse thermique n'a été effectué sur le site des Communaux d'Ambilly. Cependant, selon la géologie en place, il est possible d'estimer la conductivité thermique[21] :

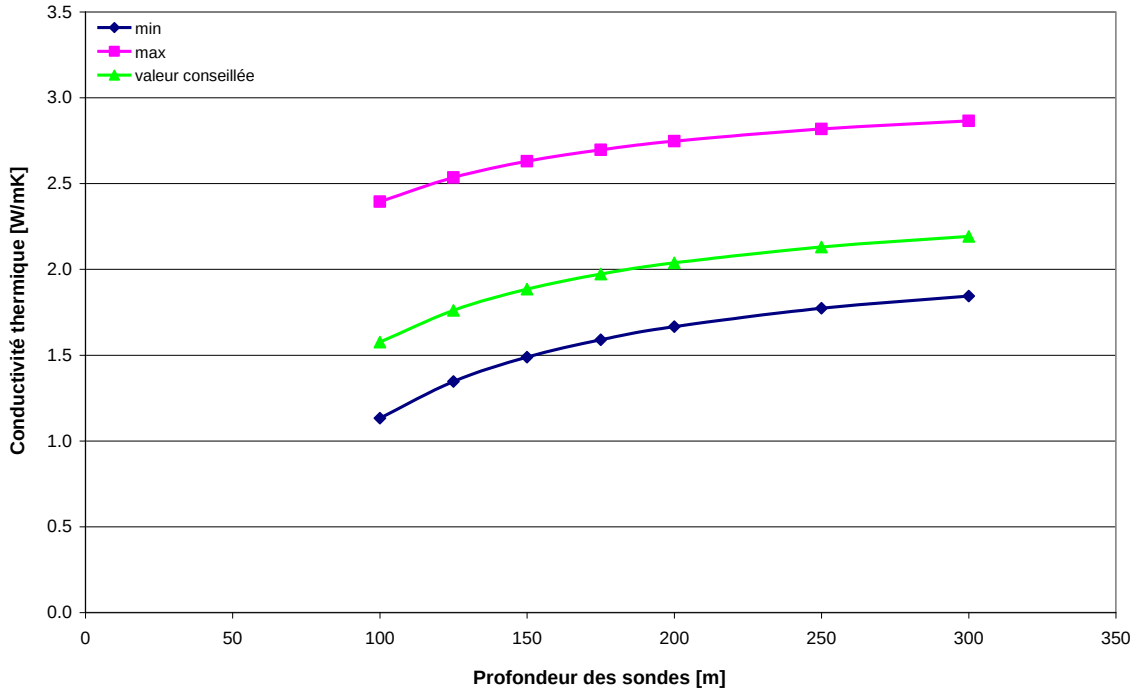

Figure 14 : Evolution de la conductivité thermique moyenne des terrains avec la profondeur des sondes (pièce urbaine A5 exceptée)

Quant à la capacité thermique, la présence de molasse à partir de 80 m de profondeur, nous permet de l'estimer à 2.2 MJ/m³·K.

Les chapitres suivants présentent le programme géothermique des SIG.

[19] Hypothèses supplémentaires :
- hauteur d'un étage = 2.9 m
- la moitié de la surface des façades considérées peuvent être équipées (vitrages, surfaces inutilisables, etc.)

[20] L'Annexe 3 présente un guide destiné relatif aux énergies renouvelables locales aux non-avertis

[21] Source : *Note technique relative au contexte géologique et hydrogéologique des emprises du projet*, CSD novembre 2005

10.2.2 Sonde unique - moyenne profondeur (60-75° C, 2.7 km)

Un ancien forage exploratoire de 2'700 m se trouve sur la zone d'étude à l'emplacement suivant :

Figure 15 : Situation du forage existant

Il y a peu, il était encore obstrué à une profondeur de 1'125 m, mais des travaux ont permis de le déboucher jusqu'à 1'880 m. L'eau à cette profondeur pourrait atteindre une température entre 60 et 75°C, produisant entre 340-850 MWh si le forage est équipé d'une sonde géothermique. La puissance sera d'environ 135 kW.

Comme l'indique la Figure 15, le forage existant se situe sur le mail central. Afin de permettre son exploitation, l'infrastructure du mail et de son parking sous-terrain devra intégrer une chambre permettant d'abriter la tête du forage. Un regard hydraulique vertical centré sur le forage d'un diamètre de 1 m doit permettre l'accessibilité de cette chambre depuis la surface. Enfin, l'accès à la sonde ne devrait pas perturber le trafic sur le mail.

10.2.3 Doublet géothermique - Moyenne profondeur (100-125°C, env. 3 km)

Les SIG envisagent assurément d'effectuer un 2ème forage de prospection géologique pour étudier la faisabilité de mise en place d'un doublet géothermique. Au droit de la zone d'étude, entre 3'000 et 3'800 m de profondeur, se trouvent des roches sédimentaires. Ces dernières sont alors propices aux circulations d'eau en profondeur et une exploitation de celles-ci est donc envisageable. Pour l'instant, les incertitudes quant à la faisabilité du projet sont :

- la réelle présence d'eau souterraine,
- les débits suffisants,
- la température de la nappe.

Selon le planning des SIG, ces derniers devraient être en mesure de confirmer l'exploitation d'un doublet géothermique d'ici fin 2011. Dans le cas positif, un potentiel de chaleur de l'ordre de 45 GWh pourrait être obtenu, ainsi que 20 GWh d'électricité avec une puissance de 15 MW thermique et 3 MWél (70 Mio). Si le projet ne pouvait aboutir, une sonde géothermique serait alors mise en place, ce qui fournirait environ 1'200 MWh (10.5 Mio).

Remarque importante

La mise en place d'un doublet géothermique implique l'occupation au sol d'une surface non négligeable de l'ordre de **3'000 m^2** pour des locaux techniques et d'environ 300 m^2 pour les têtes de sondes (ces grandeurs sont approximatives et peuvent varier d'un projet à l'autre).

A noter qu'en phase de chantier, la surface nécessaire est de 6'000 m^2, il est donc nécessaire d'intégrer un tel projet le plus en amont possible dans la planification territoriale et les concepts architecturaux en mettant en place une coordination entre les différents acteurs du projet.

Notons que ces locaux techniques n'ont pas l'obligation de se situer au droit des forages et peuvent être délocalisés dans un périmètre proche.

10.2.4 SGS - grande profondeur (5-6 km)

Sur le modèle de « Deep Heat Mining » à Bâle et en tirant parti de cette expérience, ainsi que des étapes précédentes (sonde géothermique et doublet géothermique), un projet de géothermie grande profondeur pourrait voir le jour. En effet, dans le cas où les SIG obtiennent les résultats escomptés, un forage de 5'000 à 6'000 m sera effectué. Les températures prévues se situent entre 160 et 200°C, ce qui permettra de produire de la chaleur en grande quantité et de l'électricité.

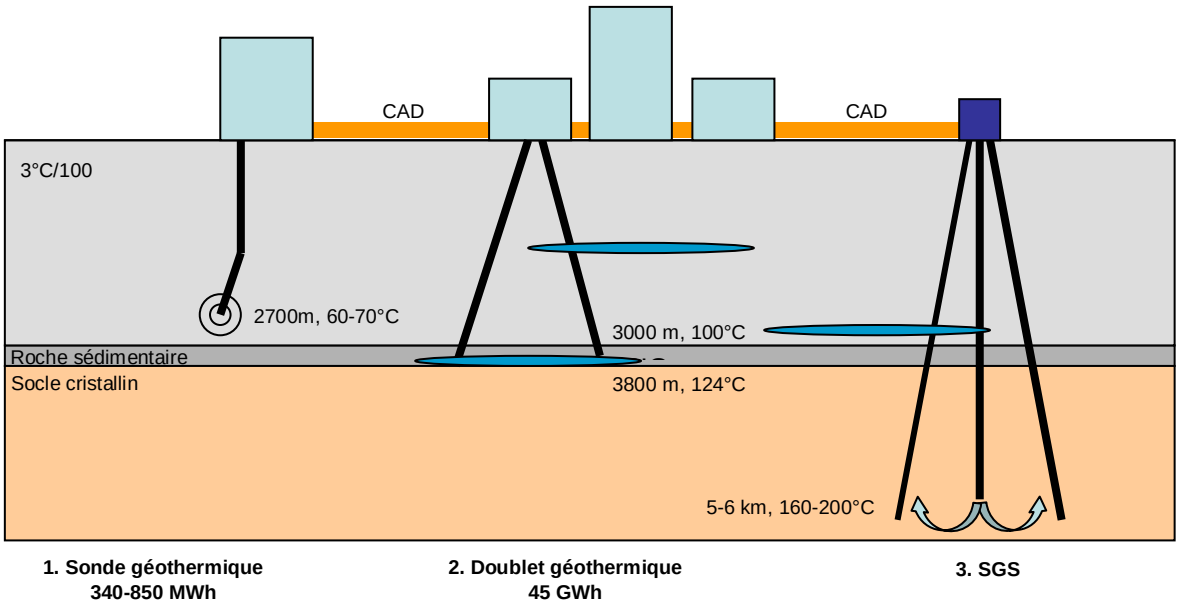

Figure 16 : Schéma de principe du projet géothermique des SIG

10.3 Eaux usées

Selon un retour d'expérience (GWA, 379/5), *« la récupération de la chaleur des eaux usées ne pose aucun problème par rapport à l'exploitation de la STEP concernée si deux conditions sont respectées, à savoir :*

- *le refroidissement de la quantité totale d'eau parvenant à la station d'épuration ne doit pas dépasser 0.5°C,*
- *la température de l'eau arrivant à la station d'épuration ne doit pas être inférieure à 10°C ».*

Cependant, Christian Zumkeller, responsable de l'assainissement aux SIG, indique qu'une température inférieure à 15°C devient déjà problématique.

Un des moyens possibles d'exploiter les eaux usées est de les amener dans une fosse dans laquelle est plongé un échangeur de chaleur. Cette solution a l'avantage de ne pas impliquer un diamètre de canalisation minimum et peut être dimensionnée aussi bien à l'échelle du simple consommateur qu'à l'échelle de quartier.

Nous obtenons un potentiel de chaleur de 0.8 GWh/an pour une production d'eau chaude à 55°C en considérant :

- une durée de fonctionnement de 365 jours par années et 14h par jour,
- 278 m^3/j d'eau usée,
- une température des eaux usées (moyenne annuelle) de 20.5°C,
- une exploitation théorique de chaleur provocant un delta T de 5.5°C.

10.4 Air des parkings souterrains

La récupération sur l'air extrait du parking permet une production totale de 1 GWh/an en partant des hypothèses suivantes :

- Débit d'air extrait des parkings : 34'000 m^3/h
- T° C parking : 10°C

10.5 Biomasse - Déchets verts

La part de biomasse exploitable est importante (voir Annexe 3), mais les demandeurs potentiels le sont aussi. Une réflexion sur l'ensemble de la région et même à l'échelle franco-valdo-genevoise (au même titre que le bois-énergie) est nécessaire pour déterminer quelles sont les meilleures utilisations possibles de ce potentiel énergétique. Bien que le PAC MICA se situe plutôt en périphérie de la zone de production, générant ainsi une part de transport supplémentaire, il peut être intéressant d'étudier l'utilisation de cette source énergie, au vu des synergies projetées dans ce périmètre.

10.6 Bois (échelle régionale)

Actuellement, le canton de Genève souffre d'une pollution générale aux PM10. En ce sens, le service cantonal de protection de l'air (SPair) encourage l'utilisation d'autres sources d'énergies renouvelables que le bois.

Si toutefois ce dernier n'est que l'unique source d'énergie renouvelable disponible, le SPair peut donner son aval pour son utilisation. Notons que dans ce cas, la construction d'une chaufferie centralisée serait le mieux adapté, cela afin de traiter au mieux les fumées grâce à des filtres performants. En effet, outre leur encombrement, les filtres de hautes performances sont coûteux, donc mieux rentabilisés pour de grosses installations.

11 SCENARII D'APPROVISIONNEMENT

A l'heure actuelle, nous ne savons pas encore si le doublet géothermique sera réalisable. De plus, si celui-ci se concrétise, il est possible que les pièces urbaines A2-B et le secteur d'équipements publics C2 ne puissent pas en bénéficier de par les incertitudes temporelles liées à un tel projet. Seul l'apport énergétique issu du forage existant est envisageable.

Pour illustrer ces propos, le tableau en page suivante présente les différences de planning entre le projet A2-B-C2 (scénario optimiste) et le développement de la géothermie.

	2009		2010		2011		2012		2013		2014		2015		2016		2017	
	semestre 1	semestre 2	semestre 1	semestre 2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
PLQ A2-B-C2	Dépôt PLQ																	
		Validation PLQ																
Autorisations de construire A2-B-C2			Dépôt de la demande d'autorisation de construire															
				Validation de l'autorisation de construire														
Projet A2-B-C2		Elaboration et dépôt du projet final																
Géothermie	Etude de la réhabilitation du forage existant								Exploitation du forage existant									
		Réalisation du 2e forage, étude de faisabilité du doublet géothermique																
							Réalisation du 3e forage, essais, mise en place de l'infrastructure											
															Exploitation du doublet géothermique			
Construction A2-B-C2					Construction													

Tableau 1 : Etapage du projet géothermique (selon le programme des SIG), des pièces urbaines A2-B et du secteur d'équipements publics C2

Si ce planning est respecté, les possibilités qui s'offrent donc aux maîtres de l'ouvrage des pièces urbaines A2-B et du secteur d'équipements publics C2 concernant leur approvisionnement énergétique sont les suivantes :

- approvisionnement autonome,
- approvisionnement sous responsabilité des SIG.

Concernant cette dernière option, les SIG se sont engagés à pourvoir aux besoins énergétiques des futures constructions (par exemple chaleur issue du forage existant et complément par une source d'énergie renouvelable locale) dans l'attente de voir le doublet géothermique fonctionnel, même si ce dernier ne se verrait pas réalisé. Dans une telle situation, il n'est que plus simple pour les maîtres de l'ouvrage d'accepter une telle offre, car ils n'auraient pas à se soucier d'entretiens, ni d'investissements.

Au vu de ce qui vient d'être dit à ce chapitre, il est possible de dégager deux stratégies concernant le développement énergétique de la zone d'étude :

1. développement d'un réseau de chaleur à distance (CAD) moyenne température (70/40° C) alimenté essentiellement par géothermie, mettant ainsi en place des synergies sur une grande portion du territoire,
2. développement de bâtiments autonomes en production de chaleur pouvant localement s'interconnecter avec un réseau de chaleur à distance.

11.1 Stratégie 1

11.1.1 Analyse de l'offre et de la demande

Dans le cas où le doublet géothermique serait fonctionnel, les graphiques suivants illustrent l'état de l'offre et de la demande en termes de puissance et de consommation pour le PAC MICA :

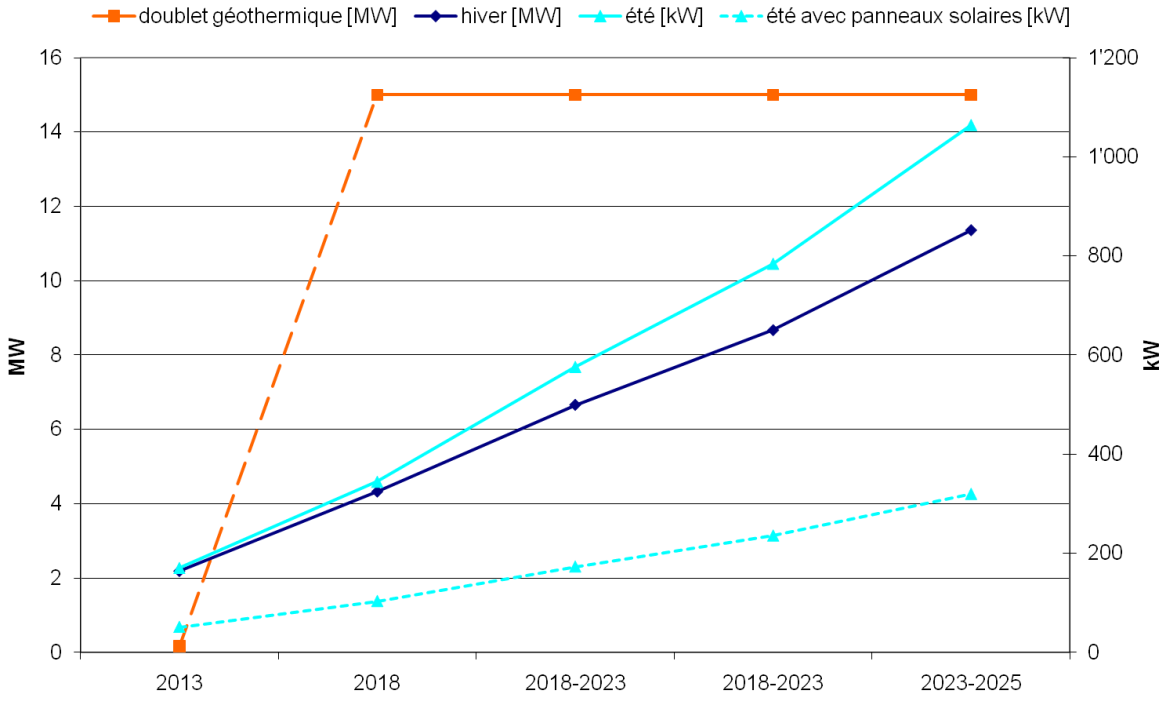

Figure 17 : Puissance - analyse de l'offre et de la demande pour le PAC MICA[22]

[22] La durée de la période d'été considérée est de 153 jours durant lesquels les panneaux solaires thermiques peuvent apporter 70% des besoins de chaleur (0.7 m^2 par personne)

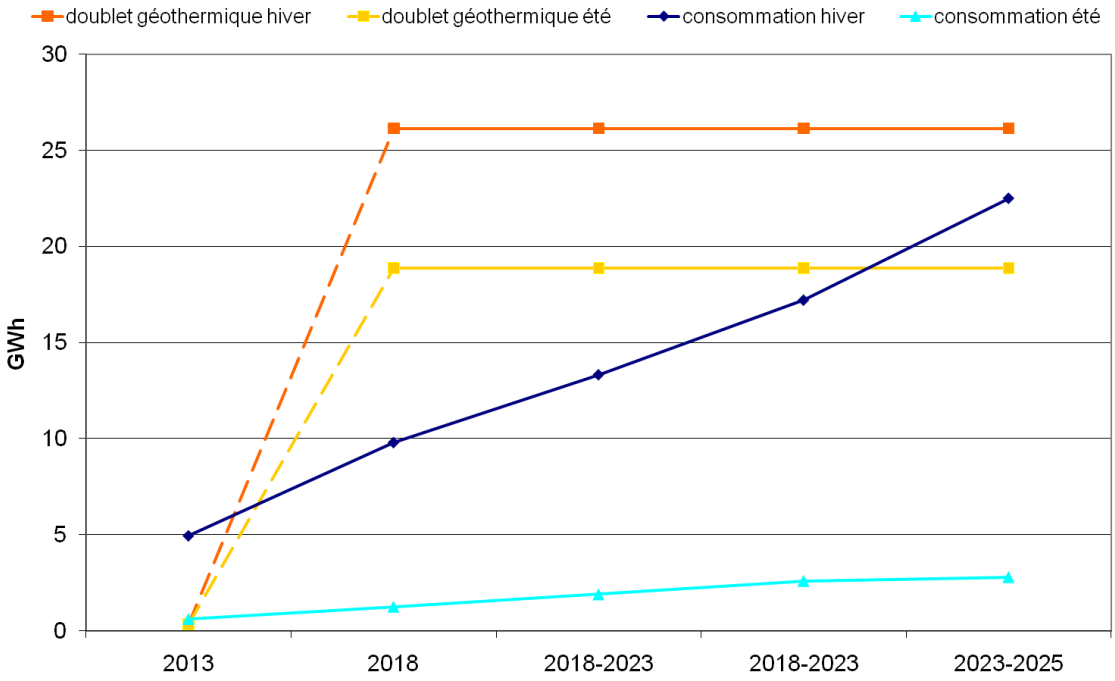

Figure 18 : Consommation - analyse de l'offre et de la demande pour pour le PAC MICA

Une fois le PAC MICA achevé, une puissance de 4.6 MW est encore disponible en hiver et presque la totalité en été. Pour compléter les besoins, plusieurs solutions s'offrent alors :

- **Etoile-Annemasse** – 4.2 MW, 10.6 GWh
  Distant de 2 km, ce futur complexe offre l'avantage de pouvoir adapter ses infrastructures, s'il est décidé de le connecter au CAD. Une collaboration devrait être instaurée le plus tôt possible pour établir une synergie. En effet, n'étant pas sur le territoire suisse, les acteurs, les lois et les politiques impliquent un effort subsidiaire, mais qui abonderait dans le sens du plan d'agglomération franco-valdo-genevois.
- **bâtiments existants** – 8.6 MW, 24.7 GWh
  Le CAD pourrait servir à la production d'eau chaude sanitaire et peut-être aussi servir au chauffage ou au préchauffage de l'eau de chauffage. Une étude plus approfondie devra être menée concernant les températures de fonctionnement, et par conséquent les options possibles d'approvisionnement. Ce projet impliquerait plusieurs propriétaires, donc des plans d'investissement différents, des centrales thermiques d'âges différents et de types différents, d'où la nécessité d'entamer les démarches le plus tôt possible. En tout cas, si la géothermie prospère sur cette portion du territoire, à moyen-long terme, la logique laisse présager l'abandon des énergies fossiles de ces bâtiments au profit d'une chaleur renouvelable.
- **Champ-Dollon/Curabilis** – 2.1 MW, 5.2 GWh
  Distant de 1.7 km, ce site pourrait être l'objet d'une synergie potentielle. Toutefois, une analyse plus fine devra être menée pour savoir si les températures de fonctionnement le permettent et si cela serait économiquement supportable et rentable, du moins dans un avenir proche. Là aussi, à moyen-long terme, la logique laisse présager l'abandon des énergies fossiles de ces bâtiments au profit d'une chaleur renouvelable si la géothermie prospère.

La mise en place d'une synergie avec **Belle-Idée** peut être envisageable seulement si les températures de fonctionnement baissent.

Si **Etoile-Annemasse** se rajoute au réseau de chauffage à distance, l'état de l'offre et de la demande se dessinent comme suit (sans la centrale à biomasse) :

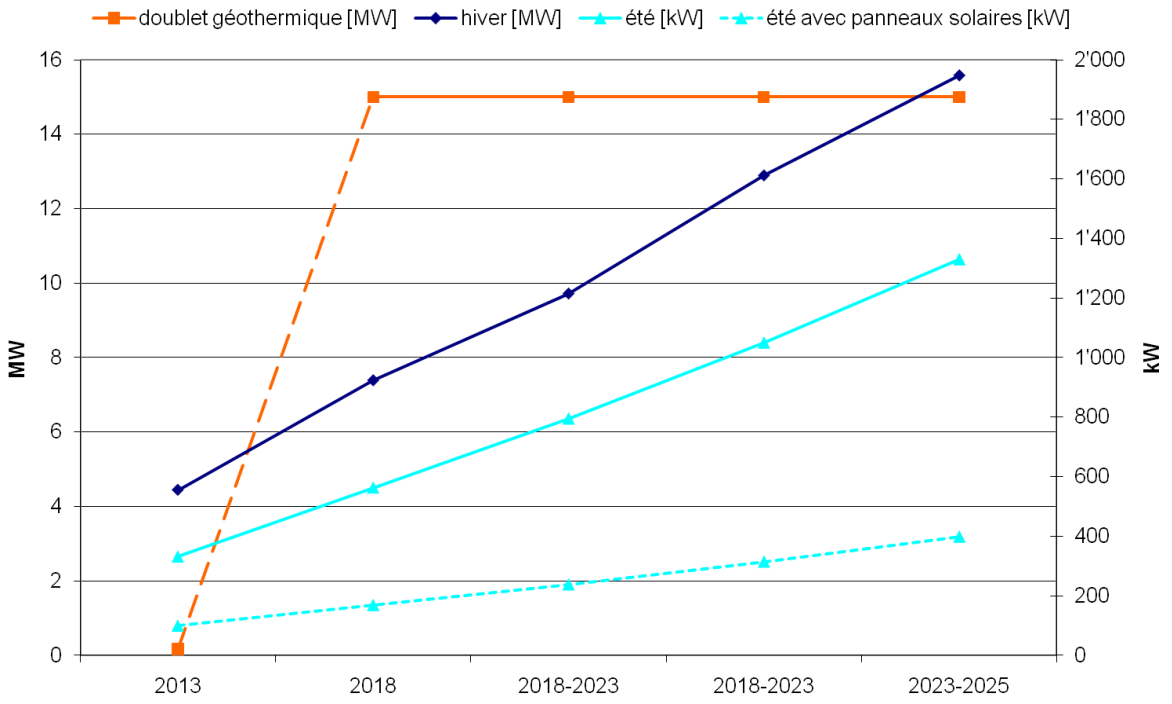

Figure 19 : Puissance - analyse de l'offre et de la demande pour le PAC MICA et Etoile-Annemasse

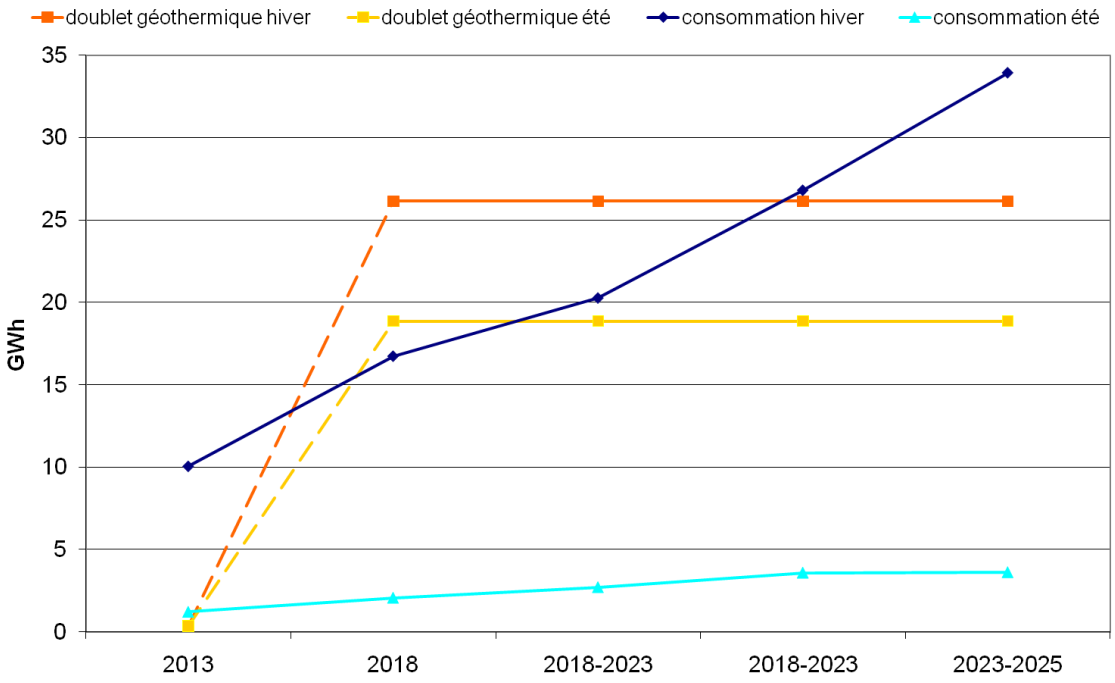

Figure 20 : Consommation - analyse de l'offre et de la demande pour le PAC MICA et Etoile-Annemasse

En termes de puissance, l'offre et la demande coïncident bien. Il faudra toutefois augmenter la production si cela est possible dans les périodes froides de l'hiver ou intervenir avec une installation d'appoint (p. ex. la centrale à biomasse d'Etoile-Annemasse). La production de chaleur géothermique offre l'avantage d'être modulable. De ce fait, une production de chaleur plus faible en été permettra d'augmenter la durée de vie du forage.

11.1.2 Réseau de chauffage à distance

La réalisation du doublet géothermique (et peut-être par la suite de la géothermie grande profondeur) implique la mise en place d'un réseau de chaleur à distance. Les températures de fonctionnement envisagées seraient de 70°C en aller et de 40°C en retour, mais une marge d'incertitude est encore présente et dépend de la géologie. Le CAD devra donc être intégré à l'infrastructure routière au moment de sa réalisation. La figure suivante illustre les principes d'exécution[23] :

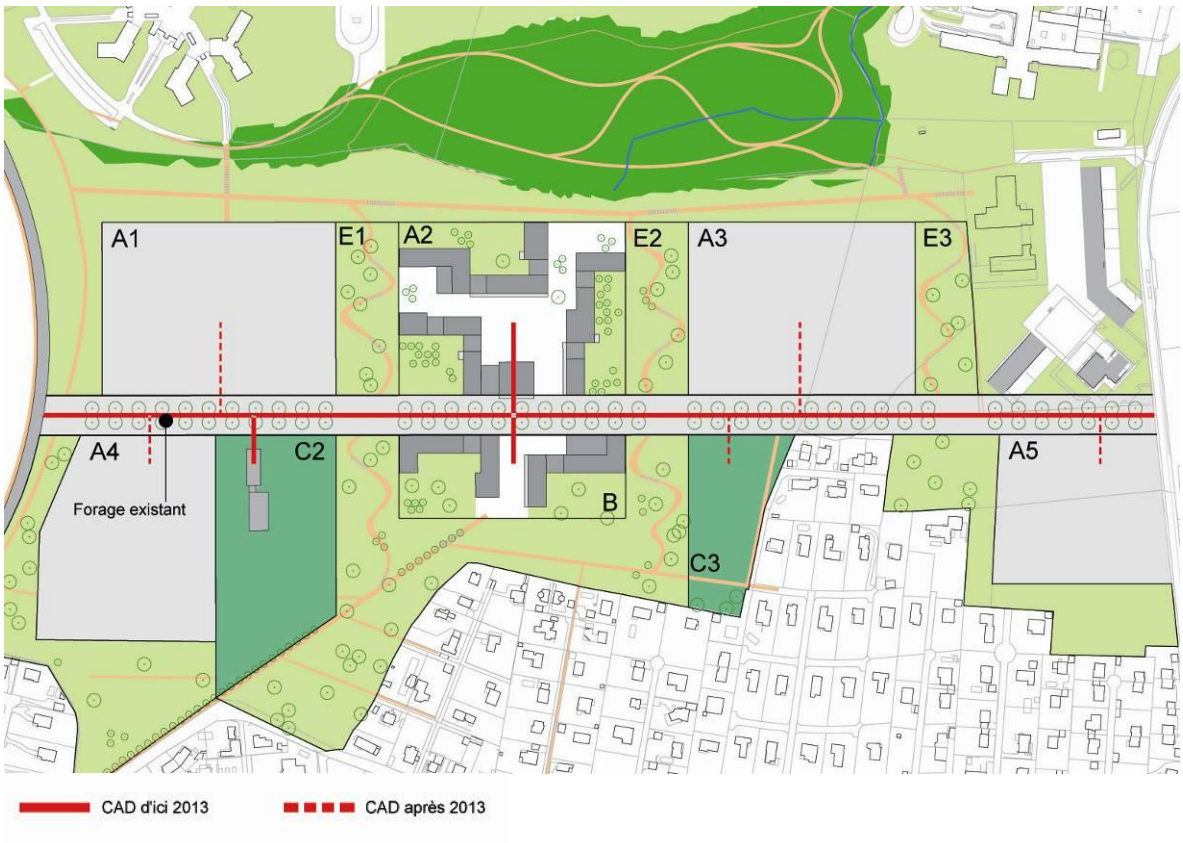

Figure 21 : Principes d'implantation du CAD sur les CdA

Comme illustré, les raccordements des autres pièces urbaines du sous-périmètre des CdA, soit A1a et A1b (A1), A3, A4, A5 et C3 devront donc être possibles. Notons que dans le cas où le doublet géothermique ne pourrait devenir réalité, la mise en place de synergies reste tout de même un grand avantage. En effet, il devient plus aisé de gérer les pics de consommation et les éventuelles pannes. De plus, le CAD permet de centraliser les installations de chauffage et donc de limiter les infrastructures et par conséquent leur entretien. Enfin, les rendements énergétiques sont supérieurs.

[23] La position définitive du CAD est dépendante en autre de la position du doublet géothermique. Une des options possibles est de l'implanter en lisière de forêt côté CdA.

Dans un second temps, la conception du CAD devrait aussi permettre des raccordements futurs comme illustré sur la figure suivante :

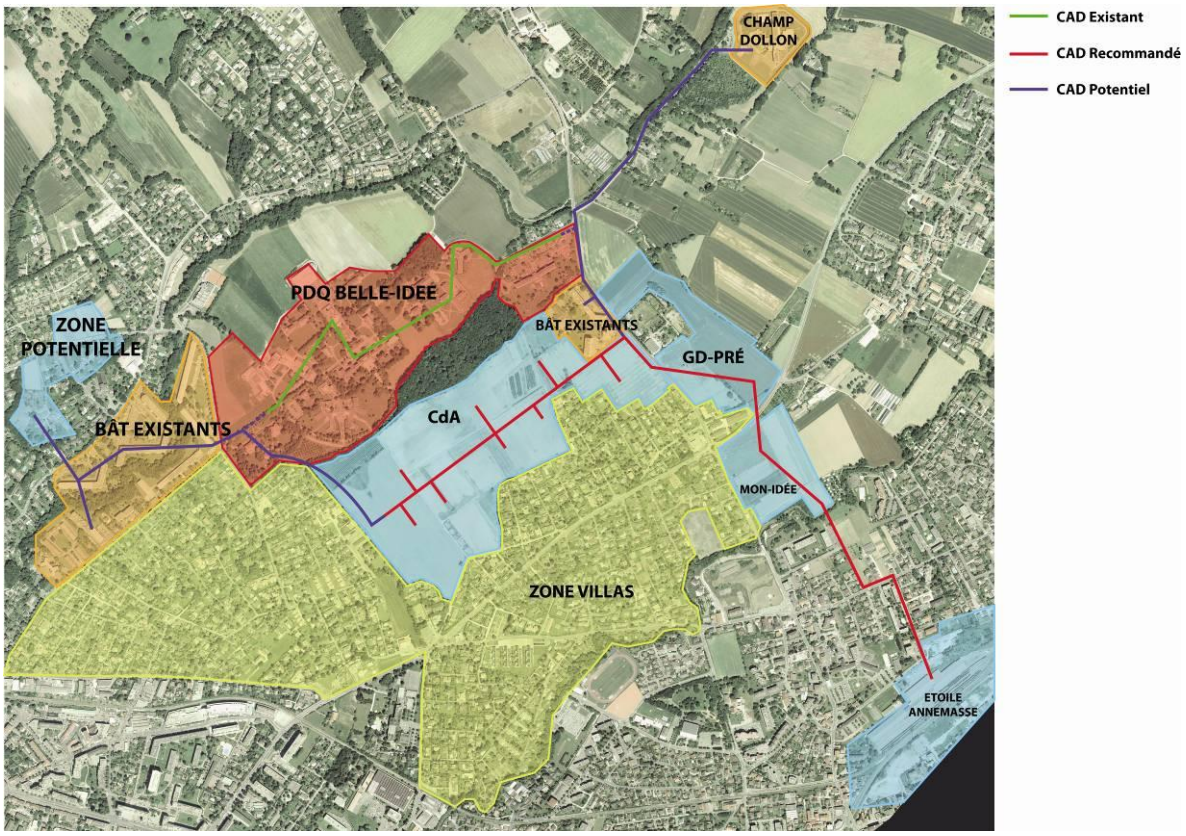

Figure 22 : Synergies existantes, recommandée et potentielles

Un réseau de chauffage à distance n'empêche pas l'installation de panneau solaire thermique. Bien au contraire, la chaleur issue de l'énergie solaire est très rentable en termes de retour sur investissement et de temps de retour énergétique à la condition que l'installation soit dimensionnée correctement. De plus, la production de chaleur n'est pas dépendante des fluctuations du prix de l'électricité (contrairement aux pompes à chaleur). L'installation d'environ 0.7 m^2 par personne concède aux bâtiments une certaine autonomie pour les besoins d'eau chaude sanitaire et cela en occupant qu'une infime partie des surfaces de toiture disponibles.

Il est donc encore possible d'occuper les surfaces restantes avec une installation photovoltaïque, mais une bonne coordination entre architectes, ingénieurs et SIG doit être mise en place le plus tôt possible (ne pas oublier la rétention d'eau de pluie qui est aussi faite en toiture).

11.2 Stratégie 2

Dans le cas où le programme géothermique n'aurait pas atteint le développement souhaité, la production de chaleur de manière autonome devra être envisagée, à moins qu'une autre source de chaleur pouvant alimenter une vaste zone ne voit le jour.

Les objectifs suivants seront alors visés :

- énergie locale et renouvelable,
- synergie locale.

11.3 Opportunités et irréversibilités

Dans l'une ou l'autre de ces deux stratégies, des opportunités en termes d'infrastructures énergétiques apparaîtront et doivent être identifiées le plus tôt possible pour aller dans le sens d'un concept énergétique territorial durable. Les tableaux suivant décrivent les opportunités identifiées à ce jour selon les étapes de construction (ici maillon routier, mail central, pièces urbaines A2-B et secteur d'équipements publics C2) :

Étapes de construction	***Opportunités***	**Opportunité saisie**		**Opportunité non saisie**	
		Risques / Implications	Avantages	Réversibilité	Désavantages
Maillon routier	*CAD*	- Investissement économique peut-être mal rentabilisé (sans développement de la géothermie moyenne profondeur) - Anticipation nécessaire	Raccord des bâtiments existant (à l'ouest) au doublet géothermique possible.	difficilement réversible	Raccord au doublet géothermique impossible
Mail central	*CAD*	- Investissement économique peut-être mal rentabilisé (sans développement de la géothermie moyenne profondeur) - Anticipation nécessaire	Raccord au doublet géothermique possible.	difficilement réversible	Raccord au doublet géothermique impossible
	Forage existant : sonde géothermique	- Vu sa situation, possibilité de conflit d'utilisation de la voie publique si aucune coordination au niveau des acteurs n'est mise en place	Alimentation en énergie renouvelable des premières pièces urbaines.	difficilement réversible	- Potentiel existant inexploité. - Perte économique
A2-B-C2	*BIPV (photovoltaïque et thermique)*	- Approche proactive très amont dans le projet nécessaire - Investissement initial supplémentaire	- Coûts évités d'autres matériaux de construction (toiture, bardage, protection solaire, allège de balcon, etc.) - Optimisation de l'utilisation de l'énergie solaire - Rentabilité économique - Autonomie partielle / complète - Valeur ajoutée au bâtiment - Design novateur - Contribution à la protection de l'environnement - Très bonne gestion des conflits d'usage en toiture	difficilement réversible	Perte économique et écologique
	Panneaux solaires thermiques	- Surface nécessaire en toiture négligeable - Investissement initial supplémentaire	- Rentabilité économique - Autonomie partielle - Valeur ajoutée au bâtiment - Contribution à la protection de l'environnement	réversible	Opportunité manquée de mettre en place une technologie simple, éprouvée et facilement assemblable avec d'autres sources d'énergie
	Location des toitures pour panneaux solaires photovoltaïques	- Surface nécessaire en toiture importante impliquant une bonne gestion des usages		réversible	Perte économique et écologique
	Champ de sondes géothermiques sous les bâtiments	- Investissement économique inapproprié si développement de la géothermie moyenne profondeur - Sonde condamnée si ne marche pas - Investissement initial supplémentaire		irréversible	Perte de surfaces importantes, toutefois, la géothermie est encore possible sur les césures vertes
	Feka : mise en place d'une installation pilote	- Risques liés au manque de retour d'expérience	- Permet d'éprouver la technologie - Expérience reconductible sur les autres pièces urbaines si pas de géothermie moyenne profondeur	difficilement réversible	Opportunité manquée de mettre en place une technologie bon marché
	Chaleur du parking souterrain : mise en place d'une installation pilote	- Risques liés au manque de retour d'expérience		difficilement réversible	Opportunité manquée de mettre en place une technologie bon marché

Le tableau suivant décrit les opportunités liées à la construction des pièces urbaines A1-A3-A4-A5-C3 et des sous-périmètres Grand-Pré et Mon-Idée dans le cas où **le doublet géothermique serait fonctionnel** :

Etapes de construction	***Opportunités***	**Opportunité saisie**		**Opportunité non saisie**	
		Risques / Implications	Avantages	Réversibilité	Désavantages
A1-A3-A4-A5-C3-Grand Pré-Mon Idée	*Mise en place des raccordements au CAD dans l'infrastructure publique*	- Anticipation nécessaire	- Raccordement au doublet géothermique.	difficilement réversible	Raccord au doublet géothermique impossible.
	BIPV (photovoltaïque et thermique)	Mêmes remarques que pour A2-B-C2			
	Panneaux solaires thermiques				
	Location des toitures pour panneaux solaires photovoltaïques				

Le tableau suivant décrit les opportunités liées à la construction des pièces urbaines A1-A3-A4-A5-C3 et des sous-périmètres Grand-Pré et Mon-Idée dans le cas où **la géothermie n'aurait pas suivi le développement souhaité** :

<table>
<tr><th rowspan="2">Étapes de construction</th><th>Opportunités</th><th colspan="2">Opportunité saisie</th><th colspan="2">Opportunité non saisie</th></tr>
<tr><th></th><th>Risques / Implications</th><th>Avantages</th><th>Réversibilité</th><th>Désavantages</th></tr>
<tr><td rowspan="7">A1-A3-A4-C3</td><td>BIPV (photovoltaïque et thermique)</td><td colspan="4" rowspan="3">Mêmes remarques que pour A2-B-C2</td></tr>
<tr><td>Panneaux solaires thermiques</td></tr>
<tr><td>Location des toitures pour panneaux solaires photovoltaïques</td></tr>
<tr><td>Champ de sondes géothermiques sous les bâtiments</td><td colspan="4" rowspan="2">Mêmes remarques que pour A2-B-C2</td></tr>
<tr><td>Feka</td><td colspan="2" rowspan="2">Dépend des choix faits lors de la construction de A2-B-C2</td><td>difficilement réversible</td><td>Opportunité manquée de mettre en place une technologie bon marché</td></tr>
<tr><td>Chaleur du parking souterrain : mise en place d'une installation pilote</td><td>difficilement réversible</td><td>Opportunité manquée de mettre en place une technologie bon marché</td></tr>
<tr><td rowspan="6">A5-Grand Pré-Mon Idée</td><td>Pieux énergétiques (si géologie peu favorable) ou champ de sondes sous les bâtiments</td><td>- Sonde condamnée si ne fonctionne pas
- Investissement initial supplémentaire</td><td>- Rentabilité économique
- Autonomie partielle
- Valeur ajoutée au bâtiment
- Contribution à la protection de l'environnement</td><td>irréversible</td><td>Perte de surfaces importantes, toutefois, la géothermie est encore possible sur les césures vertes</td></tr>
<tr><td>BIPV (photovoltaïque et thermique)</td><td colspan="4" rowspan="5">Mêmes remarques que pour A2-B-C2</td></tr>
<tr><td>ECS solaire</td></tr>
<tr><td>Location des toitures pour panneaux solaires photovoltaïques</td></tr>
<tr><td>Feka</td></tr>
<tr><td>Chaleur du parking souterrain : mise en place d'une installation pilote</td></tr>
</table>

En outre, si l'infrastructure routière reliant **Champ-Dollon/Curabilis** ou **Etoile-Annemasse** aux Communaux d'Ambilly nécessiterait une réfection, cette opportunité doit être saisie pour mettre en place les conduites de chauffage à distance s'il a été décidé d'un raccord.

11.4 Variantes d'approvisionnement privé - A2-B-C2

Ce chapitre étudie les possibilités d'approvisionnement privé des pièces urbaines A2-B et du secteur d'équipements publics C2. Bien que les données de base aient changé (en particulier les besoins de chaleur pour le chauffage et la puissance nécessaire) et qu'une marge d'erreur de +/- 25% doit être prise en compte, cette étude, fournie à titre indicatif, permet de comparer sommairement certaines variantes.

Les variantes suivantes ont été considérées[24] :

- Variante de référence : 100% gaz
- Variante 1 : 20% d'énergie renouvelable – minimum légal

  Chauffage : 100% gaz

  ECS : 42% solaire, 55% gaz
- Variante 2 : scénario pilote – FEKA

  Chauffage : 100% gaz

  ECS : 55% FEKA, 45% gaz
- Variante 3 : géothermie faible profondeur

  Chauffage : 50% champ de sondes géothermiques, 50% gaz

  ECS : 30% solaire, 70% gaz
- Variante 4 : scénario pilote – air du parking souterrain

  Chauffage : 38% parking, 62% gaz

  ECS : 30% parking, 70% gaz
- Variante 5 : scénario pilote – 100% renouvelable

  Chauffage : 100% champ de sondes géothermiques

  ECS : 100% FEKA

Lors de cette étude, les hypothèses suivantes ont été émises :

Besoins de chaleur

- Chauffage : 1'498 MWh
- ECS : 1'459 MWh

Puissance

Le calcul de la puissance de chauffage nécessaire découle de l'appréciation des besoins du bâtiment sur la base suivante :

- Rendement de production : 1
- Rendement de distribution : 0.8
- Degrés jours sur base 18° C : 2800
- Coefficient d'intermittence de la production : 0.75
- Température intérieure : 21° C
- Température extérieure de base : -8° C

La puissance de chauffage serait donc de 1100 kW.

[24] Le détail des variantes se trouve à l'Annexe 4

11.4.1 Evaluation des variantes

Les variantes précédentes ont été évaluées à l'aide des critères suivants :

- coûts d'investissement,
- coûts d'exploitation,
- pourcentage d'énergie renouvelable,
- quantité de CO_2 produit (source de données : Ecoinvent). Cette variable est fournie à titre indicatif et elle doit être interprétée avec précaution. En effet, les chiffres donnés sont des approximations et le seul fait d'évaluer le CO_2 ne permet pas de quantifier l'impact total sur l'environnement.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus. Pour le scénario de référence au gaz, le coût du raccordement au réseau n'a pas été pris en compte :

Marge d'erreur de +/- 25%	Référence **gaz**	Variante 1 **solaire**	Variante 2 **Feka**	Variante 3 **sondes**	Variante 4 **parking**	Variante 5 **100% vert**
Investissement [CHF]	150'000	850'000	650'000	1'950'000	250'000	3'500'000
Coût d'exploitation (20 ans) [CHF][25]	6'450'000	6'100'000	6'200'000	6'600'000	5'850'000	5'500'000
Coûts d'exploitation annuels [CHF][25]	300'000	250'000	300'000	250'000	300'000	100'000
% d'énergie renouvelable locale[26]	0%	20%	20%	34%	23%	100%
Kg $C0_2$/an	750'000	550'000	600'000	500'000	550'000	200'000

La variante gaz s'avère la moins onéreuse à l'investissement, mais notons ici que le coût n'inclut pas le raccordement au réseau. Le coût d'exploitation après 20 ans est plus élevé que la majorité des autres variantes. Rappelons encore que les coûts n'ont pas été actualisés, d'où l'importance de relativiser ces données, d'autant plus que le prix du kWh de gaz aura tendance à augmenter.

En se limitant à un approvisionnement en partie renouvelable effectué avec des technologies éprouvées, seules les variantes 1 (ECS : 42% solaire) et 3 (champ de sondes géothermiques) peuvent être comparées.

[25] Valeurs non-actualisées
[26] L'électricité pour faire fonctionner les pompes à chaleur n'a pas été déduite du pourcentage.

Investissement minimum : variante 1 (solaire)
L'investissement varie du simple au double (différence de 1'100'00 CHF).

La plus économique : variante 1 (solaire)
Les coûts d'exploitation après 20 ans varient de 8% (différence de 500'000 CHF), ce qui est non-négligeable.

La plus écologique : variante 3 (sondes)
Cette variante est avantageuse en termes de dépendance par rapport aux énergies fossiles.

En ce qui concerne les variantes pilotes, nous n'avancerons pas de comparaison chiffrée. Relevons seulement qu'une variante 100% renouvelable nécessite un investissement important, mais génère les coûts d'exploitation, après 20 ans, les plus bas.

11.4.2 Synthèse

Cette étude montre que les panneaux solaires thermiques sont une technologie renouvelable bon marché, en plus d'être simple et hautement maîtrisée. Couplée avec un champ de sonde géothermique, cette configuration permet d'augmenter la part des énergies renouvelables au profit de coûts d'exploitation annuels moindres. Bien qu'elle demande un investissement élevé, les frais d'exploitation sur le long terme sont similaires à la variante minimum légale (ECS : 42% solaire). En outre, cette variante à l'avantage de satisfaire écologiquement la totalité ou une partie des besoins en rafraîchissement des bâtiments durant la période estivale.

Quant aux variantes pilotes, la variante « FEKA » est très similaire à la variante « panneaux solaires », mais a l'avantage de produire de la chaleur d'une manière plus ou moins constante tout au long de l'année. La variante exploitant l'air du parking souterrain est intéressante économiquement et pourrait être envisagée pour compléter une partie des besoins de chaleur en la couplant à d'autres technologies. Etant donné l'absence de retour d'expériences, l'estimation du potentiel de chaleur de cette technologie est à prendre avec précaution.

Enfin, la variante 100% renouvelable nécessite un investissement non négligeable, mais bénéficie d'un coût d'exploitation annuel relativement faible. En plus d'être écologique, elle bénéficie au final du plus faible coût d'exploitation au bout de 20 ans. En outre, cette variante à l'avantage de satisfaire écologiquement la totalité ou une partie des besoins en rafraîchissement des bâtiments durant la période estivale.

12 CONCLUSIONS

Actuellement, l'écart entre les besoins de chaleur calculés selon le label Minergie et ceux mesurés diffèrent de 30 à 50%. Si l'objectif est d'atteindre une consommation de chaleur équivalente à celle de ce label, il faudra alors s'orienter vers une qualité d'enveloppe thermique telle que prescrite dans Minergie-P. Quoi qu'il en soit, les apports solaires passifs devront être maximisés, d'autant plus que cette énergie est « gratuite ».

Le projet géothermique est encore incertain, mais très prometteur. Il permettrait un grand pas en avant dans l'approvisionnement énergétique de notre société. En effet, les profondeurs terrestres sont en mesures de satisfaire en partie nos besoins de chaleur et d'électricité. La réalisation du PAC MICA correspond à un besoin de chaleur d'environ 30 GWh et à une puissance de 12 MW. La mise en place d'un doublet géothermique d'une puissance de 15 MW thermique pouvant fournir 45 GWh pourrait assurer l'alimentation de ce quartier au travers d'un réseau de chaleur à distance moyenne température. D'autres connexions, telles qu'Etoile-Annemasse, doivent cependant être prospectées pour combler la totalité de l'offre en chaleur.

Dans un scénario pessimiste, sans le développement souhaité de la géothermie, ce site dispose toutefois de plusieurs sources d'énergies renouvelables, telles que le solaire, la géothermie faible profondeur, les eaux usées, la chaleur des parkings souterrains et le bois dans une moindre mesure, cela afin de limiter la pollution atmosphérique.

Etant donné que les constructions des pièces urbaines A2-B et le secteur d'équipements publics C2 pourraient précéder la mise en service du doublet, une autre alternative d'approvisionnement doit être envisagée. En toute logique, les SIG proposent d'offrir de la chaleur clé en main aux maîtres d'ouvrage. Elle proviendrait en partie du forage existant (ancien forage exploratoire de 2'700 m) et serait complétée par une ou diverses sources locales avec pour cible 100 % d'énergie renouvelable. Finalement, elle serait acheminée par le CAD précédemment mis en place au moment de la construction du mail central. Un réseau de chaleur à distance n'étant pas exclusif, la pose de panneaux solaires thermiques devrait être considérée. Cette technologie produisant de l'énergie renouvelable est bon marché, en plus d'être simple et hautement maîtrisée.

Enfin, afin d'anoblir l'image de ce futur quartier qui se veut durable et exemplaire, la conception des bâtiments devrait intégrer la notion de BiPV (Building integrated Photovoltaics). Cet acronyme se réfère aux systèmes et concepts dans lesquels l'élément photovoltaïque assume, outre la fonction de produire de l'électricité, le rôle d'élément de construction. Cela permet d'éviter les coûts d'autres matériaux de construction (toiture, bardage, protection solaire, allège de balcon, etc.), engendre une réduction des conflits d'usages (toitures végétalisées) et permet un recouvrement esthétique de façades.

edms sa

Petit-Lancy, 14.01.2010

ANNEXE 1 :
FORMULES ET HYPOTHESES

1 BELLE-IDEE - CALCUL DE LA CONSOMMATION

$$C_h = \frac{24 \cdot P \cdot DJ \cdot i}{1000 \cdot \eta_p \cdot \eta_d \cdot (T_{amb} - T_{ext})} \; ; \; C_e = \frac{24 \cdot P \cdot (365 - 212)}{1000}$$

C_h = Consommation hiver [MWh]

C_e = Consommation été [MWh]

P = Puissance [kW]

DJ = 3'000 [°C·j],

î : Coefficient d'intermittence = 0.9 [-]

η_p : Rendement de production = 1 [-]

η_d : Rendement de distribution = 0.85 [-]

T_{amb} : Température ambiante = 22[°C]

T_{ext} : Température extérieure = -5 [°C]

2 BATIMENTS EXISTANTS ET ZONE VILLA - ESTIMATION DES PUISSANCES

$$C_e = \frac{(365 - 212) \cdot SRE \cdot Q_{ww}}{365 \cdot 3.6 \cdot 1000} \; ; \; C_h = C_{tot} - C_e$$

C_{tot} = Consommation annuelle [MWh]

Q_{ww} = Besoin de chaleur pour l'eau chaude sanitaire = 95 [MJ/m^2·an]
(65 [MJ/m^2·an] pour la zone villa)

$$P_e = \frac{C_e \cdot \eta_p \cdot 1000}{24 \cdot (365 - 212)} \; ; \; P_h = \frac{C_h \cdot \eta_p \cdot (T_{amb} - T_{ext}) \cdot 1000}{24 \cdot DJ \cdot i}$$

P_e = Puissance été [kW]

P_h = Puissance hiver [kW]

DJ = 3'000 [°C·j],

î : Coefficient d'intermittence = 0.85 [-]

η_p : Rendement de production = 0.85 [-]

T_{amb} : Température ambiante = 22[°C]

T_{ext} : Température extérieure = -5 [°C]

3 ZONE VILLA - ESTIMATION DE L'INDICE ENERGETIQUE

Epoques de construction	Indices considérés [kWh/an·m^2] (MJ/an·m^2)	Remarques
Avant 1946	222 (800)	
1946-1975	181 (650)	
1976-1990	167 (600)	
1991-2000	111 (400)	1988 : Apparition de la norme SIA 380/1
Après 2000	92 (330)	

4 PAC MICA - ESTIMATION DES PUISSANCES

$$C_e = \frac{(365 - 212) \cdot SBP \cdot Q_{ww}}{365 \cdot 3.6 \cdot 1000} \; ; \; C_h = C_{tot} - C_e$$

$$P_e = \frac{C_e \cdot 1000}{24 \cdot (365 - 212)} \; ; \; P_h = \frac{C_h \cdot (T_{amb} - T_{ext}) \cdot 1000}{24 \cdot DJ \cdot i}$$

DJ = 3'000 [°C·j],

î : Coefficient d'intermittence = 0.85 [-]

T_{amb} : Température ambiante = 22[°C]

T_{ext} : Température extérieure = -5 [°C]

ANNEXE 2 : INDICES ENERGETIQUES, CONSOMMATION D'ENERGIE ET PUISSANCES NECESSAIRES

SIA 380/1 2009, Qh < 90% Qh,li (Minergie), sans prise en compte d'artefact

Indices énergétiques pour les calculs des besoins de chaleur				
[kWh/m^2]	Résidentiel	Commerce	Tertiaire/service	Ecole
Chauffage	35.0	28.8	42.1	38.5
ECS	20.8	6.9	8.7	6.9
Total	**55.8**	**35.7**	**50.8**	**45.4**

Besoins					
[MWh]	**A2-B-C2**	**A1a-A3**	**Gd-Pré**	**Mon-Idée**	**A1b-A4-A5-C3**
	2013	**2018**	**2018-2023**	**2018-2023**	**2023-2025**
Chauffage	2'916	2'834	4'110	3'498	4'674
ECS	1'494	1'523	2'031	1'823	2'452
Total chaleur	4'409	4'357	6'141	5'321	7'126
Total cumulé	4'409	8'766	14'907	20'228	27'353

Puissance					
[kW]	**A2-B-C2**	**A1a-A3**	**Gd-Pré**	**Mon-Idée**	**A1b-A4-A5-C3**
	2013	**2018**	**2018-2023**	**2018-2023**	**2023-2025**
hiver	1'669	1'640	2'334	2'010	2'690
été	170	174	232	208	280
cumulé hiver	1'669	3'309	5'643	7'653	10'344
cumulé été	170	344	576	784	1'064

SIA 380/1 2009, Qh < 60% Qh,li (Minergie-P), avec prise en compte d'artefact

Indices énergétiques pour les calculs des besoins de chaleur				
[kWh/m^2]	Résidentiel	Commerce	Tertiaire/service	Ecole
Chauffage	32.7	26.8	39.3	35.9
ECS	20.8	6.9	8.7	6.9
Total	**53.5**	**33.8**	**48.0**	**42.9**

Besoins					
[MWh]	**A2-B-C2**	**A1a-A3**	**Gd-Pré**	**Mon-Idée**	**A1b-A4-A5-C3**
	2013	**2018**	**2018-2023**	**2018-2023**	**2023-2025**
Chauffage	2'721	2'645	3'836	3'264	4'363
ECS	1'494	1'523	2'031	1'823	2'452
Total chaleur	4'215	4'168	5'867	5'088	6'814
Total cumulé	4'215	8'383	14'249	19'337	26'151

Puissance					
[kW]	**A2-B-C2**	**A1a-A3**	**Gd-Pré**	**Mon-Idée**	**A1b-A4-A5-C3**
	2013	**2018**	**2018-2023**	**2018-2023**	**2023-2025**
hiver	1'583	1'557	2'213	1'907	2'553
été	170	174	232	208	280
cumulé hiver	1'583	3'140	5'353	7'260	9'813
cumulé été	170	344	576	784	1'064

SIA 380/1 2009, Qh < 60% Qh,li (Minergie-P), avec prise en compte d'artefact, 10% supplémentaire de surface brute de plancher

Indices énergétiques pour les calculs des besoins de chaleur				
[kWh/m^2]	Résidentiel	Commerce	Tertiaire/service	Ecole
Chauffage	32.7	26.8	39.3	35.9
ECS	20.8	6.9	8.7	6.9
Total	**53.5**	**33.8**	**48.0**	**42.9**

Besoins					
[MWh]	**A2-B-C2**	**A1a-A3**	**Gd-Pré**	**Mon-Idée**	**A1b-A4-A5-C3**
	2013	**2018**	**2018-2023**	**2018-2023**	**2023-2025**
Chauffage	2'994	2'909	4'219	3'591	4'799
ECS	1'643	1'675	2'234	2'006	2'697
Total chaleur	4'636	4'584	6'453	5'597	7'496
Total cumulé	4'636	9'221	15'674	21'271	28'766

Puissance					
[kW]	**A2-B-C2**	**A1a-A3**	**Gd-Pré**	**Mon-Idée**	**A1b-A4-A5-C3**
	>2010	**>2015**	**2015<2020**	**2015<2020**	**>2020**
hiver	1'742	1'713	2'434	2'098	2'808
été	188	191	255	229	308
cumulé hiver	1'742	3'454	5'888	7'987	10'795
cumulé été	188	379	634	863	1'171

ANNEXE 3 :
ENERGIES RENOUVELABLES LOCALES
GUIDE POUR LES NON-AVERTIS

1 SOLAIRE

L'énergie solaire, que l'on trouve à la surface de la terre sous forme de lumière et de chaleur, peut être employée activement si l'on utilise des capteurs solaires qui produisent de la chaleur (eau chaude et chauffage d'appoint), des concentrateurs qui activent des processus chimiques et produisent de l'électricité, ainsi que des installations photovoltaïques qui génèrent du courant.

L'irradiation solaire à Genève est de 1'350 kWh/m^2·an pour une surface orientée plein sud et inclinée de 30°C. Les rendements en fonction de l'inclinaison et de l'orientation sont présentés sur la figure suivante:

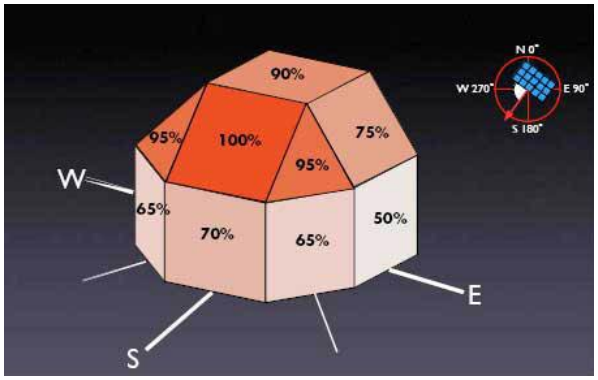

Figure 23 : Pourcentage d'incidence du rayonnement solaire global en fonction de l'inclinaison et de l'orientation

2 GEOTHERMIE

L'énergie géothermique désigne l'énergie stockée sous forme de chaleur au dessous de la surface terrestre. Elle a pour origine la désintégration d'éléments radioactifs présents naturellement. A environ 15 m de profondeur déjà, la température du sol est constante toute l'année. La température qui règne à 5'000 mètres de profondeur avoisine 160°C. Cette énergie géothermique est exploitée à l'aide de différentes méthodes présentées sur la figure suivante :

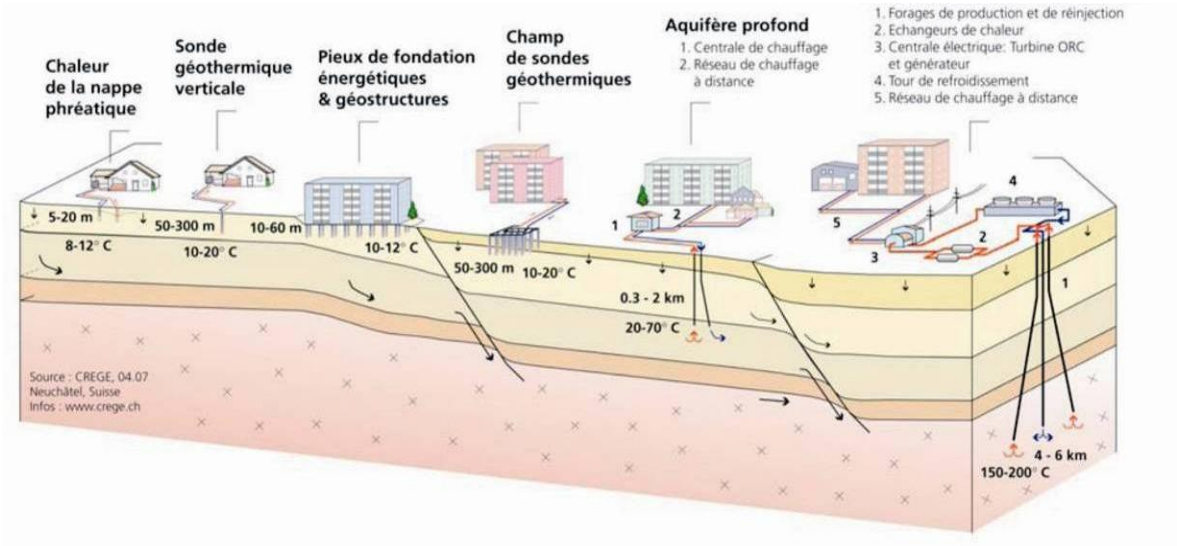

Figure 24 : Variantes d'exploitation de la chaleur géothermique

On utilise généralement des sondes géothermiques verticales, des puits d'eau souterraine, des géostructures (fondations sur pieux, parois moulées) et l'eau chaude de tunnels à des fins de

chauffage, et parfois de refroidissement. La technologie SGS (système géothermique stimulé, ou, en anglais, EGS Enhanced Geothermal Systems), qui prévoit la création d'un échangeur de chaleur dans les profondeurs d'un massif rocheux granitique, représente un pas significatif vers la production d'électricité. Cette technologie, encore au stade expérimental, doit permettre de produire de l'énergie dite en ruban, c'est-à-dire disponible à tout moment – un avantage rare dans le domaine des énergies renouvelables. L'eau injectée dans les forages est chauffée à 160°C au coeur de la roche artificiellement fissurée (si nécessaire) à 5 km de profondeur environ. De retour à la surface, cette énergie permet d'actionner une turbine à vapeur couplée d'un générateur.

Aucune électricité d'origine géothermique n'est pour l'heure produite en Suisse. Le projet bâlois « Deep Heat Mining » prévoyait la construction d'une installation dotée d'une puissance électrique de 3 MW et d'une puissance thermique de 20 MW. Cependant, les tremblements de terre déclenchés fin 2006 par la construction de la centrale et qui ont surpris par leur forte intensité ont montré que la technologie était encore au stade de la recherche et qu'il était nécessaire de poursuivre les travaux de recherche dans le domaine de la stimulation du réservoir et de la séismicité induite.

2.1 Champ de sondes – faible profondeur (15.5-20°C, 150-300 m)

Les champs de sondes permettent d'utiliser le terrain aussi bien pour chauffer que pour refroidir. Selon une règle avérée, la température à 10 mètres de profondeur est, en moyenne annuelle, plus élevée d'un degré que la température de l'air au-dessus du sol. Sur le Plateau suisse, la température du sol est ainsi comprise entre 11 et 12°C à cette profondeur. Entre 50 et 100 mètres au-dessous de la surface du sol débute la zone du gradient géothermique, soit celle qui ne subit pas l'influence de la surface et où la température augmente de façon continue avec la profondeur.

En Suisse, la température s'élève généralement de 3°C par 100 mètres de profondeur.

3 EAUX USEES

D'une température oscillant entre 10 et 20°C durant l'année, les eaux usées recèlent de grandes quantités d'énergie. En hiver, elles sont nettement plus chaudes que l'air extérieur et de la chaleur peut en être récupérée. En été, l'inverse se produit et les bâtiments peuvent être rafraîchis. Le cœur du dispositif est constitué par un échangeur de chaleur qui capte l'énergie des eaux usées et une pompe à chaleur qui chauffe ou refroidit les bâtiments.

3.1 Echangeur de chaleur sur collecteur

Selon L'OFEN, deux conditions doivent être réunies pour qu'une installation d'exploitation des eaux usées (EU) soit rentable :

- une consommation de chaleur d'au moins 150 kW,
- la proximité d'une canalisation d'eaux usées d'un diamètre minimum de 80 cm ou d'une station d'épuration desservant plus de 2'000 logements.

La première condition est remplie, toutefois, le site ne dispose pas d'une STEP et bien qu'une canalisation d'un diamètre de 80 cm soit présente, nous ne pouvons assurer pour l'instant la faisabilité de la mise en place du système. Des études plus précises doivent être menées pour le déterminer.

En outre, il est précisé que la récupération de chaleur à partir des eaux usées exige un débit d'au moins 15 litres par seconde (moyenne quotidienne par temps sec).
Précisons que les conditions concernant le diamètre de la canalisation et le débit des eaux usées sont applicables si l'extraction se fait par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur placé dans la canalisation ou à l'extérieur par un by-pass, comme présenté sur le schéma ci-dessous :

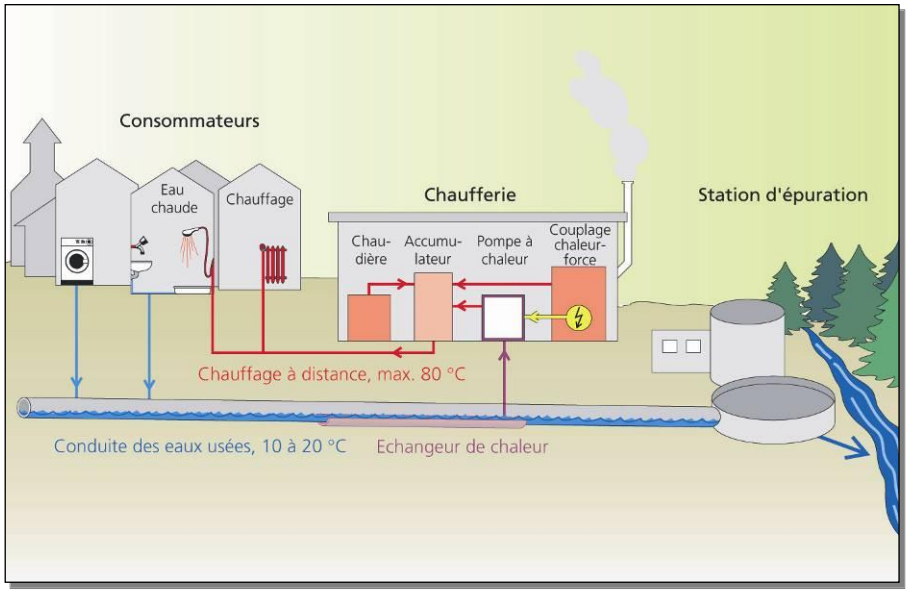

Figure 25 : Exemple de récupération de chaleur des eaux usées, *source OFEN*

3.2 Feka

Un autre moyen d'exploiter les eaux usées est de les amener dans une fosse dans laquelle est plongé un échangeur de chaleur comme présenté à la figure suivante :

Figure 26 : Exemple de récupération de chaleur des eaux usées, *source FEKA Energiesysteme*

Cette solution a l'avantage d'être moins contraignante, car elle n'implique pas un diamètre de canalisation minimum et peut être dimensionnée aussi bien à échelle du simple consommateur qu'à l'échelle de quartier.

4 AIR DES PARKINGS SOUTERRAINS

Utiliser la chaleur provenant des parkings ou garages souterrains est un concept simple et astucieux. Une voiture que l'on gare dans un parking a un moteur encore chaud et un habitacle présentant également une certaine température. Normalement, cette chaleur est perdue, puisqu'elle se propage dans l'air ambiant et qu'elle s'y mélange.

De plus, lorsque le parking est souterrain et cela sur plusieurs niveaux, la température de l'air est plus stable et d'une moyenne plus élevée que la température extérieure en période hivernale. Cet air chaud peut être acheminé au moyen d'un échangeur de chaleur vers une pompe à chaleur qui traite l'énergie pour obtenir un niveau exploitable à des fins de chauffage. L'eau sanitaire peut également être chauffée de cette manière.

5 BIOMASSE - DECHETS VERTS

On entend par biomasse tous les matériaux organiques créés directement ou indirectement par photosynthèse, qui n'ont pas été transformés par des processus géologiques (par opposition à la biomasse fossile – pétrole, charbon, gaz naturel). Utilisée à des fins énergétiques, la biomasse ne pourra jamais dégager que la quantité de CO_2 emmagasinée préalablement par photosynthèse à l'aide de l'énergie solaire.

Dans la production d'énergie à partir de la biomasse on distingue :

- l'agriculture et la production dédiée à l'énergie (colza, tournesol, betterave, roseau de Chine), y compris le bois énergie issu de l'entretien des forêts
- les co-produits agricoles qui ont une valeur énergétique ou agronomique (paille, fumier, etc.)
- les sous produits agricoles qui n'ont pas d'autre filière de valorisation (résidus de récolte sous serres, légumes et céréales invendus)
- les déchets bois énergie (déconstruction, souches, bois flottants)
- les déchets organiques d'autres provenances (déchets de jardins, huile usagée).

Les plantes énergétiques – c'est-à-dire les plantes cultivées spécialement pour la production d'énergie (hormis le bois) – ne jouent pas un grand rôle en Suisse.

Au niveau de la valorisation énergétique, la distinction suivante est à prendre en compte:

- la combustion et gazéification en ce qui concerne la **biomasse ligneuse sèche**
  Exemples : bois de forêt, taillis, haies, arbres fruitiers, bois de récupération ainsi que déchets de bois, de l'industrie, de l'artisanat et des ménages.
- la fermentation pour la **biomasse peu ligneuse humide**
  Exemples : engrais de ferme (lisier et fumier), résidus de récolte, déchets biogènes de l'industrie alimentaire, de la gastronomie et des ménages, etc.

La biomasse se prête à la production de chaleur, de courant et de carburant.

5.1 Potentiel genevois

L'inventaire de la biomasse produite sur le canton de Genève (*Potentiel énergétique des déchets et co-produits agricoles genevois*, GEDEC 2007) a permis d'identifier quatre « gisements » significatifs de biomasse d'origine agricole : la paille de céréales, les restes de légumes, les marcs de raisin et les fumiers (bovins, équins et porcins). A cela s'ajoute le lactosérum produit par le LRG (Laiteries Réunies de Genève) à Plan-les-Ouates.

Le type et la quantité de biomasse potentiellement disponible pour le PAC MICA sont décrits dans le tableau ci-dessous :

Type de biomasse	Quantité [t/an]	Potentiel énergétique [MWh/an]
Paille de céréales	1’430	6'355
Marc de raisin	300	285
Fumier bovin-porcin	8’000	1’430
Fumier de manège	7’500	3’325

Ces données sont valables pour le périmètre décrit sur la figure suivante :

Figure 27 : biomasse - zone d'étude

5.2 Centralisation ou localisation

Compte tenu d’un critère économique, les installations individuelles sont moins rentables, mais tout de même intéressantes. Selon Caroline Gelez (*Identification et formalisation des liens et opportunités de collaboration entre agriculture et énergie sur le canton de Genève*, 2006), un bon compromis consisterait en des installations de quelques milliers de tonnes. Concernant la paille, reste encore la problématique de la mise en place du réseau de chaleur à distance dans le cas d’une centralisation. La production de biogaz n’a quant à elle pas cette contrainte, car le gaz produit peut être réinjecté dans le réseau.

6 BOIS (ECHELLE REGIONALE)

Le bois est une ressource qui croît en permanence en «stockant » l'énergie solaire incidente. La production du bois en Suisse est durable. On n'utilise en effet que la croissance nouvelle, le stock de base demeurant intact. Source d'énergie, le bois est neutre du point de vue du gaz carbonique (CO_2). En effet, durant leur croissance les arbres absorbent une grande quantité de CO_2 dans l'air et la transforment en oxygène. Lorsqu'à la fin de sa vie utile, le bois est brûlé ou se décompose, la même quantité de CO_2 est libérée dans l'atmosphère. Produit et utilisé sur place (Genève et région frontalière), son utilisation n'occasionne pas de transports sur de longues distances qui chargent l'environnement (énergie grise). Néanmoins, la combustion (et non la gazéification) du bois dégage une certaine quantité de PM10 et de NOx qui peut avoir une incidence non négligeable dans les zones où les immissions sont déjà élevées.

6.1 Réglementation

Chauffages au bois entre 70 et 500 kW
Actuellement, la valeur maximale des poussières fines est de 150 mg/Nm^3. Cette valeur est tout à fait respectée par les chauffages au bois de bonne qualité et ceci sans mesure complémentaire (telle que l'électrofiltre ou le filtre à particules). A partir du 1er décembre 2012, la valeur se réduira à 50 mg/Nm^3. Dès lors, seules les chaudières de bonne qualité pourront répondre à cette norme sans mesure supplémentaire.

Chauffages au bois entre 500 et 1000 kW
Actuellement, la valeur limite des poussières fines est de 20 mg/Nm^3 et restera inchangée jusqu'au 1er janvier 2012.

Chauffages au bois entre 1 et 10 MW
Actuellement, la valeur limite des poussières fines est de 20 mg/Nm^3 et cette valeur restera inchangée jusqu'au 1er janvier 2012.

ANNEXE 4 : DETAIL DES VARIANTES D'APPROVISIONNEMENT PRIVE

Les chapitres suivants présentent 6 variantes d'approvisionnement privé (dont 1 de référence).

Variante référence : 100% gaz

La production de chauffage est assurée par 2 chaudières gaz à condensation de 550 kW chacune.

La préparation d'ECS est assurée par 1 chaudière gaz basse température de 450 kW

Variante 1 : 20% d'énergie renouvelable – minimum légal

- Chauffage : 100% gaz
- ECS : 42% solaire, 55% gaz

La production de chauffage est assurée par 2 chaudières gaz à condensation de 550 kW chacune.

La préparation d'ECS est assurée par des panneaux solaires thermiques et 1 chaudière gaz basse température de 450 kW.

- Surface de capteurs solaires : 1'300 m²
- Couverture annuelle : 42%
- Productivité annuelle : 460 kWh/m² de capteurs
- Volume de stockage solaire : 35'000 l

Variante 2 : scénario pilote - FEKA

- Chauffage : 100% gaz
- ECS : 55% FEKA, 45% gaz

La production de chauffage est assurée par 2 chaudières gaz à condensation de 550 kW chacune.

Pour le système FEKA :

- durée de fonctionnement de 365 jours par années et 14h par jour
- 278 m^3/j d'eau usée
- une température des eaux usées (moyenne annuelle) de 20.5°C
- une exploitation théorique de chaleur provocant un delta T de 5.5°C

Le reste des besoins en ECS est fourni par 1 chaudière à gaz basse température d'une puissance de 250 kW.

Variante 3 : géothermie faible profondeur

- Chauffage : 50% champ de sondes géothermiques, 50% gaz
- ECS : 30% solaire, 70% gaz

Chauffage : 62 sondes de 200 m de profondeur avec une pompe à chaleur de puissance calorifique de 550 kW et chaudière gaz à condensation de 550 kW. La surface nécessaire est d'environ 10'000 m² pour une distance entre les sondes de 12 m. Dans une telle configuration, on constate un sensible abaissement théorique de la température du terrain (~2.0°C), ce qui entrainerait une petite diminution de la couverture des besoins de chauffage. La préparation d'ECS est assurée par des panneaux solaires thermiques et 1 chaudière gaz basse température de 450 kW.

- Surface de capteurs solaires : 800 m²
- Couverture annuelle : 31%
- Productivité annuelle : 550 kWh/m² de capteurs
- Volume de stockage solaire : 25'000 l

Variante 4 : scénario pilote – Air du parking souterrain

- Chauffage : 38% parking, 62% gaz
- ECS : 30% parking, 70% gaz

La production de chauffage est assurée par 2 chaudières à gaz à condensation de 550 kW. La récupération sur l'air extrait du parking permet de couvrir le reste. La préparation d'ECS est assurée par 1 chaudière gaz basse température de 450 kW et la récupération sur l'air extrait du parking permet de couvrir le reste.

- Débit d'air extrait des parkings : 34'000 m³/h
- T°C parking : 10°C

Variante 5 : scénario pilote – 100% renouvelable

- Chauffage : 100% champ de sondes géothermiques
- ECS : 100% FEKA

Chauffage : 125 sondes de 200 m de profondeur avec deux pompes à chaleur de puissance calorifique de 550 kW chacune. La surface nécessaire est d'environ 21'000 m² pour une distance entre les sondes de 12 m. Dans une telle configuration, on constate un sensible abaissement théorique de la température du terrain (~2.7°C), ce qui entrainerait une petite diminution de la couverture des besoins de chauffage.

Pour le système FEKA :

- durée de fonctionnement de 365 jours par années et 14h par jour
- 278 m^3/j d'eau usée
- une température des eaux usées (moyenne annuelle) de 20.5°C
- une exploitation théorique de chaleur provocant un delta T de 10.5°C