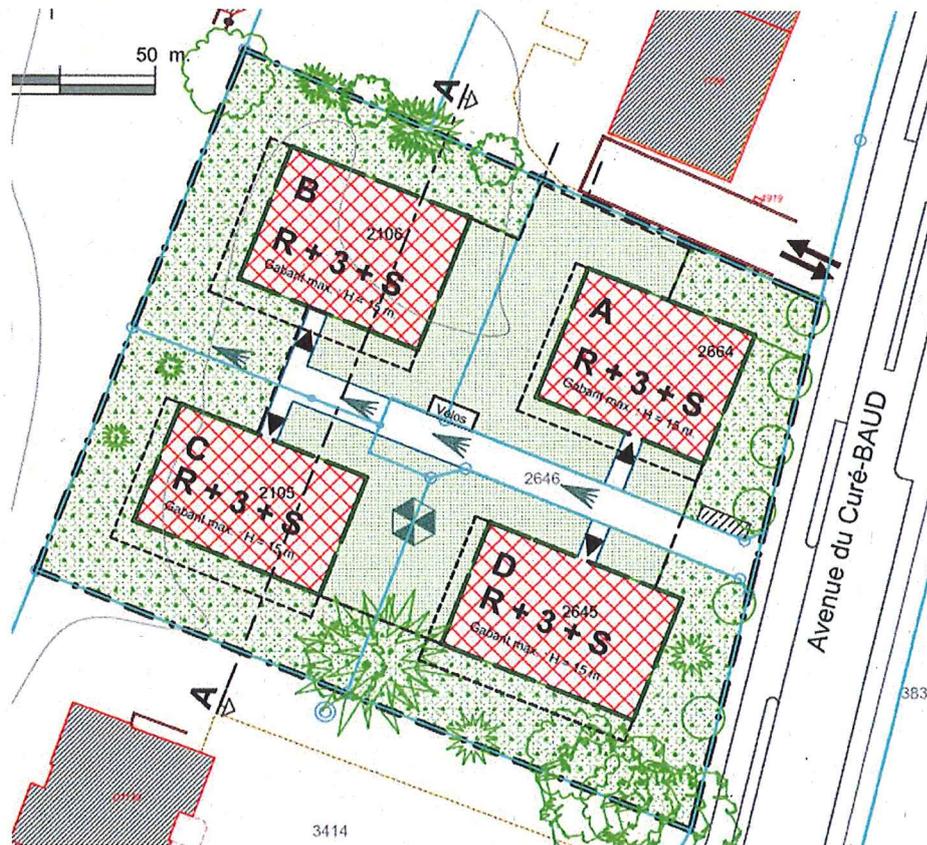




AMSTEIN + WALTHERT

BPF Architectes
PLQ 29'941 – Avenue du Curé-Baud
18-24

Concept énergétique territorial



Version 03 / 18 juin 2015

CET 2014-04

OFFICE CANTONAL
DE L'ÉNERGIE
Rue du Puits-Saint-Pierre 4
Case postale 3920
1211 Genève 3

11 AOUT 2015



Impressum

Donneur d'ordre	BPF Architectes M. Patrick Freiburghaus 5, Place Claparède 1205 Genève Tél. +41 22 346 78 15 E-mail : patrick.freiburghaus@bpfarchi.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	Mme Céline Weber	
Distribution	M. Patrick Freiburghaus	BPF Architectes
Versions	Version 3	
Intitulé	R130722WEBC_PLQCuréBaud_V3.docx	

Sommaire

Validation et suivi des mises à jour	6
Glossaire	7
Résumé	8
1 Objectifs et positionnement de l'étude	10
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	15
4.1 Périmètre d'entrée	15
4.2 Périmètre élargi	16
5 Etat des lieux	18
5.1 Concept Energétique du PDQ « Les Semailles »	18
5.2 Procédures d'aménagement en cours et plans existants	19
5.3 Acteurs.....	22
5.4 Infrastructures.....	23
5.5 Évaluation des besoins énergétiques	27
6 Ressources énergétiques locales disponibles	30
6.1 Energie solaire.....	30
6.2 Energie géothermique.....	31
6.3 Eaux superficielles.....	32
6.4 Air	33
6.5 Energie de la biomasse	34
6.6 Rejets thermiques.....	34
6.7 Energie éolienne.....	34
6.8 Eaux usées.....	34
6.9 Synthèse des sources d'approvisionnement renouvelables localement pertinentes	35
7 Scénarii d'approvisionnement	36
7.1 Hypothèses relatives aux scénarii	36
7.2 Scénario 1 : Minimum légal.....	36
7.3 Scénario 2 : Géothermie	38
7.4 Scénario 3 : Air	40
7.5 Scénario 4 : CAD des Palettes.....	41
7.6 Scénario 5 : Combinaison PAC-Solaire.....	43
7.7 Comparaison quantitative des scénarios	44
7.8 Comparaison qualitative des scénarios	45
8 Mesures, infrastructures et équipements à préciser	46
8.1 Scénario « Minimum légal ».....	46
8.2 Scénario « Géothermie »	46
8.3 Scénario « Air »	47
8.4 Scénario combiné « Géothermie » et « Air »	48
8.5 Scénario combiné « CAD Palettes »	48

Références	50
-------------------	-------	-----------

Validation et suivi des mises à jour

Version	Date	Identifiant et Visa			Descriptif succinct des mises à jour
		Auteur	Relecteur	Direction	
1		WEBC	DUC	MAUC	
2	12.06.15	WEBC		MAUC	Modification des images avec la nouvelle rampe d'accès Ajout d'un scénario comprenant le CAD des Palettes Remplacement de l'énergie primaire par l'énergie primaire non renouvelable (Tableau 17) Correction des émissions de CO ₂ (Tableau 17)
3	18.06.15	WEBC		MAUC	Correction de la Figure 2 avec les délimitations du parking sous-terrain Ajout d'une remarque en fin de Section 7.3
4					

Glossaire

COP : Coefficient de performance d'une pompe à chaleur

DD : Demande définitive

DR : Demande de renseignement

ECS : Eau chaude sanitaire

NO₂ : Dioxyde d'azote

OPair : Ordonnance fédérale sur la protection de l'air

PAC : Pompe à chaleur

PLQ : Plan localisé de quartier

PM 10 : Particules fines

SIA : Société suisse des ingénieurs et architectes

SBP : Surface brute de plancher

SRE : Surface de référence énergétique

Résumé

L'objet de cette étude est la réalisation d'un concept énergétique territorial (CET) pour le projet de PLQ 29'941 à l'Avenue du Curé-Baud à Lancy. Un tel concept vise à identifier les 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 en compromettre la valorisation future.

Le PLQ prévoit la construction de 4 bâtiments pour une SBP totale de 5'240 m², destinés entièrement aux logements. Il faut cependant préciser que pour des questions de diversités des propriétaires actuels, les quatre bâtiments ne pourront probablement pas être construits en même temps. Il y aura vraisemblablement un phasage entre la construction des 2 premiers et des 2 derniers bâtiments.

Les puissances et énergies requises sont les suivantes :

	Equivalent Minergie®	Equivalent Minergie-P®
Chaleur	246 MWh/an - 194 kW	200 MWh/an - 129 kW
Froid	0 MWh/an - 0 kW	0 MWh/an - 0 kW
Electricité (PAC non comprises)	186 MWh/an	173 MWh/an

Quatre scénarii d'approvisionnement ont été étudiés :

- Minimum légal : chaudières au gaz et la couverture de 30% des besoins d'ECS par des panneaux solaires thermiques.
- Géothermie avec recharge : 19 sondes géothermiques verticales (pour un équivalent Minergie®), ou 15 sondes géothermiques verticales (pour un équivalent Minergie-P®), permettant de couvrir les besoins de chauffage et d'ECS au moyen de PAC, avec recharge estivale du terrain à l'aide d'aéro-refroidisseur.
- Air : PAC air/eau pour satisfaire les besoins de chauffage et 70% des besoins d'ECS, ainsi que des panneaux solaires thermiques pour couvrir 30% d'ECS.
- Connexion au futur CAD des Palettes.

Sur un plan *quantitatif*, ce sont les scénarii « Géothermie » et « Air » qui présentent les meilleures performances, avec un bémol cependant pour le scénario « Géothermie », étant donné qu'il faut prévoir une recharge estivale pour éviter d'appauvrir le terrain, alors que les logements ne présentent pas de besoins de froid. Un scénario supplémentaire est donc proposé, qui combine ces deux scénarii, afin d'éviter de devoir recharger le terrain. Ainsi, les deux premiers bâtiments construits pourraient bénéficier de PAC sur sondes (sans recharge estivale et avec des sondes plus espacées que dans le scénario « Géothermie »), alors que les deux derniers bénéficieraient de PAC sur air avec des panneaux solaires thermiques pour satisfaire 30% d'ECS. Cette combinaison permettrait de plus de s'affranchir des éventuels problèmes lors de la pose des sondes, suite au phasage des travaux. Enfin, un scénario comprenant une connexion au CAD des Palettes est également proposé. Ce scénario ne présente pas des performances environnementales très intéressantes à ce stade, mais ceci pourrait évoluer, en fonction de la part d'énergies renouvelables que le CAD comprendra à l'avenir.

Sur un plan *qualitatif*, les scénarii « Minimum légal » et « Air » présentent l'avantage non négligeable de la facilité de mise en œuvre et donc d'une meilleure garantie de fonctionnement. Quant au scénario incluant la connexion au CAD des Palettes, il présente l'avantage de ne requérir que des petites chaufferies dans les bâtiments (et donc de laisser plus de place pour les habitants).

En conclusion, les options préconisées sont soit le scénario « Air », soit une combinaison entre les scénarii « Géothermie » et « Air ».

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 29'941 situé à l'Avenue du Curé-Baud à Lancy. 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 :*

- a) *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;*
- b) *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;*
- c) *Développer des infrastructures et des équipements efficaces pour la production et la distribution de l'énergie;*
- d) *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/ou 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 Kyoto¹, 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 limitées². 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 la fiche d'information intitulée « Premier paquet de mesures pour la stratégie énergétique 2050 » publiée en avril 2012 par le Conseil Fédéral³.

¹ Dans le 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.

² OFEN, Le Conseil Fédéral définit un premier paquet de mesures pour la stratégie énergétique 2050, communiqué de presse du 18 avril 2012, Berne.

³ Conseil Fédéral, « Premier paquet de mesures pour la stratégie énergétique 2050 », Fiche d'information 1, 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 viennent de faire 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. La nouvelle CGE se cale sur la Stratégie Énergétique 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.

Enfin, on mentionnera également que l'Etat de Genève, par l'intermédiaire du Scane, a validé une étude énergétique préconisant l'emploi de la géothermie dans la région du présent PLQ. On verra cependant que la géothermie seule peut poser quelques problèmes dans le cadre du présent PLQ [24].

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.

4.1 Périmètre d'entrée

Le périmètre *d'entrée* correspond à celui du PLQ 29'941, tel qu'il est présenté sur la Figure 1.

Ce PLQ regroupe 5 parcelles (n° 2664, n° 2106, n° 2105, n° 2645 et n° 2646) d'une surface totale de 4'034 m². Ces 5 parcelles sont réparties entre 4 propriétaires différents, comme indiqué dans le Tableau 1 ci-dessous. A terme, le but est de construire 4 petits immeubles de logement, de 4 étages habitables chacun (R+3+S), en lieu et place des 4 maisons individuelles (ou jumelles) actuelles. Il s'agit donc clairement ici d'un projet de densification urbaine. Ceci étant, si le projet présenté par BPF Architectes recouvre l'ensemble du PLQ, il faut savoir que seuls les bâtiments A et C sont certains de pouvoir être réalisés (sous réserve d'oppositions). En effet, les propriétaires (privés) des villas occupant actuellement la place prévue pour les futurs bâtiments B et D, ne souhaitent pas quitter leur logement dans un avenir immédiat.



Figure 1 : Périmètre d'entrée de l'étude (périmètre du futur PLQ)

Parcelle	Bâtiment	Type de propriétaire	Nombre de pièces prévues	SBP moyenne par pièce [m ²]
2664	A	Promoteur	46	25.46
2106	B	Privé	56	25.34
2105	C	Etat de Genève	52	25.00
2645	D	Privé	54	25.00
2646		Copropriété des parcelles 2106, 2105 et 2645	0	

Tableau 1 : Caractéristiques du PLQ

Le stationnement des voitures est prévu à l'aide d'un parking sous-terrain (cf. Figure 2 pour les délimitations du parking), qui pourra être construit en plusieurs phases, suivant le phasage des bâtiments (les quatre bâtiments n'étant pas forcément tous construits en même temps).

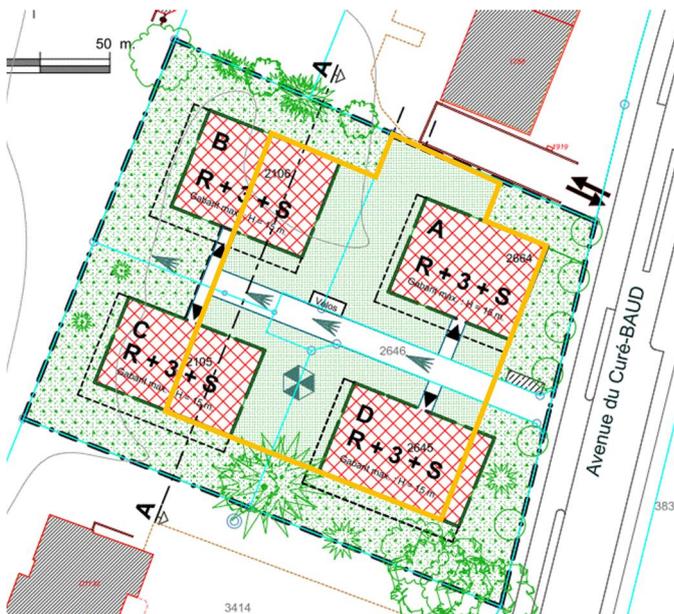


Figure 2 : Délimitations du parking sous-terrain (en orange)

4.2 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.

En l'occurrence, les principaux éléments extérieurs au périmètre qui influencent le projet sont les PLQ, DD et DR directement voisins au PLQ 29'941.

Le périmètre élargi présenté à la Figure 3 correspond à l'aire d'influence incluant ces éléments et enjeux (n.b. La délimitation de ce périmètre, ovale rouge sur la figure, est indicative et pas fixe).



Figure 3 : Périmètre d'étude élargi

On constate qu'en plus d'un certain nombre de PLQ avoisinant le périmètre restreint, il y a une DD et un petit cours d'eau (cordon boisé en vert, sur la figure ci-dessus).

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 :

- Le concept énergétique sur le PDQ « Les Semailles » englobant le PLQ 29'941,
- 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 Concept Energétique du PDO « Les Semailles »

Le PLQ 29'941 se trouve à l'intérieur du PDO « Les Semailles », qui avait fait l'objet d'un concept énergétique territorial en septembre 2011. La figure reprend la carte de synthèse qui avait été faite à l'issue de ce CET. On voit que le PLQ 29'941 se situe dans une zone dans laquelle les sondes étaient privilégiées.

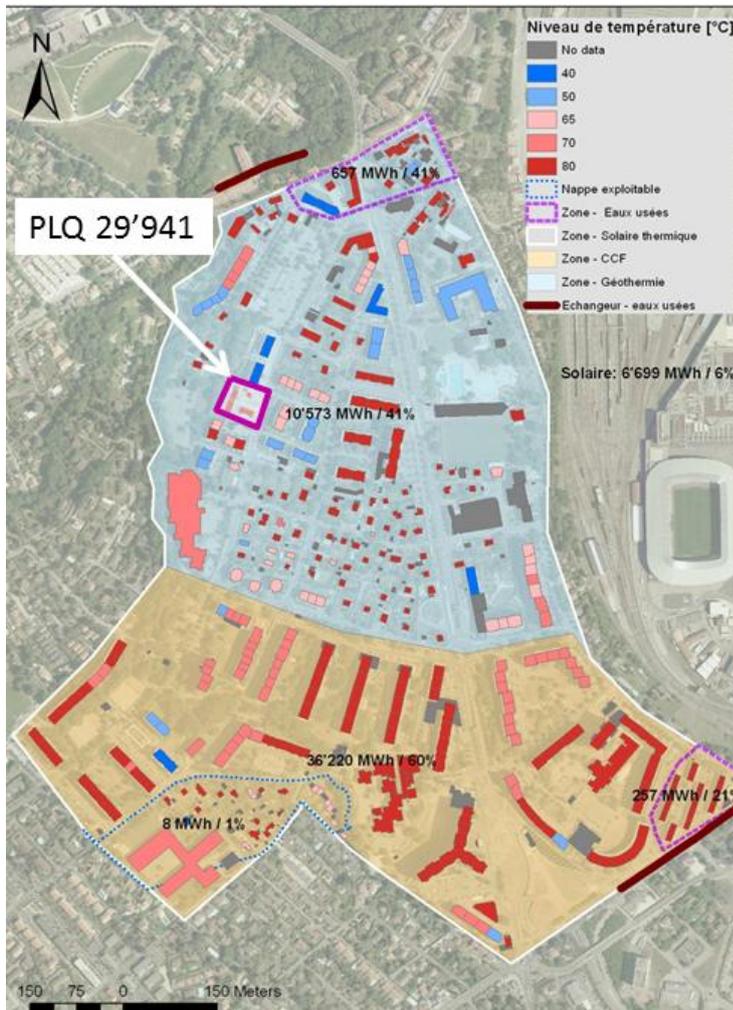


Figure 4 : Carte de synthèse du CET du PDO « Les Semailles »

5.2 Procédures d'aménagement en cours et plans existants

Le périmètre du PLQ 29'941 se trouve dans une zone urbaine bâtie, dans laquelle il y a une mixité entre villas individuelles et bâtiments de logement à plusieurs étages. De plus, un élément d'importance est le cordon boisé au centre duquel se trouve un petit cours d'eau, et qui est situé dans le périmètre élargi. Il n'y a aucune procédure d'aménagement particulière en cours, en revanche il y a un certain nombre de PLQ actifs sur le secteur.

Le tableau ci-dessous indique les dates auxquelles les PLQ avoisinant le PLQ 29'941 ont été adoptés (cf. Figure 3 pour l'emplacement des PLQ).

PLQ	Date d'adoption
25'505	02.04.1965
29'470	11.10.2006
29'806	20.02.2013
28'340	14.12.1992
28'752	28.02.1996
28'900	08.04.1998
28'100	19.03.1990
29'470	11.06.2006

Tableau 2 : Dates auxquelles les PLQ avoisinant le PLQ 29'941 ont été adoptés

En analysant ce tableau, on constate que seul le PLQ 29'806 a été adopté après l'entrée en vigueur de la nouvelle loi cantonale sur l'Energie. C'est donc le seul à avoir un concept énergétique qui pourrait éventuellement influencer le concept énergétique du PLQ 29'941⁴. D'autre part, il n'y a qu'une seule DD (et aucune DR), soit la DD 105'752 (cf. Figure 3), qui est comprise dans le PLQ 29'806.

Le concept énergétique relatif au PLQ 29'806 préconise la mise en place de 10 à 12 sondes géothermiques, avec possibilité de recharge solaire (par l'intermédiaire de panneaux). Le PLQ 29'806 se trouvant à 120 m environ du PLQ 29'941, il ne devrait pas y avoir de problème d'influence des sondes, si d'aventure la meilleure option pour le PLQ 29'941 devait également être la pose de sondes. Il faudra cependant confirmer cette hypothèse de manière détaillée avec un forage test le moment venu, voire même impliquer un arbitrage par les autorités compétentes en cas d'extraction d'énergie trop importante.

5.2.1 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 mg/m³.
- La valeur limite à long terme pour les PM10 est de 20 mg/m³.

⁴ L'obligation du concept énergétique est entrée en vigueur avec la nouvelle loi genevoise sur l'énergie.

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).

5.2.2 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 mg/m³). Théoriquement, il serait donc envisageable de considérer les chaudières à pellets ou à plaquettes.

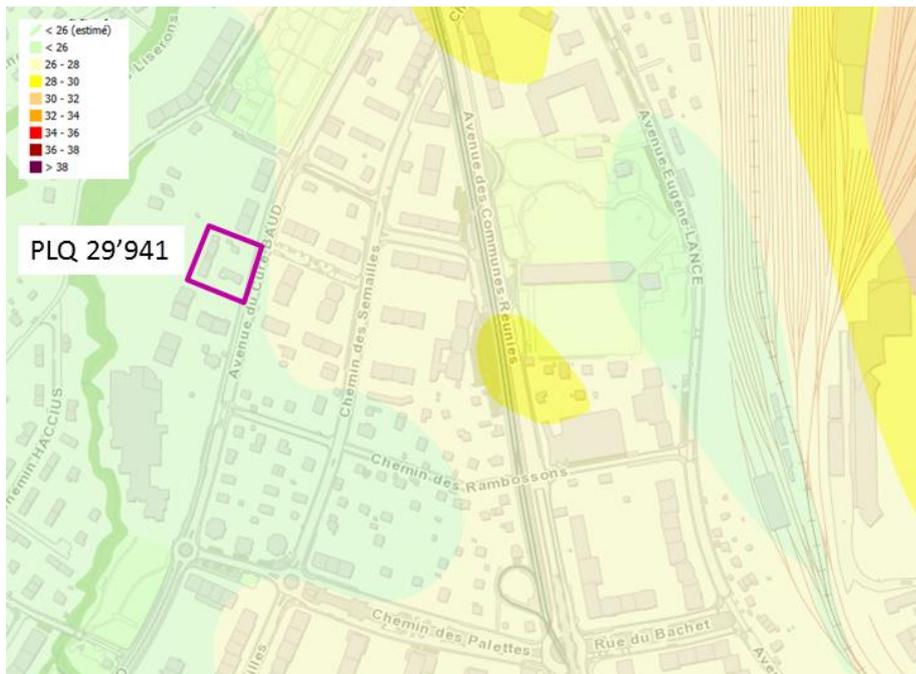


Figure 5 : Qualité de l'air: mesure de NO₂ en µg/m³ moyenne 2005-2012 (source : SITG)

5.2.3 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 6 présente la localisation de ces stations. Malheureusement, aucune station ne se situe à proximité du périmètre étudié.

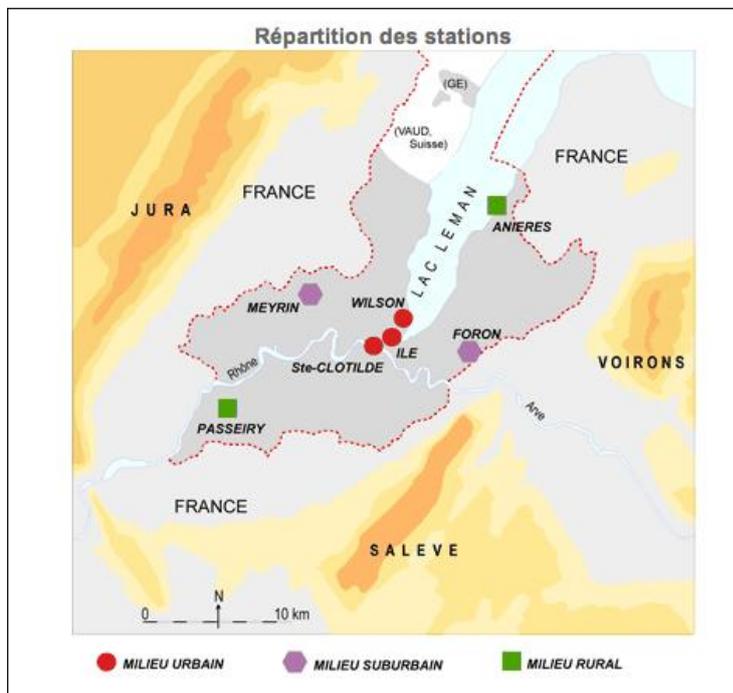


Figure 6 : Localisation des stations de mesure de la qualité de l'air sur le Canton de Genève

Comme le montre la figure qui suit, les seuils légaux de concentration en PM10 sont dépassés de manière ponctuelle dans les zones périphériques. Ceci étant, vu la localisation du périmètre d'étude (zone proche de la Ville), on peut raisonnablement l'assimiler à une zone telle que Meyrin, par exemple, en termes de pollution. On peut donc considérer que le PLQ se situe dans une zone de dépassements ponctuels de ces seuils légaux (cf. les valeurs de Meyrin dans le graphique ci-dessous). Ainsi, si les chaudières à pellets ou à plaquettes semblaient acceptables au niveau des NO₂, elles le sont moins au niveau des PM10.

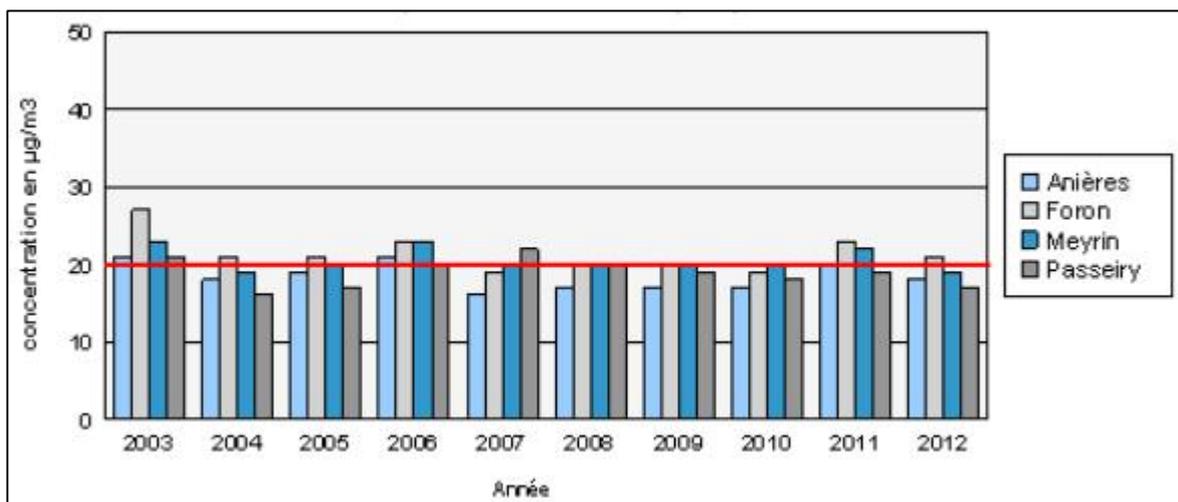


Figure 7 : Evolution des concentrations en particules fines (en µg/m³) en périphérie de Genève durant les dix dernières années (source : Service de protection de l'air du Canton de Genève)

5.3 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 29'941. 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>Département de l'urbanisme (DU) : Validation du PLQ</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</p>	<p>DU-OCEN : En attente d'information sur le mode d'approvisionnement énergétique envisagé pour le PLQ.</p> <p>GESDEC : Autorisation formelle d'installation de sondes géothermiques verticales.</p>
Propriétaires des parcelles du PLQ	Propriétaires privés des cinq parcelles concernées par le projet.	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> :</p> <p>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>Autres opérateurs énergétiques</u> :</p> <p>Prestations énergétiques non soumises au monopole : réseaux thermiques hors ceux propriétés des SIG, production / rachat d'électricité renouvelable.</p>	<p><u>SIG</u> :</p> <p>Approvisionnement en électricité, en eau et en gaz</p> <p>Contracteur pour la production d'électricité photovoltaïque</p> <p><u>Autres opérateurs</u> :</p> <p>Contracteurs pour la production d'électricité photovoltaïque ou les réseaux énergétiques (notamment chauffages à distance)</p>
Voisinages et autres acteurs	PLQ (cf. Figure 3)	Possibilités de synergies futures ou de conflits (par exemple appauvrissement du sol en cas d'utilisation de sondes géothermiques) avec ces acteurs du voisinage.
Futurs utilisateurs/occupants	Futurs habitants des bâtiments.	Précision des besoins et exigences de confort ; personnes à sensibiliser afin d'atteindre les performances visées, lors de l'exploitation.

Tableau 3 : Tableau récapitulatif des acteurs intervenant dans le cadre du CET

5.4 Infrastructures

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

- Les réseaux énergétiques actuels (section 5.4.1),
- Les collecteurs d'eaux usées (section 5.4.2),
- Les réseaux techniques souterrains susceptibles de contraindre l'installation d'infrastructures souterraines de valorisation énergétique (section 5.4.3),

5.4.1 Réseaux énergétiques actuels

Réseau de gaz

Comme le montre la Figure 8, le réseau de gaz (en jaune sur la figure) est présent sur la zone d'étude.

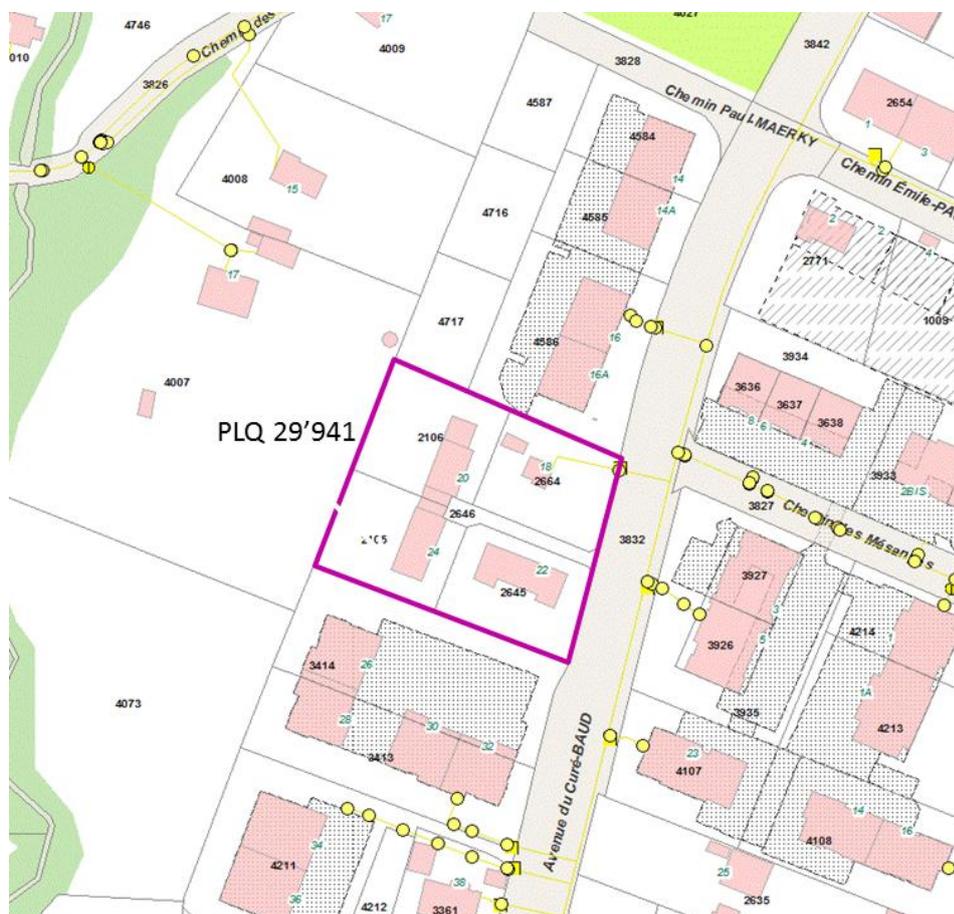


Figure 8 : Tracé du réseau de gaz (en jaune) sur la zone d'étude (source : SITG, cadastre technique du sous-sol)

Réseaux thermiques

Aucun réseau thermique (chauffage à distance) n'est présent actuellement, que ce soit dans le périmètre restreint ou élargi. Ceci étant, les SIG planifient un réseau de chauffage à distance, le CAD des Palettes, alimenté à 30% par de la biomasse et à 70% par du gaz naturel, et dont la zone de déploiement serait approximativement telle qu'indiquée par le périmètre de la figure ci-dessous [21] :

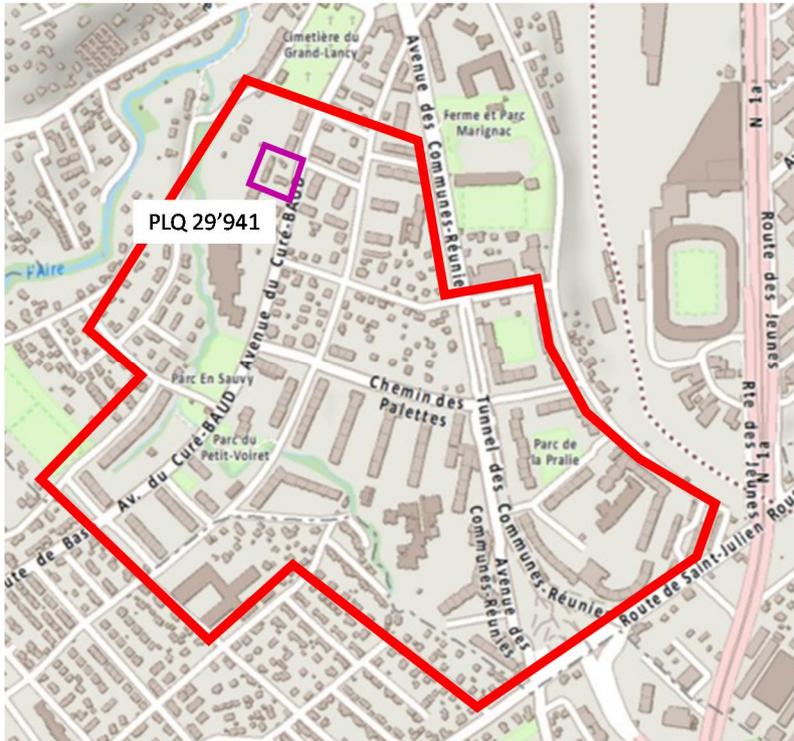


Figure 9 : Périmètre de déploiement prévu pour le futur CAD des Palettes [21]

Le PLQ se situe dans la zone de déploiement de ce futur CAD, mais pas dans la zone dite prioritaire [20]. La zone dite prioritaire est une zone se situant à l'est de la Rue du Curé-Baud, et qui est délimitée par le Quartier de l'Etoile. En d'autres termes, les bâtiments de la Rue du Curé-Baud pourraient être raccordés dans le futur, mais uniquement dans un deuxième temps, à savoir si le déploiement du réseau dans la zone prioritaire se déroule selon les attentes des SIG. Il faut savoir, en effet, que le déploiement dans la zone prioritaire n'a pas encore formellement commencé. Les SIG sont actuellement en phase de commercialisation pour la zone prioritaire, c'est-à-dire en phase d'analyse pour savoir si les potentiels clients situés dans cette zone prioritaire seraient intéressés à se raccorder ou non. Selon les dires des SIG [20], cette phase de commercialisation semble prometteuse, et les SIG ont bon espoir de mettre en place les premières connexions pour la saison de chauffe 2017-2018. En conclusion, si la décision finale de déployer le CAD n'a pas encore été prise, tous les voyants sont actuellement au vert pour que ce CAD se fasse bel et bien. Ainsi, si le déploiement du CAD dans la zone prioritaire se déroule comme prévu, les bâtiments situés dans le PLQ pourraient être connectés dès 2019 environ. C'est trop tard pour le bâtiment A (si tout se passe comme prévu), mais probablement dans les délais pour les autres bâtiments. Ceci étant, même pour le bâtiment A, il n'est pas exclu de le connecter si le propriétaire le souhaite. En effet, selon la stratégie des SIG [20], il est prévu de racheter les infrastructures en place (soit les chaudières par exemple), si ces dernières ne sont pas amorties au moment où le réseau est mis en place. Il faut cependant également souligner que, si les SIG semblent confiants par rapport au déploiement du CAD dans l'ensemble du secteur [20], l'OCEN au contraire ne souhaite pas que la zone au Nord du Chemin des Palettes (soit le secteur dans lequel se situe le PLQ) soit raccordée au CAD : « les CET des différents PLQ qui se trouvent au nord du chemin des Palettes ne prévoient pas le raccordement au CAD Palettes mais prioritairement une valorisation locale (géothermie, solaire) puisqu'ils ont accès à ces ressources et que les enveloppes HPE permettent une bonne intégration de celles-ci. Dès lors, nous devons faire le point avec SIG car leur démarche sur ces PLQ n'est ni coordonnée avec l'OCEN et ni conforme aux CET validés. » [22]. En d'autres termes, une certaine incertitude règne encore quant au possible déploiement, ou non, du CAD des Palettes en direction du PLQ 29'941.

5.4.2 Collecteurs d'eaux usées

Bien qu'il ne s'agisse pas directement de réseaux énergétiques, les collecteurs d'eaux usées peuvent donner lieu à une valorisation énergétique thermique, à travers la mise en place de systèmes de récupération de chaleur sur les eaux usées. La figure ci-dessous indique le réseau d'assainissement en violet. La conduite qui passe directement devant le PLQ ayant un diamètre de 400mm. Comme on le verra dans la section 6.8, elle ne peut pas être considérée pour une valorisation énergétique des eaux usées.

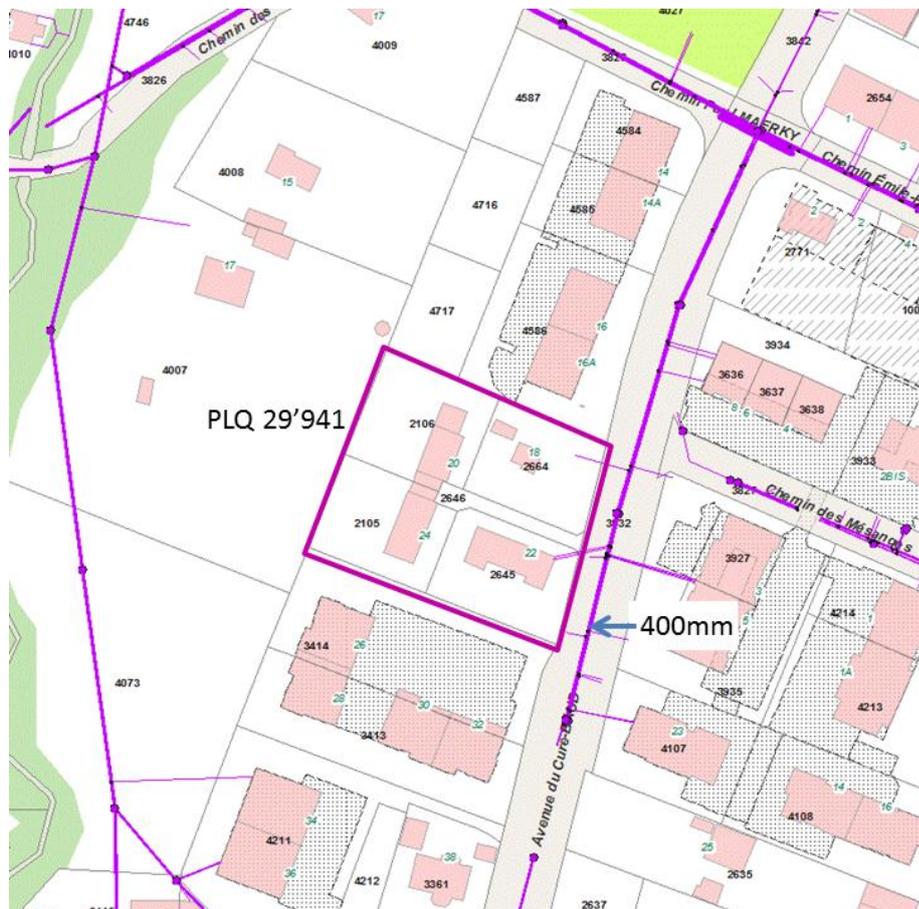


Figure 10 : Tracés des collecteurs d'eaux usées (collecteurs séparatifs), en violet, sur la zone d'étude (source : SITG, cadastre technique du sous-sol)

5.4.3 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 du PLQ n’est traversé que par des réseaux d’électricité, de télécommunication, ainsi que par un raccordement au gaz. Ainsi, la mise en place de sondes géothermiques ne serait que peu entravée dans ce secteur.



Figure 11 : Cadastre technique du sous-sol (source : SEMO)

5.5 Évaluation des besoins énergétiques

Cette section a pour objectif l'évaluation des besoins énergétiques thermiques (chauffage, ECS et rafraîchissement) et électriques des 4 immeubles prévus sur le futur PLQ. Les SRE prises en compte sont résumées dans le tableau ci-dessous. On fait l'hypothèse, à ce stade, que SRE=SBP.

Bâtiment	SRE [m ²]
A	1'171
B	1'419
C	1'300
D	1'350
TOTAL	5'240

Tableau 4 : SRE prises en compte

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 5 ci-dessous à titre informatif, afin de poser un référentiel pour une meilleure appréciation des consommations selon Minergie® et Minergie-P®. En ce qui concerne les besoins électriques évalués dans cette section, ils couvrent l'éclairage, les équipements (ordinateurs, électroménager, 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 (scénario selon la norme, scénario selon Minergie® et scénario selon Minergie-P®), les hypothèses de calculs sont les suivantes :

- **Scénario selon norme 380/1**

Facteur de forme⁵ : 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.

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 type Minergie® (référence Minergie® 2009)**

Facteur de forme : Selon la norme SIA 380/1

Chauffage : Selon les exigences primaires Minergie (90% des valeurs limites de la SIA 380/1 de l'affectation concernée) diminuées de 25 % pour tenir compte du contrôle du renouvellement d'air.

ECS : Selon les valeurs limites de la norme SIA 380/1 de l'affectation concernée.

Climatisation : Selon les valeurs de l'annexe B de la SIA 380/4, à savoir pas de climatisation pour les logements.

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).

Electricité : Selon les exigences Minergie® pour l'éclairage ; - 10% par rapport aux valeurs limites de l'annexe C1 de la norme SIA 2031 pour la ventilation (sauf pour les logements, pour lesquels + 20% ont été pris) ; selon les indices de l'annexe C1 de la norme SIA 2031 pour les équipements ; selon les valeurs de l'annexe B de la norme SIA 380/4 pour les techniques diverses.

▪ **Scénario type Minergie P® (2009)**

Facteur de forme : Selon la norme SIA 380/1

Chauffage : Selon les exigences primaires Minergie® (60% des valeurs limites de la norme SIA 380/1 de l'affectation concernée) diminuées de 25 % pour tenir compte du contrôle du renouvellement d'air

ECS : Selon les valeurs limites de la norme SIA 380/1 de l'affectation concernée.

Climatisation : Selon les valeurs de l'annexe B de la SIA 380/4, à savoir pas de climatisation pour les logements.

Electricité : Selon exigences Minergie® pour l'éclairage ; - 10% par rapport aux valeurs limites de l'annexe C1 de la norme SIA 2031 pour la ventilation (sauf pour les logements, pour lesquels + 20% ont été pris) ; -20% par rapport aux indices de l'annexe C1 de la norme SIA 2031 pour les équipements ; selon les valeurs de l'annexe B de la norme SIA 380/4 pour les techniques diverses.

Les consommations énergétiques sont données dans les tableaux ci-dessous.

	Chaleur			Froid		Electricité
	Chauffage [MWh/an]	ECS [MWh/an]	Puissance [kW]	Rafrâichissement [MWh/an]	Puissance [kW]	Equipe- ments [MWh/an]
A	45	24	43	0	0	55
B	55	30	53	0	0	66
C	50	27	48	0	0	61
D	52	28	50	0	0	63
TOTAL	203	109	194	0	0	245

Tableau 5 : Consommations et puissances selon la 380/1

	Chaleur			Froid		Electricité
	Chauffage [MWh/an]	ECS [MWh/an]	Puissance [kW]	Rafrâichissement [MWh/an]	Puissance [kW]	Equipe- ments [MWh/an]
A	31	24	35	0	0	42
B	37	30	42	0	0	50
C	34	27	39	0	0	46
D	35	28	40	0	0	48
TOTAL	137	109	155	0	0	186

Tableau 6 : Consommations et puissances selon Minergie®

	Chaleur			Froid		Electricité
	Chauffage	ECS	Puissance	Rafraîchissement	Puissance	Equipe-ments
	[MWh/an]	[MWh/an]	[kW]	[MWh/an]	[kW]	[MWh/an]
A	20	24	29	0	0	39
B	25	30	35	0	0	47
C	23	27	32	0	0	43
D	24	28	33	0	0	45
TOTAL	91	109	129	0	0	173

Tableau 7 : Consommations et puissances selon Minergie-P®

Le graphique ci-dessous synthétise les principales consommations qui sont liées directement à la qualité de l'enveloppe du bâtiment, à savoir les consommations de chauffage.

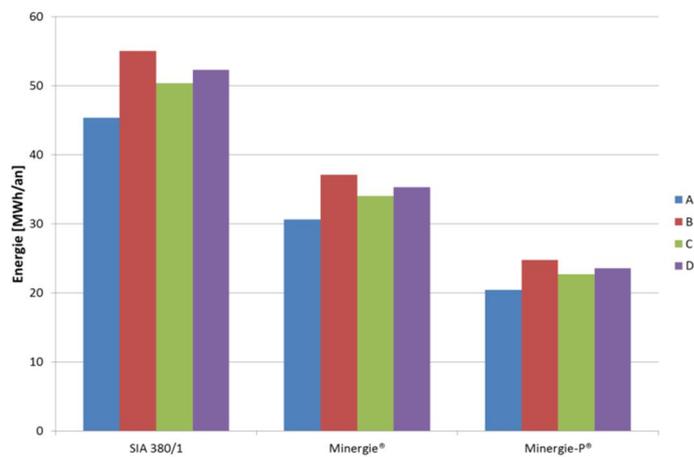


Figure 12 : Synthèse des besoins de chauffage

6 Ressources énergétiques 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 ci-dessous ont été faites pour évaluer le potentiel solaire :

1. L'ensoleillement annuel pour Genève est de 1'391 kWh/m² [1].
2. Rendements (sources : catalogues de fabricants et expérience A+W):
 - a. Panneaux photovoltaïques : 17%
 - b. Panneaux solaires thermiques (hypothèses : panneaux de type tubulaires, orientés plein sud, avec une inclinaison de 30°C) : 62% [2]⁶.
 - c. Panneaux hybrides : Rendement thermique : 50%, rendement électrique : 15%
 - d. Onduleur : 95%
 - e. Conduites et ballons de stockage : 90%.
3. La surface de toit utile correspond à 90% de la surface de toit totale.
4. Pour des panneaux inclinés à 30°, le rapport entre la surface des panneaux installés et la surface de toit utile est de 0,45.

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

	Surface toiture [m ²]	Chaleur [MWh/an]			Electricité [Mwh/an]		
		Panneaux photovoltaïques	Panneaux thermiques	Panneaux hybrides	Panneaux photovoltaïques	Panneaux thermiques	Panneaux hybrides
A	207	-	65	52	19	-	17
B	241	-	76	61	23	-	19
C	199	-	62	50	19	-	16
D	211	-	66	53	20	-	17
TOTAL	858	-	270	217	80	-	69

Tableau 8 : Potentiels solaires

L'énergie solaire représente un potentiel intéressant puisqu'il permet largement de couvrir les besoins d'ECS pour chacun des bâtiments. On précisera, cependant, que pour des raisons techniques et de météo, il n'est pas possible de couvrir 100% d'ECS avec des panneaux solaires, sans recourir à un stockage saisonnier. Or la mise en place d'un stockage saisonnier demande une étude détaillée spécifique, qui dépasse le cadre de la présente étude (la plupart des installations existantes sont au stade d'installations pilote et/ou de recherche appliquée). Les systèmes actuels sans stockage saisonnier permettent de couvrir environ 60-70% des besoins annuels d'ECS.

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).

⁶ Les rendements sont très dépendants de la taille du stockage, de l'orientation des panneaux ou encore des températures. 62% correspond à système performant.

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. A cet inconvénient il faut ajouter, pour les panneaux hybrides, la proximité immédiate des circuits électriques et hydrauliques.

Conclusion

Le potentiel solaire est conséquent et donc intéressant pour le PLQ.

6.2 Energie géothermique

Aucune restriction relative à l'usage des sondes géothermiques n'est en vigueur au niveau des périmètres restreints et élargis (cf. Figure 13, sur laquelle aucune zone n'est hachurée, et donc interdite de sondes). Théoriquement, on notera cependant qu'il n'est pas souhaitable de mettre des sondes sous les bâtiments, étant donné que l'accès à des sondes placées directement sous un bâtiment est problématique en cas de réparation. Pratiquement, la disposition des sondes dépendra non seulement des contraintes liées à l'entretien, mais également aux contraintes liées à la place requise pour les dites sondes⁷.



Figure 13 : Zones d'autorisation de sondes

Les hypothèses suivantes ont été admises pour déterminer le potentiel :

1. Les sondes sont espacées de 10 m les unes des autres.
2. La puissance extraite est de 25 W/m_l et l'énergie de 40 kWh/m_l/an [3]⁸.
3. Aucune recharge du terrain n'est prévue à ce stade⁹.
4. La profondeur est de 200m par sonde.

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

⁷ 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.

⁸ Ces valeurs dépendent fortement de cas en cas, et ne sont ici que des moyennes données à titre indicatif, en l'absence de connaissances approfondies du terrain.

⁹ On verra à la section 7.3 qu'on ne pourra pas s'affranchir complètement de la recharge si on souhaite utiliser des sondes pour l'ensemble du PLQ.

Parcelle	Superficie [m ²]	Nombre de sondes max [-]	Energie chaud utile [MWh/an]	Puissance chaud utile [kW]
2664	901	9	94	59
2106	1'029	10	104	65
2105	937	9	94	59
2645	979	9	94	59
2646	186	1	10	7
TOTAL	4'032	38	397	248

Tableau 9 : Principales valeurs liées au potentiel géothermique des différentes parcelles

Etant donné le phasage avec lequel les bâtiments vont être construits (bâtiments A et C en premier, puis bâtiments B et D en fonction des disponibilités des terrains), le potentiel géothermique doit être considéré parcelle par parcelle. Ceci aura l'inconvénient qu'il ne sera pas possible de grouper les sondes requises vers le milieu géographique du PLQ, ou sous la voie d'accès aux véhicules. Or un regroupement des sondes vers le milieu du PLQ aurait eu l'avantage d'éloigner ces sondes le plus possible des PLQ voisins, et donc d'éviter toute influence de ces sondes sur le terrain des PLQ voisins. De plus, il aurait été possible d'éviter de placer toute sonde directement sous un bâtiment.

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

Le phasage des travaux peut rendre la mise en place des sondes délicates, sans risquer d'abîmer le bâti et les terrains existants. Ceci est surtout vrai pour les bâtiments qui seront construits dans un deuxième temps.

Conclusion

Le potentiel géothermique est intéressant a priori, mais sa valorisation n'est pas sans poser des problèmes pratiques.

6.3 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 le Ruisseau du Voiret, qui ruissèle à 150m environ du centre du PLQ. Le débit minimum enregistré est de 0,016 m³/h et le débit maximum de 0,936 m³/h. Ce débit est trop faible pour représenter un quelconque potentiel valorisable.

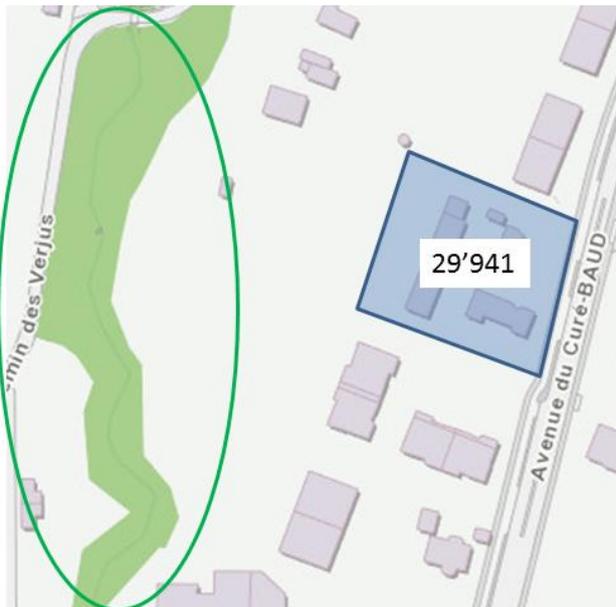


Figure 14 : Cordon boisé (en vert) avec le Ruisseau du Voiret au milieu

Conclusion

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

6.4 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 exergetiques 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.

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.

6.5 Energie de la biomasse

L'environnement urbain dans lequel se situe le quartier rend l'utilisation de la biomasse peu pertinente. D'une part, les ressources disponibles – évaluées dans le cadre du projet VIRAGE [16] – relèvent d'une gestion régionale et, d'autre part, les contraintes de qualité de l'air restreignent grandement le recours à des installations de combustion de la biomasse (bois en particulier) en milieu urbain. 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.

Conclusion

L'énergie de la biomasse n'apparaît pas comme une source d'approvisionnement pertinente pour le périmètre considéré.

6.6 Rejets thermiques

Aucune source de rejets disponible n'a été identifiée à proximité.

Conclusion

L'énergie issue des rejets thermiques ne présente aucun potentiel pour le périmètre restreint.

6.7 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 [5], 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.

6.8 Eaux usées

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

1. 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 60°C, un COP de 4 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 [14]. Or comme le montre le tableau ci-dessous, aucun bâtiment ne satisfait la taille minimum requise.

Bâtiment	Nombre d'appartements prévus	Nombre d'habitants estimé ¹⁰
A	9	20
B	14	31
C	13	29
D	14	31

Tableau 10 : Nombre d'habitants estimé par bâtiment

2. 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 200 l/pers/jour pour un ménage moyen [10], 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 [9]¹¹. Enfin, l'abaissement de température des eaux usées ne doit pas affecter le fonctionnement des STEP.

Comme on l'a vu dans la section 5.4.2, le collecteur qui passe à proximité immédiate du PLQ a un diamètre de 400 mm, et n'est de ce fait pas exploitable pour valoriser l'énergie des eaux usées selon ce deuxième mode de valorisation.

Conclusion

Les eaux usées ne représentent pas une source d'énergie intéressante pour le périmètre restreint.

6.9 Synthèse des sources d'approvisionnement renouvelables localement pertinentes

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

- Solaire thermique : 270 MWh_{th}/an environ pour l'ensemble des toitures du PLQ (ou 217 MWh_{th}/an avec des panneaux hybrides).
- Solaire photovoltaïque : 80 MWh_é/an environ pour l'ensemble des toitures du PLQ (ou 69 MWh_{th}/an avec des panneaux hybrides).
- Géothermie (sondes couplées à des PAC): Potentiel intéressant et théoriquement valorisable, mais difficultés liées au phasage des travaux.
- Air (pompes à chaleur air/eau): Potentiel susceptible de couvrir l'ensemble des besoins de chaleur.
- Eaux superficielles, biomasse, rejets thermiques, énergie éolienne, eaux usées : Pas de potentiel.

¹⁰ Le nombre d'habitant est estimé en se basant sur la moyenne nationale de 2,2 habitants par ménage [15].

¹¹ 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.

7 Scénarii d'approvisionnement

Cette section présente quatre scénarii d'approvisionnement énergétique pour le PLQ 29'941. Pour chacune des quatre 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. Un cinquième scénario est donné à titre indicatif, sans analyse quantitative. Il s'agit d'un scénario très novateur (incluant un stock de glace) et donc sans grand retour sur expérience à la clé, mais d'un scénario néanmoins très prometteur et qui s'insérerait très bien dans le présent projet.

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) 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 5.5 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 65%, COP annuel moyen : 4,3 (basé sur [11])¹²
- PAC air/eau : rendement exergetique 42%, COP annuel moyen : 3,4 (basé sur [11])¹³, températures de l'air selon statistiques publiées par l'OCSTAT sur la base des valeurs de l'Institut Suisse de Météorologie.
- Rendement chaudière gaz : 0.9.
- Rendement de distribution du chauffage à distance (CAD) des Palettes : 0.9.

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 résultant en des besoins de chauffage s'élevant au maximum à 80% des besoins limites de la norme 380/1,
2. un système de production de chaleur permettant de satisfaire au maximum 60% des besoins de chauffage et d'ECS (additionnés) par des énergies non renouvelables (chaudière à gaz typiquement), le reste devant être satisfait par des énergies renouvelables.

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

Les besoins liés à ce scénario sont indiqués dans le tableau ci-dessous (ils correspondent aux besoins indiqués dans le Tableau 5, moins 20% pour le chauffage) :

¹² Dans les calculs, on n'a considéré que 90% de ce rendement, afin de tenir compte en partie du pompage de l'eau glycolée dans les sondes et entre les sondes et les collecteurs.

¹³ Dans les calculs, on n'a considéré que 90% de ce rendement, afin de tenir compte en partie du pompage de l'eau glycolée dans les sondes et entre les sondes et les collecteurs.

	Chaleur			Froid		Electricité
	Chauffage [MWh/an]	ECS [MWh/an]	Puissance [kW]	Rafraichisse- ment [MWh/an]	Puissance [kW]	Equipe- ments [MWh/an]
A	36	24	35	0	0	55
B	44	30	42	0	0	66
C	40	27	39	0	0	61
D	42	28	40	0	0	63
TOTAL	162	109	155	0	0	245

Tableau 11 : Consommations liées au scénario de base

Sachant que les besoins de chauffage et d'ECS selon la norme 380/1 s'élèvent à 312 MWh/an pour l'ensemble du PLQ, on peut satisfaire au plus 187 MWh/an de chaleur avec une chaudière à gaz ($187 = 0,6 \cdot 312$). En admettant que l'ensemble du chauffage est assuré par une chaudière à gaz, il faudrait satisfaire encore 84 MWh/an d'ECS avec des panneaux solaires thermiques par exemple ($84 = 109 - (187-162)$). Ceci représente 77% de l'ECS et est difficilement réalisable comme expliqué plus haut. Il faut par conséquent davantage améliorer l'enveloppe du bâtiment que ce qui est préconisé au point 1 ci-dessus. En faisant une enveloppe de type Minergie®, les besoins de chauffage baissent à 137 MWh/an. Si on satisfait l'ensemble de ces 137 MWh/an avec une chaudière à gaz, il resterait 50 MWh/an de gaz « disponible » pour l'ECS, et il faudrait encore satisfaire 59 MWh/an d'ECS avec du solaire thermique, ce qui représente 54% des besoins d'ECS. Ceci est techniquement réalisable.

Ce scénario est montré dans la figure ci-dessous :

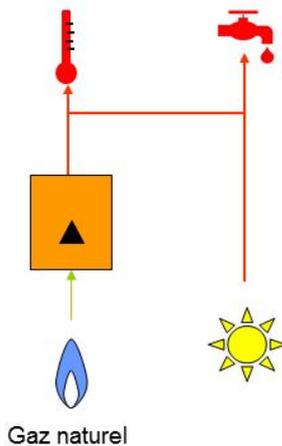


Figure 15 : Scénario « Minimum légal »

Le tableau ci-dessous indique, pour chacun des bâtiments, la surface de toiture requise pour les panneaux solaires thermiques, la puissance de la chaudière, ainsi que d'autres paramètres caractéristiques de ce scénario¹⁴ :

¹⁴ Les valeurs ne sont données que pour le cas de construction selon un standard type Minergie®, étant donné qu'une chaudière à gaz n'aurait aucune pertinence dans le cas de construction selon un standard type Minergie-P®.

Bâtiment	A	B	C	D
Puissance installation chaud [kW]	35	42	39	40
Besoins de chaleur couverts par renouvelables	0%	0%	0%	0%
Besoins d'ECS couverts par renouvelables	54%	54%	54%	54%
Energie requise pour 54% d'ECS [MWh/an]	13	16	15	15
Taille de panneaux solaires [m ²]	17	20	19	19
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m ²]	41	50	46	48
Besoins de gaz pour les besoins de chaud (chauffage et ECS) [MWh/an]	47	56	52	54
Electricité de réseau requise [MWh/an]	42	50	46	48

Tableau 12 : Principales caractéristiques du scénario « Minimum légal »

7.3 Scénario 2 : Géothermie

Ce scénario a pour but de valoriser l'énergie comprise dans le sol, pour alimenter une PAC satisfaisant les besoins de chauffage et d'ECS. Concernant l'ECS, il faut préciser que si, selon la loi, il faut satisfaire 30% des besoins d'ECS avec des panneaux solaires thermiques, il est possible de déroger à ce point si le COP de la PAC est supérieur à 3.9 (EN 14511) ou 3.7 (EN 255). Or de tels COP sont aisément atteignables avec les technologies actuelles. En effet, selon une étude récemment publiée [11], des COP de 4,7 sont aisément atteignables avec des PAC sol/eau disponibles sur le marché, et générant le chauffage et l'ECS. Les besoins électriques sont satisfaits par le réseau. Ce scénario présente a priori également l'avantage d'être en phase avec une étude validée par l'OCEN et qui préconise l'usage de la géothermie dans cette région [24].

Le schéma ci-dessous illustre le concept proposé :

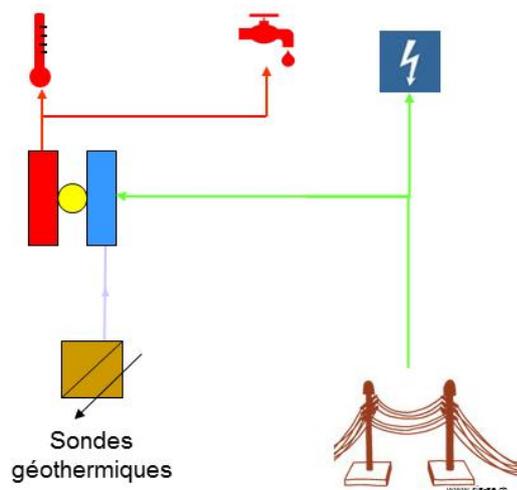


Figure 16 : Scénario « Géothermie »

Ce scénario, a priori intéressant, pose le problème suivant : En l'absence de recharge, le terrain s'appauvrit fortement, mettant en danger aussi bien l'installation que l'environnement. Des simulations faites avec le logiciel EED, utilisant des valeurs statistiques¹⁵, montrent en effet que si on ne satisfait les besoins que d'un seul bâtiment, le sol ne descend juste pas en dessous de 1°C après 50 ans d'exploitation¹⁶, en revanche si on satisfait les besoins de chauffage et d'ECS de l'ensemble du PLQ, le sol atteint 0°C déjà après 12 ans.

¹⁵ Aucun forage test n'est fait à ce stade très en amont de l'étude.

¹⁶ La norme 384/6 exige que la température de l'eau en sortie de sonde soit supérieure ou égale à 0°C après 50 ans d'exploitation [8].

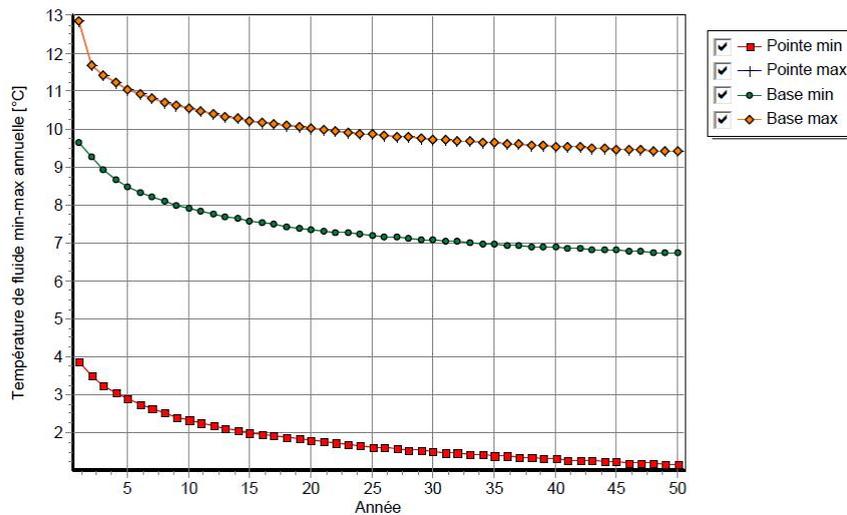


Figure 17 : Evolution de la température du terrain (courbe rouge en bas) durant 50 ans, pour le bâtiment A

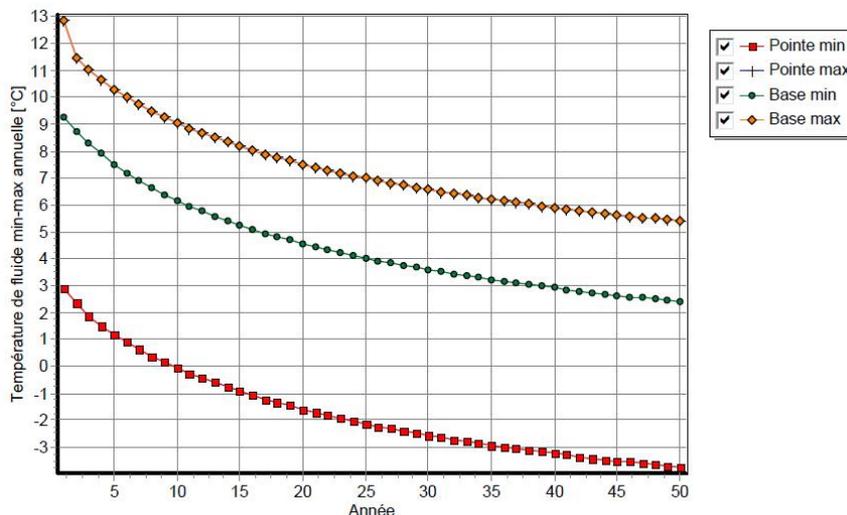


Figure 18 : Evolution de la température du terrain (courbe rouge en bas) durant 50 ans, pour l'ensemble du PLQ

Si l'appauvrissement du sol peut être évité en faisant de la recharge estivale (en utilisant l'air ambiant et donc en rafraîchissant légèrement les appartements)¹⁷, le problème lié au probable phasage des travaux est plus difficile à solutionner. Concernant la recharge estivale, il convient de préciser ici que celle-ci aurait pour conséquence, hormis d'assurer la pérennité de l'installation, de réduire le nombre de sondes requises. En effet, comme le montre la comparaison entre les deux premières lignes du Tableau 13 ci-dessous, la recharge permet, pour chacun des bâtiments, de réduire le nombre de sondes de un (par exemple pour le bâtiment A, construit selon un standard Minergie®, on passerait de 5 à 4 sondes). En revanche il faudrait placer un aéro-refroidisseur sur le toit de chaque bâtiment, d'une puissance équivalente à environ un tiers de la puissance de chaud¹⁸, ou éventuellement prévoir le réseau de chauffage au sol pour faire du rafraîchissement en été.

¹⁷ Un tel projet est actuellement en cours de réalisation dans le Canton de Genève, pour des immeubles de logement. Il s'agit du premier projet du genre dans le Canton.

¹⁸ Ces informations sont données ici à titre indicatif. Elles sont basées sur l'expérience du bureau Amstein+Walthert sur un projet similaire. Les valeurs précises étant cependant largement dépendantes des détails du projet, il sera indispensable de faire des modélisations plus détaillées dans une phase plus avancée du projet.

Les principales caractéristiques de ce scénario sont données dans le tableau ci-dessous, en estimant, grâce aux hypothèses données au début de la section, un COP annuel de 4,3 et une quantité d'électricité requise pour la recharge équivalent à 10% de la quantité d'énergie thermique injectée dans le sol. Etant donné que ce scénario n'est pas durable sans faire de la recharge, on donnera dans le tableau ci-dessous les caractéristiques avec recharge (hormis la quatrième ligne), en admettant un taux de recharge moyen de 45% [3]. Enfin, le tableau prend également en compte l'option de couvrir intégralement (ou non) les surfaces de toiture avec des panneaux photovoltaïques.

Bâtiment	Minergie®				Minergie-P®			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Puissance installation chaud [kW]	35	42	39	40	29	35	32	33
Besoins de chauffage couverts par renouvelables (sondes)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Besoins d'ECS couverts par renouvelables (sondes)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Nombre de sondes requises sans recharge	5	6	6	6	4	5	5	5
Nombre de sondes requises avec recharge	4	5	5	5	3	4	4	4
Rafraîchissement estival (recharge) [MWh/an]	19	23	21	22	15	18	17	17
Electricité requise pour PAC et recharge [MWh/an]	15	18	17	17	13	15	14	15
Electricité générée par PV (option) [MWh/an]	19	23	19	20	19	23	19	20
Electricité de réseau requise (équipements, PAC et recharge) si pas de PV [MWh/an]	57	68	63	65	52	62	57	60
Electricité de réseau requise (équipements, PAC et recharge) si PV [MWh/an]	37	46	45	45	32	39	38	40

Tableau 13 : Principales caractéristiques du scénario « Géothermie » (COPA : 4.3 , électricité pour recharge : 10% de l'énergie thermique rechargée)

En ce qui concerne l'emplacement des sondes (probablement sous le parking sous-terrain), rappelons que le phasage au niveau de la construction des bâtiments ne devrait pas poser de problème, étant donné que la construction du parking sous-terrain elle-même suivra le même phasage.

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 PAC¹⁹.

Malgré ces contraintes, et après discussion avec l'OCEN [6], 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.

¹⁹ 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.

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

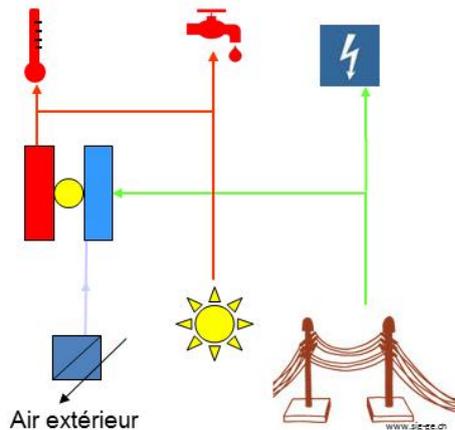


Figure 19 : Scénario « Air »

Les principales caractéristiques de ce scénario sont présentées dans le tableau ci-dessous, en estimant, grâce aux hypothèses données au début de la section, un COP annuel de 3,4 :

Bâtiment	Minergie®				Minergie-P®			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Puissance installation chaud [kW]	35	42	39	40	29	35	32	33
Besoins de chauffage couverts par renouvelables (PAC)	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Besoins d'ECS couverts par renouvelables (solaire thermique)	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%	30%
Energie requise pour 30% d'ECS [MWh/an]	7	9	8	8	7	9	8	8
Taille de panneaux solaires [m ²]	9	11	10	11	9	11	10	11
Surface de toiture requise [m ²]	23	28	25	26	23	28	25	26
Besoins d'ECS couverts par renouvelables (PAC)	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%	70%
Electricité requise pour PAC et solaire thermique [MWh/an]	15	18	16	17	12	15	14	14
Electricité de réseau requise (équipements, PAC et solaire thermique) [MWh/an]	56	68	63	65	51	62	56	59

Tableau 14 : Principales caractéristiques du scénario « Air »

7.5 Scénario 4 : CAD des Palettes

Ce scénario comprend un raccordement au futur CAD des Palettes. Le raccordement au CAD présente l'avantage, surtout pour des bâtiments ne nécessitant pas de production de froid, comme c'est le cas du 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. En revanche, au niveau des inconvénients il faut notamment mentionner les points suivants :

1. Comme expliqué dans la section 5.4.1, il semble y avoir une incertitude entre les SIG et l'OCEN par rapport au déploiement du CAD, et, à l'heure de la rédaction du présent rapport, on ne sait pas encore dans quel sens va évoluer la situation.
2. En admettant que le propriétaire souhaite se connecter au CAD, et que l'OCEN accepte cette connexion, des exemples de connexion à d'autres CAD ont montré que l'OCEN peut accorder une dérogation concernant la pose de panneaux solaires thermiques en toiture pour faire 30% d'ECS, lorsqu'un bâtiment est raccordé à un CAD. Ceci étant, le pourcentage d'énergie renouvelable du futur CAD des Palettes, soit 30%, n'est juste pas suffisant pour satisfaire la part

d'énergie renouvelable imposée par la loi, dans le cas d'une construction HPE. En effet, la loi impose, pour les nouvelles constructions, que la part maximale d'énergies non renouvelables, pour le chauffage et l'ECS, équivaut à 60% des besoins calculés selon la SIA 380/1 (soit les besoins indiqués dans le Tableau 5). En d'autres termes, seuls 187 MWh/an peuvent être fournis par des énergies non renouvelables ($187=0,6*(203+109)$). D'autre part, comme mentionné plus haut (section 7.2), la loi impose également une enveloppe de bâtiment résultant en des besoins de chauffage s'élevant au maximum à 80% des besoins limites de la norme 380/1. Avec cette deuxième contrainte, on obtient les besoins indiqués dans le Tableau 11 et repris dans le tableau ci-dessous :

	Chaleur			Froid		Electricité
	Chauffage	ECS	Puissance	Rafraichissement	Puissance	Equipements
	[MWh/an]	[MWh/an]	[kW]	[MWh/an]	[kW]	[MWh/an]
A	36	24	35	0	0	55
B	44	30	42	0	0	66
C	40	27	39	0	0	61
D	42	28	40	0	0	63
TOTAL	162	109	155	0	0	245

Tableau 15 : Consommations maximales autorisées

Ainsi, si le CAD des Palettes fournissait 100% de la chaleur pour le chauffage et l'ECS, soit 271 MWh/an ($271=162+109$), on obtiendrait les quantités d'énergie renouvelables et non renouvelables suivantes :

Energie renouvelable : $0,3*271 = 81$ MWh/an
 Energie non renouvelable : $0,7*271 = 190$ MWh/an

Comme on peut le constater, avec 190 MWh/an on est au-dessus des 187 MWh/an autorisés. Le dépassement étant mince, il est difficile de dire à ce stade si les niveaux de planification (et de modélisation) inférieurs vont accentuer ou au contraire éliminer ce dépassement. Théoriquement cependant, s'il y a un dépassement, même ténu, le propriétaire peut se voir contraint d'entreprendre des actions (par exemple : mise en toiture de panneaux solaires thermiques ou photovoltaïques, épaisseur d'isolation plus importante, ventilation double-flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait ou autres).

3. Les travaux de déploiement du CAD n'ont pas encore formellement commencé, et, même si tout se passe au mieux, le CAD ne sera pas prêt lors de la construction du bâtiment A. Ceci implique donc de mettre en place une solution de transition pour le bâtiment A, et donc de prévoir malgré tout la place pour la chaufferie.

Le scénario est indiqué dans la figure ci-dessous. Au stade actuel de l'étude, on fera l'hypothèse d'une construction HPE, pour laquelle on réduit les besoins de chaleur grâce à une isolation un peu plus épaisse (que ce qui est strictement requis pour une construction HPE), par exemple avec une enveloppe type Minergie®, et à une ventilation double-flux, plutôt que d'augmenter la part des énergies renouvelables avec des panneaux solaires thermiques. Ceci étant, si le propriétaire le souhaite, la pose de panneaux en toiture reste évidemment une option.

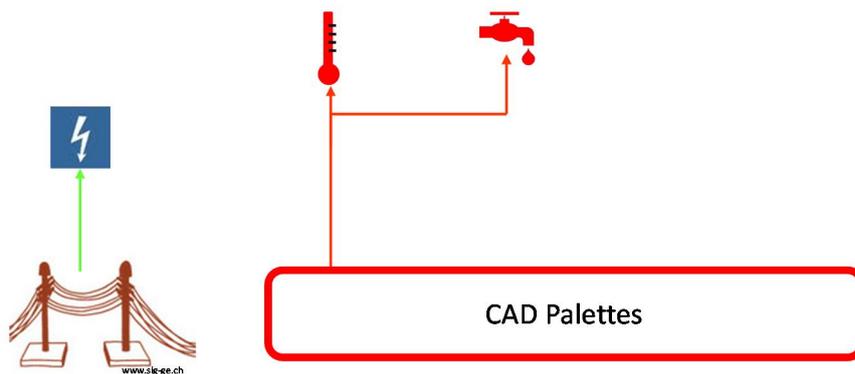


Figure 20 : Scénario « CAD des Palettes »

7.6 Scénario 5 : Combinaison PAC-Solaire

Comme expliqué en début de section, un cinquième scénario est donné ici à titre indicatif, sans fournir d'analyse quantitative. Ce scénario comprend la combinaison de panneaux solaires (capteurs solaires sélectifs sans vitrage) avec une PAC eau/eau et un stockage de glace. Quelques exemples concrets existent en Suisse [13]²⁰, même si ce concept est encore relativement nouveau. La figure ci-dessous montre le schéma d'une telle installation :

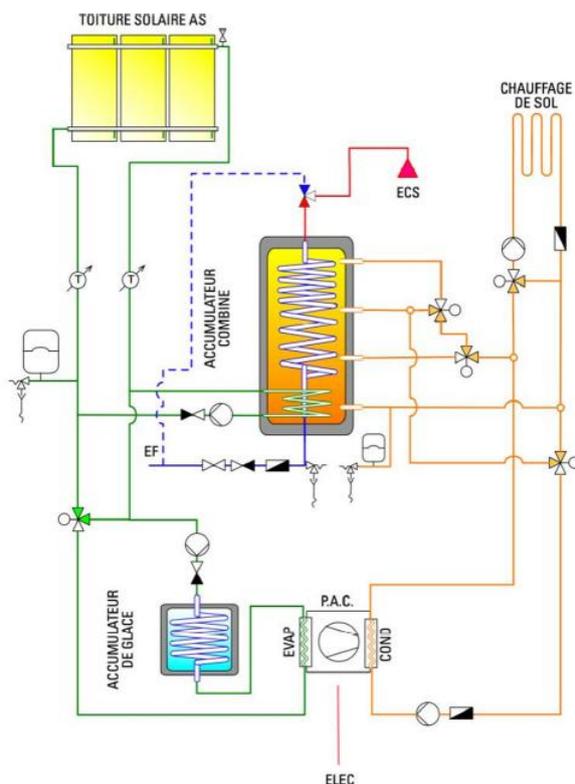


Figure 21 : Schéma de principe d'une installation avec panneaux solaires, PAC eau/eau et stockage de glace

Selon un rapport d'étude, des COP annuels de 4,7 sont atteignables pour des constructions de type Minergie dédiées au logement, et le système est rentable en 12 ans [13]. La taille de l'accumulateur

²⁰ On mentionnera notamment deux maisons au Valais (une maison rénovée et une maison Minergie®), ainsi que le Pavillon des sports à la Chaux-de-Fonds (rénové en 2012) [17].

de glace ainsi que la surface active des capteurs solaires peuvent être estimées en première approximation [18], pour chacun des bâtiments, aux valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous :

Bâtiment	Taille du stock de glace	Surface active de capteurs solaires sans vitrage
A	5'500 litres	114 m ²
B	6'700 litres	138 m ²
C	7'700 litres	159 m ²
D	8'000 litres	165 m ²

Tableau 16 : Estimation des tailles de stock de glace et de surfaces actives de capteurs solaires nécessaires

7.7 Comparaison quantitative des scénarios

Dans cette section, les différents scénarios sont comparés d'un point de vue quantitatif. Etant donné que le "mix électrique" genevois (offre SIG vitale bleue) est considéré comme 100% renouvelable, la comparaison des scénarii du strict point de vue de leur part de renouvelable est loin d'être suffisante. Le choix a donc été fait de les comparer en fonction de la contribution des énergies renouvelables locales à la satisfaction des besoins thermiques 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 non renouvelable. Précisons que pour l'électricité, le tableau indique la quantité à importer pour satisfaire aussi bien les besoins liés aux équipements électriques (dont les consommations sont données dans le Tableau 6 et le Tableau 7), que les besoins liés aux PAC.

Les critères de comparaison et les valeurs relatives sont donnés dans le tableau ci-dessous (les facteurs d'émissions et d'énergie primaire non renouvelables sont tirés du cahier technique 2031 de la SIA) :

	Scénario "Minimum légal"	Scénario "Géothermie" avec PV		Scénario "Géothermie" sans PV		Scénario "Air"		Scénario "CAD Palettes"
	Enveloppe selon Minergie®	Minergie®	Minergie-P®	Minergie®	Minergie-P®	Minergie®	Minergie-P®	Enveloppe selon Minergie®
Contribution des ressources renouvelables à la satisfaction des besoins thermiques (avec l'électricité pour les PAC et les pompes)	24%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	30%
Electricité importée [MWh/an]	186	173	150	253	230	252	227	186
Gaz importé [MWh/an]	208	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	192
Emissions de CO ₂ [ton/an]	16	11	10	16	15	16	15	16
Energie primaire non renouvelable [MWh/an]	291	49	42	72	65	72	64	320

Tableau 17 : Critères de comparaison quantitatifs

Sans surprise, d'un point de vue environnemental, le scénario « Minimum légal » ne peut être recommandé sur la base des valeurs ci-dessus, en raison de son fort apport en gaz. Le scénario « CAD Palettes » présente également des mauvais résultats. Ceux-ci s'expliquent d'une part par le fort taux de gaz naturel utilisé pour alimenter ce CAD (70%), combiné à des pertes de distribution du réseau (pertes dont ne souffre pas le scénario « Minimum légal »). Ceci étant, les performances de ce scénario pourraient être améliorées à l'avenir, si la part de biomasse dans le CAD était amenée à augmenter. En ce qui concerne la comparaison entre les scénarii « Géothermie » (sans PV) et « Air », on peut voir que l'apport en électricité est sensiblement identique pour les deux scénarii. En effet, si les PAC valorisant la géothermie affichent des meilleurs COP que les PAC valorisant l'énergie comprise dans l'air (surtout en plein hiver, en été les PAC sol/eau n'étant pas forcément meilleures que les PAC air/eau), le bénéfice de ces COP est largement perdu en raison des besoins de recharge du terrain. Une solution intermédiaire, permettant de faire usage des bons COP des PAC géothermiques, tout en évitant de devoir recharger le terrain, serait de combiner les scénarii « Géothermie » et « Air ». On pourrait ainsi mettre des PAC sur sondes dans les deux premiers bâtiments qui doivent être construits, et des PAC sur air dans les deux derniers. Le prix de revient de l'énergie serait cependant différent pour les deux catégories de bâtiments, et il conviendrait aux autorités compétentes de faire l'arbitrage pour éviter d'éventuels conflits.

7.8 Comparaison qualitative des scénarios

Une comparaison qualitative est également utile. Le tableau suivant récapitule ainsi les principaux avantages et inconvénients de chaque scénario.

Scénario	Avantages	Inconvénients
« 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.
« Géothermie »	Effet « marketing ».	Système « usine à gaz » avec recharge du terrain requise, engendrant des consommations électriques supplémentaires.
« Air »	Facilité de mise en œuvre.	Contrainte liée à l'obligation de mettre des panneaux solaires thermiques.
« CAD Palettes »	Facilité de mise en œuvre pour les bâtiments construits après le déploiement du CAD, et faible encombrement.	Solutions transitoire requises pour le bâtiment A, ainsi que les autres bâtiments s'ils devaient être construits avant l'arrivée du CAD, et incertitude par rapport au déploiement ou non du CAD.

Tableau 18 : Critères de comparaison qualitatifs

Selon les critères qualitatifs, les scénarii « Minimum légal », « Air » et « CAD Palettes » présentent l'avantage non négligeable de la facilité de mise en œuvre et donc, souvent, d'une meilleure garantie de fonctionnement. Le scénario « Géothermie » est malheureusement plus compliqué à mettre en œuvre, eu égard au phasage des travaux et à la nécessité de recharge.

En conclusion, les options les plus favorables sont soit une combinaison entre les scénarii « Géothermie » et « Air », soit le scénario « Air ».

8 Mesures, infrastructures et équipements à préciser

Dans cette section, on indique les réservations à prévoir pour les niveaux de planification inférieurs. Bien que les scénarii recommandés sont le scénario « Air », ou alors une combinaison entre les scénarii « Air » et « Géothermie », on donnera ci-dessous les réservations pour l'ensemble des scénarii proposés, étant donné qu'ils sont techniquement tous faisables. Enfin, il convient de préciser que ce PLQ, eu égard à son probable phasage et à ses caractéristiques, ne pourra pas être un élément déclencheur structurant pour une stratégie énergétique à plus large échelle.

8.1 Scénario « Minimum légal »

Le tableau ci-dessous indique les tailles approximatives des réservations. Pour les dimensions du local de chauffe, on s'est basé sur des valeurs estimatives de la norme SIA 384/1 [19].

Bâtiment	A	B	C	D
Puissance installation chaud [kW]	35	42	39	40
Taille chaufferie [m ²]	13	12	12	12
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m ²]	23	28	25	26

Tableau 19 : Tailles des réservations requises pour le scénario « Minimum légal »

L'emplacement des réservations est indiqué sur la figure ci-dessous :



Figure 22 : Emplacement des réservations pour le scénario « Minimum légal »

8.2 Scénario « Géothermie »

Le tableau ci-dessous indique les tailles approximatives des réservations. Pour les dimensions du local de chauffe, on s'est basé sur des valeurs estimatives de la norme SIA 384/1 [19].

Bâtiment	Minergie®				Minergie-P®			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Puissance installation chaud [kW]	35	42	39	40	29	35	32	33
Nombre de sondes requises avec recharge	4	5	5	5	3	4	4	4
Surface requise pour sondes [m ²]	225	281	281	281	169	225	225	225
Taille chaufferie [m ²]	13	12	12	12	14	13	14	13

Tableau 20 : Tailles des réservations requises pour le scénario « Géothermie »

L'emplacement des réservations est indiqué sur la figure ci-dessous :



Figure 23 : Emplacement des réservations pour le scénario « Géothermie »

8.3 Scénario « Air »

Le tableau ci-dessous indique les tailles approximatives des réservations. Pour les dimensions du local de chauffe, on s'est basé sur des valeurs estimatives de la norme SIA 384/1 [19].

Bâtiment	Minergie®				Minergie-P®			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Puissance installation chaud [kW]	35	42	39	40	29	35	32	33
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m ²]	23	28	25	26	23	28	25	26
Taille chaufferie [m ²]	13	12	12	12	14	13	14	13

Tableau 21 : Tailles des réservations requises pour le scénario « Air »



Figure 24 : Emplacement des réservations pour le scénario « Air »

8.4 Scénario combiné « Géothermie » et « Air »

Le tableau ci-dessous indique les tailles approximatives des réservations. Les réservations pour les sondes (bâtiments A et C) sont plus grandes que pour le scénario « Géothermie », étant donné que dans ce cas il n'y a pas de recharge, et donc plus de sondes requises. Pour les dimensions du local de chauffe, on s'est basé sur des valeurs estimatives de la norme SIA 384/1 [19].

Bâtiment	Minergie®				Minergie-P®			
	A	B	C	D	A	B	C	D
Puissance installation chaud [kW]	35	42	39	40	29	35	32	33
Nombre de sondes requises sans recharge	5	0	6	0	4	0	5	0
Surface requise pour sondes [m ²]	281	0	338	0	225	0	281	0
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m ²]	0	28	0	26	0	28	0	26
Taille chaufferie [m ²]	13	12	12	12	14	13	14	13

Tableau 22 : Tailles des réservations requises pour le scénario combiné « Géothermie » et « Air »

L'emplacement des réservations est indiqué sur la figure ci-dessous :



Figure 25 : Emplacement des réservations pour le scénario combiné « Géothermie » et « Air »

8.5 Scénario combiné « CAD Palettes »

Le tableau ci-dessous indique les tailles approximatives des réservations. Pour les dimensions du local de chauffe du bâtiment A, on s'est basé sur les mêmes valeurs que pour le scénario « Minimum légal » ci-dessus, étant donné que cette solution transitoire sera requise. Pour les autres bâtiments, on a simplement considéré la place requise pour mettre un échangeur.

Bâtiment	A	B	C	D
Puissance installation chaud (échangeur) [kW]	35	42	39	40
Taille chaufferie [m ²]	13	4	4	4

Tableau 23 : Tailles des réservations requises pour le scénario « CAD Palettes »

L'emplacement des réservations est indiqué sur la figure ci-dessous :



Figure 26 : Emplacement des réservations pour le scénario « CAD Palettes »

Références

- [1] <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php>, accédé le 12 juillet 2013.
- [2] http://www.viessmann.ch/de/services/toolbox/interaktive_programme/esop-online.html, accédé le 12 juillet 2013.
- [3] *Dimensionnement de sondes géothermiques pour le chauffage et le rafraîchissement*, Prof. Daniel Pahud, Cours donné le 16 juin 2001 à l'UNIGE.
- [4] Voir notamment : Canton de Genève, Plan de gestion des déchets du canton de Genève 2009-2012, 56 p.
- [5] <http://www.wind-data.ch/windkarte/index.php?lng=fr>, accédé le 15 juillet 2013.
- [6] Communication personnelle OCEN, 26 juillet 2013.
- [7] PAC à haute température – Etat de l'art, Amstein+Walthert, Weber C., Mai 2012 (Etude réalisée sous mandat SIG).
- [8] *SIA 384/6 Sondes géothermiques*, Edition 2010.
- [9] *Chauffer et rafraîchir grâce aux eaux usées – Guide pour les maîtres d'ouvrage et les communes*, SuisseEnergie.
- [10] http://www.trinkwasser.ch/fr/frameset_fr.htm?html/wasserversorgung/wvs_wasserabgabe_03_fr.htm~mainFrame, accédé le 22 août 2013.
- [11] *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.
- [12] Communication personnelle donnée lors du cours sur la Géothermie, Journée Romande de la Géothermie, Yverdon, 29 novembre 2011.
- [13] *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.
- [14] *Heizen und kühlen mit Abwasser*, Baudirektion Kanton Zürich, Septembre 2010.
- [15] <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/01/04/blank/key/haushaltsgroesse.html>, accédé le 15 août 2013.
- [16] *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.
- [17] <http://www.energie-solaire.com>, accédé le 16 août 2013.
- [18] Fiche de référence Energie Solaire S.A. pour une maison villageoise à Granois (VS)
- [19] *SIA 384/1 Installations de chauffage dans les bâtiments – Bases générales et performances requises*, Edition 2009.
- [20] Communication personnelle SIG, par telephone, 2 juin 2015.
- [21] Communication personnelle SIG, par courriel, 3 juin 2015.
- [22] Communication personnelle OCEN, par courriel, 3 juin 2015.
- [23] <https://www.kbob.admin.ch/kbob/fr/home/publikationen/nachhaltiges-bauen.html>, accédé le 4 juin 2015.
- [24] *Etude énergétique sur le périmètre du plan directeur de quartier « Les Semailles », incluant les quartiers « Les Palettes » et « Le Bachet »*, Lancy, Amstein+Walthert sur mandat du Scane, septembre 2011.

Feuille de validation et suivi des modifications du concept énergétique territorial

Cette feuille faite partie intégrante du CET validé

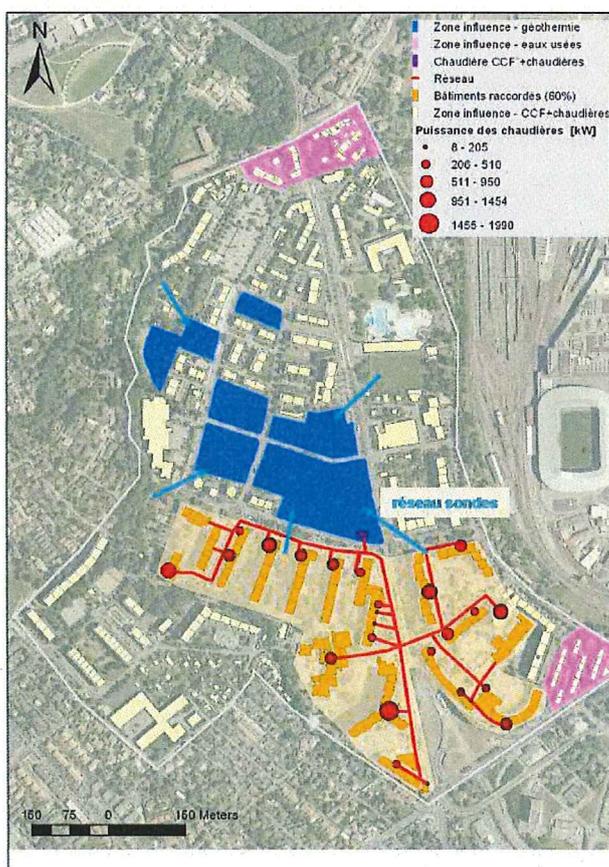
CET 2014-04 associé au PLQ n°29'941 Curé-Baud

Commentaires de l'OCEN

Ce CET annule et remplace la version 01 du 28.08.2013 validée le 16.05.2014.

Le CET 2014-04 (version 03 du 18.06.2015) est validé avec la réserve suivante :

- La planification directrice établie dans le CET 2011-36 prévoit prioritairement l'usage des ressources énergétiques locales (géothermie, solaire, air) dans les PLQ situés au nord du chemin des Palettes. Ci-dessous : extrait du CET 2011-36.



Tracé de principe des réseaux et productions et de leurs zones d'influence respectives. Les flèches bleues indiquent les apports géothermiques possibles sur les périmètres du PDQ depuis les parcelles disponibles situées dans le voisinage proche.

Dès lors, l'OCEN demeure réservée quant au scénario 4 du présent CET. Ce scénario implique une coordination à mener entre SIG et l'OCEN pour valider une stratégie de déploiement du réseau "CAD Palettes".

Bon pour validation:

Date: 11 août 2015

Visa:

Fabrice Guignet
Adjoint scientifique