

PLQ Saint-Mathieu n°30'020

Concept énergétique territorial



PROCEDURE D'OPPOSITION

Version 2.2/ 9 mars 2017

Impressum

Donneur d'ordre OPALYS Project SA
81 rte de Florissant
CH-1206 Genève

Tél. 41 79 219 40 28
E-mail : thomas.mader@opalys.ch

Mandataire AMSTEIN + WALTHERT SA
Rue du Grand-Pré 54-56
CP 76
CH-1211 Genève 7

Tél. +41 22 749 83 80
Fax +41 22 738 88 13
www.amstein-walthert.ch

Rédaction M. Gilles Desthieux
M. Jean-Michel Lopez

Distribution	M. Thomas Mader	OPALYS Project SA
	M. Thomas Früh	Atelier d'architecture Baud&Früh
	M. François Baud	Atelier d'architecture Baud&Früh
	M. Pierre Robyr	DALE / OU
	M. Fabrice Guignet	DALE / OCEN

Versions Version 2.2

Intitulé R151005DEST_PLQ_SaintMatthieu_Bernex_vFINALE

Sommaire

Validation et suivi des mises à jour	6
Glossaire	7
Résumé	8
1 Objectifs et positionnement de l'étude	11
2 Contenu du Concept Energétique Territorial (CET)	11
3 Cadres légaux et politiques	12
3.1 Niveau fédéral.....	12
3.2 Niveau cantonal.....	13
4 Périmètres de l'étude	14
4.1 Périmètre élargi	14
5 Etat des lieux	16
5.1 Concepts énergétiques préexistants aux échelons supérieurs.....	16
5.2 Aménagement du territoire : état actuel et projet de PLQ.....	20
5.3 Qualité de l'air.....	22
5.4 Acteurs.....	24
5.5 Infrastructures.....	25
5.6 Évaluation des besoins énergétiques.....	27
6 Ressources énergétiques renouvelables et locales disponibles	31
6.1 Energie solaire.....	31
6.2 Géologie et énergie géothermique avec des sondes verticales.....	32
6.3 Stockage géothermique saisonnier	36
6.4 Nappe phréatique	38
6.5 Eaux superficielles.....	38
6.6 Air	38
6.7 Energie de la biomasse	39
6.8 Rejets thermiques (STEP d'Aïre)	39
6.9 Energie éolienne.....	39
6.10 Eaux usées	39
6.11 Synthèse des sources d'approvisionnement renouvelables localement pertinentes	41
7 Scénarii d'approvisionnement	42
7.1 Hypothèses relatives aux scénarii	42
7.2 Scénario 1 : Minimum légal	42
7.3 Scénario 2 : CADIOM	44
7.4 Scénario 3 : Air	45
7.5 Scénario 4 : Boucle d'énergie avec stockage saisonnier.....	47
7.6 Scénario 5 : Concept « Glace solaire» (ICESOL®)	52
7.7 Autres scénarii	55
8 Synthèse comparative des scénarii	55
8.1 Comparaison quantitative des scénarii : bilan environnemental	55
8.2 Comparaison qualitative des scénarii.....	57
9 Mesures, infrastructures et équipements à préciser	58
10 Conclusion et perspectives	61
Références	63

Validation et suivi des mises à jour

Version	Date	Identifiant et Visa			Descriptif succinct des mises à jour
		Auteur	Relecteur	Direction	
1.9	04.07.16	DEST	LOPZ	MAUC	Version de base intégrant plusieurs modifications successives discutées en interne au groupement
2	14.11.16	DEST	LOPZ	MAUC	Version modifiée à la page 62 (conclusions) au sens du préavis du SERMA (condition n°36) dans le cadre de l'enquête technique
2.1	05.12.16	DEST	LOPZ	MAUC	Mise à jour de la page de garde avec la version finale du PLQ préavisée par le Conseil d'Etat
2.2	13.03.16	DEST	LOPZ	MAUC	Vérification de l'étude en conformité avec le préavis du SERMA du 03.02.2017. Prise en compte du changement de promoteur (OPALYS).

Glossaire

- CAD** : Réseau de chaleur à distance
- CCF** : Couplage chaleur-force
- CET** : concept énergétique territorial
- CGE** : Conception générale de l'énergie
- COP** : Coefficient de performance d'une pompe à chaleur
- DD** : Demande définitive
- DR** : Demande de renseignement
- ECS** : Eau chaude sanitaire
- HPE** : haute performance énergétique
- L 2 30 (Len)** : Loi cantonal sur l'énergie
- NO₂** : Dioxyde d'azote
- OCEN** : Office cantonal de l'énergie
- OPair** : Ordonnance fédérale sur la protection de l'air
- PAC** : Pompe à chaleur
- PDCant** : Plan directeur cantonal
- PDCom** : Plan directeur communal
- PDQ** : Plan directeur de quartier
- PLQ** : Plan localisé de quartier
- PM 10** : Particules fines
- REn** : Règlement d'application de la loi sur l'énergie
- RIE** : rapport d'impact sur l'environnement
- SIA** : Société suisse des ingénieurs et architectes
- SIG** : Services industriels genevois
- SBP** : Surface brute de plancher
- SRE** : Surface de référence énergétique
- THPE** : Très haute performance énergétique

Résumé

L'objet de cette étude est la réalisation d'un concept énergétique territorial (CET) pour le projet de PLQ Saint-Mathieu à Bernex. Le concept vise à identifier des stratégies d'approvisionnement énergétique pertinentes et conformes aux objectifs de la politique cantonale pour le complexe de bâtiments appelé à être construit sur ce périmètre. Ce CET intervient en amont de la définition même des caractéristiques et des performances énergétiques précises du futur complexe. Il doit donc être considéré avant tout comme une étape de cadrage permettant :

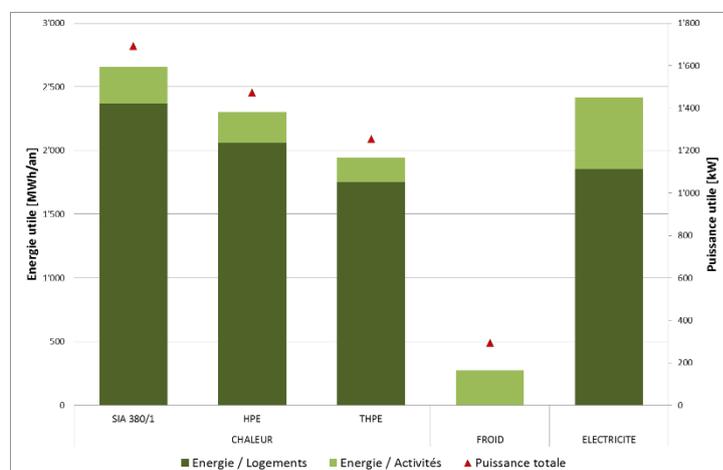
- d'identifier les principaux enjeux liés à l'approvisionnement énergétique des futurs bâtiments ;
- d'identifier les filières d'approvisionnement pertinentes et anticiper les actions à entreprendre pour ne pas compromettre la valorisation future.

Contexte du PLQ et besoins énergétiques

Le PLQ prévoit la construction de 12 bâtiments pour une SBP totale d'environ 46'770 m², destinés en grande partie à du logement (84%) et, pour le solde, à des activités de type bureaux et commerces (16%), la part dédiée aux activités étant plus importante dans le bâtiment E en front de la route de Chancy.

Ce PLQ s'inscrit dans le périmètre du PDQ Bernex-Est qui a été identifié, dans le cadre du CET accompagnant le PDQ (n°2014-03), comme un territoire stratégique pour la politique énergétique du Canton, du fait de l'ampleur de l'opération et du fort potentiel en énergies renouvelables locales¹, et des importantes infrastructures à l'étude (notamment réseau nord/sud inscrite au PDCn2030). Le CET du PDQ préconisait, entre autres, le développement sur Bernex-Est d'un réseau de chaleur "intelligent" (système de distribution de chaleur multitubes - basse, moyenne et haute température), complété par CADIOM ou le réseau gaz, ceux-ci étant destinés en priorité aux constructions existantes à court terme (transitoire) et en appoint des réseaux intelligents à long terme.

Les puissances et énergies requises pour le projet de quartier Saint-Mathieu sont les suivantes selon les trois niveaux de performance (SIA 380/1, HPE et THPE) :



Scenarii d'approvisionnement et évaluation

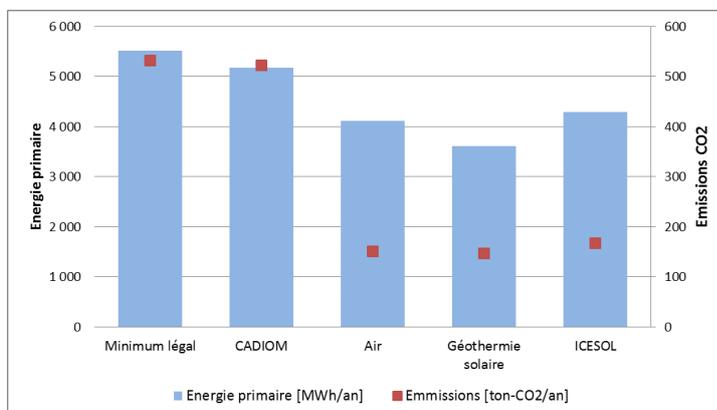
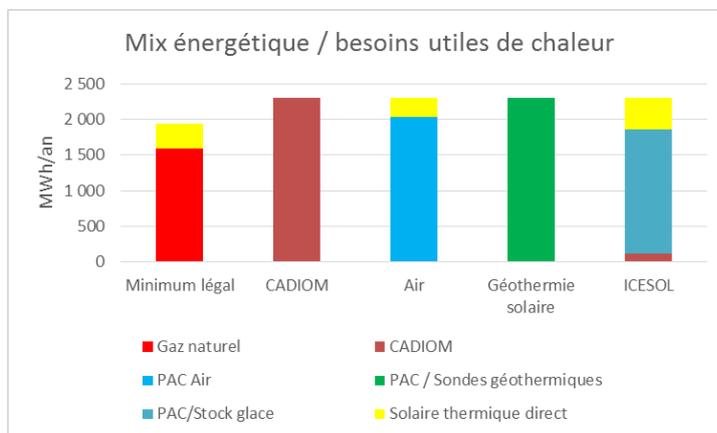
Cinq scenarii d'approvisionnement ont été étudiés :

1. **Minimum légal** : chaudières au gaz, couverture de 40% des besoins d'ECS par des panneaux solaires thermiques et enveloppe performante (60% $Q_{h,li}$) pour respecter le maximum de 60% non renouvelable de la demande admissible de chaleur au sens de la loi sur l'énergie.

¹ géothermie, air, solaire, nappe phréatique, réseaux de chaleur régionaux existants en partie d'origine renouvelable (CADIOM)

2. **CADIOM** : utilisation du réseau CADIOM qui traverse le quartier (sous-stations par bâtiment) et satisfaction de la totalité des besoins de chaleur par ce réseau (dérogant à l'obligation de couvrir min. 30% des besoins d'ECS par du renouvelable), couverture de 20% des besoins électriques par le solaire PV (puissance installée totale de 476 kW_c).
3. **Air** : PAC air/eau pour satisfaire les besoins de chauffage et 70% des besoins d'ECS, ainsi que panneaux solaires thermiques pour couvrir 30% d'ECS.
4. **Géothermie solaire (concept 2SOL®) + boucle d'anergie** : installation de **145 sondes** à 300 m de profondeur en priorité sous les bâtiments et parkings souterrains (étant donné la faible espace disponible entre les bâtiments) ; distribution de l'énergie (chaud et froid) et recharge des sondes par des panneaux solaires hybrides via une boucle d'anergie de quartier.
5. **Glace solaire (concept ICESOL®)** : capteurs thermiques non vitrés sélectifs alimentant des PAC par bâtiment et un stockage centralisé à changement de phase, distribution et mutualisation via une **boucle d'échange de quartier**, appoint avec CADIOM.

Les deux graphes ci-dessous résument la comparaison quantitative des scénarii en fonction du mix énergétique pour les besoins utiles de chaleur, de l'énergie primaire totale et des émissions de CO₂.



La comparaison quantitative et qualitative des scénarii montre d'emblée que le scénario de base (gaz + solaire thermique) est à écarter, du fait des mauvaises performances environnementales, et des coûts importants consécutifs à la sur-isolation de l'enveloppe rendue nécessaire pour rester conforme à la loi sur l'énergie (selon standard HPE).

Le scénario **CADIOM** s'impose d'emblée étant donné que le réseau dessert déjà le périmètre, qu'il implique de faibles coûts d'investissement et de maintenance, et qu'une convention de raccordement est établie entre CADIOM SA et les propriétaires des parcelles (convention à étendre à tous les propriétaires). Cependant, CADIOM est déjà largement mobilisé en hiver (ce qui nécessite de recourir toujours plus au gaz en cas de nouveaux raccordements) et peu en adéquation avec les besoins de constructions neuves. De plus, ce scénario, tel quel, ne s'inscrit pas totalement en cohérence avec les orientations énergétiques définies au niveau du PDQ, qui mettait en avant la perspective d'un réseau de distribution à basse température mutualisé au sein des quartiers de construction neuve.

Par ailleurs, ces scénarii doivent être mis en perspective des projets d'infrastructures qui dépassent l'échelle du quartier, notamment l'opportunité de **valoriser les rejets estivaux des Cheneviers**. Plusieurs modalités de valorisation sont décrites dans le rapport, en particulier: (a) réseau thermique à moyenne température (65-70°C) valorisant les rejets stockés à moyenne ou grande profondeur ; (b) stockage d'une partie des rejets dans la nappe du Rhône (située au nord de Bernex-Est) qui permet une augmentation limitée de la température de la nappe. Selon ces différentes modalités, la production de chaleur issue des rejets des Cheneviers serait externalisée à Saint-Mathieu et distribuée via un réseau de quartier – basse ou moyenne température – aux différents périmètres de Bernex-Est. Ces perspectives et leur échéance devront être approfondies suite à ce CET avec les SIG et l'OCEN (informations plus précises attendues vers fin 2016 – début 2017 selon études en cours).

Recommandations et perspectives

En fonction de ces perspectives, deux types de solution « vertueuse » peuvent être proposées tenant compte de l'intérêt à se connecter à un réseau externe au quartier soit existant (CADIOM en l'occurrence), soit projeté, tout en étant en accord avec les orientations énergétiques définies au niveau supérieur (PDQ).

1) Réseau à moyenne température

Les bâtiments du quartier pourraient être raccordés, via des sous-stations, à l'un ou l'autre de ces réseaux à moyenne température (~65°C) :

- **réseau de déstockage** des rejets des Cheneviers,
- **réseau nord-sud** prévu à proximité immédiate du quartier pouvant valoriser les **rejets de la STEP d'Aïre**,
- **réseau de la nappe du Rhône** (cf. point b) ci-dessus), impliquant une PAC centralisée à l'échelle du quartier pour élever le niveau de température et un réseau secondaire de quartier pour distribuer la chaleur aux bâtiments.

Il faudrait cependant que l'une ou l'autre de ces sources externes soit disponible à un horizon temporel compatible avec le développement de Saint-Mathieu. Si ce n'était pas le cas, **un raccordement à CADIOM pourrait constituer une solution transitoire**.

2) Réseau à basse température

Une boucle de quartier à basse de température alimentant des PAC par bâtiment serait développée. Cette boucle pourrait être alimentée de deux manières :

- par le **réseau de la nappe du Rhône** que les SIG pourraient développer selon les modalités présentées ci-dessus.
- Si ce réseau de la nappe ne se réalisait pas ou intervenait trop tardivement, le scénario **ICESOL + boucle d'échange avec comme appoint CADIOM** pourrait être proposé. Dans le présent rapport (section 7.6), la part solaire a été poussée au maximum, réduisant au minimum l'appoint par CADIOM (5%). Cependant, tout en conservant la même logique, il est tout à fait possible d'augmenter la part de CADIOM (par exemple couverture de 20 - 30% des besoins de chaleur), permettant de maintenir un niveau de température adéquat dans le réseau et d'abaisser sensiblement le nombre de panneaux solaires. Cette solution serait un compromis entre un approvisionnement significatif par CADIOM, réduisant les coûts d'investissement, et une boucle d'échange pouvant être connectée à terme à une boucle développée à plus large échelle, telle que préconisée par les orientations énergétiques du PDQ.

Les conclusions à venir des études actuellement menées sous mandat des SIG sur les différents réseaux externes à moyenne ou basse température permettront de mieux se positionner sur ces différentes perspectives. Il convient cependant de rendre attentif le maître d'ouvrage que les deux orientations – réseau à moyenne ou basse température – ne sont pas compatibles entre elles et ne peuvent donc pas se côtoyer ni se substituer dans le temps, les diamètres des conduites dans le quartier étant différents ainsi que les types d'installation par bâtiment (sous-stations vs PAC). Dans tous les cas, le choix final de la stratégie énergétique sera effectué dans le cadre du RIE 2^{ème} étape, tenant compte de l'évolution des réflexions menées sur le périmètre élargi.

1 Objectifs et positionnement de l'étude

L'objet de cette étude est la réalisation d'un concept énergétique territorial (CET) pour le projet de PLQ Saint-Mathieu situé dans le secteur du grand projet Bernex - Est. Un tel concept vise à identifier les stratégies d'approvisionnement énergétique pertinentes et conformes aux objectifs de la politique cantonale (objectifs rappelés à la section 2), pour le complexe de bâtiments appelés à être construits sur ce périmètre. Ce CET intervient en amont de la définition même des caractéristiques et des performances énergétiques précises du futur complexe. Il doit donc être considéré avant tout comme une étape de cadrage permettant :

- d'identifier les principaux enjeux liés à l'approvisionnement énergétique des futurs bâtiments ;
- d'identifier les filières d'approvisionnement pertinentes et anticiper les actions à entreprendre pour ne pas en compromettre la valorisation future.

2 Contenu du Concept Energétique Territorial (CET)

Depuis l'entrée en vigueur, en août 2010, de la nouvelle loi cantonale sur l'énergie (L2 30), les PLQ doivent comporter un concept énergétique (L2 30, article 11, alinéa 2). Tel que défini dans la L2 30, le CET est « *une approche élaborée à l'échelle du territoire ou à celle de l'un de ses découpages qui vise à :*

- Organiser les interactions en rapport avec l'environnement entre les acteurs d'un même territoire ou d'un même découpage de ce dernier, notamment entre les acteurs institutionnels, professionnels et économiques;*
- Diminuer les besoins en énergie, notamment par la construction de bâtiments répondant à un standard de haute performance énergétique et par la mise en place de technologies efficaces pour la transformation de l'énergie;*
- Développer des infrastructures et des équipements efficaces pour la production et la distribution de l'énergie;*
- Utiliser le potentiel énergétique local renouvelable et les rejets thermiques. » (L2 30, art 6)*

Conformément au règlement d'application de la loi cantonale sur l'énergie (L2 30.01) et à la directive relative au concept énergétique territorial, le CET se compose des éléments suivants :

1. Délimitation des périmètres de l'étude (périmètre restreint comprenant le PLQ et périmètre élargi comprenant la zone d'intérêt et/ou d'influence autour du périmètre restreint),
2. Etat des lieux de la qualité de l'air,
3. Evaluation qualitative et quantitative (énergie et puissance) de la demande en énergie actuelle et future (REn L 2 30.01 Art. 12A, al. 3 point b),
4. Détermination des infrastructures existantes et projetées (REn L 2 30.01 Art. 12A, al. 3 point d),
5. Evaluation qualitative et quantitative (énergie et puissance) de l'offre en énergies renouvelables et locales (REn L 2 30.01 Art. 12A, al. 3 point a),
6. Analyse des principaux acteurs présents dans le périmètre (REn L 2 30.01 Art. 12A, al. 3 points a et c),
7. Proposition de stratégies d'approvisionnement énergétique visant la valorisation des énergies renouvelables et/ou locales ainsi que des infrastructures existantes (REn L 2 30.01 Art. 12A, al. 3 points e et f),
8. Mise en évidence des mesures, infrastructures et équipements à préciser pour les niveaux de planification inférieurs (REn L 2 30.01 Art. 12A, al. 3 point g).

3 Cadres légaux et politiques

Ce chapitre récapitule les orientations et les objectifs quantifiés fixés par les autorités publiques à travers les lois et les programmes d'actions de politique énergétique, et auxquels devra se conformer le présent CET.

3.1 Niveau fédéral

La politique énergétique fédérale se fonde sur les articles 89 à 91 de la Constitution, sur les engagements internationaux pris par la Suisse dans le cadre du Protocole de Kyoto², ainsi que sur les lois sur l'énergie, sur l'approvisionnement en électricité et sur le CO₂. Elle s'inscrit en outre dans la vision à long terme que représente la "Société 2000 Watt", qui correspond à une division par 3 à 4 de nos consommations actuelles.

Suite à la décision d'abandon progressif de l'énergie nucléaire prise en 2011 par le Conseil Fédéral et le Parlement, des études ont été menées pour évaluer la faisabilité de cette stratégie. Rendues au printemps 2012, ces études ont confirmé que la sortie progressive du nucléaire était réalisable avec des conséquences économiques limitées³. Elles ont également permis de préciser les objectifs quantitatifs et qualitatifs pour la politique énergétique. Ainsi, selon le scénario "Nouvelle politique énergétique" pour l'horizon 2050 :

- la consommation globale d'énergie et la consommation d'électricité doivent baisser respectivement de 70 TWh et de 21 TWh par rapport à la tendance actuelle ;
- la production d'électricité à partir de sources d'énergies renouvelables doit s'accroître d'un tiers, et compenser la réduction progressive de production issue du nucléaire ;
- afin de garantir, notamment en hiver, la sécurité de l'approvisionnement de la Suisse, la construction d'installations de couplage chaleur-force (CCF) et de centrales à gaz à cycle combiné est nécessaire ;
- les objectifs climatiques actuels sont maintenus.

Afin d'avancer vers la réalisation de ces objectifs, un premier paquet de mesures pour la stratégie énergétique 2050 a été proposé en avril 2012. Celui-ci se compose de différents volets :

- Efficacité énergétique
- Energies renouvelables
- Taxes énergétiques
- Centrales à combustibles fossiles
- Installations pilotes et de démonstration et projets phares
- Fonction de modèle de la confédération
- Programme Suisse Energie

Le contenu de ces volets est présenté de manière détaillée dans le communiqué de presse « Message relatif au premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 » publié en septembre 2013 par le Conseil Fédéral [1].

² Dans la cadre de ce protocole, la Suisse s'est engagée à réduire de 8% ses émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2012.

³ OFEN, Le Conseil Fédéral définit un premier paquet de mesures pour la stratégie énergétique 2050, communiqué de presse du 18 avril 2012, Berne.

3.2 Niveau cantonal

Axée sur l'objectif de la "Société à 2000 Watt sans nucléaire", la politique énergétique du Canton de Genève est basée sur les articles 167 à 170 de la Constitution cantonale ainsi que sur la loi sur l'énergie et son règlement. Dans le cadre de la dernière révision de cette loi, diverses dispositions ont été adoptées qui doivent être prises en compte pour la présente étude. On relèvera notamment :

- L'obligation de réaliser des concepts énergétiques territoriaux pour tout projet d'aménagement ainsi que sur tout périmètre désigné comme pertinent par l'autorité compétente (Art. 11 L 2 30),
- L'accroissement des exigences relatives à toute nouvelle construction ou rénovation (Art.15),
- L'accroissement des exigences concernant les performances énergétiques des bâtiments et installations des collectivités publiques (Art.16).

Si la loi fixe le cadre dans lequel la politique énergétique cantonale doit s'inscrire, c'est à travers la Conception Générale de l'Energie (CGE) – dont la dernière a été adoptée à l'unanimité du Grand Conseil début 2008 – qu'est définie une stratégie de politique publique. Cette dernière trouve ensuite sa concrétisation dans le Plan Directeur Cantonal de l'Energie, programme d'actions opérationnel, qui fixe les étapes et les moyens nécessaires, ainsi que les partenaires concernés par la mise en œuvre des objectifs de la Conception Générale.

Dans ce Plan Directeur qui, à l'instar de la CGE, est révisé lors de chaque législature, la priorité est donnée aux actions permettant de maîtriser et de réduire la consommation d'énergie pour tous les usages. Il s'agit également de repenser les filières d'approvisionnement de notre système énergétique afin de les rendre plus efficaces, et d'intégrer des énergies renouvelables au fur et à mesure de leur développement.

Le Plan Directeur Cantonal de l'Energie mettait notamment l'accent sur la planification énergétique territoriale, qui prend systématiquement en compte l'énergie dans les projets d'aménagement du territoire et qui planifie le déploiement des infrastructures énergétiques et des réseaux à l'échelle des villes et des quartiers. Cet aspect était également central dans la révision de la Loi sur l'énergie votée en 2010.

La CGE et le Plan Directeur de l'Energie ont fait ensuite l'objet d'une évaluation en vue d'adaptations visant à poursuivre les avancées vers la Société à 2000 Watt sans nucléaire.

Le projet de CGE 2013 a été publié par le Conseil d'Etat le 8 mai 2013 à l'intention du Grand Conseil en vue d'une résolution approuvant cette conception [2]. La nouvelle CGE se cale sur la Stratégie Energétique Fédérale 2050 et propose les jalons suivants en matière de consommation d'énergie finale, par rapport au niveau de l'an 2000 :

- Réduire la consommation énergétique annuelle moyenne par personne de 15% d'ici 2020 et de 35% d'ici 2035;
- Réduire la consommation d'énergie thermique (combustibles et chaleur) par personne de 18% d'ici 2020 et de 37% d'ici 2035;
- Réduire la consommation d'électricité par personne de 2% d'ici 2020 et de 9% d'ici 2035.

Par ailleurs, le Conseil d'Etat souhaite que le canton contribue de manière substantielle au développement des énergies renouvelables. Cela concerne notamment :

- La production photovoltaïque qui devra doubler tous les 5 ans pour atteindre une production annuelle de 45 GWh en 2020 et de 380 GWh en 2035, ce qui correspondrait à 12% de la consommation actuelle d'électricité ;
- Les eaux de surface, dont la valorisation énergétique peut être multipliée par 10 et passer de 20 GWh aujourd'hui à quelques centaines de GWh par an;
- Le solaire thermique, qui couvre actuellement 0,2% de la consommation du canton et qui est susceptible d'être également multiplié par 10 d'ici 2035 en installant de 5'000 à 10'000 m² de capteurs thermiques par an;
- la géothermie de faible profondeur, exploitée par des sondes ou des champs de sondes, qui pourrait théoriquement couvrir 20% de la demande actuelle en énergie de chauffage du canton.

4 Périmètres de l'étude

La définition du périmètre de l'étude, en d'autres termes la délimitation spatiale de l'étude, est importante. En effet, si le PLQ, pour lequel le concept est établi, représente clairement le périmètre restreint, ou périmètre *d'entrée* pour la démarche (selon la Directive relative au concept énergétique territorial), il ne faut pas perdre de vue qu'il y aura des interactions entre ce périmètre restreint et son voisinage. En effet, non seulement les activités du PLQ pourront influencer des bâtiments situés à l'extérieur du PLQ, mais en plus les énergies consommées dans le PLQ ne se trouveront pas nécessairement toutes directement dans la zone du PLQ. Par exemple, en cas de forts rejets thermiques à l'intérieur du PLQ, on pourra souhaiter trouver des acteurs pouvant valoriser ces rejets à l'extérieur du PLQ. D'autre part, les besoins en électricité ne pourront, en général, pas être entièrement satisfaits par les seuls panneaux photovoltaïques qui seraient posés sur les toits des bâtiments situés dans le PLQ. La Directive relative au concept énergétique territorial propose donc de définir le PLQ comme périmètre d'entrée de la démarche, et de définir un second périmètre, communément appelé périmètre *élargi*, qui délimite une zone d'influence du périmètre restreint.

Le périmètre *d'entrée* correspond à celui du PLQ Saint-Mathieu, tel qu'il est présenté sur la Figure 1.

Ce périmètre regroupe cinq parcelles (n° 8103, 2277, 2274, 2275, 7284) d'une surface totale de 33'404 m².

Les quatre premières parcelles appartiennent à trois propriétaires privés différents, la 5^{ème} parcelle, située en front de la route de Chancy appartient à l'Etat de Genève.

A terme, le but est de construire environ 400 logements ainsi que des locaux de commerces et bureaux.

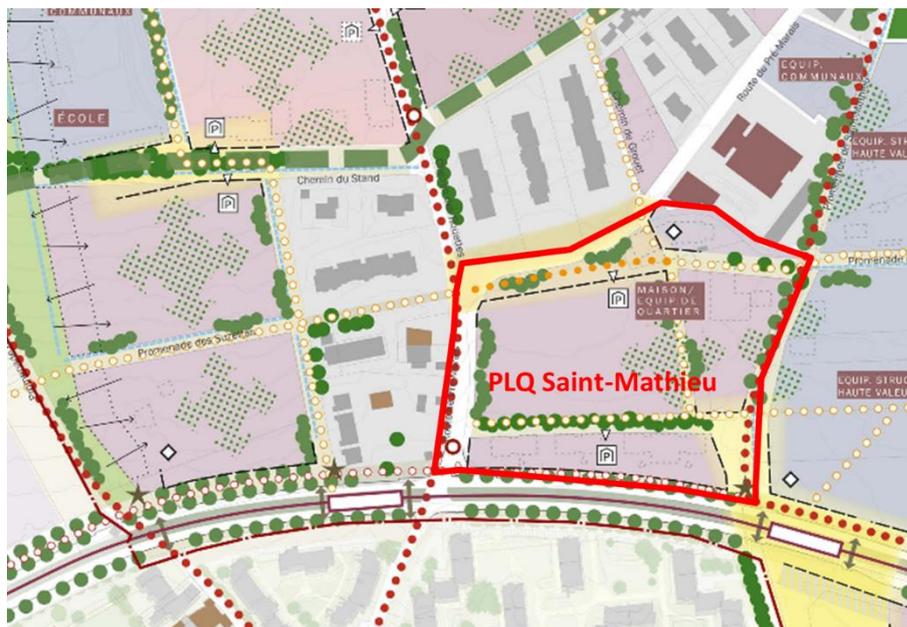


Figure 1 : Périmètre d'entrée de l'étude en rouge (périmètre du futur PLQ) extrait du PDQ Bernex-Est [3]

La variante retenue consiste en la construction de 12 bâtiments totalisant une SBP de 46'770 m² répartie en 84% de logements et 16% d'activités (à priori de type administration et commerces).

4.1 Périmètre élargi

Selon l'article 12A du Règlement d'application de la loi sur l'énergie (REn), il faut que les ressources et les acteurs qui peuvent influencer le périmètre restreint, ou qui sont influencés par le périmètre restreint, soient traités chacun à une échelle spatiale pertinente, et décrits avec un degré de précision tenant compte du niveau de planification. Il n'existe donc pas un seul mais de multiples périmètres

pertinents, de taille variable selon les éléments considérés. Les différentes planifications qui sont menées à l'échelle du périmètre élargi peuvent influencer plus ou moins directement le périmètre d'entrée, ceci, sous différents aspects : mutualisation des ressources énergétiques, axes de mobilité, paysage, urbanisme, etc.

Comme le projet de PLQ Saint-Mathieu s'inscrit dans le cadre du grand projet Bernex Nord et en particulier du secteur d'urbanisation défini par le PDQ Bernex Est (1^{ère} phase de planification du grand projet), ce dernier constitue par défaut le périmètre élargi immédiat de l'étude. Le périmètre élargi n'est pas unique mais est constitué, à un niveau global, par le secteur du Grand Projet (carte de gauche ci-dessous) et à un niveau plus spécifique, par le périmètre du PDQ (traitillés bordeaux sur la carte).

Le développement du site Saint-Mathieu sera quasiment synchrone avec celui voisin de Le Grouet. La typologie bâtie future des deux projets étant similaire, des réflexions communes pourront être proposées.

Enfin, comme le montre la Figure 2 (image de droite), le périmètre du projet est bordé à l'ouest et au nord par des **bâtiments existants** qui seront conservés dans le cadre du Grand Projet. Ces bâtiments comprennent essentiellement des habitations individuelles et collectives, le centre de protection civile, la voirie et un EMS, dont la construction est récente (2001-2005) pour les immeuble collectifs et plus ancienne pour les autres (1970 – 1990). Ils totalisent une SBP d'environ 35'500 m², des besoins de chaleur de 4'200 MWh et de puissance de 2'930 kW⁴, ce qui est significatif ; ces besoins sont approvisionnés essentiellement par CADIOM pour les ensembles collectifs récents et les énergies fossiles pour les autres. Des **synergies** pourront être envisagées, en matière d'approvisionnement, entre le PLQ Saint-Mathieu et les bâtiments existants voisins, permettant à ceux-ci de basculer du fossile au renouvelable.



Figure 2 : Périmètre d'étude élargi : vue d'ensemble (à gauche) sur le secteur du Grand Projet Bernex Nord (périmètre PDQ Bernex-Est en traitillés bordeaux) [3], et vue détaillée (à droite) sur les deux périmètres Grouet et Saint-Mathieu avec les bâtiments existants classés par affectation qui seront maintenus

⁴ Ces données sont tirées du socle de données – énergie élaboré par le bureau A+W, sous mandat de l'OCEN, dans le cadre de la mise à jour du Plan directeur cantonal des énergies de réseau (PDER).

5 Etat des lieux

L'état des lieux permet de mettre en évidence et de quantifier les différents paramètres dont il convient de tenir compte lors de l'élaboration d'un concept énergétique. Ces paramètres concernent :

- les concepts énergétiques préexistants englobant le projet de PLQ Saint-Mathieu,
- les procédures d'aménagement en cours,
- la qualité de l'air,
- l'analyse des acteurs,
- les infrastructures existantes,
- les énergies locales/renouvelables disponibles,
- les besoins énergétiques.

5.1 Concepts énergétiques préexistants aux échelons supérieurs

Le territoire du Grand Projet Bernex Nord se situe à un carrefour stratégique pour le Canton non seulement pour le développement territorial mais aussi sur un plan énergétique. Ce territoire constitue notamment l'un des secteurs pilote pour le stockage thermique saisonnier. En conséquence, un nombre important d'études énergétiques préexistants ont été réalisés aux échelons supérieurs. Il convient dans ce chapitre d'en présenter les principales conclusions qui vont grandement déterminer les orientations énergétiques à prendre pour le PLQ Saint-Mathieu.

5.1.1 Plan directeur cantonal / volet énergie (carte D02/n°11) (2013)

La carte annexe n°11 du Plan directeur cantonal 2015 – 2030 représente les principaux axes stratégiques en matière de développement des infrastructures énergétiques sur le canton.

La principale infrastructure énergétique existante passant à proximité du périmètre du PLQ (au nord) est le réseau CADIOM actuellement alimenté par les rejets de l'UIOM Cheneviers (C10) et peut-être aussi à moyen terme par la géothermie moyenne profondeur (I4). Une autre infrastructure majeure, à l'état de réflexion, est le projet de réseau CAD (en traitillé brun), alimenté par les rejets de la STEP d'Aïre (C12) et/ou le forage géothermique moyenne profondeur (I5), qui pourrait passer à l'est du périmètre en vue d'approvisionner notamment les zones agricoles spéciales au sud (ZAS). Le projet énergétique situé à proximité immédiate du PLQ concerne le stockage thermique saisonnier, qui est d'ailleurs au centre du CET associé au PDQ Bernex Est (cf. section suivante).

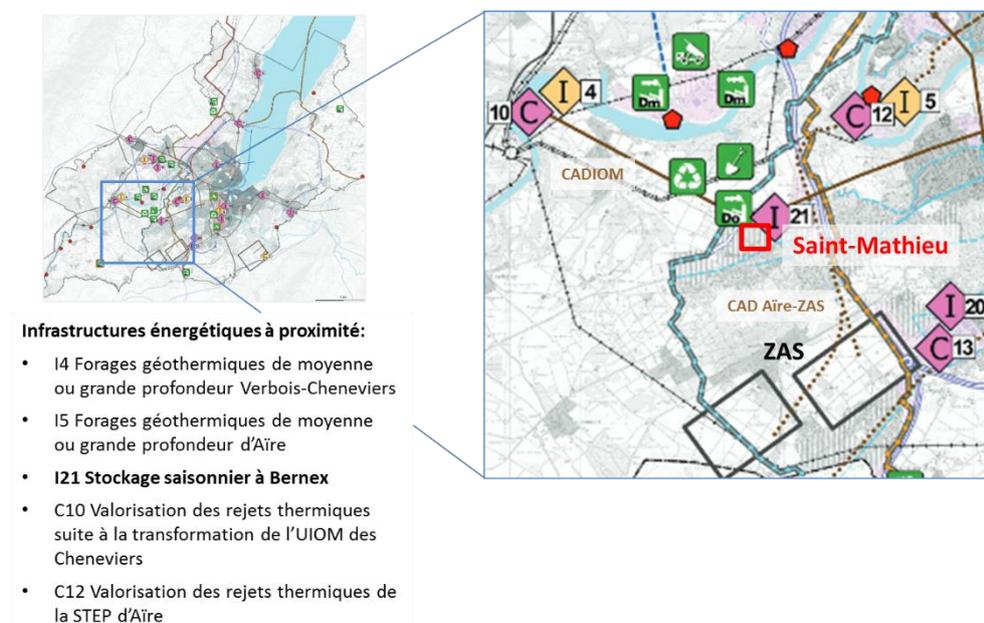


Figure 3 : carte n°11 du plan directeur cantonal (coordination aménagement du territoire et politique énergétique cantonale) et agrandissement sur le secteur d'étude (carré rouge localisant le périmètre du PLQ) [4]

5.1.2 Plan directeur des énergies de la commune de Bernex (2010)

Le Plan Directeur Communal des Energies, réalisé par Amstein+Walthert, [5] montre que la commune de Bernex a construit une véritable politique énergétique qui se traduit par des objectifs concrets d'ici 2030 :

- Atteindre les objectifs du programme SuisseEnergie entre 2000 et 2010.
- Réduction de la consommation d'énergies fossiles et des émissions de CO₂ à hauteur de 10%;
- Augmentation de la consommation d'électricité inférieure ou égale à 5%;
- Raccordement à CADIOM de la zone de développement « Bernex Est », soit environ 1'700 emplois et 700 logements.

L'état des lieux des ressources et contraintes a été réalisé à l'échelle communale pour la réalisation du PDCOM des Energies. La carte suivante résume les possibilités de valorisation énergétique sur la commune.

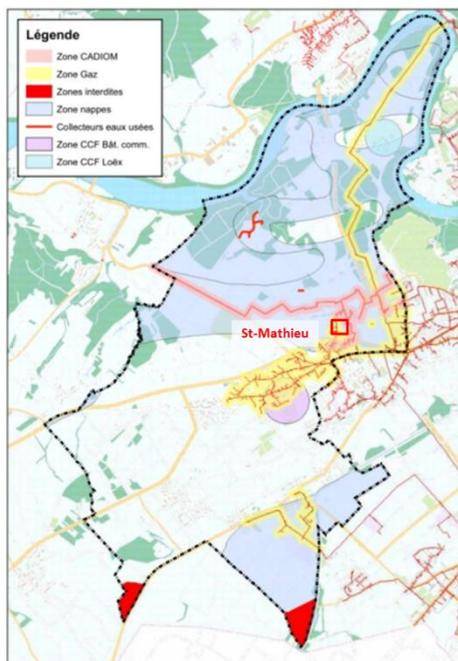


Figure 4 : carte synthétique des typologies énergétiques possibles sur la commune de Bernex (PDCOM)

Le PDCOM – Energies propose les orientations suivantes :

- Privilégier le réseau CADIOM si ce dernier est présent et pour les fortes puissances, sinon choisir le réseau gaz si ce dernier est présent lorsque le recours à des pompes à chaleur, à un réseau de quartier ou à CADIOM n'est pas possible.
- Réserver les pompes à chaleur aux bâtiments qui peuvent être chauffés à basse température.
- Pour les bâtiments ayant des besoins en froid et étant de conception récente ou rénovés, privilégier le recours à des pompes à chaleur à sondes géothermiques verticales (froid direct en été permettant une recharge du terrain).
- Evaluer de manière plus approfondie les potentiels de production centralisée liés à la récupération sur les eaux usées ou à la biomasse.
- Dans tous les cas, privilégier le solaire thermique (production d'eau chaude sanitaire voire chauffage) sur les bâtiments de logements neufs ou existants, privilégier le solaire photovoltaïque de grande puissance, soit au niveau des bâtiments administratifs ou au niveau de toitures de surface importante.
- Dans tous les cas, remplacer en priorité les installations fonctionnant au mazout puis celles au gaz par des systèmes plus respectueux de l'environnement.

Ces orientations doivent être en corrélation avec les orientations stratégiques données aux échelles inférieures.

5.1.3 Grand Projet Bernex Nord – étude énergétique

L'étude réalisée par BG Ingénieurs Conseils SA (citée dans [6]) dans le cadre de l'élaboration du Plan Guide du Grand Projet Bernex Nord a permis de définir des axes stratégiques en matière d'approvisionnement.

La richesse énergétique du Grand Projet est caractérisée par un fort potentiel géothermique, à proximité de la route de Chancy, et par la proximité de réseaux de distribution de chaleur et de gaz disponibles comme appoints. Il existe une superposition spatiale des besoins de chaud et de froid sur une partie du territoire, notamment en bordure de la route de Chancy, qui favorise la mise en œuvre de sondes géothermiques sous les bâtiments (gestion de la charge/décharge du sol).

5.1.4 CET Plan directeur de quartier Bernex Est (2013) et volet énergétique du PDQ (2015)

Comme résumé par le rapport du PDQ (p. 152), ce CET identifie ce territoire comme un lieu stratégique pour la politique énergétique cantonale du fait de l'ampleur de l'opération et du fort potentiel en énergies renouvelables : géothermie, air, solaire, nappe phréatique, réseaux de chaleur régionaux d'origine renouvelable existant (CADIOM) ou d'infrastructures à l'étude (infrastructure nord/sud inscrite au PDCn2030). Dès lors, un approvisionnement énergétique durable de ce quartier est assuré.

Dans la suite de l'étude énergétique réalisée pour le plan guide du Grand Projet Bernex Nord, le bureau BG Ingénieurs Conseils SA a réalisé le CET pour le PDQ Bernex – Est (CET n°2014-03, [6]). Ce CET intègre les recommandations des études énergétiques définies aux échelons supérieurs et donne les recommandations les plus immédiates pour le CET du PLQ Saint-Mathieu. Les conclusions du CET ont été intégrées dans le rapport du PDQ Bernex Est (Principe directeur C3, p. 151-155). Comme résumé par le rapport du PDQ (p. 152), ce CET identifie ce territoire comme un lieu stratégique pour la politique énergétique du Canton du fait de l'ampleur de l'opération et du fort potentiel en énergies renouvelables locales (géothermie, air, solaire, nappe phréatique, réseaux de chaleur régionaux d'origine renouvelable existant (CADIOM) ou d'infrastructures à l'étude (infrastructure nord/sud inscrite au PDCn2030). Dès lors, un approvisionnement énergétique durable de ce quartier est assuré. A terme, il est amené également à devenir un carrefour d'énergies et connecter les périmètres voisins, comme le Bernex existant, amorçant ainsi leur transition des énergies fossiles aux énergies renouvelables.

Les grands principes du CET sont les suivants (p. 39) :

- **Performance énergétique des bâtiments :**
 - Mise en œuvre de bâtiments performants chauffés à basse température, afin de maximiser l'exploitation de la chaleur de l'environnement (géothermie, solaire) et de minimiser les pertes thermiques du réseau de transport et l'investissement des conduites;
 - Prise en compte des réservations et prédispositions dans le design des futurs bâtiments (orientation et structure porteuse favorable au solaire, locaux techniques suffisants, systèmes hydrauliques...).
- **Captage des ressources locales :**
 - réservations à prévoir pour captage solaire, champs de sondes géothermiques et infrastructures de production et distribution de chaleur.
- **Construction de stocks thermiques saisonniers** (stockage période estivale, restitution période hivernale) :
 - dans le parc de Borbaz à proximité immédiate du territoire du PDQ, permettant de valoriser cette chaleur sinon perdue, et améliorant en définitive le rendement de cette infrastructure.
- **Développement des réseaux thermiques :**
 - Adéquation géographique entre la demande et l'offre énergétique, notamment en niveaux de températures;
 - Optimisation du foncier et mutualisation des investissements par la superposition des fonctions techniques (réseau eau, communication, électrique, rafraîchissement, chauffage, routes, déchets);
 - Réseau de chaleur "intelligent" (Système de distribution de chaleur multitubes - basse, moyenne et haute température pour optimiser la valorisation des ressources énergétiques renouvelables du périmètre.): gestion des besoins saisonniers chaud/froid et des énergies renouvelables intermittentes (géothermie et solaire);
 - Utilisation de CADIOM et du gaz pour les constructions existantes à court terme (transitoire) et en appoint des réseaux intelligents à long terme.
- **Centrale énergétique : production et exportation :**
 - Production combinée chaleur et électricité à travers centrales solaires PV et une centrale de production CCF alimentée au gaz et permettant à la fois de soutenir le réseau CAD existant (production thermique) et d'alimenter les pompes à chaleur installées

dans le futur ou plus généralement de couvrir une partie des besoins électriques (production électrique solaire ou CCF).

Ces concepts se concrétisent spatialement par la carte ci-dessous présentée dans le volet énergétique du rapport du PDQ (p. 154).

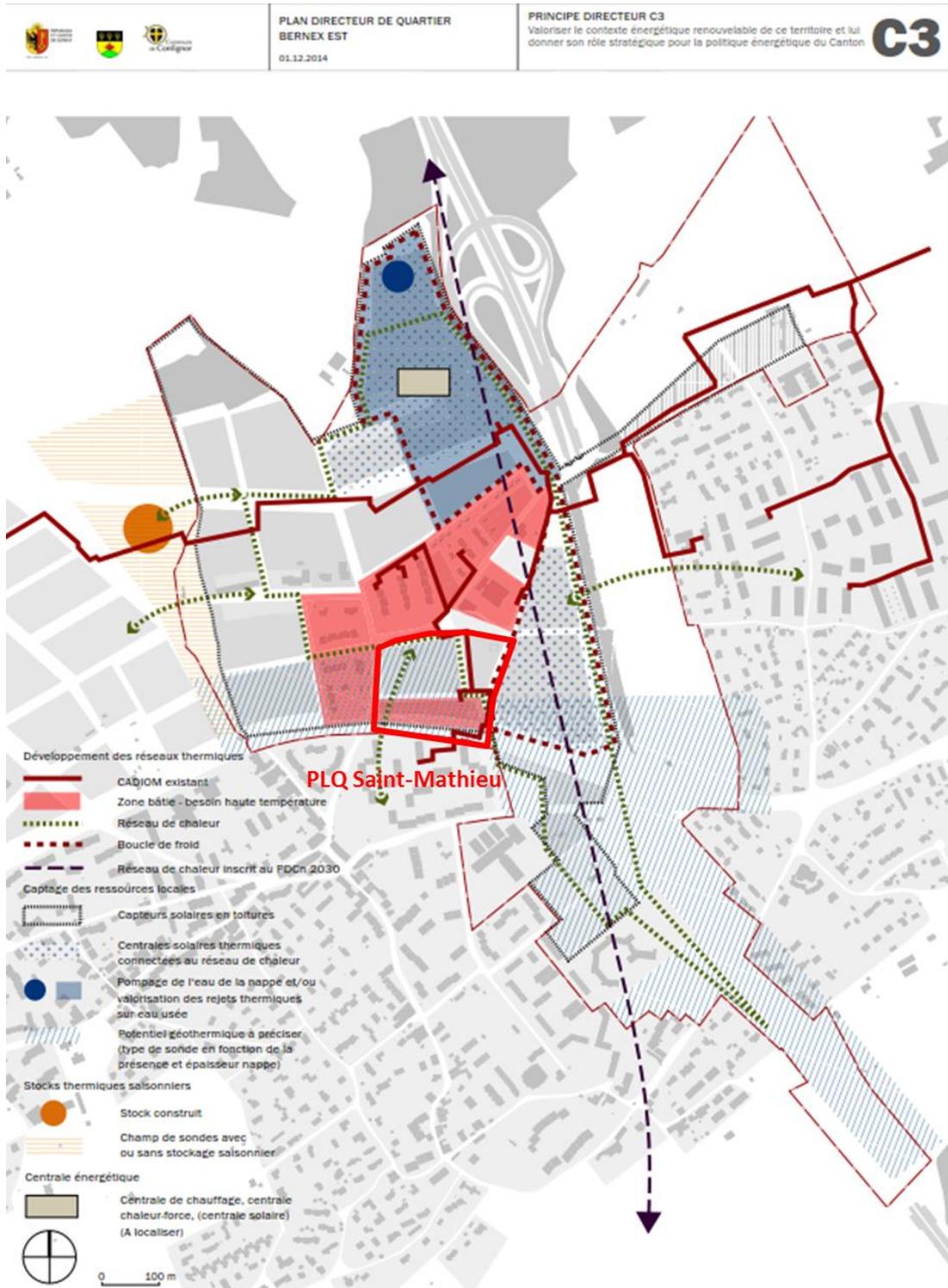


Figure 5 : carte du concept énergétique du PDQ Bernex Est (sources : CET n°2014-03 [6] et Fiche C3 du PDQ p. 154 [3])

Selon la carte présentée ci-dessus, le périmètre du PLQ Saint-Mathieu se situe à la croisée de plusieurs réseaux : CADIOM, un réseau nord-sud permettant notamment de valoriser les rejets de la STEP d'Aire, un réseau de quartier (appelé aussi « boucle intelligente - multitubes » dans le rapport du CET), alimenté par plusieurs ressources locales : stockage saisonnier des rejets des Cheneviers via CADIOM (dans le prolongement du parc de Borbaz), champ de capteurs solaires thermiques, nappe souterraine.

Selon une autre variante d'approvisionnement « in situ » sans connexion à un réseau de quartier, le périmètre (hachures bleues) pourrait être équipée de sondes géothermiques, impliquant au préalable une étude plus approfondie de faisabilité en fonction de la présence et profondeur de la nappe qui pourrait altérer le potentiel géothermique.

Enfin le principe directeur C3 du rapport du PDQ (p. 152) définit un certain nombre d'éléments à approfondir dont les conclusions influenceront le concept énergétique du PLQ :

- Approfondir le potentiel des ressources énergétiques locales, notamment la nappe phréatique et les eaux usées.
- Réaliser une approche technico-économique des orientations proposées dans le CET, hiérarchiser ces orientations en fonction des risques technico-économiques.
- Identifier les synergies et contraintes techniques en croisant les orientations du CET avec les infrastructures de mobilité, d'assainissement des eaux et de maîtrise foncière.
- Approfondir le potentiel de soutien du PDQ au Bernex existant au niveau de sa transition énergétique.
- Anticiper la réalisation d'un projet pilote de stockage de chaleur saisonnier au bénéfice du PDQ et son périmètre élargi.
- Approfondir la question d'une centrale énergétique de quartier et les besoins de surface y relatifs.
- Etudier le potentiel d'écologie industrielle entre la zone d'activité et le reste du quartier.
- Etudier l'implantation des formes urbaines optimisant les apports solaires passifs et en intégrant les éléments topographiques
- Prévoir, sous les espaces publics et de voirie, les réservations d'espace nécessaires pour la mise en œuvre du réseau énergétique.

Les offices cantonaux OCEN et OU sont amenés à fournir des informations concernant l'avancement de ces mesures.

5.2 Aménagement du territoire : état actuel et projet de PLQ

Le périmètre du futur PLQ Saint-Mathieu se trouve actuellement classé en zone 4B. Cette situation actuelle est présentée dans la carte ci-dessous (Figure 6). Dans le cadre du Grand Projet Bernex Nord et à plus court terme de la mise en œuvre du PDQ, les parcelles situées au nord de la route de Chancy vont faire l'objet de modification de zone.

Les deux projets de PLQ Le Grouet et Saint-Mathieu constituent les deux premières opérations urbaines du PDQ. L'opération Saint-Mathieu est plus avancée, le terrain étant déjà déclassé. L'adoption du PLQ Saint-Mathieu est prévue pour 2017 et l'horizon pour les constructions à 2020. L'opération implique le reclassement des parcelles actuelles en Zone 3D (développement). Le prolongement du tram sur Bernex sera opérationnel en 2018. Le programme prévu pour le PLQ Saint-Mathieu est le suivant :

- IUS : 1,40
- SBP totale : 46'770 m²
- 12 bâtiments (cf. Figure 7)
- Logements : 84 % en moyenne
- Activités : 16% en moyenne (taux d'activités de 36% prévu pour le bâtiment E / Etat de Genève)
- Stationnement : taux 0.6/logement.

Deux parkings souterrains sur deux niveaux au nord du périmètre (emprise horizontale d'env. 5'200 m²) et en principe sous le bâtiment E en front de la route de Chancy (emprise env. 2'800 m²) sont prévus.

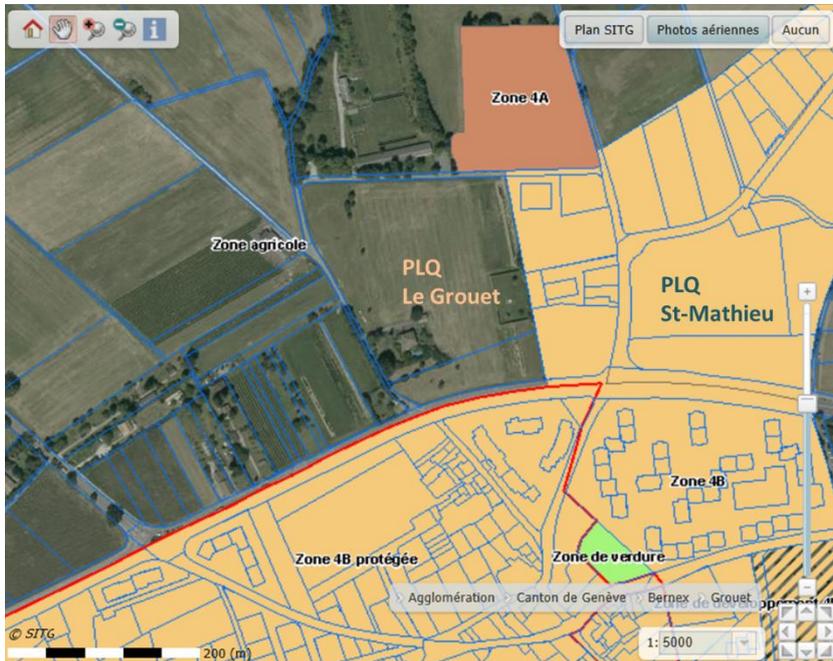


Figure 6 : état actuel de l'aménagement du territoire (parcelles en bleu) (source : SITG)



Figure 7 : variante du projet retenue (février 2016) [7]

5.3 Qualité de l'air

Le respect de l'Ordonnance sur la Protection de l'Air (OPair) se base principalement sur les immissions de deux polluants déterminants, qui sont le dioxyde d'azote (NO₂) et les poussières fines (PM10).

- La valeur limite à long terme pour le NO₂ est de 30 µg/m³.
- La valeur limite à long terme pour les PM10 est de 20 µg/m³.

Le SPAir assure un suivi de la qualité de l'air dans le canton de Genève à partir d'un réseau de capteurs passifs de NO₂ et de stations équipées de moniteurs (stations ROPAG).

5.3.1 NO₂

Comme l'indique la figure ci-dessous, les concentrations de NO₂ restent limitées dans la zone étudiée : pour le périmètre restreint comme pour le périmètre élargi, les valeurs se situent en effet en dessous des seuils légaux (30 µg/m³). Théoriquement, il serait donc envisageable de considérer les chaudières à pellets ou à plaquettes.

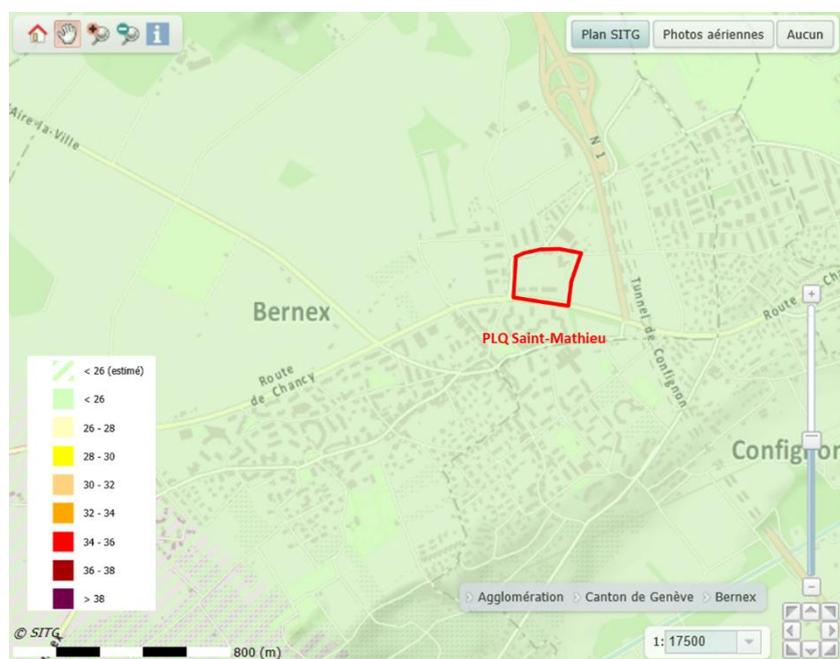


Figure 8 : Qualité de l'air: mesure de NO₂ en µg/m³ moyenne 2007-2014 (source : SITG)

5.3.2 PM10

Les données relatives à la concentration de l'air en PM10 sont fournies par les 7 stations de mesures fixes du service de protection de l'air. La Figure 9 présente la localisation de ces stations. Malheureusement, aucune station ne se situe à proximité du périmètre étudié, la plus représentative étant celle de Passeiry.

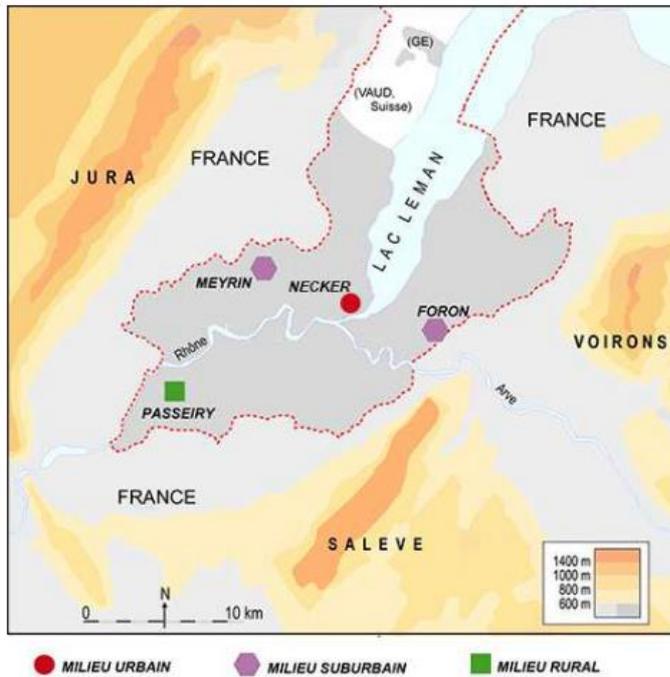


Figure 9 : Localisation des stations de mesure de la qualité de l'air sur le Canton de Genève [8]

Comme le montre la figure qui suit, les valeurs moyennes de concentration en PM10 tendent à diminuer au fil des années et ne font plus l'objet de dépassements du seuil légal (20 µg/m³) en zone rural à laquelle nous pouvons assimiler le secteur de Bernex Est. Ainsi, les chaudières à pellets ou à plaquettes sont acceptables tant au niveau des NO₂ que des PM10 dans le secteur du PLQ Saint-Mathieu.

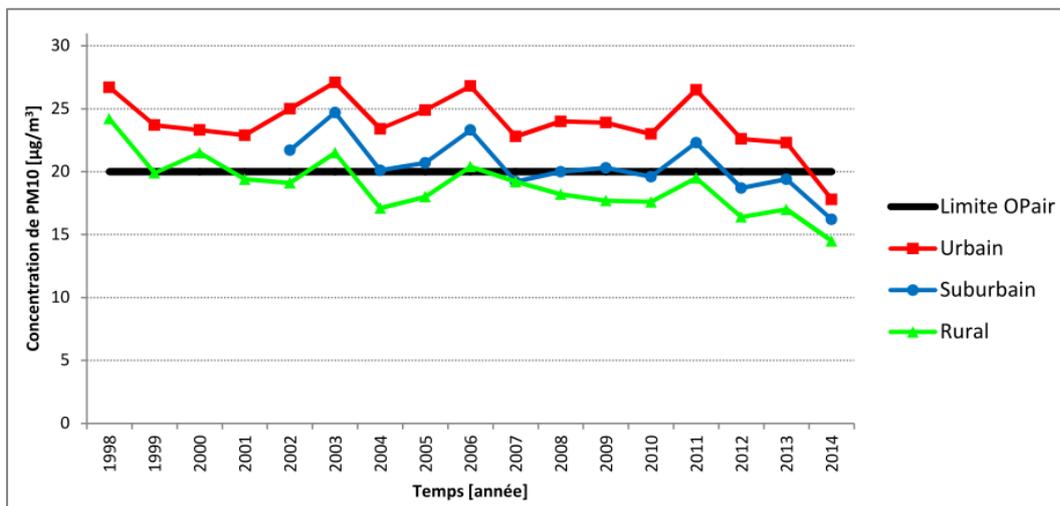


Figure 10 : Evolution des concentrations moyennes annuelles en particules fines (en µg/m³) à Genève depuis 1998 [8]

5.4 Acteurs

Le tableau suivant présente les principaux acteurs concernés par les choix et les procédures de mise en œuvre d'une stratégie d'approvisionnement énergétique pour le PLQ Saint-Mathieu. Cet inventaire des acteurs a pour objectif de contribuer à une bonne coordination entre les parties prenantes. Il doit notamment aider le maître d'ouvrage à anticiper des prises de contact avec des acteurs dont l'accord est nécessaire pour la mise en œuvre des filières d'approvisionnement souhaitées.

Etant donné la variété des acteurs qui peuvent être amenés à intervenir tout au long de la vie du projet, le tableau ci-dessous doit être considéré comme évolutif pour le maître d'ouvrage.

Catégories d'acteurs	Liste des acteurs et fonction	Enjeux liés à l'énergie dans le cadre de ce PLQ
Autorités publiques	<p>Office de l'urbanisme (OU) : Validation du PLQ, concertation publique</p> <p>Office cantonal de l'énergie (OCEN) : Validation du CET</p> <p>Service cantonal de protection de l'air : Contraintes relatives aux installations de combustion</p> <p>Service cantonal « géologie-sols-déchets » (GESDEC): Contraintes relatives à la valorisation géothermique du sous-sol, du stockage saisonnier.</p> <p>Commune - Conseil Administratif et Commission Aménagement : suivi de la procédure, participation à la concertation publique</p>	<p>OCEN : précision des orientations d'approvisionnement données dans le PDQ Bernex Est, assurer la cohérence globale des orientations énergétiques sur tout Bernex Est et en lien avec la politique cantonale énergétique.</p> <p>GESDEC : Autorisation formelle d'installation de sondes géothermiques verticales.</p> <p>Commune : assurer la cohérence du CET avec les recommandations du Plan directeur communal des énergies</p>
Propriétaires des parcelles du PLQ	Propriétaire privé de la parcelle principale, vente des terrains au promoteur	Bénéficiaires d'une convention de droit de superficie (pour le passage de CADIOM) et droit de raccordement à CADIOM en contrepartie.
Promoteur immobilier	Promoteur (CFPI), développement de l'opération, attribution du mandat à un groupement	Soumis aux obligations de la loi sur l'énergie concernant la réalisation de concepts énergétiques dans les procédures d'aménagement
Opérateurs énergétiques / gestionnaires de réseaux	<p><u>SIG</u> : Entreprise de droit public en charge de la fourniture de gaz, électricité, chaleur et eau potable, traitement des déchets et eaux usées</p> <p><u>CADIOM</u> : société à capital mixte exploitant le réseau de chauffage à distance à partir de l'usine de valorisation des déchets des Chevriers.</p> <p><u>Autres opérateurs énergétiques</u> : Prestations énergétiques non soumises au monopole : réseaux thermiques hors ceux propriétés des SIG, production / rachat d'électricité renouvelable.</p>	<p><u>SIG</u> : Approvisionnement en électricité, en eau et en gaz</p> <p>Développement et mise en œuvre d'un concept de valorisation des rejets thermiques estivaux des Chevriers (via CADIOM).</p> <p>Contracteur potentiel pour la distribution de chaleur via un réseau CAD ou boucle d'énergie.</p> <p><u>CADIOM</u> : Distribution de la chaleur directement depuis le réseau CAD ou via le stockage saisonnier dans les sondes.</p> <p><u>Autres opérateurs</u> : Contracteurs pour la distribution de chaleur.</p>
Opérations voisines	Groupement du projet PLQ Le Grouet	Possibilités de synergies futures (mutualisation des infrastructures) ou de conflits avec les opérations urbaines voisines.
Public cible de la démarche de concertation publique	Acteurs du projet de quartier : autorités, professionnels, riverains, associations locales	Concertation sous la forme d'ateliers/forums, débat sur les enjeux et opportunités à l'échelle du quartier y compris énergétiques (sensibilisation), avant la conception des solutions.

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des acteurs intervenant dans le cadre du CET

5.5 Infrastructures

Cette section inventorie les infrastructures existantes et projetées, en lien avec l'approvisionnement énergétique. Les infrastructures suivantes sont analysées :

- Les réseaux énergétiques actuels et prévus (section 5.5.1),
- Les collecteurs d'eaux usées (section 5.5.2),
- Les réseaux techniques souterrains susceptibles de contraindre l'installation d'infrastructures souterraines de valorisation énergétique (section 5.5.3),

5.5.1 Réseaux énergétiques actuels et futurs

Réseau de gaz

Comme le montre la Figure 11, le réseau de gaz (en jaune sur la figure) est déjà présent sur la zone d'étude, desservant les constructions existantes. Moyennant une extension des conduites au niveau des futurs bâtiments, cette ressource pourra être considérée dans les solutions d'approvisionnement.



Figure 11 : Tracé du réseau de gaz (en jaune) sur la zone d'étude (source : SITG, cadastre technique du sous-sol)

Réseaux thermiques actuels

Le réseau CADIOM traverse le périmètre du PLQ (cf. Figure 5) sur le tracé du futur mail et pourrait constituer une alternative d'approvisionnement ou bien de couvrir les besoins de pointe. Une **convention de servitude** été signée en 2010 entre les copropriétaires de la parcelle 8103 et CADIOM SA en vue de la pose de conduites pour étendre le réseau sur Bernex [30]. En contrepartie, les propriétaires bénéficient de la garantie du droit de raccordement. **Il est prévu à court terme d'étendre cette convention aux propriétaires des autres parcelles dans la perspective d'approvisionner tout le quartier avec ce réseau [29].**

Réseaux thermiques futurs

Les perspectives de réseaux futures ont déjà été présentées à travers la carte du concept énergétique du PDQ Figure 5. Le périmètre PLQ pourra être desservi par un réseau thermique à basse ou moyenne température alimenté par le stockage thermique saisonnier et d'autres ressources possibles (solaire, rejets froids des activités, CADIOM pour les besoins de pointe).

5.5.2 Collecteurs d'eaux usées

Bien qu'il ne s'agisse pas directement de réseaux énergétiques, les collecteurs d'eaux usées (en rouge sur la carte) peuvent donner lieu à une valorisation énergétique thermique, à travers la mise en place de systèmes de récupération de chaleur sur les eaux usées. Les conduites d'eaux usées (en rouge) qui ceignent le périmètre n'ont pas un diamètre supérieur à 300 mm. Comme on le verra dans la section 6.10, ces conduites, de trop faible diamètre, ne peuvent pas être considérées pour une valorisation énergétique des eaux usées.



Figure 12 : Tracés des collecteurs d'assainissement (en bleu : eaux pluviales, en rouge : eaux usées) (source : SITG, réseau d'assainissement)

5.5.3 Ensemble des réseaux souterrains susceptibles de contraindre l'approvisionnement énergétique

La figure suivante, issue du cadastre technique du sous-sol fourni par le service de la mensuration officielle (SEMO), renseigne sur les réseaux traversés par le PLQ. Elle montre que le périmètre est relativement encombré dans sa partie sud à travers différents réseaux et une allée d'arbres (qui seront conservés), autant d'éléments qui rendront difficile l'installation de sondes géothermiques dans ce secteur. Dans la perspective d'un réseau thermique de quartier, il s'agira également de vérifier si l'espace en sous-sol des réseaux routiers environnants est suffisant pour accueillir ce réseau.



Figure 13 : Cadastre technique du sous-sol (source : SITG, cadastre technique du sous-sol)

5.6 Évaluation des besoins énergétiques

Cette section a pour objectif l'évaluation des besoins énergétiques thermiques (chauffage, ECS et rafraîchissement) et électriques des immeubles prévus sur le futur PLQ. Les surfaces de référence énergétique (SRE) prises en compte sont résumées dans le tableau ci-dessous. On fait l'hypothèse, à ce stade, que $SRE=SBP$.

La répartition moyenne des affectations se base sur le taux prévu pour le logement (84%) et sur l'hypothèse pour le moment de répartition à part égale des activités entre commerces et bureaux pour le reste (16%), en attendant une définition plus précise du programme de constructions. En outre, la part d'activités étant sensiblement plus importante sur le bâtiment E (36%), et la typologie des besoins étant différente entre activités et logements, l'analyse des besoins distinguera le bâtiment E du reste des bâtiments (A à C).

Affectations	SRE [m ²]	
	Bât. E	Bât. A - C
Logements	7'380	32'075
Commerces	2'060	1'598
Bureaux	2'060	1'598
Total bât.	11'500	35'270
TOTAL	46'770	

Tableau 2 : SRE prises en compte [7]

Bien que la loi genevoise impose un standard de construction supérieur, au niveau énergétique, à la limite donnée par la norme SIA 380/1, les consommations correspondant à cette norme sont indiquées dans le Tableau 3 ci-dessous à titre informatif, afin de poser un référentiel pour une meilleure appréciation des consommations selon HPE (Haute Performance Energétique, performance minimale à atteindre selon la LEn) et THPE (Très Haute Performance Energétique). En ce qui concerne les besoins électriques évalués dans cette section, ils couvrent l'éclairage, les équipements (ordinateurs,

électro-ménager, appareils de télévision,...), la ventilation et les autres techniques associées aux bâtiments (selon la norme SIA 380/4 et le cahier technique 2024).

Pour chacun des scénarii (380/1, HPE et THPE), les hypothèses de calculs sont les suivantes :

▪ **Scénario selon la norme 380/1**

Facteur de forme ⁵ :	Selon SIA 380/1
Chauffage :	Selon les valeurs limites de la norme SIA 380/1 de l'affectation concernée.
ECS :	Selon les valeurs limites de la norme SIA 380/1 de l'affectation concernée.
Part non renouvelable :	Pas de contrainte.
Climatisation :	Selon les valeurs de l'annexe B de la norme SIA 380/4, à savoir pas de climatisation pour les logements.
Electricité :	Selon les indices de l'annexe C1 de la norme SIA 2031 pour l'éclairage, la ventilation et les équipements ; selon les valeurs de l'annexe B de la norme SIA 380/4 pour les techniques diverses.

▪ **Scénario HPE à respecter au minimum (référence légale REn art. 12B)**

Facteur de forme :	Selon la norme SIA 380/1
Chauffage :	Selon les exigences primaires HPE (80% des valeurs limites de la SIA 380/1 de l'affectation concernée).
ECS :	Selon les valeurs limites de la norme SIA 380/1 de l'affectation concernée.
Part non renouvelable :	maximum 60% des besoins admissibles de chaleur définis par la SIA 380/1
Climatisation :	Selon les valeurs de l'annexe B de la SIA 380/4, à savoir pas de climatisation pour les logements.
Electricité :	Selon les indices de l'annexe C1 de la norme SIA 2031 pour l'éclairage, la ventilation et les équipements ; selon les valeurs de l'annexe B de la norme SIA 380/4 pour les techniques diverses.

▪ **Scénario THPE (référence légale REn art. 12C)**

Facteur de forme :	Selon la norme SIA 380/1
Chauffage :	Selon les exigences THPE (60% des valeurs limites de la SIA 380/1 de l'affectation concernée).
ECS :	Selon les valeurs limites de la norme SIA 380/1 de l'affectation concernée.
Part non renouvelable :	maximum 50% des besoins admissibles de chaleur définis par la SIA 380/1
Climatisation :	Selon les valeurs de l'annexe B de la SIA 380/4, à savoir pas de climatisation pour les logements.
Electricité :	Selon les indices de l'annexe C1 de la norme SIA 2031 pour l'éclairage, la ventilation et les équipements ; selon les valeurs de l'annexe B de la norme SIA 380/4 pour les techniques diverses.

⁵ Le facteur de forme (ou facteur d'enveloppe) est le rapport de la surface de l'enveloppe thermique du bâtiment et de sa surface de référence énergétique (SRE).

Les besoins énergétiques sont données dans les tableaux ci-dessous, distinguant le bâtiment A et les autres bâtiments.

	Chaleur			Froid		Electricité
	Chauffage [MWh/an]	ECS [MWh/an]	Puissance [kW]	Rafrâchisse- ment [MWh/an]	Puissance [kW]	Equipements [MWh/an]
Bâtiment E						
Logements	286	154	274	0	0	344
Commerces	66	14	65	111	99	249
Bureaux	76	14	64	13	18	81
Total	428	182	402	124	117	675
Bâtiments A - C						
Logements	1'243	668	1'189	0	0	1'497
Commerces	51	11	50	86	77	193
Bureaux	59	11	50	10	14	63
Total	1'353	690	1'289	96	91	1'753
TOTAL	1'781	873	1'691	219	208	2'428

Tableau 3 : Consommations et puissances selon la 380/1

	Chaleur			Froid		Electricité
	Chauffage [MWh/an]	ECS [MWh/an]	Puissance [kW]	Rafrâchisse- ment [MWh/an]	Puissance [kW]	Equipements [MWh/an]
Bâtiment E						
Logements	229	154	240	0	0	344
Commerces	53	14	54	111	99	249
Bureaux	61	14	53	52	74	81
Total	342	182	347	163	173	675
Bâtiments A - C						
Logements	994	668	1'043	0	0	1'497
Commerces	41	11	42	86	77	193
Bureaux	47	11	41	40	57	63
Total	1'082	690	1'043	126	134	1'753
TOTAL	1'425	873	1'389	289	307	2'428

Tableau 4 : Consommations et puissances selon HPE

	Chaleur			Froid		Electricité
	Chauffage [MWh/an]	ECS [MWh/an]	Puissance [kW]	Rafrâichisse- ment [MWh/an]	Puissance [kW]	Equipements [MWh/an]
Bâtiment E						
Logements	172	154	206	0	0	344
Commerces	39	14	43	111	99	96
Bureaux	46	14	42	52	74	81
Total	257	182	291	163	173	521
Bâtiments A - C						
Logements	746	668	896	0	0	1'497
Commerces	31	11	33	86	77	75
Bureaux	35	11	33	40	57	63
Total	812	690	962	126	134	1'634
TOTAL	1'069	873	1'254	289	307	2'155

Tableau 5 : Consommations et puissances selon THPE

Le graphique ci-dessous synthétise les besoins totaux selon les scénarii d'efficacité énergétique et par type de prestation.

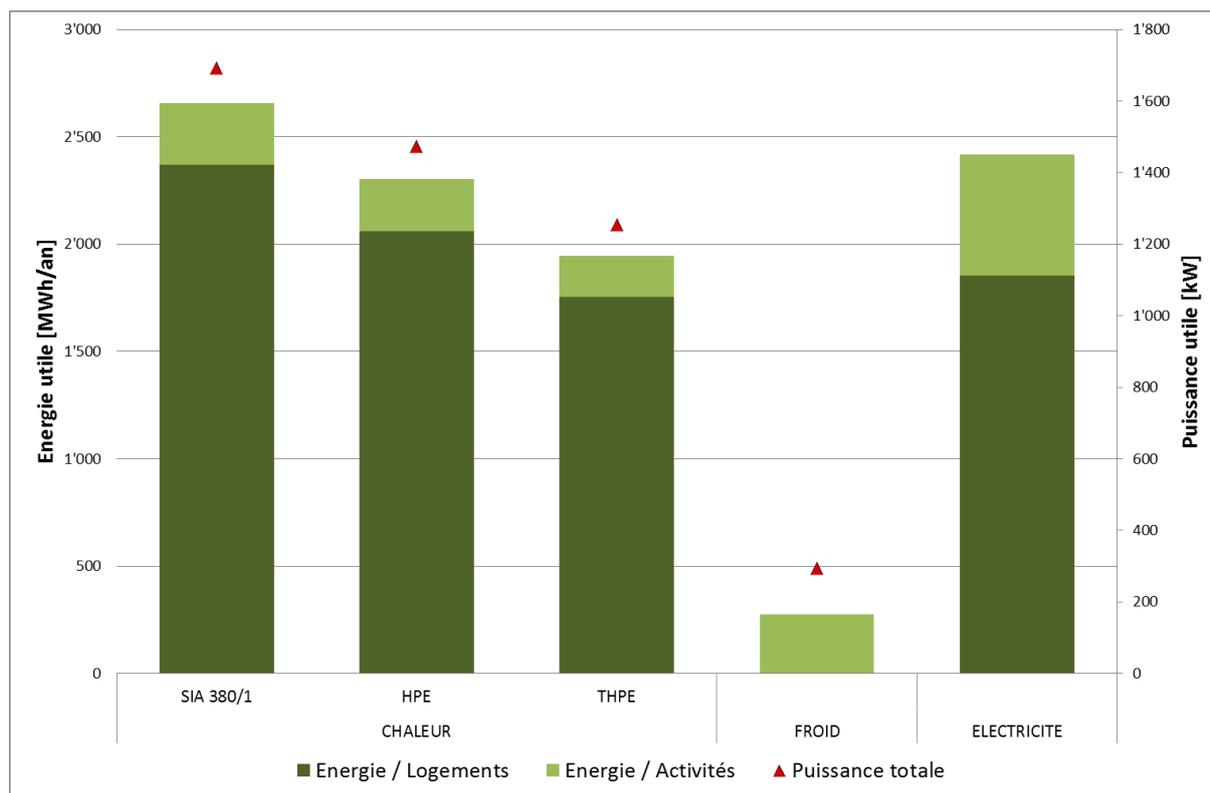


Figure 14 : Synthèse des besoins énergétiques

6 Ressources énergétiques renouvelables et locales disponibles

Cette section synthétise les ressources énergétiques locales disponibles, aussi bien en termes énergétiques qu'en termes de puissance, et leur capacité à satisfaire les besoins du PLQ.

6.1 Energie solaire

L'énergie solaire peut être valorisée de deux manières différentes : pour générer de la chaleur (panneaux solaires thermiques), ou pour générer de l'électricité (panneaux photovoltaïques). Des panneaux hybrides permettent actuellement de générer les deux conjointement, avec des rendements quelque peu affaiblis pour la production de chaleur, mais avec l'avantage de pouvoir s'affranchir de l'arbitrage entre la production de chaleur et la production d'électricité (la place en toiture étant limitée).

Les toits des nouvelles constructions seront essentiellement des toits plats, ce qui devrait faciliter la mise en place de panneaux solaires.

Les hypothèses et données ci-dessous ont été faites pour évaluer le potentiel solaire :

1. L'ensoleillement annuel sur surface horizontale pour Genève est de 1'208 kWh/m² selon la base de données Meteonorm (V6.1).
2. La surface de toitures disponibles est en moyenne d'environ **5'700 m²** selon la variante choisie et le calcul des surfaces des toitures les mieux exposées (les terrasses situées aux niveaux inférieures, étant ombragées, ne sont donc pas comptabilisées).
3. Rendements (sources : catalogues de fabricants et expérience A+W):
 - a. Panneaux photovoltaïques (polychristallin) : 17%
 - b. Panneaux hybrides : rendement thermique : environ 250 kWh/m²/an dans les meilleures conditions, rendement électrique : 15.4% [référence : DualSun. www.dualsun.ch]⁶
 - c. Indice de performance – solaire PV (performance ratio) : 80%
 - d. Panneaux solaires thermiques (capteurs plans vitrés, orientés plein sud, avec une inclinaison de 30°) : rendement de **45%** (par rapport à l'irradiation solaire incidente) pour une couverture de 30% de l'ECS, et rendement de **30%** pour une couverture de 60% de l'ECS, d'après le cadastre solaire genevois (disponible sur le SITG).
 - e. Conduites et ballons de stockage : 90%.
4. La surface de toit utile ou installable correspond à 80% de la surface de toit totale (tenant compte des marges entre bords de toiture et panneaux et des installations techniques en toiture) ; il en résulte ainsi une **surface utile de toiture de 4'560 m²**.
5. Pour des panneaux inclinés à 30° (Solaire thermique), le rapport entre la surface des panneaux installés et la surface de toit utile est de 0,45.
6. Pour des panneaux inclinés à 10° (Solaire PV ou hybride), le rapport entre la surface des panneaux installés et la surface de toit utile est de 0,7.

⁶ Concernant la partie thermique, le rendement dépend la façon dont la chaleur produite est valorisée : dans le cas de chauffage de stock (piscine, réservoir, recharge sondes), la chaleur produite est intégralement valorisée et le rendement est maximal, de l'ordre de 250 kWh/m²/an, dans le cadre du préchauffage de l'eau chaude sanitaire, le rendement est moindre autour de 130 kWh/m²/an. Concernant le rendement électrique, on pourrait s'attendre à un rendement supérieur à celui des panneaux PV habituels. Cependant, les panneaux hybrides n'utilisent pas encore les dernières technologies en matière de cellules PV.

Avec les hypothèses ci-dessus, on obtient les potentiels solaires indiqués dans le tableau ci-dessous :

	Chaleur	Electricité		Couverture	Couverture	Panneaux	Toiture
	[MWh/an]	[MWh/an]	[kW]	besoins elec.	besoins chal. HPE	[m ²]	[m ²]
Photovoltaïque (total)	-	559	543	23%	-	3'193	4'561
Panneaux hybrides (total)	718	507	492	21%	31%	3'193	4'561
Solaire thermique (total)	1'135	-	-	-	49%	2'052	4'561
Solaire thermique (30% ECS)	263	-	-	-	-	476	1'058
Solaire thermique (60% ECS)	526	-	-	-	-	1'428	3'173

Tableau 6 : Potentiels solaires totaux et partiels, couverture des besoins d'électricité et de chaleur totale, surfaces de panneaux et de toiture utile

Le tableau ci-dessus présente les potentiels aussi bien totaux (théoriques), en installant la totalité des toitures avec des panneaux solaires PV, hybrides ou thermiques, que partiels, en installant les surfaces nécessaires pour couvrir 30% (en conformité avec la Loi sur l'énergie) ou 60% des besoins d'ECS. Une installation de la (quasi) totalité des toitures par du solaire thermique peut être envisagée dans le cas de stockage thermique saisonnier (avec réservoirs de volume nécessaire pour garantir un rendement suffisant).

Les surfaces de toiture suffisent largement à accueillir des panneaux solaires thermiques pour l'ECS (quel que soit le taux de couverture de 30% ou 60%) et offrent des surfaces supplémentaires pour des panneaux solaires PV. Ceux-ci peuvent se justifier en particulier pour compenser les dépenses électriques des pompes à chaleur éventuelles et des groupes froids. Les panneaux solaires hybrides permettent de combiner production électrique et de chaleur, mais avec un rendement moindre pour la partie chaleur.

Avantages

L'avantage aussi bien des panneaux solaires thermiques que photovoltaïques est le fait que ce sont des technologies connues et relativement faciles à implémenter (attention toutefois à la taille de l'installation). De plus, l'entretien est aisé, surtout pour le photovoltaïque (pas de circuit hydraulique).

Inconvénients

Le seul inconvénient des panneaux solaires est le fait qu'ils ne permettent pas une valorisation optimale de la ressource solaire, pourtant si abondante. En effet le rendement encore relativement faible des panneaux solaires photovoltaïques, ou encore le fait que seuls 60-70% des besoins d'ECS peuvent être couverts avec des panneaux solaires thermiques, témoignent malheureusement encore d'une valorisation non optimale du rayonnement solaire. Ceci dit, il n'existe à l'heure actuelle aucune technologie comparable qui permettrait de faire mieux.

Conclusion

Le potentiel solaire est conséquent et donc intéressant pour le PLQ, les surfaces de toitures étant suffisantes pour des installations solaires thermiques, PV et hybrides.

6.2 Géologie et énergie géothermique avec des sondes verticales

Comme le montre la carte ci-dessous (Figure 15), aucune restriction à l'usage des sondes géothermiques, relative à la présence de la nappe du Genevois utilisée pour l'eau potable, n'est en vigueur au niveau des périmètres restreints et élargis (aucune zone n'est hachurée – interdictions sondes, ou pointillée - restrictions). La capacité thermique moyenne entre 0 et 300 est très bonne (2.6 W/m³*K), ce qui permet un bon transfert de chaleur du sol aux sondes. En revanche, la capacité thermique moyenne entre 0 et 300 m est peu favorable (2.1 W/m³*K), ce qui laisse entrevoir des moins bonnes capacités de stockage saisonnier. Cela est dû au fait que le toit de la molasse se situe à environ 25-30 m de profondeur d'après la couche des isolignes disponibles sur le *SITG/Géologie, sols et déchets*. Dans cette tranche de 25-30 m de profondeur, selon un sondage géologique [9], le terrain est de type Moraine würmienne plus adapté à un stockage thermique saisonnier (capacité thermique de (2.3 W/m³*K).

Concernant l'installation de sondes géothermiques, théoriquement, on notera cependant qu'il n'est pas souhaitable de mettre des sondes sous les bâtiments et dans le parking souterrain. En effet, en cas de sonde hors d'usage en sous-sol, il n'est pas possible d'installer une sonde de remplacement à côté (ce qui est possible hors emprise bâtiment dans l'espace extérieur). De plus, pour éviter la remontée de gaz géogènes, des sondes placées sous un bâtiment doivent être déviées à l'horizontale sous le radier, et ensuite être raccordées au collecteur (il n'est pas autorisé de percer le radier). Cependant, souvent des sondes sont placées sous des bâtiments, car le terrain disponible autour des bâtiments n'est pas suffisant eu égard au nombre de sondes requises. Dans ce cas, on prévoit un surdimensionnement de 10% de sondes si des sondes en sous-sol sont hors d'usage.

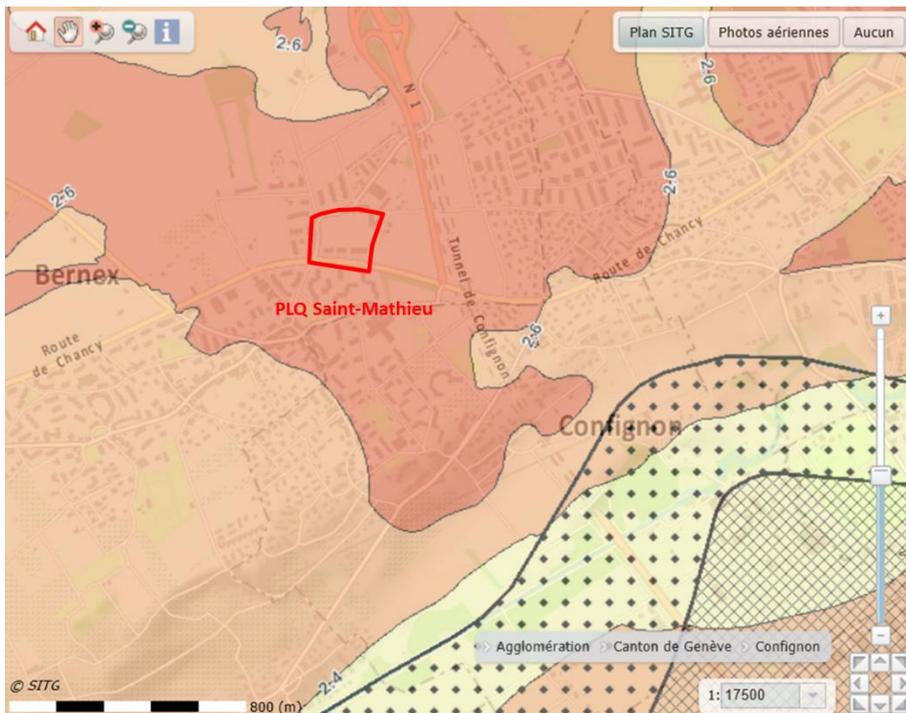


Figure 15 : Zones d'autorisation de sondes et conductivité thermique (source : SITG)

Les hypothèses suivantes ont été admises pour déterminer le potentiel des sondes géothermiques⁷ :

1. Les sondes sont espacées de 8 m les unes des autres.
2. La puissance extraite est de 30 W/m_l et l'énergie de 42 kWh/m_l/an.
3. La puissance d'injection est de 15 W/m_l et l'énergie injectée de 25 kWh/m_l/an.
4. La profondeur est de 300 m par sonde.
5. Taux de recharge minimum du terrain : 60% (ce taux étant variable et pouvant aller jusqu'à 80% pour des champs de sondes de grande ampleur).
6. Un COP moyen (entre chauffage et ECS) de 4.6 environ (température à l'évaporateur 7°C selon expérience bureau A+W)

Selon ces hypothèses, le tableau ci-dessous indique le nombre de sondes nécessaires pour couvrir la totalité des besoins de chaleur (selon les 3 standards : conformes à la norme SIA 380/1, à HPE ou à THPE) et les différentes données énergétiques correspondantes. Les besoins de puissance pour les prestations de chaleur (chauffage + ECS) sont déterminants dans le calcul du nombre de sondes. Les besoins d'injection de chaleur dans le terrain pour le recharger en été sont considérables et doivent pouvoir être satisfaits selon les moyens décrits plus haut.

⁷ Ces valeurs dépendent fortement de cas en cas, et ne sont ici que des moyennes valables pour le plateau suisse, utilisées au stade d'avant-projet. Elles sont tirées de la norme SIA 384 / 6 et de l'expérience A+W pour les avant-projets.

		SIA 380/1	HPE	THPE
Nombre de sondes nécessaires	[-]	179	146	131
Surface de terrain	[m ²]	11'444	9'337	8'368
Besoins effectifs en puissance chaud (évaporateur)	[kW]	1'341	1'094	981
Besoins effectifs en énergie chaud (évaporateur)	[MWh/an]	2'235	1'824	1'634
Puissance injectée requise - recharge terrain	[kW]	805	657	588
Energie injectée requise - recharge terrain	[MWh/an]	1'341	1'094	981
Besoins effectifs en puissance froid	[kW]	199	294	294
Ratio puissances effectives injection/extraction	[-]	0.15	0.27	0.30

Tableau 7 : Potentiel géothermique effectif selon les besoins en considérant les différents scénarii de besoins

Remarque : dans tableau ci-dessus, la puissance et l'énergie d'extraction ne correspondent pas à la puissance et à l'énergie finales requises, car il faut tenir compte de l'apport en électricité lié au compresseur de la pompe à chaleur géothermique.

Tout champ de plus de 8-10 sondes nécessite une recharge du terrain pour éviter qu'il s'épuise à moyen et long termes. On constate que si, géométriquement, on avait la place de mettre le nombre de sondes requises, au niveau de la recharge le ratio effectif (besoins de froid / puissance extraite des sondes) se situe entre 15% pour le scénario 380/1 et 30% pour le scénario THPE, ce qui ne suffit pas pour garantir la pérennité du système (taux minimum de recharge nécessaire 60%). Pour combler la part de recharge manquante, on pourrait envisager une option consistant à faire du geocooling sur les locaux de logement (à travers les planchers chauffants), ou encore de l'apport solaire à travers des modules thermiques complémentaires.

Concernant les surfaces disponibles pour l'installation de sondes, la superficie totale du périmètre du PLQ est de 33'404 m². De cette surface, il s'agit non seulement de retrancher les surfaces correspondant au tracé des futures conduites techniques en sous-sol (avec 1m de marge au minimum de part et d'autre des conduites), mais aussi aux arbres (avec également 1 m de marge à prévoir depuis chaque couronne d'arbre).

Le concept paysager élaboré par le bureau Oxalis [10] présenté ci-dessous, décrit la structure végétale future du quartier, ainsi que les arbres qui seront conservés et plantés (emplacement approximatif). Si des sondes pourront être implantées dans le Cœur de l'îlot, une partie du Mail, la Cour ouverte et le parc, il semble rester peu d'espace libre disponible pour implanter des sondes. Ainsi, celles-ci devraient être installées en grande partie en souterrain des bâtiments et au niveau du parking souterrain, malgré les contraintes énoncées plus haut (par rapport au remplacement des sondes défectueuses et de l'émanation de gaz). Leur emprise totale est d'environ 13'500 m², ce qui est largement suffisant par rapport à la surface de terrain nécessaire (environ 10'000 m² dans le cadre du standard HPE) donnée dans le Tableau 7 ci-dessus.



Figure 16 : Concept paysager décrivant la structure végétale et l'emplacement approximatif des arbres [10]

Avantages

En l'absence de ressources aisément valorisables techniquement (telles que des rejets thermiques, l'eau du lac,...), les sondes géothermiques permettent de satisfaire des besoins de chaleur avec des COP performants.

Inconvénients

En l'absence de recharge suffisante du terrain, les sondes ne constitueraient qu'une petite partie d'un mix énergétique global plus complexe. La couverture des besoins de chaleur par de la géothermie implique un champ de sondes de taille importante (entre 141 et 193 sondes) qu'il s'agit de pouvoir maîtriser techniquement.

Conclusion

Etant donné la densité importante d'occupation du sol par les constructions et du taux d'arborisation significatif dans les espaces libres, les sondes devraient être installées en sous-sol des bâtiments et dans le parking souterrain, la surface d'emprise de ces ouvrages étant largement suffisante par rapport aux surfaces nécessaires pour les sondes. Dans l'hypothèse d'une couverture intégrale des besoins de chaleur du quartier avec les sondes géothermiques, il faudrait toutefois veiller à ce que la recharge soit suffisante à travers le geocooling des locaux complété éventuellement par de l'apport solaire, et de lever les doutes par rapport aux restrictions potentielles soulevées ci-dessus.

6.3 Stockage géothermique saisonnier

Selon les informations transmises par les SIG [11], ces derniers envisagent de valoriser les rejets estivaux non valorisés et très importants de l'usine d'incinération des Cheneviers (200 GWh par année non valorisés) à travers un dispositif de stockage saisonnier. Une étude d'opportunité approfondie est prévue à court terme (courant 2016), s'inscrivant dans le cadre du programme Géothermie 2020. Il s'agirait de valoriser dans un premier temps environ 100 GWh des rejets, ce qui représente a priori un volume de stockage d'environ 1 million de m³ de terrain.

Dans l'immédiat, les SIG envisagent les pistes suivantes :

- Stockage horizontal ou vertical dans terrain naturel via des sondes géothermiques classiques 100 – 200 m, ce qui impliquerait un très grand nombre de sondes étant donné le volume de stockage nécessaire. La température du stock est de l'ordre de 20 à 30°C au maximum (température admissible pour les sondes). Le stockage par sondes se distingue des champs de sondes classiques par le fait le haut niveau de température du stock (25°C au lieu de 15°C) ce qui implique à la fois des très bonnes performances des PAC mais aussi la nécessité de recourir à d'autres moyens pour satisfaire les besoins de froid.
- Création de réservoirs dans des gravières remblayées (par des matériaux argileux saturés notamment) dont l'exploitation serait abandonnée et affectées au stockage. A ce sujet, le bureau BG a mené une étude en 2014 pour évaluer le potentiel des gravières à Genève [12]. Les deux figures ci-dessous en donnent des illustrations, le concept de stockage dans les gravières (Figure 17), et la carte des zones favorables où des gravières pourraient être remblayées à des fins de stockage (Figure 18).
- Stockage dans des aquifères peu profonds, comme la nappe Rhône, pour autant qu'il y ait un faible écoulement, mais il s'agit de faire attention à la limite du $\Delta 3^{\circ}\text{C}$, ce qui permet un stockage d'environ 14-15°C.
- Stockage dans des aquifères de moyenne profondeurs 500 – 800 m : l'avantage est qu'il n'y pas de contrainte de ΔT à respecter, qu'il n'y pas besoin d'un champ de sondes (principe du doublet géothermique) et le niveau de température peut être élevé de 30°C à cette profondeur, jusqu'à 80°, permettant ainsi de satisfaire en chauffage direct les besoins de chaleur du parc bâti existant à proximité sans recourir à des PAC et des chauffages centralisés. Il est ainsi envisagé de développer un réseau de « déstockage » à 65°C permettant de couvrir les besoins de chauffage et d'ECS aussi bien de bâtiments neufs qu'existants [29].

Probablement, la solution choisie ne sera pas unique mais impliquera ces différentes possibilités selon les particularités locales, même si a priori, les SIG souhaitent promouvoir la solution de stockage en profondeur.

Avantages

Le stockage saisonnier permet de valoriser des rejets inutilisés en été et à mi-saison et de les restituer en hiver soit directement soit via des PAC avec un très bon coefficient de performance. Vu l'importance des rejets, il y a ainsi un potentiel qui s'adresse à l'ensemble du secteur de Bernex-Est et qui permet ainsi de mutualiser l'approvisionnement. La présence de gravières qui ne sont plus exploitées constitue une très bonne opportunité.

Inconvénients

Le stockage saisonnier peut impliquer des volumes de terrain très importants à équiper et à excaver (par des sondes notamment). Par ailleurs, cette possibilité est encore à un stade très initial, et elle risque d'être mise en œuvre bien après la réalisation du quartier Saint-Mathieu.

Conclusion

Le périmètre Saint-Mathieu est particulièrement concerné par cette opportunité de stockage saisonnier étant donné la proximité immédiate de CADIOM. Deux types de solutions semblent :

- Externalisation de la production de chaleur via des stockages dans des gravières remblayées à proximité et/ou en moyenne profondeur (via doublet géothermique) dans des sites à déterminer, approvisionnement du quartier via un réseau desservant également d'autres périmètres voisins (comme Saint-Mathieu par exemple).
- Création d'un stockage saisonnier propre au quartier en créant un champ de sondes qui sera ainsi rechargé par CADIOM en été. Le champ de sonde pourra être créé aussi bien sur le territoire de Bernex-Est, en particulier sur le site du parc de Borbaz (dont une partie est prévue sur le périmètre du Grouet qui pourrait être étendue sur la zone agricole adjacente). **Cependant, il convient d'être attentif au fait que seul les 30 premiers mètres de profondeur (Moraine würmienne), jusqu'au toit de la molasse, pourraient se prêter à un stockage saisonnier** (cf. section 6.2).

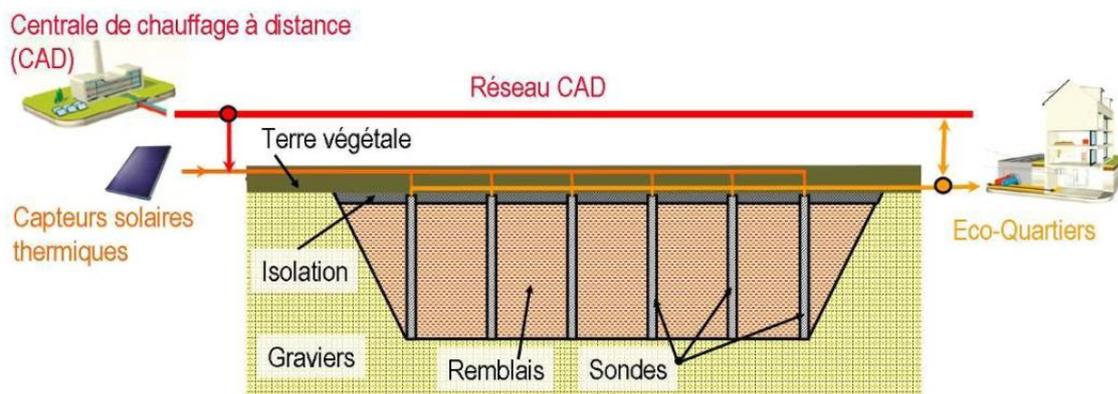


Figure 17 : Concept de stockage saisonnier dans une gravière remblayée à cette fin [12]

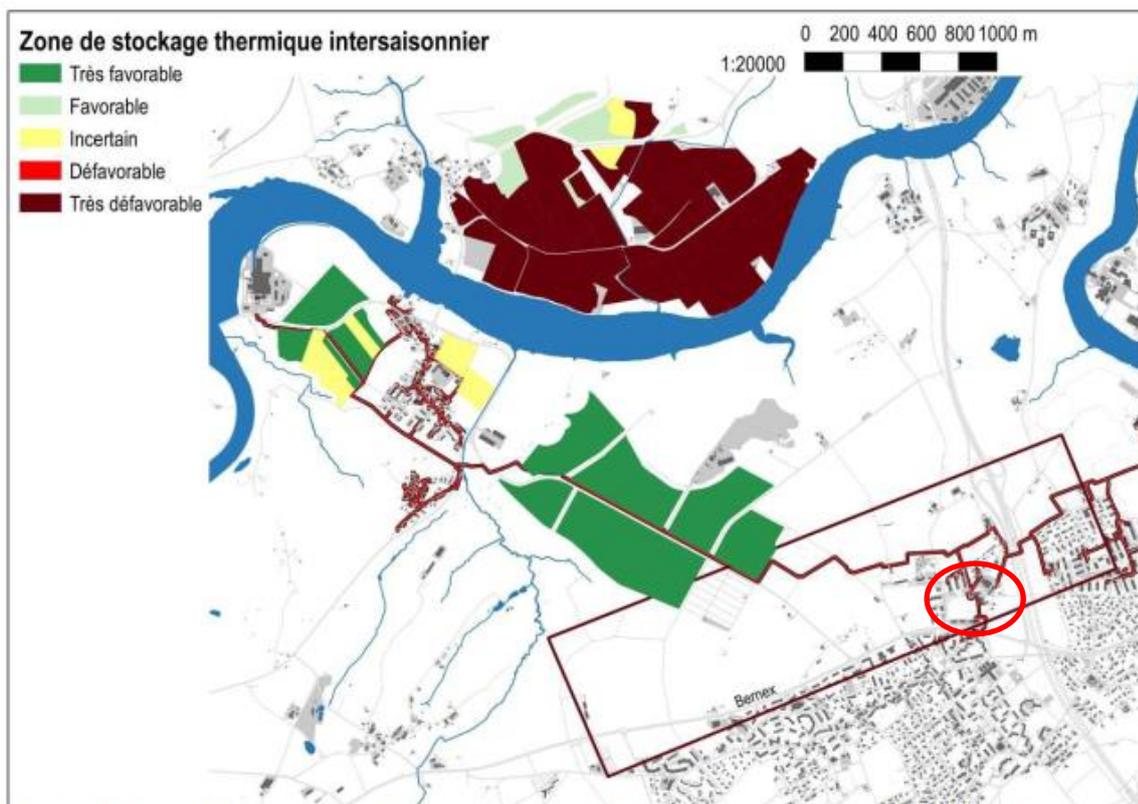


Figure 18 : Opportunité de stockage thermique intersaisonnier en gravière à proximité du Grand Projet de Bernex [12]

6.4 Nappe phréatique

Le périmètre se situe en bordure de la nappe principale du Rhône qui offre un potentiel unitaire de 1.5 à 2.5 W/m², selon la couche géospatiale GOL_NAPPES_POT_UNITAIRE disponible sur le SITG. Cependant, ce positionnement en bordure implique probablement que le terrain est peu saturé à cet endroit et que le potentiel devrait être bien plus bas.

En prenant la valeur inférieure (1.5 W/m²) de la fourchette indiquée, le potentiel énergétique serait le suivant :

- Chaleur (au condenseur de la PAC, COP) : 82 kW
- Froid (freecooling) : 66 kW

De telles valeurs sont dérisoires (en particulier pour la chaleur) par rapport aux besoins de puissance de chaleur (env. 1'500 kW dans le cas de HPE) et de froid (env. 320 kW).

Avantages

Le puisage sur la nappe permet d'obtenir une ressource thermique à un niveau de température relativement élevé pour les besoins de chaleur, induisant une meilleure efficacité des PAC, et suffisamment basse pour les besoins de froid. Cette ressource est également disponible à faible profondeur et donc à un coût réduit (par rapport à un champ de sondes géothermiques).

Inconvénients

La capacité de pompage de la nappe est a priori limitée étant donné la situation du périmètre de PLQ en bordure de la nappe. De plus, l'exploitation de la nappe n'est pas particulièrement recommandée dans le PDQ Bernex-Est / volet énergie (cf. section 5.1.4).

Conclusion

La nappe, bien que présente au niveau du site, ne devrait pas offrir un potentiel suffisant pour couvrir les besoins de chaleur notamment. Une étude hydrogéologique devrait spécifier le potentiel réel. Dans le cas présent, cette ressource ne sera pas approfondie dans les stratégies d'approvisionnement.

6.5 Eaux superficielles

Le PLQ ne se trouve pas à proximité du lac ou d'un cours d'eau important. Le cours d'eau le plus proche est l'Aire, qui ruissèle à plus de 1km du centre du PLQ et qui se situe au bas d'une pente de dénivelée importante. Du fait cet éloignement important et de la différence d'altitude, cette ressource n'est pas pertinente pour le périmètre du PLQ.

Conclusion

Il n'y a pas de ressources liées à des eaux superficielles.

6.6 Air

Pour le chauffage des locaux, l'énergie contenue dans l'air ambiant représente une ressource énergétique intéressante. Elle est omniprésente, pour ainsi dire infinie, et sa valorisation à l'aide d'une pompe à chaleur se fait aisément. De plus, les systèmes de pompe à chaleur air/eau sont moins coûteux à l'investissement que les systèmes sol/eau, du fait qu'il ne faut pas de structures géothermiques.

La principale contrainte lors de la valorisation de cette énergie, est donnée par la quantité d'air qu'il faut faire circuler, et donc par la taille des conduites, si les unités ne sont pas placées sur le toit ou que les puissances sont grandes (plus que 50 kW environ). Si les unités sont placées sur le toit, cette contrainte tombe.

Au niveau énergétique, il faut également noter que les pompes à chaleur air/eau ont des rendements énergétiques jusqu'à 30% moins bons que les pompes à chaleur sol/eau, ce qui se traduit par une consommation d'électricité plus élevée. Cette consommation plus élevée peut cependant être compensée en été, lors de la production d'ECS. En effet, la température de l'air étant en principe plus

élevée en été que la température des eaux de surface, le COP d'un système air/eau peut s'avérer meilleur en été, que celui d'un système eau/eau.

Avantages

Les pompes à chaleur air/eau sont faciles à installer et à utiliser.

Inconvénients

Les pompes à chaleur air/eau sont les pompes à chaleur avec le moins bon rendement. D'autre part, il est difficile de supprimer complètement le bruit lié à l'aspiration de l'air, même avec des caissons d'insonorisation. Cet inconvénient peut cependant être largement atténué en plaçant les PAC en toiture, ce qui implique toutefois de l'espace nécessaire en toiture pour installer la PAC.

Conclusion

L'énergie de l'air présente un potentiel à prendre en considération en l'absence de possibilités d'approvisionnement renouvelable recourant à des systèmes plus performants.

6.7 Energie de la biomasse

L'environnement extra-urbain dans lequel se situe le quartier rend l'utilisation de la biomasse (en particulier le bois) envisageable. Cependant, les ressources disponibles – évaluées dans le cadre du projet VIRAGE [13] – relèvent d'une gestion régionale. Quant à la valorisation par méthanisation ou gazéification, celle-ci n'est actuellement maîtrisée que dans des installations de grande échelle et doit être réfléchie à échelle du Canton de Genève dans son ensemble (à travers le programme Pôle Bio notamment).

Conclusion

L'énergie de la biomasse, en particulier le bois, apparaît comme une source d'approvisionnement pour le périmètre pouvant être considérés.

6.8 Rejets thermiques (STEP d'Aïre)

Comme mentionné plus dans le cadre du PDQ, un réseau thermique nord-sud pourra passer tout proche du périmètre Saint-Mathieu. Une possibilité est envisagée de valoriser, à travers ce réseau, les rejets thermiques de la STEP dont une partie est prévue pour réchauffer le retour du CAD-SIG au Lignon [29].

Conclusion

L'énergie issue des rejets thermiques de la STEP d'Aïre constitue, dans le cadre d'un réseau CAD, un potentiel important pour Bernex-Est aussi bien pour les projets de quartier neuf que les bâtiments existants, notamment ceux situés dans le voisinage de Saint-Mathieu.

6.9 Energie éolienne

Le contexte urbain dans lequel se situe l'étude du concept énergétique, ne permet pas une valorisation efficace de l'énergie éolienne. De plus, avec une vitesse annuelle moyenne à Genève de 0 - 3,4 ±1 m/s à 50 m au-dessus du sol [14], Genève ne figure pas clairement parmi les sites économiquement favorables à l'implantation d'une éolienne, quelle que soit sa taille. Entre le manque de vent, la densité de la population, et la bise soufflant souvent par rafales, une éolienne n'aurait que peu de chance d'obtenir les autorisations nécessaires et ne serait clairement pas une solution raisonnable.

Conclusion

L'énergie éolienne ne présente aucun potentiel pour le périmètre restreint.

6.10 Eaux usées

Deux options sont envisageables pour la valorisation thermique des eaux usées :

1. Récupération directement dans le collecteur public, avec l'installation d'un échangeur de chaleur directement dans ce collecteur : dans ce cas, différentes contraintes doivent être prises en compte :
 - D'une part, il faut un débit minimum des eaux usées de 15 l/s. En admettant une consommation d'environ 160 l/pers/jour pour un ménage moyen [16] ceci correspondrait à un bassin de population d'environ 6'500 personnes.
 - D'autre part, ces collecteurs doivent disposer d'un diamètre supérieur ou égal à 800 mm [17]⁸. Enfin, l'abaissement de température des eaux usées ne doit pas affecter le fonctionnement des STEP.
2. Récupération de chaleur au niveau du bâtiment lui-même, avec l'installation d'un stockage tampon doté d'un échangeur de chaleur (système type « FEKA® »). En première approximation, et pour un système de récupération bien isolé, on peut admettre une récupération de 60% de l'énergie contenue dans les eaux usées. Si l'ECS est produite à 55°C, un COP de 5 environ pour la pompe à chaleur valorisant les eaux usées du bâtiment est réaliste. Pour 1 kWh d'eaux usées rejetées par le bâtiment, on peut donc générer 0,8 kWh d'ECS. Un tel système n'est cependant rentable que pour des immeubles à partir de 60 habitants environ, donc lorsque la production d'eaux usées du bâtiment est importante [15]. Il n'est pas adapté pour des bâtiments administratifs.

Concernant la première option (échangeur sur collecteur), comme on l'a vu dans la section 5.5.2, les collecteurs d'eaux usées qui ceignent le périmètre ont un diamètre de 300 mm, leur débit n'est pas connu et en principe ne se prête de ce fait pas à la valorisation de l'énergie comprise dans les eaux usées.

La deuxième option (valorisation au niveau des bâtiments) concerne en particulier les bâtiments neufs majoritairement affectés aux logements. Les eaux usées peuvent être collectées et valorisées via le système FEKA® soit individuellement par bâtiment ou bloc de bâtiments, soit de façon centralisée pour tous les bâtiments neufs, impliquant aussi une PAC centralisée. Le deuxième cas est sans doute meilleur, garantissant un débit et donc une puissance suffisante. Le tableau ci-dessous (Tableau 9) estime le nombre d'habitants total des bâtiments neufs (selon l'hypothèse 1 logement = 100 m² = 2.5 habitants), le débit d'eaux usées et la puissance pouvant être générée au niveau de la PAC centrale ; cette puissance est mise en perspective avec les besoins de puissance selon les standards énergétiques. Le calcul de puissance se base sur les hypothèses, d'après une notice de la société FEKA [18], que la température moyenne des eaux-usées (relativement constante toute l'année) en sortie des bâtiments est de 23°C et qu'après échange de chaleur, la température du fluide ne doit pas tomber en dessous de 5°C. Il en résulte un ΔT potentiel de 16°C.

Nb habitants [hab]	Ressource - eaux usées		Puissance PAC [kW]
	Débit total [l/j]	Débit total [m ³ /s]	
994	159'018	0.001840	154

Tableau 8 : Puissance utile continue potentiellement fournie par les rejets des eaux-usées au condenseur de la PAC

La puissance donnée dans le tableau ci-dessus correspond à une puissance moyenne continue (selon le débit moyen journalier ramené en m³/s). Le système FEKA® permet justement de stocker l'énergie fournie par les eaux-usées pendant plusieurs heures (selon la dimension du stock) avant de la restituer à l'approvisionnement des besoins de chaleur. Ainsi, en fonction du volume de stockage, il en résulte une puissance effective pouvant couvrir jusqu'à près de 40 à 50 % des puissances de pointe de chaleur.

⁸ La taille du diamètre minimal sert, d'une part, à assurer un débit minimal requis pour des raisons économiques, et, d'autre part, à garantir un accès sécurisé aux ouvriers.

Conclusion

Le système FEKA®, en combinaison avec un système d'appoint (chaudière gaz, CADIOM) pour couvrir les besoins de pointe, peut tout à fait être considéré éligible pour approvisionner le quartier.

6.11 Synthèse des sources d'approvisionnement renouvelables localement pertinentes

Les principales ressources identifiées comme pertinentes pour l'approvisionnement du PLQ sont donc les suivantes :

- Géothermie: sondes géothermiques rechargées soit par les besoins de froid avec des compléments solaires, soit par les rejets des Cheneviers via CADIOM (stockage thermique inter-saisonnier). Etant donné la taille importante du périmètre, ce dernier offre suffisamment de surface pour couvrir intégralement les besoins de chaleur non seulement du quartier, mais aussi en partie ceux des quartiers voisins (Saint-Mathieu en particulier), surtout si le champ de sondes est étendu à partir du parc Borbaz dans le périmètre voisin.
- Solaire : thermique pour satisfaire une partie des besoins d'ECS voire même contribuer au chauffage, PV (besoins électriques des PAC notamment), hybride (production à la fois d'eau chaude et d'électricité).
- Air (pompes à chaleur air/eau): potentiel susceptible de couvrir l'ensemble des besoins de chaleur.
- Eaux-usées (PAC eau-eau) : grâce au système FEKA®, permet de couvrir une partie significative des besoins de puissance, nécessite un appoint au gaz ou CADIOM.
- Bois : le périmètre n'étant pas situé dans une zone à immission excessive en PM10 et NO₂, un système d'approvisionnement au bois (chaudière centralisée + réseau CAD) peut être envisagé ; cependant, ce système produisant de la chaleur à haute température est peu adéquat avec du chauffage à basse température.
- Rejets thermiques : possibilité de valoriser les rejets de la STEP d'Aire via le réseau nord-sud passant à proximité immédiate du périmètre.
- Eaux superficielles, nappe, biomasse (autres que le bois-énergie), énergie éolienne : pas de potentiel.

7 Scénarii d'approvisionnement

Cette section présente cinq scénarii d'approvisionnement énergétique pour le futur PLQ Saint-Mathieu. Pour chacune des cinq options, un schéma simplifié du système d'approvisionnement proposé, ainsi qu'une évaluation de la contribution respective des différentes ressources à la satisfaction des besoins du futur quartier, est donné.

Une synthèse comparative des scénarii est ensuite effectuée, à partir de critères quantitatifs (contribution des énergies renouvelables locales à la satisfaction des besoins; consommation absolue d'électricité importée, énergie primaire et émissions CO₂, chiffrage économique) et qualitatifs (principaux avantages et inconvénients de chaque scénario).

On rappellera également qu'étant donné le probable phasage de la construction des différents bâtiments, les scénarii doivent pouvoir être réalisés même si l'ensemble des bâtiments n'est pas construit en même temps.

7.1 Hypothèses relatives aux scénarii

Les besoins évalués dans la section 5.6 correspondent à de l'énergie utile. Or, selon la stratégie d'approvisionnement choisie, les systèmes de transformation auxquels il faut faire appel ont des rendements variables et induisent donc des besoins différents en énergie finale. Sur ce point, les hypothèses suivantes ont été utilisées comme base pour l'élaboration des scénarii qui suivent :

- PAC sol/eau : rendement exergetique de 60%, COP annuel moyen : 6.5 selon le concept de géothermie solaire (2SOL).
- PAC air/eau : rendement exergetique 42%, COP annuel moyen : 3,4 (basé sur [19]), températures de l'air selon statistiques publiées par l'OCSTAT sur la base des valeurs de l'Institut Suisse de Météorologie.
- Rendement chaudière gaz à condensation : 0.9.
- Rendement de distribution du chauffage à distance (CADIOM) : 0.95.
- Les surfaces des locaux techniques (chaudières, groupes froid) sont calculés selon les normes SIA 384/1 (chaleur) et 382/1 (froid).

7.2 Scénario 1 : Minimum légal

Ce scénario représente le scénario de base, ou minimum légal, que le maître d'ouvrage est tenu de respecter, soit :

1. Une enveloppe où les besoins de chauffage sont inférieurs ou égaux à 80% des besoins admissibles de chaleur pour le chauffage définis par la norme SIA 380/1,
2. La part d'énergie non renouvelable pour couvrir les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire est inférieure ou égale à 60% des besoins admissibles de chaleur définis par la norme SIA 380/1.
3. Une couverture des besoins d'ECS par au moins 30% d'énergie renouvelable (a priori énergie solaire).

Enfin, l'intégralité de l'électricité peut être livrée par le réseau électrique.

Les besoins de chauffage et d'ECS ont été calculés selon le standard HPE dans le Tableau 4.

Sachant que les besoins de chauffage et d'ECS selon la norme 380/1 s'élèvent à 2'654 MWh/an pour l'ensemble du PLQ, on peut satisfaire au plus 1'592 MWh/an de chaleur avec une chaudière à gaz ($1'592 = 0,6 * 2'654$). En admettant que l'ensemble du chauffage est assuré par une chaudière à gaz, il faudrait satisfaire encore 705 MWh/an d'ECS avec des panneaux solaires thermiques par exemple ($705 = 873 - (1'592 - 1'425)$). Ceci représente 81% de l'ECS, il est donc techniquement quasi impossible de couvrir le solde avec des panneaux solaires thermiques.

Il faut par conséquent soit améliorer l'enveloppe du bâtiment par rapport à ce qui est préconisé au point 1 ci-dessus, soit ajouter un agent renouvelable supplémentaire. Ainsi, en abaissant les besoins de chauffage d'environ 40% par rapport à la demande admissible de chauffage selon la norme SIA 380/1 (grâce à une meilleure isolation et une ventilation double-flux optimisée), les besoins de chauff-

page se situent à 1'068 MWh/an. Si on satisfaisait l'ensemble de ces 1'157 MWh/an avec une chaudière à gaz, il faudrait encore fournir 349 MWh/an d'ECS avec du solaire thermique, ce qui représente 40% des besoins d'ECS, techniquement tout à fait admissible. Dans tous les cas, une mise en conformité des besoins de chauffage avec le label Minergie® permet de satisfaire aux exigences de la loi sur l'énergie.

Ce scénario est montré dans la figure ci-dessous, qui intègre par ailleurs l'obligation légale de valoriser les rejets de chaleur issus du rafraîchissement pour l'eau chaude sanitaire (REn, art. 12J al. 9).

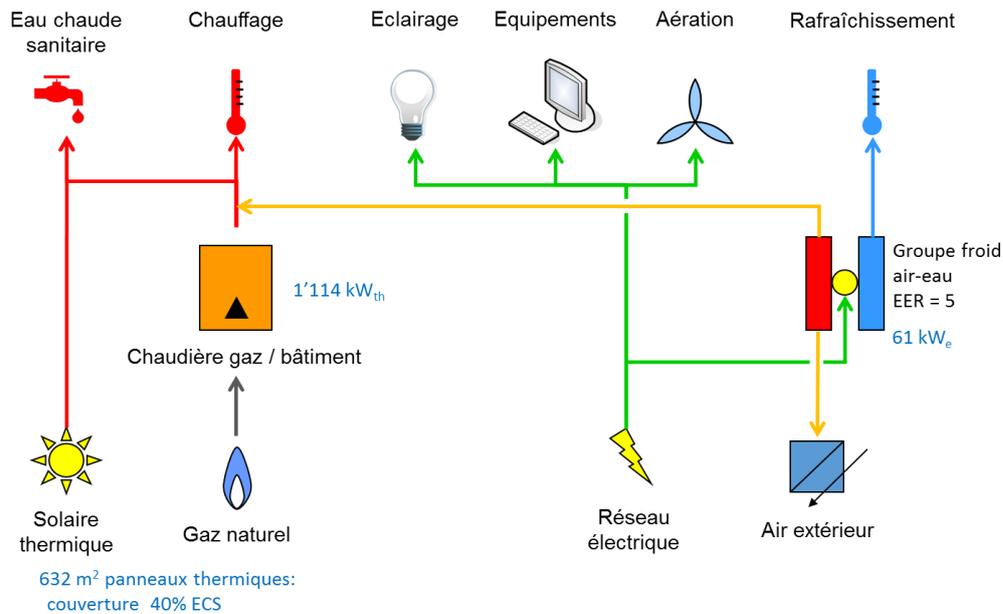


Figure 19 : Scénario « Minimum légal »

Selon ces contraintes, les besoins admissibles et les autres caractéristiques du scénario sont les suivants dans le cadre d'un scénario basé sur le gaz + solaire thermique, en distinguant le bâtiment A en grande partie dédiée aux activités et les 9 autres bâtiments.

Minimum légal (gaz)	HPE		
	Bât. E	Bât. A - C	TOTAL
Besoins thermiques et locaux techniques			
Puissance installation chaud [kW]	347	1'043	1'389
Surface totale chaufferie [m ²]	33	75	108
Energie de chaleur fournie par du gaz (chauffage et ECS) [MWh/an]	407	1'362	1'769
Energie de chauffage couverts par du renouvelable	0%	0%	0%
Energie d'ECS couverte par du renouvelable	40%	40%	40%
Puissance utile totale froid [kW]	173	134	307
Surface local production froid (groupe froid) [m ²]	37	29	67
Solaire thermique			
Energie requise pour part solaire ECS [MWh/an]	73	276	349
Surface de panneaux solaires thermiques [m ²]	132	500	632
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m ²]	293	1'110	1'403
Electricité et solaire PV			
Besoins d'électricité couverts par renouvelables (solaire PV)	0%	0%	0%
Electricité requise pour les groupes froid [MWh/an]	33	25	58
Electricité de réseau requise [MWh/an]	707	1'778	2'485

Tableau 9 : Principales caractéristiques du scénario « Minimum légal »

Conclusion

Le scénario basé sur le chauffage au gaz et le solaire thermique pour une partie de l'ECS est conforme avec la loi sur l'énergie dans le cas d'une demande de chauffage correspondant à 60% environ de la valeur limite ($Q_{h,li}$) de la SIA 380/1 (soit un niveau équivalent à THPE). Etant donné les nombreuses possibilités développées ci-dessous de recourir aux énergies renouvelables, cette solution ne doit pas être recommandée en priorité.

7.3 Scénario 2 : CADIOM

Ce scénario comprend un raccordement à CADIOM qui traverse le périmètre. Ce raccordement présente l'avantage, surtout pour des bâtiments ne nécessitant pas de production de froid, comme c'est le cas en grande partie sur le présent PLQ, de réduire considérablement la taille du local des machines. En effet les besoins de chaleur sont assurés par un simple échangeur de chaleur entre le CAD et le système de distribution de chaleur du bâtiment, échangeur qui prend nettement moins de place qu'une chaudière ou une pompe à chaleur.

De plus, des exemples de connexion à d'autres CAD, alimentés en totalité ou partie par des sources renouvelables (comme c'est le cas de CADIOM), ont montré que l'OCEN peut en principe accorder une dérogation concernant la pose de panneaux solaires thermiques en toiture pour faire 30% d'ECS. En effet, dans notre cas, l'apport solaire a lieu au moment (intersaison et été) où les rejets Cheneviers sont les plus disponibles, rendant donc la pose de panneaux solaires thermiques peu pertinente. Ainsi, afin de favoriser quand-même une production d'énergie locale, il est recommandé d'inclure dans ce scénario l'installation de panneaux solaires PV pour couvrir une partie des besoins électriques (proposition d'un taux de couverture de 20%%, ce qui correspond à une centrale solaire totalisant une puissance d'environ 480 kW_c).

Selon la « Directive relative aux projets de construction, de rénovation ou de transformation de bâtiment » p. 5 [20], un réseau de chaleur à distance valorisant des rejets comme CADIOM peut appliquer un taux d'énergie *non* renouvelable de 60% ($g = 0.6$). Cela veut dire qu'un approvisionnement à 100% avec CADIOM, tout en respectant les 80% de la valeur admissible de dépense de chauffage ($Q_{h,li}$), est compatible avec le minimum légal HPE. En revanche, dans le cas d'un label Minergie®, le taux de non renouvelable est de 100% ($g = 1$, étant donné l'interconnexion entre CADIOM et CAD-SIG au gaz depuis 2012) ; ainsi il sera difficile d'obtenir le label sans recourir à des sources renouvelables, ou bien à une isolation très importante de l'enveloppe.

Les besoins admissibles et les autres caractéristiques utiles sont les suivants dans le cadre d'un scénario basé sur le raccordement à CADIOM, en tenant compte des deux variantes HPE et THPE.

CADIOM	HPE			THPE		
	Bât. E	Bât. A - C	TOTAL	Bât. E	Bât. A - C	TOTAL
Besoins thermiques et locaux techniques						
Puissance installation chaud [kW]	347	1'043	1'389	291	962	1'254
Surface totale chaufferie (sous-station CADIOM) [m ²]	22	49	71	19	46	66
Energie de chaleur fournie par CADIOM [MWh/an]	552	1'866	2'418	462	1'581	1'298
Energie de chauffage couverts par du renouvelable	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Energie d'ECS couverte par du renouvelable	60%	60%	60%	60%	60%	60%
Puissance utile totale froid [kW]	173	134	307	173	134	173
Surface local production froid (groupe froid) [m ²]	37	29	67	69	0	69
Electricité et solaire PV						
Besoins d'électricité couverts par renouvelables (solaire PV)	20%	20%	20%	20%	20%	20%
Electricité requise pour les groupes froid [MWh/an]	33	25	58	33	25	58
Electricité générée par complément PV [MWh/an]	141	356	497	111	332	443
Electricité de réseau requise [MWh/an]	566	1'423	1'988	443	1'327	1'770
Surface de panneaux solaires PV [m ²]	807	2'030	2'838	632	1'894	2'527
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m ²]	1'153	2'900	4'054	903	2'706	3'610

Tableau 10 : Principales caractéristiques du scénario « CADIOM »

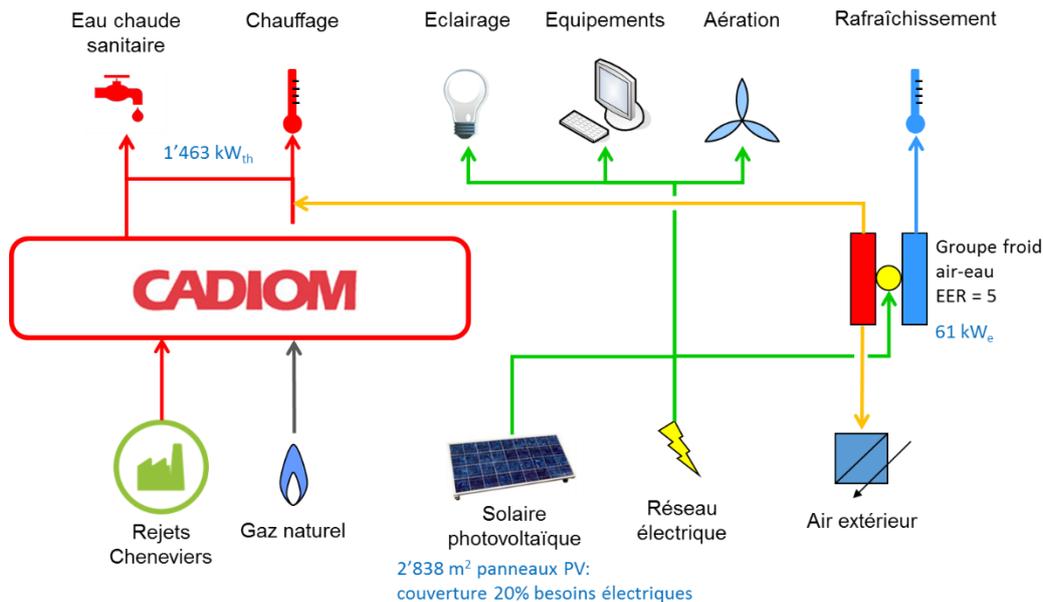


Figure 20 : Scénario « CADIOM »

Conclusion

Le projet développé selon le scénario basé le raccordement à CADIOM pour le chauffage et l'ECS est conforme avec la loi sur l'énergie dans le cas d'une demande de chauffage correspondant au maximum à 80% de la valeur limite (Q_h) de la SIA 380/1. Dans le cas d'une labellisation Minergie®, cette solution ne doit pas être recommandée, une part de non renouvelable de 100% étant considérée par le label. Ceci implique une contrainte trop importante sur l'isolation de l'enveloppe (Q_h se situant à environ 45% de la norme SIA 380/1).

Ce scénario est sans doute la plus facile à mettre en œuvre et s'impose d'emblée, étant donné que le réseau traverse déjà le périmètre et ne nécessite donc pas d'extension. De plus, en matière de partenariat, une **convention** lie déjà la société CADIOM SA aux copropriétaires de la parcelle principale et devrait pouvoir être étendue aux autres propriétaires des parcelles.

En revanche, les rejets de chaleur des Cheneviers étant largement mobilisés en hiver, toute nouvelle connexion à CADIOM implique d'augmenter la part de gaz dans le réseau pour maintenir le niveau de puissance nécessaire.

7.4 Scénario 3 : Air

Ce troisième scénario comprend des PAC air/eau pour satisfaire les besoins de chauffage et, en partie, d'ECS. Il faut en effet rappeler que, selon la directive relative aux projets de construction, de rénovation ou de transformation de bâtiments, il n'est pas possible de déroger à l'obligation de satisfaire 30% des besoins d'ECS avec des panneaux solaires thermiques, que si le COP de la PAC est supérieur à 3.9 (EN 14511) ou 3.7 (EN 255). Or de pareils COP sont difficiles à atteindre avec une PAC air/eau. Pratiquement, le respect de cette contrainte pose cependant trois problèmes :

1. Les panneaux solaires thermiques sont plus performants en été, soit lorsque la PAC air/eau pourrait également fonctionner avec son meilleur rendement pour fournir l'ECS.
2. Toujours en été, les habitants sont en général plus longtemps absents pour cause de vacances (or si la PAC peut être arrêtée, l'énergie fournie par les panneaux solaires thermiques, elle, ne peut être valorisée).

3. La régulation pour l'arbitrage entre l'énergie provenant des panneaux et l'énergie provenant de la PAC, pour générer l'ECS, complique l'installation, par rapport à une installation qui n'aurait qu'une PAC⁹.

Malgré ces contraintes, il n'est pas possible de déroger à l'obligation de mettre des panneaux solaires thermiques. Et ce, même si on met suffisamment de panneaux photovoltaïques pour alimenter la PAC en électricité, et satisfaire les 30% d'ECS avec des ressources locales et renouvelables.

Ce troisième scénario est présenté dans la figure ci-dessous :

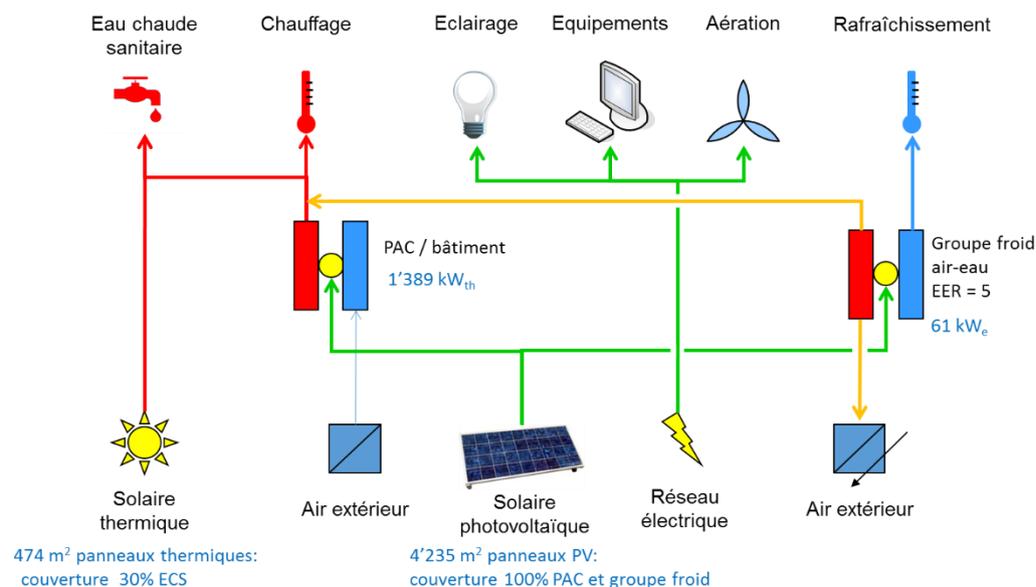


Figure 21 : Scénario « Air »

Les principales caractéristiques de ce scénario sont présentées dans le tableau ci-dessous, en distinguant le bâtiment A d'activités du reste des bâtiments ainsi que les standards HPE et THPE :

⁹ Il convient en effet de rappeler que des panneaux solaires thermiques ne peuvent pas fournir 100% de l'ECS, et que donc la PAC en générera forcément une partie.

PAC Air-eau	HPE			THPE		
	Bât. E	Bât. A - C	TOTAL	Bât. E	Bât. A - C	TOTAL
Besoins thermiques et locaux techniques						
Puissance installation chaud [kW]	347	1 043	1 389	291	962	1 254
Surface totale chaufferie [m ²]	33	75	108	29	70	99
Energie de chauffage couverte par les PAC	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Energie d'ECS couverte par le solaire	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Puissance utile totale froid [kW]	173	134	307	173	0	173
Surface local production froid (groupe froid) [m ²]	37	29	67	69	0	69
Solaire thermique						
Energie requise pour part solaire ECS [MWh/an]	55	207	262	55	207	262
Surface de panneaux solaires thermiques [m ²]	99	375	474	99	375	474
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m ²]	220	833	1 053	220	833	1 053
Electricité et solaire PV						
Electricité requise pour PAC [MWh/an]	109	357	466	87	286	373
Electricité requise pour les groupes froid [MWh/an]	33	25	58	33	25	58
Electricité générée par complément PV (production chaleur et froid) (option) [MWh/an]	141	382	523	119	311	430
Electricité de réseau requise si pas de PV [MWh/an]	816	2 135	2 951	640	1 945	2 586
Electricité de réseau requise si PV [MWh/an]	675	1 753	2 428	521	1 634	2 155
Surface de panneaux solaires PV [m ²]	808	2 181	2 989	680	1 777	2 457
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m ²]	1 154	3 115	4 269	972	2 539	3 510

Tableau 11 : Principales caractéristiques du scénario « Air »

Conclusion

La solution PAC air-eau à l'échelle de chaque bâtiment est une bonne alternative renouvelable dans le cas où des sondes ne seraient pas installées. Cependant, la performance (COP) est peu élevée, et induit des contraintes en matière de bruit et d'occupation en toiture (PAC et local technique).

7.5 Scénario 4 : Boucle d'énergie avec stockage saisonnier

Ce scénario propose un système basé sur le stockage géothermique saisonnier (via un champ de sondes), l'énergie solaire et la mutualisation de l'approvisionnement des bâtiments via une boucle d'énergie. Le concept 2SOL® de géothermie solaire et le principe de la boucle d'énergie sont présentés en premier ci-dessous, avant d'exposer leur application au périmètre Saint-Mathieu.

7.5.1 Boucle d'énergie

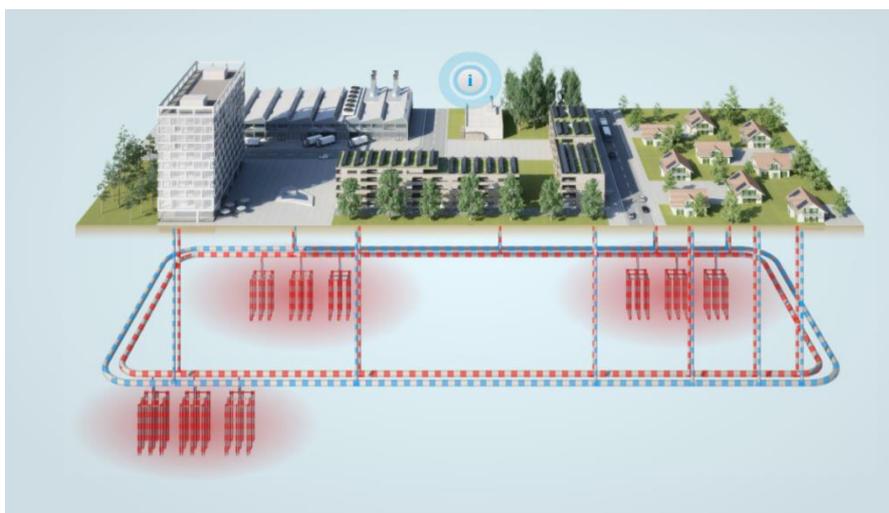


Figure 22 : Principe de la boucle d'énergie dans un quartier mixte [21]

Contrairement aux réseaux de chauffage traditionnels à haute température qui ne font que transporter de la chaleur produite conventionnellement et la distribuer, le réseau Anergie permet les échanges thermiques à basse température entre les bâtiments eux-mêmes. Il s'agit, par des techniques de pointe complexes basées sur des pompes à chaleur et des tubes hydrauliques enfouis dans le sol entre lesquels une différence de température constante est maintenue, de mettre en œuvre le principe simple visant à capter ou apporter des calories d'un bâtiment à l'autre selon les besoins. De plus, ce réseau repose sur un système de stockage géothermique inter-saisonnier conçu pour emmagasiner l'énergie plus abondante de la période estivale afin de la restituer en hiver, au moment où la demande est importante.

Le recours prioritaire à l'énergie renouvelable locale, le stockage et la valorisation du surplus thermique estival pour les périodes froides et l'efficacité énergétique procurée par des pompes décentralisées extrêmement économes en électricité, font des réseaux Anergie une technologie d'avenir incontournable. Une technologie déjà opérationnelle, mise en œuvre par Amstein+Walthert à Zurich notamment (campus de l'École Polytechnique, aéroport, quartier Richti, quartier de logements FGZ) et qui bénéficiera incessamment à de nombreux sites en cours d'étude ou de réalisation.

7.5.2 Géothermie solaire (concept 2SOL®)

Le principe de 2SOL [22] consiste à collecter la chaleur solaire durant l'été, de la stocker puis de la consommer en hiver pour se chauffer. L'énergie est captée à l'aide de panneaux solaires hybrides, pouvant produire à la fois de l'eau chaude et de l'électricité. Une sonde géothermique verticale, implantée entre 300 à 500 mètres de profondeur et connectée directement aux capteurs hybrides, emmagasine l'énergie solaire dans le sol. Grâce à la capacité thermique du sol, il est possible de stocker jusqu'à 50 000 kWh d'énergie dans une sonde de 500 m. En pratique, la terre qui se trouve dans un rayon de 3 mètres autour de la sonde va être chauffée à plus 5 °K. Ce volume accueille l'énergie en été et la libère grâce à une pompe à chaleur en hiver. Ce concept est encore très nouveau, mais a déjà été implémenté sur plusieurs bâtiments de logement individuel et collectif en Suisse Allemande.

Cette approche est donc particulièrement adaptée dans le cas de l'utilisation de sondes géothermiques pour des bâtiments logements dont l'absence de besoins de froid actif (via des groupes froids) ne permet pas la recharge estivale du terrain. La partie solaire thermique des panneaux hybrides permet ainsi de combler cette lacune.

Les sondes géothermiques alimentent deux pompes à chaleur : l'une fournissant les besoins de chauffage, l'autre ceux de l'eau chaude sanitaire (avec comme source froide le retour du chauffage). Les premières expériences d'application dans différents bâtiments en Suisse démontrent des COP bien plus élevés que dans le cas de sondes géothermiques classiques (COP moyen d'environ 6.5 à 7).

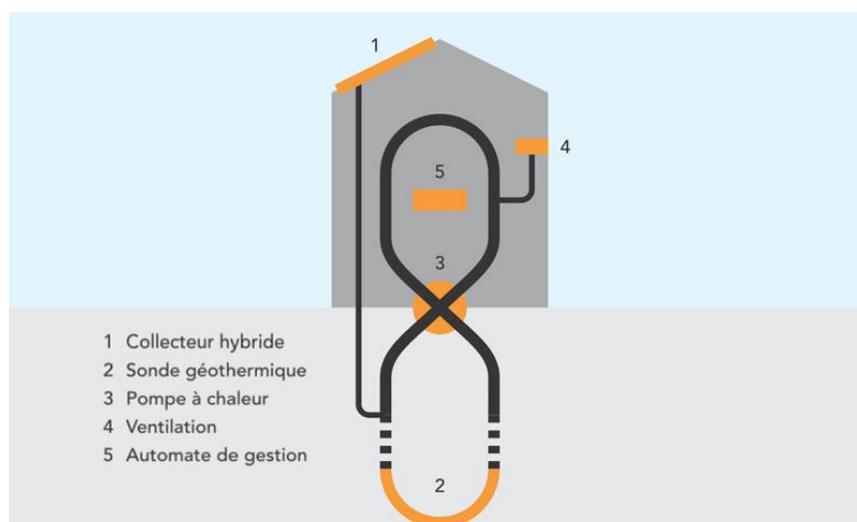


Figure 23 : Schéma du concept 2SOL [22]

7.5.3 Application de la géothermie solaire et de la boucle d'énergie à Saint-Mathieu

Le concept proposé consiste à implémenter un système du type 2SOL à l'échelle des bâtiments du quartier par l'intermédiaire de la boucle d'énergie.

La boucle d'énergie se justifie par le fait que les sondes seront regroupées dans des secteurs bien définis du quartier à une distance relative des différents bâtiments. La boucle permettra ainsi de mutualiser et distribuer aux bâtiments l'énergie extraite des sondes ainsi que de centraliser l'injection dans les sondes de l'énergie solaire thermique.

Le système dans sa globalité est présenté à la Figure 24 et de façon plus technique à la Figure 25.

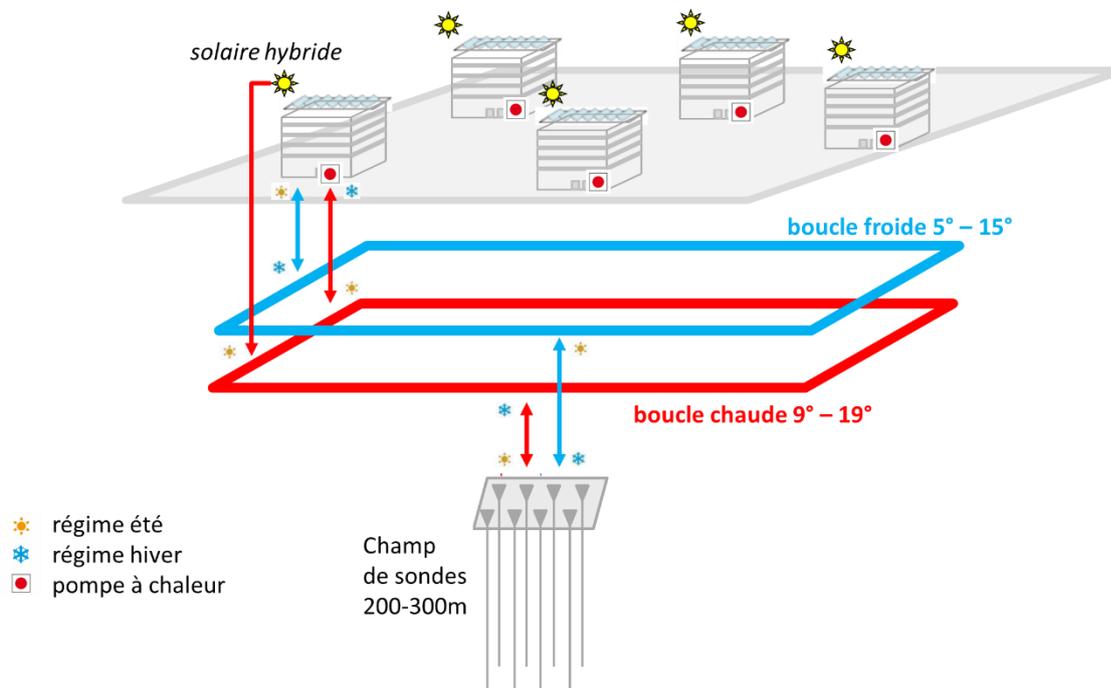


Figure 24 : Schéma de principe de la boucle d'énergie + géothermie solaire

Le système fonctionne différemment selon les régimes estival et hivernal (l'entre-saison impliquant un fonctionnement simultané des deux régimes). L'équilibre de la boucle implique le maintien d'une différence de température d'environ 4°C.

En été, le champ de sondes est rechargé, via la boucle 'chaude' (~19°C), d'une part par l'apport solaire thermique des panneaux solaires hybrides en toiture des différents bâtiments, d'autre part par le géocooling aussi bien des quelques locaux d'activités (commerces et bureaux) que des logements (via les planchers radiants). La boucle 'froide' (~15°C) alimentée tant par les sondes que par les retours des PAC ECS, permet d'alimenter les besoins de froid des locaux d'activités et d'assurer également un confort thermique aux surfaces de logement. En hiver, la boucle chaude (~9°C) alimentée par les sondes permet de satisfaire les besoins de chauffage et d'ECS via les PAC décentralisées par bâtiment. Les retours – froids des PAC sont réinjectés dans les sondes via la boucle 'froide' (~5°C).

D'autres projets de quartier voisin, notamment celui du Grouet, situés dans le périmètre de Bernex-Est pourraient également mettre en œuvre une telle boucle d'énergie. Les différentes boucles pourraient être interconnectées permettant d'optimiser la mutualisation des énergies entre les périmètres ainsi que l'équilibre thermique des boucles. Le champ de sondes pourraient également être densifié sur le périmètre du Grouet, voire même être étendu depuis le parc de Borbaz à l'extérieur du périmètre (nécessitant un déclassement de la parcelle adjacente actuellement agricole). Cette extension éventuelle permettrait de compenser le manque d'espace disponible pour des sondes à Saint-Mathieu et de combler cette lacune via l'interconnexion des boucles. Enfin, la boucle pourrait également être

étendue aux **bâtiments existants** limitrophes, permettant à ceux-ci d'augmenter sensiblement leur part de renouvelable.

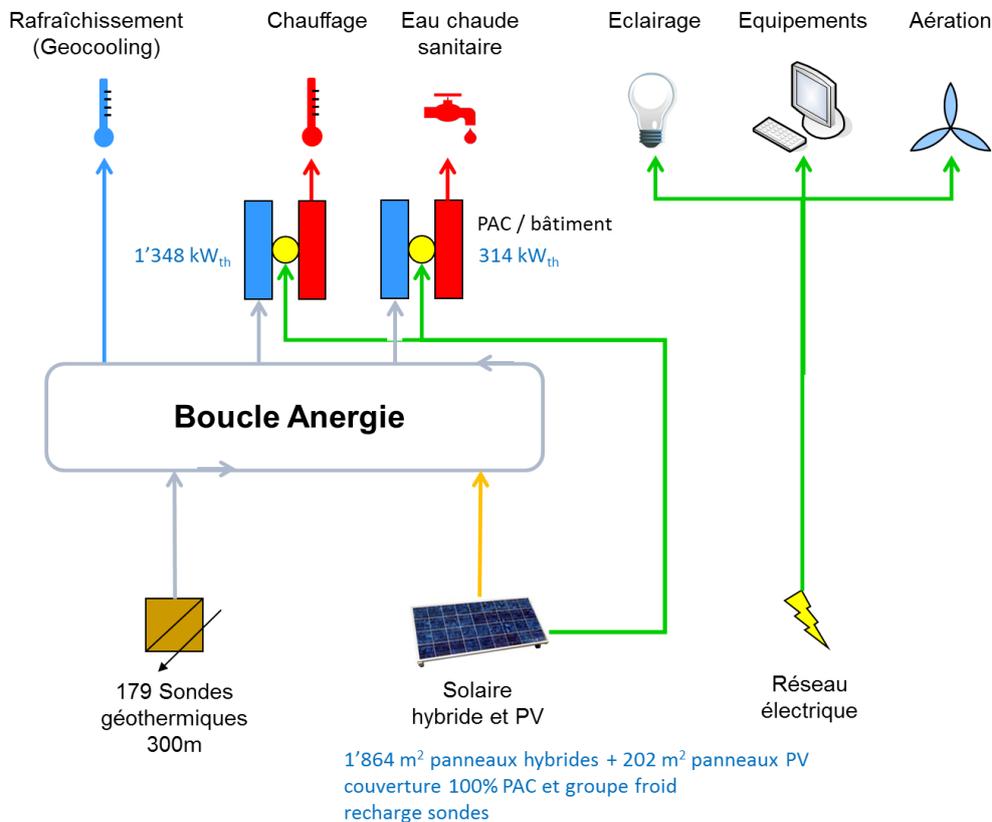


Figure 25 : Concept détaillé boucle d'énergie + géothermie solaire

Il peut être envisagée d'abaisser le nombre de sondes géothermiques à travers la **valorisation énergétique des géostructures**, en particulier celles liées au parking souterrain (le projet prévoit environ 12'000 m² au total). En effet, le parking souterrain constitue un stock de chaleur important en contact direct avec le terrain. Il peut être ainsi envisagé d'intégrer des échangeurs de chaleur dans les parois contre-terrain, ainsi que dans le radier. La surface pouvant être activée varie fortement en fonction du facteur de forme (Surface enveloppe / surface au sol). Dans le cas de notre projet une surface totale d'échange de 9'200 m² (12'000 m² radier + 1'100 m² parois selon une hauteur de 2.5m par étage et un pourcentage d'activation de 70%) peut être évaluée approximativement. En valorisant environ 30 W/m² [28], on peut extraire une puissance totale de 280 kW et obtenir ainsi une puissance de 350 kW au condenseur des PACs. Cette énergie (puissance) peut être injectée dans la boucle d'énergie ou servir à charger le stockage de glace (scénario ICESOL). Cette piste n'a pas été développé dans ce rapport mais devra être étudiée afin de connaître son véritable potentiel. Il est envisageable que cette solution puisse réduire le nombre de sondes nécessaires pour le stockage.

Les principales caractéristiques de ce scénario (dans le cas d'une couverture maximale des besoins par la géothermie) sont présentées dans le tableau ci-dessous, en estimant un COP annuel de 6.5, selon l'approche de géothermie solaire :

Géothermie solaire + boucle anergie	HPE			THPE		
	Bât. E	Bât. A - C	TOTAL	Bât. E	Bât. A - C	TOTAL
Besoins thermiques et locaux techniques						
Puissance totale PAC chauffage [kW]	336	1'011	1'348	283	933	1'216
Puissance totale PAC ECS [kW]	64	250	314	64	250	314
Volume ballon tampon ECS [l]	1'400	5'400	6'800	1'400	5'400	6'800
Surface totale chaufferie [m ²]	36	86	122	33	82	115
Energie de chauffage couverte par renouvelables (PAC)	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Energie d'ECS couverte par renouvelables (PAC + solaire)	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Puissance utile totale froid (activités et logements) [kW]	245	343	588	245	343	588
Besoins froid couvert par geocooling	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Surface local production froid (échangeur) [m ²]	3	4	7	3	4	7
Energie solaire (panneaux hybrides)						
Energie thermique fournie par panneaux hybrides (recharge) [MWh/an]	210	788	998	204	769	973
Puissance thermique max. fournie par panneaux hybrides (recharge) [kW]	279	1'046	1'325	271	1'020	1'291
Electricité fournie par les panneaux hybrides [MWh/an]	65	245	310	63	238	301
Surface des panneaux solaires hybrides [m ²]	379	1'421	1'800	369	1'386	1'755
Surface de toiture brute requise pour les panneaux hybrides [m ²]	542	2'032	2'574	542	2'032	2'574
Sondes géothermiques						
Nombre de sondes	36	109	145	31	101	132
Surface du champ de sondes [m ²]	2'304	6'976	9'280	1'984	6'464	8'448
Taux de recharge du terrain	64%	75%	N.A	62%	73%	N.A
Electricité et complément solaire PV						
Electricité requise pour PAC [MWh/an]	81	273	353	68	231	299
Electricité requise pour les groupes froid [MWh/an]	0	0	0	0	0	0
Taux de couverture des besoins électriques PAC par solaire hybride	81%	90%	88%	93%	103%	101%
Electricité générée par complément PV (production chaleur et froid) (option) [MWh/an]	16	28	43	5	0	5
Electricité de réseau requise si pas de PV [MWh/an]	690	28	718	526	1'634	2'160
Electricité de réseau requise si PV [MWh/an]	675	0	675	521	1'634	2'155
Surface de panneaux solaires PV [m ²]	90	158	248	26	0	26
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m ²]	128	226	354	37	0	37

Tableau 12 : Principales caractéristiques du scénario boucle d'anergie + géothermie solaire

Avantages

- Concept très innovant basé sur les principes de boucle d'anergie et de géothermie solaire (2SOL), donnant une image favorable au projet de quartier.
- Mutualisation de l'approvisionnement de l'énergie entre les bâtiments qui ne sont pas desservis de façon équitable par les sondes.
- Solution offrant une haute efficacité (COP élevés), basée sur les ressources renouvelables locales.
- Solution flexible permettant différents types d'apports thermiques (rejets issus du froid, solaire, géothermie) et pouvant être progressivement mutualisée avec d'autres quartiers.

Inconvénients

- Complexité relative du système à mettre en œuvre.
- Dimension très importante du champ de sondes et investissement important (sondes + conduites + PAC individuelles), contraintes d'installation des sondes en sous-sol des bâtiments.
- Retours d'expériences encore peu nombreux d'un tel dispositif innovant.

Conclusion

La combinaison des concepts de géothermie solaire et de boucle d'anergie est très prometteuse et innovante, tout en permettant de satisfaire les besoins énergétiques de façon rationnelle et avec un taux de renouvelable très important. De plus, la boucle d'anergie offre un bon compromis entre quartier autosuffisant, non dépendant du développement des quartiers voisins et quartier interconnecté à

termes à son voisinage à l'échelle de Bernex-Est (l'interconnexion entre les boucles d'énergie étant tout à fait envisageable), en accord avec les orientations stratégiques définies aux niveaux supérieurs. Cette solution devrait être mise en avant à titre pilote et soutenue par le cadre institutionnel genevois.

7.6 Scénario 5 : Concept « Glace solaire» (ICESOL®)

Le concept « Glace solaire » comprend la combinaison d'une pompe à chaleur eau/eau avec des panneaux solaires (capteurs solaires sélectifs sans vitrage) et un stockage de glace, selon un système développé par la société Energie Solaire SA en Valais. Même si ce concept est encore relativement nouveau, plusieurs exemples concrets existent en Suisse. La figure ci-dessous montre le schéma de principe d'une telle installation :

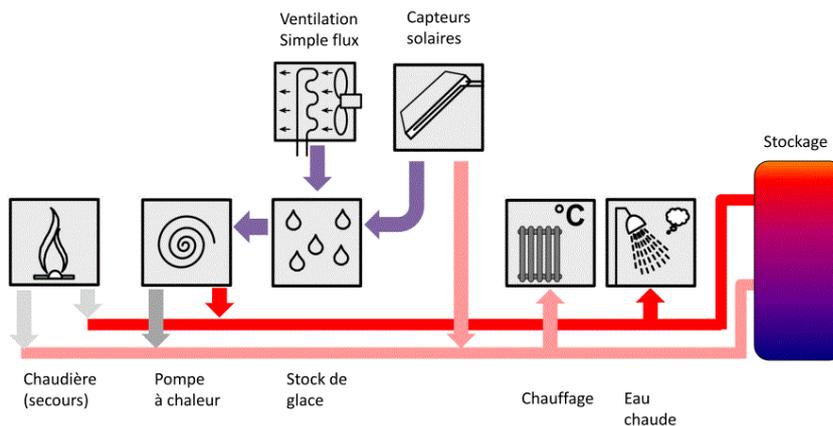


Figure 26 : Schéma de principe d'une installation avec panneaux solaires, PAC eau/eau et stockage de glace [25]

Selon un rapport d'étude [23], des COP annuels de 4,7 sont atteignables pour des constructions de haute performance énergétique dédiées au logement, et le système est rentable en 12 ans. A titre d'exemple, ce système a été mis en place pour un ensemble de deux immeubles de logements à Genève, appelés La Cigale (Figure 27). Ces immeubles datent de 1952 et ont été rénovés selon le standard Minergie-P®.



Figure 27 : Image de gauche immeubles de la Cigale avec toitures solaires, image de droite capteurs solaires sélectifs non vitrés sur toiture plate (MFW «Pauwmolen» en Pays bas: 160 m² capteur AS pour régénération & ECS) [24]

Une fiche technique de pré-dimensionnement a été demandée à la société Energie Solaire SA qui promeut ce type de produit. Ci-dessous sont données les principales caractéristiques pour la totalité des bâtiments selon le standard HPE. Les informations détaillées sont fournies en Annexe 1.

ICESOL + boucle anergie	Bât. A à E HPE	mix - production chaleur %
Besoins thermiques et locaux techniques		
Puissance totale PAC chaleur [kW]	1 474	
Surface totale chaufferies [m ²]	260	
Volume du stock à changement de phase (eau/glace) [m ³]	261	
Volume d'accumulation total (ballons) [m ³]	88	
Besoin non couvert par système ICESOL, à couvrir par CADIOM [MWh/an]	117	5%
COP du système ICESOL seul (appoint non compris) [-]	4,8	
COP annuel global du système complet [-]	4,06	
Puissance utile totale froid [kW]	307	
Surface local production froid (groupe froid) [m ²]	67	
Energie solaire (panneaux thermiques)		
Apport solaire directe (accumulateur de chauff.) [MWh/an]	432	19%
Apport solaire indirecte (circuit évaporateur PAC, stock glace) [MWh/an]	1 387	60%
Capteurs non vitrés type AS, inclinaison 15° sud-ouest, surface brute [m ²]	3 500	
Surface de toiture brute requise pour les capteurs non vitrés [m ²]	5 250	
Electricité et complément solaire PV		
Electricité requise pour PAC [MWh/an]	390	17%
Electricité requise pour les groupes froid [MWh/an]	33	
Electricité générée par complément PV (production chaleur et froid) (option) [MWh/an]	423	
Electricité de réseau requise si pas de PV [MWh/an]	2 840	
Electricité de réseau requise si PV [MWh/an]	2 418	
Surface de panneaux solaires PV [m ²]	2 414	
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m ²]	3 449	

Tableau 13 : Principales caractéristiques du scénario boucle ICESOL sans récupération de chaleur sur l'air extrait [26]

Cette première analyse faite par Energie Solaire montre que les surfaces utiles en toiture ne seraient pas tout à fait suffisantes (4'560 m² selon estimation) en l'état, pour poser assez de panneaux solaires thermiques. Il n'y aurait donc pas de surfaces restantes disponibles pour combler les besoins électriques des PAC par des panneaux solaires PV. Il y a cependant la possibilité d'intégrer des surfaces de captage en façades, les capteurs non vitrés constituant le matériel de bardage.

Afin d'abaisser le nombre de panneaux solaires thermiques sur les toitures, des solutions, autres que l'installation de panneaux en façades, peuvent être proposées pour substituer une partie de l'apport solaire thermique par d'autres apports :

- Récupération de chaleur sur l'air-extrait, ventilation simple flux.
- Récupération de la chaleur sur les eaux usées en sortie des immeubles.
- Augmentation de la part de CADIOM.

Le concept global ICESOL est résumé dans la figure ci-dessous :

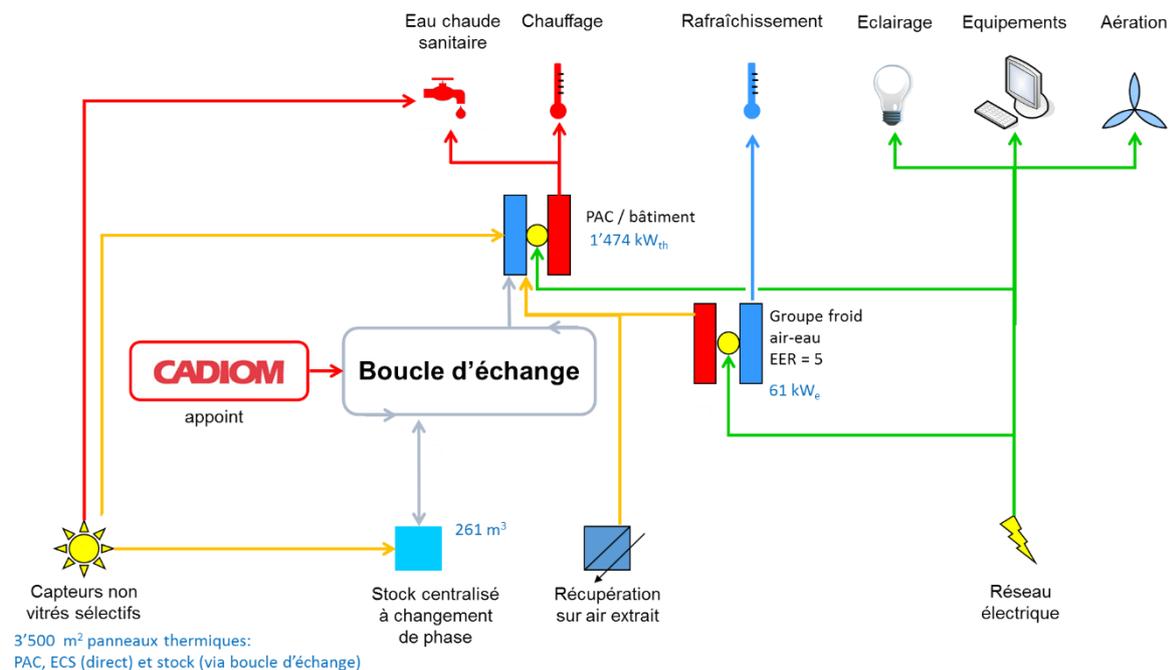


Figure 28 : Concept ICESOL

Au niveau de l'implémentation, nous recommandons d'une part la construction de locaux individuels de chaufferie par bâtiment, contenant chacun la pompe à chaleur, le ballon d'accumulation, l'éventuelle chaudière d'appoint et le groupe froid (pour le bâtiment A d'activités) ; d'autre part, la construction d'un **stock centralisé à changement de phase** (287 m³) dans une centrale technique en sous-sol pour tout le quartier. L'avantage du stock centralisé est de permettre une économie d'échelle, d'éviter de prévoir un espace de stockage important par bâtiment et de mutualiser les énergies entre les bâtiments (en particulier lorsque l'installation de panneaux solaires est limitée sur un bâtiment ou autre).

Cette mutualisation de l'approvisionnement à travers le stock centralisé à changement de phase se fait par l'intermédiaire d'une **boucle d'échange** reliant les bâtiments entre eux. Le niveau de température étant proche de zéro lors du changement de phase dans le stock, de l'eau glycolée devra circuler dans la boucle¹⁰. Un échangeur entre CADIOM et la boucle d'échange (cf. Figure 32) permet d'apporter l'appoint nécessaire pour faire fondre la glace du stock durant les jours les plus froids et permettre aux PAC de continuer à fonctionner.

Le fonctionnement d'un tel système durant les mois chauffés est le suivant : lors de jours ensoleillés, les panneaux solaires d'un immeuble alimentent directement le bâtiment (si la température le permet). Lorsque la température n'est plus suffisante, la chaleur des panneaux solaires sert d'évaporateur pour la PAC. Cette dernière fournit sa chaleur (coté condenseur) en vue de satisfaire les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire. La part d'énergie solaire non valorisée par la PAC vient alimenter le stock centralisé à changement de phase, qui permet de mutualiser l'énergie accumulée avec les autres bâtiments, notamment la nuit ou lors de journées non ensoleillées. L'Annexe 2 contient un descriptif technique détaillé du fonctionnement du système ICESOL avec une boucle d'échange.

¹⁰ Différences entre boucle d'anergie et boucle d'échange : dans la boucle d'anergie la circulation des fluides se fait d'elle-même sans pompe de circulation à travers les prises et rejets, ce qui implique des débits faibles et donc des diamètres importants (~400 mm) ; la température doit être au minimum de 5° pour éviter de glycoler l'eau qui serait peu compatible à avec des diamètres larges. La boucle d'échange implique une circulation active du fluide via une pompe, ce qui permet des diamètres plus petits et d'utiliser de l'eau glycolée compatible avec le stock à changement de phase.

Avantage

Ce scénario offre un système alternatif à la géothermie solaire et à l'installation d'un champ de sondes de grande ampleur pour valoriser l'énergie solaire et pour mutualiser l'approvisionnement entre bâtiments via le stock centralisé à changement de phase et une boucle d'échange.

Inconvénient

Investissement initial relativement élevé (mais moins cher que des champs de sondes), COP global moins bon que pour le système de géothermie solaire, système relativement complexe.

Conclusion

La solution ICESOL combinée à une boucle d'échange est également très innovante et constitue la meilleure alternative renouvelable possible à la géothermie solaire.

7.7 Autres scénarii

Nous avons vu ci-dessus que certains scénarii peuvent proposer des variations, permettant notamment d'abaisser le nombre de sondes, de panneaux solaires ou bien encore du volume de stockage à changement de phase (via les géostructures énergétiques, CADIOM, la valorisation de l'air extrait, des eaux-usées).

D'autres scénarii, non détaillés dans ce chapitre, pourraient également être considérés et faire l'objet d'analyses complémentaires, en particulier :

- Chauffage au bois décentralisé ou centralisé avec réseau CAD ;
- Système FEKA® (eaux-usées) avec appoint au gaz ou CADIOM ;
- Réseau de chaleur valorisant les rejets de la STEP d'Aire.

8 Synthèse comparative des scénarii

8.1 Comparaison quantitative des scénarii : bilan environnemental

Dans cette section, les différents scénarii sont comparés d'un point de vue quantitatif en fonction de la contribution des énergies renouvelables locales à la satisfaction des besoins totaux (thermiques et électriques) du périmètre, de la quantité d'électricité ou de gaz qu'il faut importer du réseau, des émissions de CO₂, ainsi que de l'énergie primaire totale. Précisons que pour l'électricité, le tableau indique la quantité à importer pour satisfaire aussi bien les besoins liés aux équipements électriques, que les besoins liés aux PAC.

Les différents facteurs de conversion (énergie primaire, facteur primaire renouvelable, facteur émissions CO₂) sont tirés du tableur 'Données des écobilans dans la construction' de KBOB¹¹ [27]. Ces facteurs tiennent compte du mix énergétique global CADIOM et CAD-SIG, les deux CAD étant interconnectés et devant donc être considérés comme un seul CAD (répartition 50% gaz, 50% déchets selon SIG [31]).

Les tableaux et graphiques ci-dessous donnent cette vue comparative dans le cas de figure sans installation de panneaux solaires PV complémentaires pour couvrir intégralement besoins des PAC dans le cas des scénarii basés sur les PAC (les panneaux hybrides dans le cas de la géothermie solaire couvrant par ailleurs une très grande partie des besoins électriques des PAC).

¹¹ A noter que dans le cas du solaire thermique, seule la part de l'énergie finale utilisée directement pour le chauffage ou l'ECS est considérée dans le bilan. La part d'énergie solaire utilisée pour recharger les sondes (scénario Géothermie solaire) ou utilisée comme source des PAC (scénario IceSOL), directement ou via le stock à changement de phase, est considérée à travers l'énergie finale électrique nécessaire pour le fonctionnement des PAC.

Scénarii	Energie primaire [MWh/an]	Part renouvelable (-)	Emmissions [ton-CO ₂ /an]
Minimum légal	5 519	60%	533
CADIOM	5 172	61%	523
Air	4 119	91%	151
Géothermie solaire	3 615	90%	148
ICESOL	4 293	88%	168

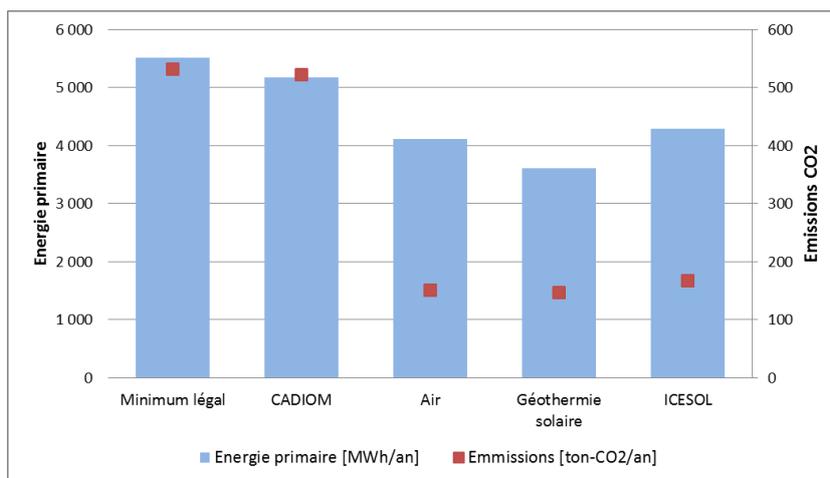


Figure 29 : Comparaison quantitative entre les scénarii

Sans surprise, d'un point de vue environnemental, le scénario « Minimum légal » est le plus grand consommateur en énergie primaire et émetteur de gaz à effet de serre. Le scénario basé sur le réseau désormais interconnecté CADIOM – CAD-SIG est un peu meilleur du fait de la part liée à l'incinération des déchets (50%). La qualité environnementale de ce réseau devrait toutefois s'améliorer à terme à travers l'injection progressive dans le CAD d'autres agents énergétiques renouvelables (biogaz, projet en cours de valoriser les rejets de la STEP d'Aire, etc.).

Les trois autres scénarii basés sur les énergies renouvelables émettent nettement moins de CO₂. Le scénario « Géothermie solaire » est un peu meilleur du fait qu'il dépense moins d'électricité pour les PAC (meilleur COP que pour « Air ») n'importe pas de gaz, à priori. En matière d'émissions CO₂ les scénarii renouvelables (« Air », « Géothermie solaire », « ICESOL ») sont bien meilleurs que les deux autres scénarii, ne dépendant qu'essentiellement de l'électricité et du solaire thermique pour leur approvisionnement. Ces deux sources d'énergie expliquent par ailleurs la part renouvelable importante proche de 100% pour les scénarii « Géothermie solaire » et « Air », cette part étant moindre pour « ICESOL » qui dépend plus de l'énergie solaire thermique (moins renouvelable que le mix électrique genevois) et importe un peu de gaz ou de chaleur issue de CADIOM.

8.2 Comparaison qualitative des scénarii

Une comparaison qualitative est également utile. Le tableau suivant récapitule ainsi les principaux avantages et inconvénients de chaque scénario. Il donne aussi, en prenant comme point de comparaison le scénario de base, les tendances au niveau de l'effort financier à fournir selon les variantes dans l'investissement de départ des infrastructures énergétiques et des coûts annuels (capital, énergies, maintenance), d'après l'expérience du bureau A+W.

Scénario	Avantages	Inconvénients	Investissement	Coûts annuels
« Minimum légal »	Facilité de mise en œuvre.	Recours aux énergies fossiles impliquant des émissions de CO ₂ , et une plus grande incertitude liée aux coûts des énergies, nécessite une enveloppe thermique très performante.	0	0
« CADIOM »	Facilité de mise en œuvre, peu coûteux, permet une dérogation au solaire thermique. Dessert déjà le périmètre. Convention existante, à étendre avec les propriétaires.	Part renouvelable relativement faible (40%) et va à l'encontre de la volonté politique de préserver CADIOM pour les bâtiments existants. Très peu compatible avec le label Minergie®.	+	+
« Air »	Facilité de mise en œuvre et peu coûteux.	Contrainte liée à l'obligation de mettre des panneaux solaires thermiques, performance (COP) assez faible, occupation en toiture et bruit.	+	+
« Géothermie solaire » + boucle énergie	Solution très innovante, garantit la recharge du terrain, mutualisation des ressources énergétiques dans le quartier, compatible avec les orientations énergétiques définies au niveau du PDQ (réseau interquartier, stockage, des rejets des Cheneviers), adapté à un phasage différencié des travaux.	Système assez complexe et coûteux, forte emprise des sondes en sous-sol.	- - -	+ + +
ICESOL	Solution très innovante, mutualisation des ressources énergétiques dans le quartier, compatible avec un futur réseau interquartier, bonne alternative aux sondes.	Système complexe, coûteux, très forte emprise des panneaux solaires en toiture, peu adapté à un phasage différencié des travaux.	- -	-

Tableau 14 : Critères de comparaison qualitatifs

Cette comparaison quantitative et qualitative des scénarios montre d'emblée que le scénario de base (gaz + solaire thermique) est à écarter, du fait des mauvaises performances environnementales, d'une sur-isolation de l'enveloppe pour rester conforme à la loi (HPE) et d'un investissement important en conséquence, en plus des coûts annuels élevés pour l'achat de l'énergie (gaz).

Les scénarios « Air » et « CADIOM » sont les plus faciles à mettre en œuvre, peu coûteux et offrent des performances environnementales meilleures que le minimum légal (surtout « Air »). De plus, le périmètre du futur quartier étant déjà desservi par CADIOM, et une convention de servitude garantissant un droit de raccordement aux propriétaires, le scénario CADIOM s'impose donc d'emblée.

Les deux scénarii basés sur l'échange d'énergie via une boucle de quartier (Géothermie solaire et ICESOL) offrent une alternative possible à CADIOM avec une plus-value en matière d'innovation et s'inscrivent avec les orientations énergétiques définies à au niveau supérieur, notamment au niveau du PDQ (mutualisation entre quartiers, stockage saisonnier, approvisionnement à travers un réseau basse température et taux élevé de renouvelable). Ces deux variantes sont certes plus complexes et coûteuses au niveau de l'investissement de départ, cependant, les coûts annuels sont moindres, en particulier dans le cas de la géothermie solaire, ce qui permet un temps de retour sur investissement de 10 à 15 ans, par rapport au scénario de base. Ainsi, la mise en œuvre de ces variantes passe par le recours à des programmes de soutien au niveau cantonal (ECO21) ou fédéral (Fondation Klick), en tant que projet pilote novateur, ou bien par du « contracting » auprès d'un investisseur externe.

9 Mesures, infrastructures et équipements à préciser

On synthétise les réservations à prévoir pour les niveaux de planification inférieurs, selon les différents scénarii. Les données d'installations techniques pour les bâtiments – puissances, surfaces de locaux de chaufferie, de production de froid, de toiture pour les panneaux solaires, volume de ballons ou stock – sont récapitulées ci-dessous. Ces données font la distinction entre le bâtiment A (activités) et les autres bâtiments de logement (B à J). Dans une première approche de dimensionnement, elles peuvent aisément être réparties entre les bâtiments de logement au prorata des SBP.

Gaz	Bât. A	Bât. B-J	TOTAL
Puissance installation chaud [kW]	347	1 043	1 389
Surface totale chaufferie [m2]	37	225	262
Puissance utile totale froid [kW]	173	134	307
Surface local production froid (groupe froid) [m2]	37	29	67
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m2]	293	1 110	1 403
CADIOM	Bât. E	Bât. A - C	TOTAL
Puissance installation chaud [kW]	347	1 043	1 389
Surface totale chaufferie (sous-station CADIOM) [m2]	24	149	173
Puissance utile totale froid [kW]	173	134	307
Surface local production froid (groupe froid) [m2]	37	29	67
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m2]	1 153	2 900	4 054
PAC Air-eau	Bât. E	Bât. A - C	TOTAL
Puissance installation chaud [kW]	347	1 043	1 389
Surface totale chaufferie localisée en <u>toiture</u> [m2]	37	225	262
Puissance utile totale froid [kW]	173	134	307
Surface local production froid (groupe froid) [m2]	37	29	67
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m2]	220	833	1 053
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m2]	1 154	3 115	4 269
Géothermie solaire + boucle d'anergie	Bât. E	Bât. A - C	TOTAL
Puissance installation chaud [kW]	400	1 261	1 662
Surface totale chaufferie [m2]	40	234	274
Volume ballon tampon ECS [l]	1 400	5 400	6 800
Puissance utile totale froid (activités et logements) [kW]	245	343	588
Surface local production froid (échangeur) [m2]	3	4	7
Surface de toiture brute requise pour les panneaux hybrides [m2]	542	2 032	2 574
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m2]	128	226	354
ICESOL (stock centralisé)			TOTAL
Puissance totale PAC chaleur [kW]			1 474
Surface totale chaufferies [m2]			260
Volume du stock à changement de phase (eau/glace) [m3]			261
Volume d'accumulation total (ballons) [m3]			88
Puissance utile totale froid [kW]			307
Surface local production froid (groupe froid) [m2]			67
Surface de toiture brute requise pour les capteurs non vitrés [m2]			5 250
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m2]			3 449

Tableau 15 : Taille des réservations pour les installations techniques au niveau des bâtiments et pour les différents scénarii

Etant donné que nous recommandons une solution basée sur le raccordement à CADIOM avec une alternative possible basée soit sur une boucle d'anergie alimentée par la combinaison géothermie + solaire, soit par le concept ICESOL avec boucle d'échange, nous schématisons ci-dessous les réservations au niveau spatial pour ces trois scénarii.

Dans le cas d'un **phasage différencié** de la construction des bâtiments, la boucle d'énergie et les champs de sondes pourront être étendus au gré des constructions. Par contre, un phasage trop différencié pourrait poser problème dans le cas du stock à changement de phase (ICESOL) qui serait ainsi surdimensionné tant que tous les bâtiments ne sont pas réalisés.

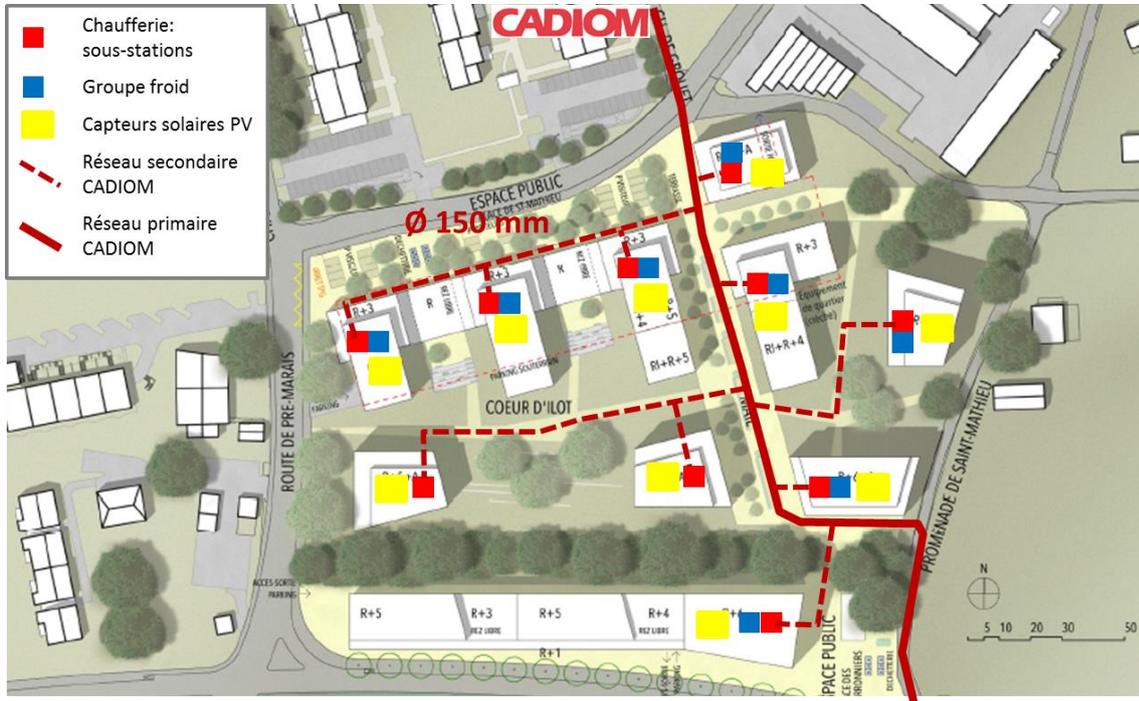


Figure 30 : Réservations requises pour les principales infrastructures énergétiques dans le cadre du scénario « CADIOM »

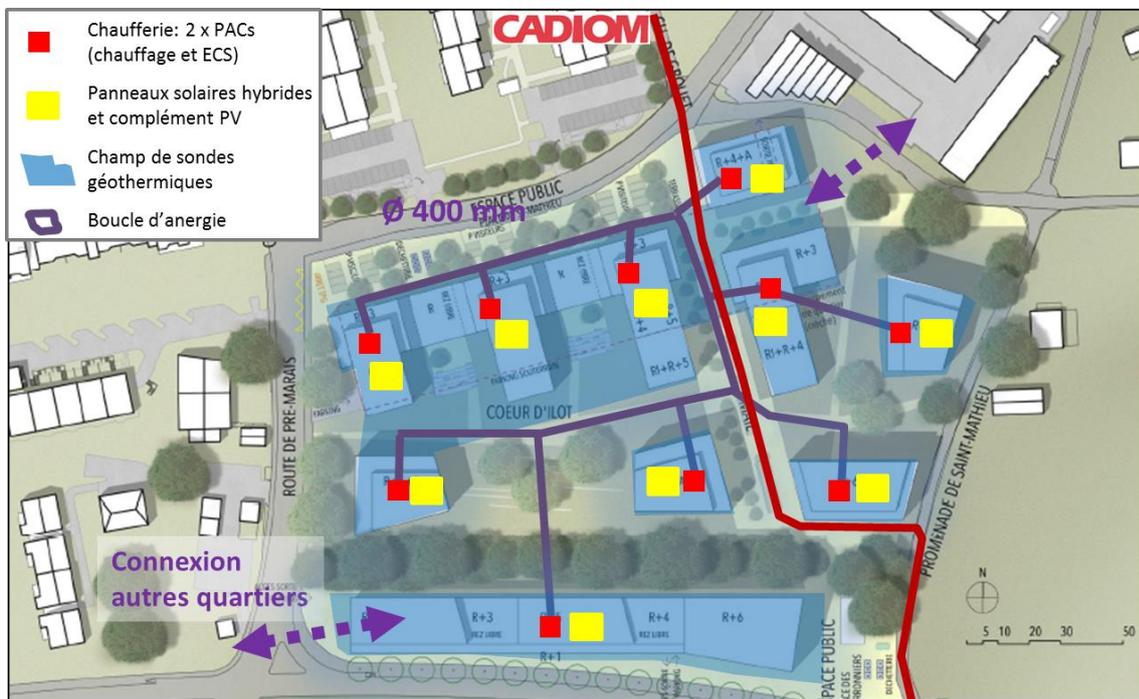


Figure 31 : Réservations requises pour les principales infrastructures énergétiques dans le cadre du scénario « Boucle d'énergie + géothermie solaire »

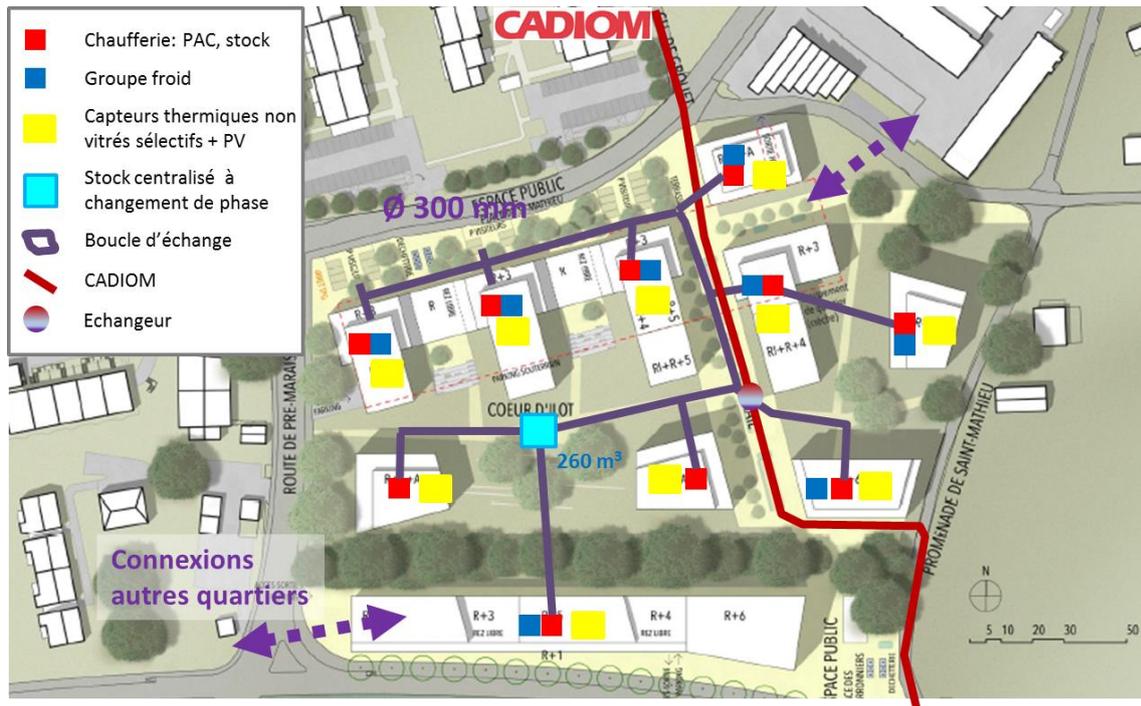


Figure 32 : Réservations requises pour les principales infrastructures énergétiques dans le cadre du scénario ICESOL avec stock de glace centralisé ; mutualisation du stock via une boucle d'échange ; échangeur sur CADIOM pour fournir l'appoint via la boucle.

10 Conclusion et perspectives

Ce concept énergétique territorial (CET) du PLQ Saint-Mathieu a permis de rappeler les principales orientations en matière énergétique définies aux échelons supérieurs (canton, commune, PDQ Bernex-Est), de faire un état des lieux précis des besoins futurs (selon les standards HPE et THPE) et des ressources énergétiques disponibles (tenant compte des contraintes du site), et de proposer et comparer 5 scénarii d’approvisionnement.

Le scénario **CADIOM** s’impose d’emblée étant donné que le réseau dessert déjà le périmètre, qu’il implique de faibles coûts d’investissement et de maintenance, et qu’une convention de raccordement est établie entre CADIOM SA et les propriétaires des parcelles (convention à étendre à tous les propriétaires). Cependant, CADIOM est déjà largement mobilisé en hiver (ce qui nécessite de recourir toujours plus au gaz en cas de nouveaux raccordements) et peu en adéquation avec les besoins de constructions neuves. De plus, ce scénario, tel quel, ne s’inscrit pas totalement en cohérence avec les orientations énergétiques définies au niveau du PDQ, qui mettait en avant la perspective d’un réseau de distribution à basse température mutualisé au sein des quartiers de construction neuve. De ce point de vue-là, la **boucle basse température** (alimentée par de l’énergie solaire et par des sondes ou stock à changement de phase), qui permet à la fois une autonomie du quartier Saint-Mathieu, tout en étant flexible et autorisant une interconnexion avec les boucles d’autres quartiers avoisinants et/ou à un réseau externe à basse température, est compatible avec ces orientations. Une telle solution si elle est certes innovante et vertueuse, est en outre plus coûteuse à l’investissement et nécessite des aides extérieures (contracting, subventions).

Par ailleurs, ces scénarii doivent être mis en perspective des projets d’infrastructures qui dépassent l’échelle du quartier, notamment l’opportunité de **valoriser les rejets estivaux des Cheneviers**. Plusieurs modalités de valorisation ont été décrites dans le rapport, en particulier: (a) réseau thermique à moyenne température (65-70°C) valorisant les rejets stockés à moyenne ou grande profondeur ; (b) stockage d’une partie des rejets dans la nappe du Rhône (située au nord de Bernex-Est) qui permet une augmentation limitée de la température de la nappe. Selon ces différentes modalités, la production de chaleur issue des rejets des Cheneviers serait externalisée à Saint-Mathieu et distribuée via un réseau de quartier – basse ou moyenne température – aux différents périmètres de Bernex-Est. Ces perspectives et leur échéance devront être approfondies suite à ce CET avec les SIG et l’OCEN (informations plus précises attendues vers fin 2016 – début 2017 selon études en cours).

Recommandations

En fonction de ces perspectives, deux types de solution « vertueuse » peuvent être proposées tenant compte de l’intérêt à se connecter à un réseau externe au quartier soit existant (CADIOM en l’occurrence), soit projeté, tout en étant en accord avec les orientations énergétiques définies au niveau supérieur (PDQ).

1) Réseau à moyenne température

Les bâtiments du quartier pourraient être raccordés, via des sous-stations, à l’un ou l’autre de ces réseaux à moyenne température (~65°C) :

- **réseau de déstockage** des rejets des Cheneviers,
- **réseau Nord-Sud** prévu à proximité immédiate du quartier pouvant valoriser les **rejets de la STEP d’Aïre**,
- **réseau de la nappe du Rhône** (cf. point ‘b’ ci-dessus), impliquant une PAC centralisée à l’échelle du quartier pour élever le niveau de température et un réseau secondaire de quartier pour distribuer la chaleur aux bâtiments.

Il faudrait cependant que l’une ou l’autre de ces sources externes soit disponible à un horizon temporel compatible avec le développement de Saint-Mathieu. Si ce n’était pas le cas, **un raccordement à CADIOM pourrait constituer une solution transitoire**¹².

¹² A tenir compte que les ΔT entre conduites aller-retour ne sont pas les mêmes entre CADIOM (110°C - 70°C) et un futur réseau externe à moyenne température (65°C – 55°C). En conséquence, le diamètre d’une conduite

2) Réseau à basse température

Une boucle de quartier à basse de température alimentant des PAC par bâtiment serait développée (selon Figures 31 et 32). Cette boucle pourrait être alimentée de deux manières :

- par le **réseau de la nappe du Rhône** que les SIG pourraient développer selon les modalités présentées ci-dessus.
- Si ce réseau de la nappe ne se réalisait pas ou intervenait trop tardivement, le scénario **ICESOL + boucle d'échange avec comme appoint CADIOM** (cf. Figure 32) pourrait être proposé. Dans le présent rapport (section 7.6), la part solaire a été poussée au maximum, réduisant au minimum l'appoint par CADIOM (5%). Cependant, tout en conservant la même logique, il est tout à fait possible d'augmenter la part de CADIOM (par exemple couverture de 20 - 30% des besoins de chaleur), permettant de maintenir un niveau de température adéquat dans le réseau et d'abaisser sensiblement le nombre de panneaux solaires. Cette solution serait un compromis entre un approvisionnement significatif par CADIOM, réduisant les coûts d'investissement, et une boucle d'échange pouvant être connectée à terme à une boucle développée à plus large échelle, telle que préconisée par les orientations énergétiques du PDQ.

Les résultats à venir des études actuellement menées sous mandat des SIG sur les différents réseaux externes à moyenne ou basse température permettront de mieux se positionner sur ces différentes perspectives. Il convient cependant de rendre attentif le maître d'ouvrage que les deux orientations – réseau à moyenne ou basse température – ne sont pas compatibles entre elles et ne peuvent donc pas se côtoyer ni se substituer dans le temps, les diamètres des conduites dans le quartier étant différents ainsi que les types d'installation par bâtiment (sous-stations vs PAC).

En conclusion et en résumé, la réalisation du quartier est un levier pour développer et améliorer la gestion des infrastructures énergétiques du canton, notamment par la valorisation des excédents des Cheneviers via CADIOM ou autre réseau spécifique, et le potentiel de stockage de chaleur du site ou à proximité. Le contexte est évolutif en raison des programmes et planification en cours, notamment le programme Géothermie 2020 ou la valorisation des rejets de la STEP d'Aïre en direction de Bernex.

Dans tous les cas, le choix final de la stratégie énergétique sera effectué dans le cadre du RIE 2^{ème} étape, tenant compte de l'évolution des réflexions menées sur le périmètre élargi.

étant inversement proportionnelle au ΔT , il conviendra de prévoir d'emblée un réseau secondaire de quartier avec des diamètres plus importants compatibles avec le réseau externe (déstockage ou rejets STEP) en vue du futur basculement de CADIOM au réseau externe à moyenne température, ce qui induit des surcoûts limités.

Références

- [1] Stratégie fédérale 2050, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00527/index.html?lang=fr>
- [2] *Rapport du Conseil d'Etat au Grand Conseil sur la conception générale de l'énergie 2005-2009 et projet de conception générale de l'énergie 2013*, Secrétariat du Grand Conseil, 8 mai 2013, <http://www.geneve.ch/grandconseil/data/texte/RD00986.pdf>
- [3] *Plan directeur de quartier (PDQ) Bernex Est*, Aménagement du territoire et urbanisme, Canton de Genève, <http://ge.ch/amenagement/bernex>.
- [4] *Plan directeur cantonal 2030 (D02/carte annexe n°11)*, Aménagement du territoire et urbanisme, Canton de Genève, <http://ge.ch/amenagement/plan-directeur-cantonal-2030>.
- [5] *Plan directeur communal des énergies de Bernex*, Amstein+Walthert, 2010.
- [6] *CET de la 1^{ère} phase de planification du Grand Projet Bernex Nord, CET n°2014-03*, BG Ingénieurs Conseils, septembre 2013.
- [7] *Projet de construction de Bernex-Est / Saint-Mathieu*, F. Baud & T. Früh atelier d'architecture, février 2016.
- [8] *Qualité de l'air 2014*, Service de protection de l'air du Canton de Genève.
- [9] *Sondage géologique n°9448*, Service cantonal de géologie, 1992.
- [10] *Concept paysager du projet Saint-Mathieu*, Oxalis, mars 2016.
- [11] *Conversation téléphonique avec M. Michel Meyer (SIG)*, janvier 2016.
- [12] *Coordination du plan d'extraction des gravières et stockage de chaleur intersaisonnier. Etude d'opportunité*. BG Ingénieurs Conseils, mars 2014.
- [13] *Valorisation intensive des énergies renouvelables dans l'agglomération franco-valdo-genevoise (VIRAGE) dans une perspective de société à 2000W*, Faessler J., Université de Genève, 2011.
- [14] <http://www.wind-data.ch/windkarte/index.php?lng=fr>
- [15] *Heizen und kühlen mit Abwasser, Baudirektion Kanton Zürich, Septembre 2010*.
- [16] <http://www.energie-environnement.ch/economiser-l-eau/situer-sa-consommation-d-eau> .
- [17] *Chauffer et rafraîchir grâce aux eaux usées – Guide pour les maîtres d'ouvrage et les communes*, SuisseEnergie.
- [18] *Energie aus Abwasser, Lehrmittel – System Feka, FEKA, 15.12.2009*, http://www.feka.ch/pdf/FEKA_Energie_aus_Abwasser.pdf
- [19] *Kriterien für « Best-Practice » von verschiedenen Wärmepumpen-Systemen*, Hubacher P., Rognon F., 19. Tagung des Forschungsprogramms Wärmepumpen und Kälte des Bundesamts für Energie, 26. Juni 2013, Burgdorf
- [20] *Directive relative aux projets de construction, de rénovation ou de transformation de bâtiment*, OCEN, 2014 (mise à jour).
- [21] *Anergie, le réseau d'échange thermique intelligent et renouvelable*, Amstein+Walthert, février 2016, <http://blog-fr.amstein-walthert.ch>
- [22] *Concept 2SOL*, <http://www.2sol.ch/>
- [23] *Chauffage par pompe à chaleur solaire avec des capteurs sélectifs non vitrés et accumulateurs à changement de phase*, Energie Solaire SA, édité par l'OFEN, Octobre 2012.
- [24] *Systèmes solaires & panneaux climatiques KIGO*, présentation Energie Solaire SA, mars 2016.
- [25] <http://www.energie-solaire.com>
- [26] Fiche de référence Energie Solaire S.A. pour le projet de quartier Le Grouet, mars 2016.
- [27] Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics KBOB, <https://www.kbob.admin.ch/kbob/fr/home.html>.
- [28] Enercret thermo-active Foundations, <http://www.enercret.com>
- [29] Séance du 6 avril concernant les projets énergétiques sur Bernex (SIG, OCEN, OU, Brolliet, Baud&Frud, mandataires CETs-Bernex / B&G et A+W)
- [30] Convention de droit superficie entre les copropriétaires de la parcelle n°8103 et CADIOM SA, 2010.
- [31] Séance du 28.01.2015 entre SIG et mandataires du mandat d'étude parallèle dans le cadre du la révision du Plan directeur des énergies de réseau (PDER).