



AMSTEIN + WALTHERT

CPSA / Ardin&Zufferey PLQ 30041 route d'Avully



Concept énergétique territorial



Version 1.1 / 13 octobre 2016

Impressum

Donneur d'ordre	CONSTRUCTION PERRET SA 38 route du Bois-de-Bay 1242 Satigny-Genève Tél. +41 22 306 17 17 Fax +41 22 306 17 00 E-mail : cpsa@cpsa.ch	
Mandataire	AMSTEIN + WALTHERT SA Rue du Grand-Pré 56 CH-1202 Genève Tél. +41 22 749 83 80 www.amstein-walthert.ch	
Rédaction	M. Gilles Desthieux	
Distribution	M. François Sautier	CPSA
	M. Alain Zufferey	Ardin&Zufferey Architectes Associés SA
	M. Dominique Ardin	Ardin&Zufferey Architectes Associés SA
	M. Mokrane Aït-Ghezala	Office cantonal de l'urbanisme
	M. Fabrice Guignet	Office cantonal de l'énergie
Versions	Version 1.1	
Intitulé	R160829DEST_CET_PLQ_Avully.docx	

Sommaire

Validation et suivi des mises à jour	5
Glossaire	6
Résumé	7
1 Objectifs et positionnement de l'étude	10
2 Contenu du Concept Energétique Territorial (CET)	10
3 Cadres légaux et politiques	11
3.1 Niveau fédéral.....	11
3.2 Niveau cantonal.....	12
4 Périmètres de l'étude	13
4.1 Périmètre élargi	13
4.2 Périmètre d'entrée (étude).....	14
5 Etat des lieux	14
5.1 Concepts énergétiques préexistants à l'échelle du PDQ et infrastructures énergétiques prévus	14
5.2 Infrastructures énergétiques.....	18
5.3 Contraintes environnementales.....	18
5.4 Aménagement du territoire : projet de PLQ.....	20
5.5 Acteurs.....	22
5.6 Évaluation des besoins énergétiques.....	22
6 Ressources énergétiques locales disponibles	25
6.1 Energie solaire.....	25
6.2 Energie géothermique avec des sondes verticales.....	26
6.3 Air	30
6.4 Energie de la biomasse	31
6.5 Rejets thermiques.....	31
6.6 Eaux usées /logements	31
6.7 Synthèse des sources d'approvisionnement renouvelables localement pertinentes	32
7 Scenarii d'approvisionnement	33
7.1 Présentation des scenarii en bref	33
7.2 Hypothèses générales relatives aux scenarii	33
7.3 Scénario 1 : Géothermie solaire et réseau de quartier	33
7.4 Scénario 2 : Réseau CAD de quartier à l'échelle du PDQ	36
7.5 Scénario 3 : PAC Air-Eau	37
7.6 Autres scenarii	39
8 Synthèse comparative des scenarii	40
8.1 Comparaison quantitative des scenarii : bilan environnemental	40
8.2 Comparaison qualitative des scenarii.....	41
9 Infrastructures, équipements, phasage et mesures transitoires	42
10 Conclusion et recommandations	44
Références	45

Validation et suivi des mises à jour

Version	Date	Identifiant et Visa			Descriptif succinct des mises à jour
		Auteur	Relecteur	Direction	
1.1	13.10.16	GD	LOPZ	MAUC	Version de base / provisoire
2					
3					

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
- GESDEC** : Service de géologie, des sols et des déchets
- HPE** : haute performance énergétique
- IUS** : Indice d'utilisation du sol
- 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
- 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 dans le cadre de l'extension d'Avully-Village. 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 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 :

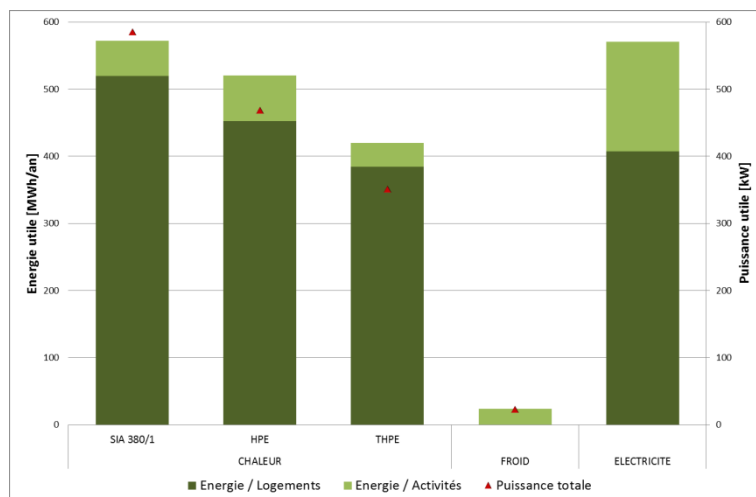
- d'identifier les principaux enjeux liés à l'approvisionnement énergétique des futurs bâtiments ;
- d'identifier les filières d'approvisionnement pertinentes et anticiper les actions à entreprendre pour ne pas en compromettre la valorisation future.

Contexte du PLQ et besoins énergétiques

Le PLQ Avully porte sur la première phase de construction prévue dans le cadre du PDQ extension Avully-Village. Il prévoit la construction de 4 bâtiments majoritairement affectés aux logements (87%), et prévoyant des locaux pour des bureaux, services et petits commerces.

Le présent CET s'inscrit à la suite de précédentes études énergétiques réalisées dans le cadre du PDQ Avully-Village. Selon ces études deux grands types de solutions se dessinent : (i) un réseau CAD communal qui serait basé à Gennecy (chaudière au bois + CCF) et peut-être étendu sur Avully-Village et sur le PDQ. La société ALPIQ mène actuellement une étude d'opportunité à ce sujet ; (ii) la géothermie basse profondeur pouvant aussi bien faire l'objet d'une mutualisation à l'échelle du PDQ via un réseau CAD ou bien être valorisée de façon décentralisée ou semi-centralisée à l'échelle des pièces du PDQ. Ce réseau CAD pourrait être interconnecté au CAD-Gennecy. L'étude comparative entre ces différentes variantes réalisée par le bureau CSD préconise la valorisation de la géothermie à l'échelle des pièces (PLQ) via des systèmes semi-centralisés.

Les puissances et énergies requises pour le PLQ Avully sont les suivantes selon les trois niveaux de performance (SIA 380/1, HPE et THPE) :

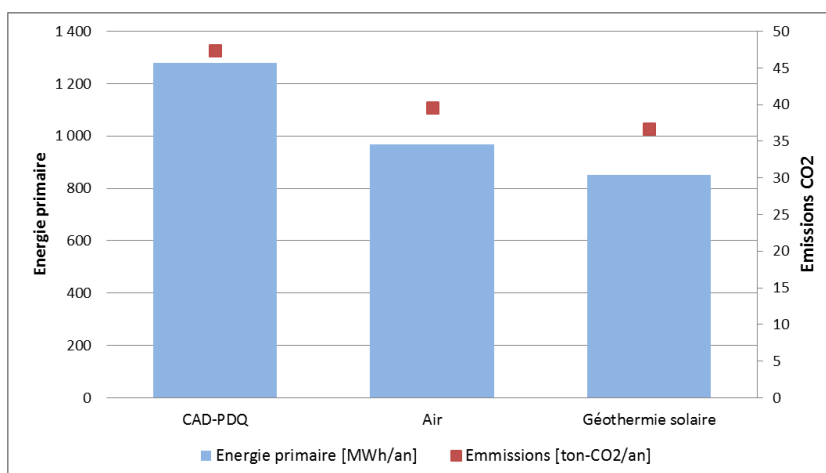
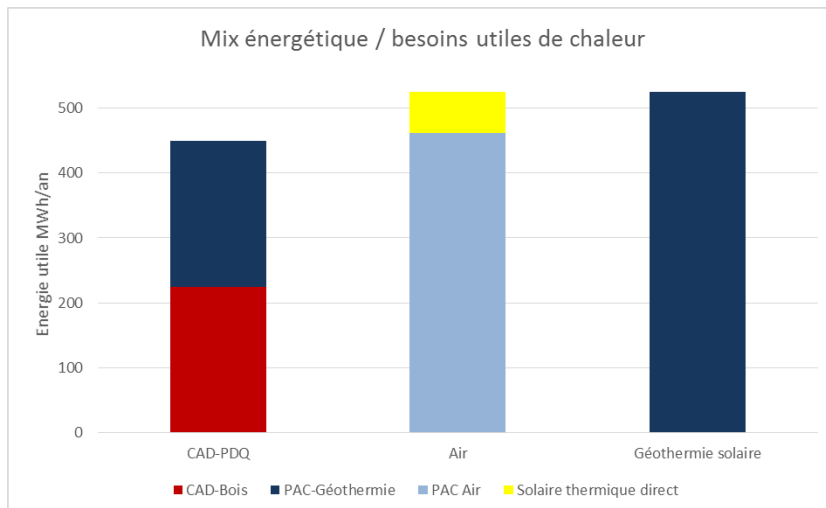


Scenarii d'approvisionnement et évaluation

Trois scenarii d'approvisionnement ont été étudiés dans le cadre du CET :

1. Scénario 1 « **géothermie solaire et réseau de quartier** » (semi-centralisé) : réseau de chaleur basse température à l'échelle du PLQ alimenté par une PAC centrale de quartier sur 34 sondes géothermiques rechargées par géocooling et panneaux solaires (hybrides). PACs décentralisées par bâtiment pour le complément ECS. Type de solution préconisée par le bureau CSD dans son étude comparative [3].
2. Scénario 2 « **réseau CAD – PDQ Extension Avully-Village** » (centralisé) : réseau CAD développé à l'échelle de tout le PDQ alimenté en partie par un champ de sondes centralisé au sud du PDQ et par une jonction au CAD-bois (en cours d'étude par Alpiq) développé à partir de Gennecy. Solution étudiée par le bureau Enercore, incertaine au niveau de sa réalisation en particulier au niveau du PDQ [7].
3. Scénario 3 « **PAC air-eau individuelles par bâtiment** » (décentralisé) : PAC air/eau individuelles par bâtiment pour satisfaire les besoins de chauffage et 70% des besoins d'ECS, ainsi que panneaux solaires thermiques pour couvrir 30% d'ECS.

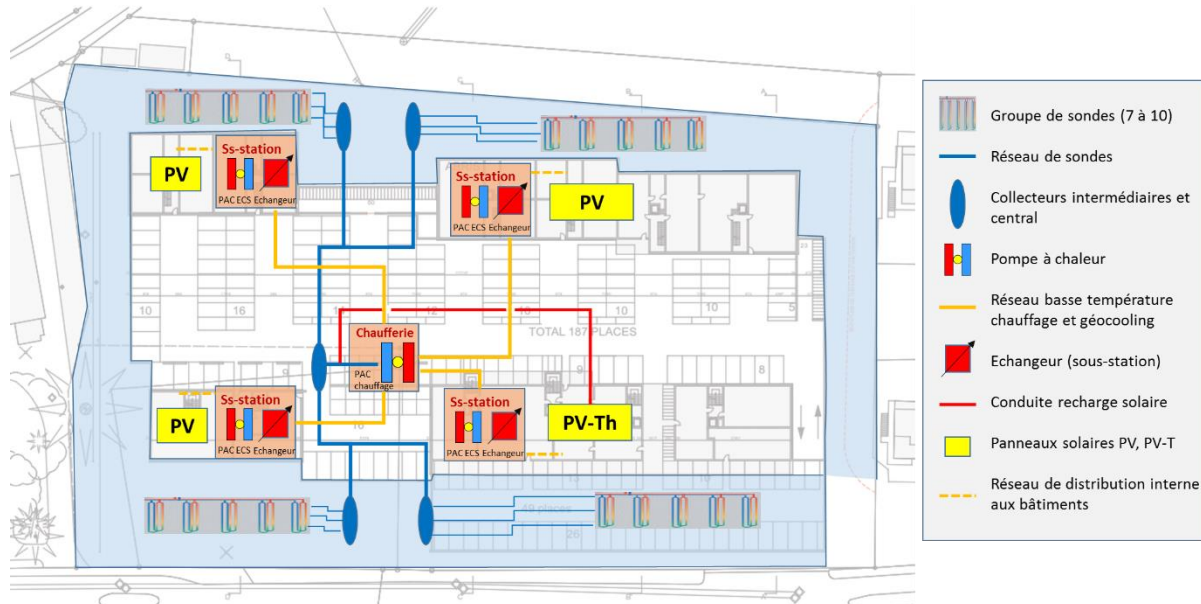
Les deux graphes ci-dessous résument la comparaison quantitative des scenarii en fonction du mix énergétique pour les besoins utiles de chaleur, de l'énergie primaire totale et des émissions de CO₂.



Du point de vue environnemental, les trois scenarii sont relativement similaires et globalement satisfaisants. Le scénario « Géothermie solaire » est le meilleur de ce point de vue, grâce à un COP de la PAC très bon (étant donné la recharge solaire des sondes) et donc des besoins électriques moindres.

Réervations spatiales

Le scénario de base « Géothermie solaire » étant privilégié, nous donnons ci-dessous une indication des **réserves spatiales** à prévoir pour les champs de sondes, la PAC centralisée, le passage du petit réseau à travers le quartier et du réseau de sondes.



Recommandations et perspectives

Les trois scénarii permettent chacun d'offrir une solution d'approvisionnement en très grande partie renouvelable et à faible émission CO₂ et s'inscrivent en conformité avec les politiques énergétiques tant fédéral que cantonal, de même qu'avec les précédentes études énergétiques réalisées à l'échelle du PDQ.

Parmi les différentes variantes, un réseau CAD développé à l'échelle du PDQ voire à l'échelle de la commune, offrirait une solution facile et peu coûteuse à mettre en œuvre, suffisant simplement de se connecter au réseau. Cependant, ce réseau (pour l'instant prévu à Gennegy à travers une chaufferie centralisée au bois) est encore hypothétique au niveau du PDQ. Et ces incertitudes ne doivent pas freiner le développement du présent PLQ. Ce réseau constituerait en outre un bon vecteur pour valoriser la géothermie profonde, la commune étant avantageusement située de ce point de vue. Les conclusions du programme Géothermie 2020 apporteront plus d'informations sur ces perspectives.

En absence de certitudes sur ce réseau communal/de quartier, le présent CET suggère de considérer en priorité le développement d'un réseau de chaleur à l'échelle du PLQ permettant à la fois de centraliser la production et distribution tout en offrant une indépendance énergétique à l'échelle du quartier.

La décentralisation de la production par bâtiment peut aussi tout à fait être envisagée, à travers des PACs individuelles soit air-eau, soit sur sondes géothermiques (sans mise en réseau). Des alternatives supplémentaires sont listées à la section 7.6

Nous voyons ainsi que le champ des systèmes d'approvisionnement possibles est large. Les études en cours tant sur le réseau CAD communal que la géothermie moyenne profondeur permettront à un horizon relativement proche d'apporter plus de certitude sur les opportunités possibles et ainsi de mieux orienter l'approvisionnement du quartier étudié.

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 Avully situé dans le secteur Plan directeur de quartier n°29'761 (Extension du village d'Avully). 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 Énergétique 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 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 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].

¹ 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.

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

3.2 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 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.

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 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 Avully s'inscrit dans le cadre PDQ d'extension du village d'Avully, ce dernier constitue par défaut le périmètre élargi immédiat de l'étude. Le PDQ du village d'Avully prévoit la création d'un quartier résidentiel (40'000 m²) autour du groupe scolaire de la commune. Par ailleurs, il est question de développer un réseau CAD reliant les villages d'Avully-Genecy et d'Avully-Village comme on le verra plus loin ; ainsi le périmètre élargi doit également considérer la zone de ce futur possible réseau. Les deux figures ci-dessous présentent d'une part le périmètre du PDQ et ses différents secteurs, d'autre part le secteur plus élargi autour des deux noyaux villageois d'Avully-Genecy et Avully-Village.



Figure 1 : Périmètre d'étude élargi constitué par le PDQ et ses différents secteurs dont fait partie le projet de PLQ (« Ardin ») (à gauche) et la Commune dans son ensemble avec les différents pôles villageois (à droite), sources [6].

Enfin, il convient de relever que le périmètre du PLQ Avully est entouré ou à proximité de bâtiments existants qui perdureront au-delà de la réalisation du PDQ : d'une part les bâtiments du centre villageois au nord-est, d'autre part les bâtiments situés sur le secteur 'Est D' qui fera l'objet d'une densifi-

cation. Ainsi, le concept énergétique devra favoriser, dans la mesure du possible, une transition énergétique de ces ensembles bâtis.

4.2 Périmètre d'entrée (étude)

Le périmètre *d'entrée* correspond à celui du PLQ Avully, tel qu'il est présenté sur la Figure 2. Le projet de quartier (périmètre en violet) se situe sur une partie de la parcelle n°2862 et sur la parcelle n°2863 qui sont classées en 'Zone de développement 4B' et de propriété privée (deux propriétaires différents pour les parcelles respectives). Le périmètre de construction totalise une surface de 12'050 m². Il comprend trois bâtiments existants (un hangar, une maison individuelle et un garage) qui seront détruits lors de la réalisation du projet.

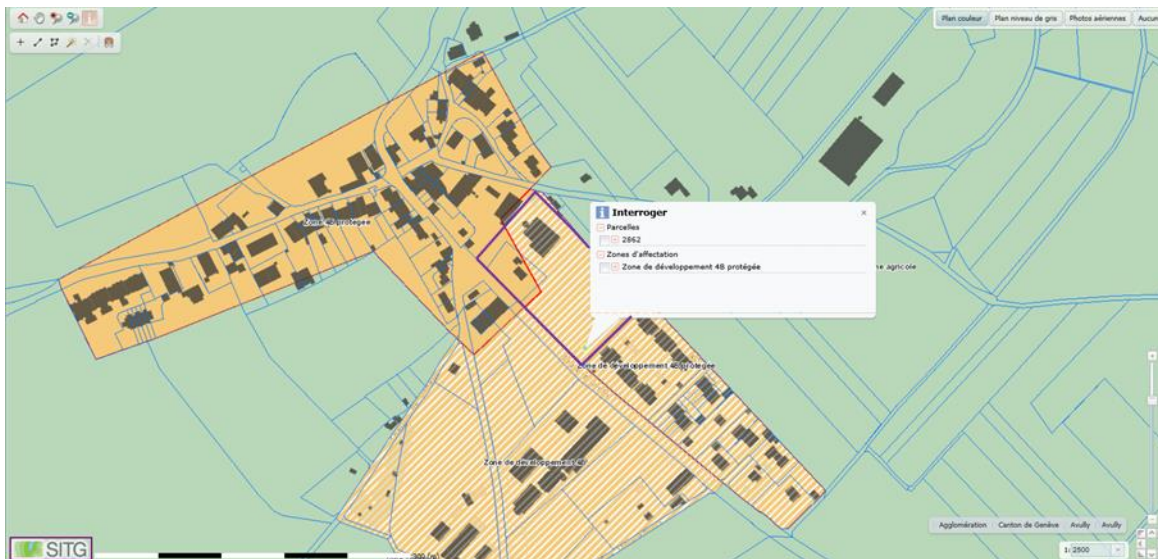


Figure 2 : Périmètre d'entrée de l'étude (périmètre du futur PLQ), source SITG

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 infrastructures énergétiques prévues,
- les concepts énergétiques préexistants,
- les contraintes environnementales,
- les procédures d'aménagement en cours,
- l'analyse des acteurs,
- les besoins énergétiques.

5.1 Concepts énergétiques préexistants à l'échelle du PDQ et infrastructures énergétiques prévus

La commune d'Avully ne dispose pas de planification énergétique à proprement parler mais, dans le cadre du plan directeur de quartier 29'761, plusieurs concepts énergétiques ont été réalisés :

- *CET 2013-07* dans le cadre du PDQ (Enercore SA, mai 2012) [6] ;
- *Développement d'un réseau de chaleur à distance sur le territoire de la commune d'Avully, étude préliminaire* (Enercore SA, mai 2013) [7] ;
- Etude de contracting à l'échelle des futurs bâtiments : *Contracting 15-034 – Concept énergétique pour la production de chaleur concernant l'extension de la Commune d'Avully* (bureau EKZ, novembre 2014) [8] ;
- *Comparatif des différentes options d'approvisionnement* (bureau CSD Ingénieurs SA, mars 2016) [3].

A travers ces études, trois variantes d'approvisionnement sont proposés : un réseau CAD à l'échelle de la commune d'Avully [7], un concept individuel par bâtiment basé sur la géothermie et le solaire PV [8], des réseaux géothermiques décentralisés par secteurs du PDQ [3]. La présente étude de CET pour le PLQ Avully visera à s'inscrire en cohérence avec ces différentes études et variantes d'approvisionnement. Les sections suivantes font un bref résumé de ces études.

5.1.1 CET 2013-07 PDQ Extension du village d'Avully [6]

Tel que résumé par le CET, les ressources principales dont le PDQ peut bénéficier sont la géothermie basse profondeur, le bois énergie ainsi que l'énergie solaire. La géothermie bénéficie d'un contexte très favorable avec la présence de la nappe du Rhône ainsi que d'un sous-sol argileux favorable au stockage. Le réseau de gaz est par ailleurs absent du périmètre.

Trois options de mise en œuvre de ces ressources sont proposées pour approvisionner le PDQ. La première est de mettre en œuvre des champs des sondes géothermiques, raccordés à des pompes à chaleur, au fur et à mesure de la construction des bâtiments. La seconde consiste à réaliser un système de doublet géothermique sur la nappe du Rhône (si les conditions de pompage le permettent) et de créer un réseau thermique local (chaud et froid). La troisième option propose l'implantation d'un réseau de chaleur à distance, à partir d'un champ de sondes unique couplé à des PAC et éventuellement à un CCF au bois; cette option permet une production locale d'électricité.

Le bois-énergie (ou le mazout) est envisagé comme énergie d'appoint (pics de demande) pour les trois options. Les deuxième et troisième options sont jugées prioritaires étant donné leur potentiel à structurer une solution commune pour l'ensemble du PDQ. Une étude de faisabilité devra arbitrer entre celles-ci selon les conditions du sous-sol. Ces deux options nécessitent toutefois une réelle collaboration entre tous les acteurs du périmètre sur le plan de la planification technique, organisationnelle et financière. La première option est proposée en alternative aux deux autres.

5.1.2 Développement d'un réseau CAD à Avully [7]

Le projet de réseau CAD consiste à exploiter le potentiel du terrain, très favorable pour la géothermie faible profondeur, à l'aide d'une pompe à chaleur (PAC) sur sondes géothermiques verticales, ainsi que le stockage thermique saisonnier à l'aide de capteurs solaires thermiques concentrés sur des bâtiments communaux situés au niveau du champ de sondes (cf. bâtiments en jaune sur la carte ci-après). Cette variante inclut également le village voisin de Gennecy avec une technologie de couplage chaleur force (CCF) au bois. Ainsi, l'implantation d'un champ de sondes centralisé avec l'appoint d'une technologie CCF permettrait de développer un réseau de chaleur à distance au bénéfice de la commune d'Avully (zone village + zone PDQ) mais également du village voisin de Gennecy (Figure 3-1).

Les sondes seraient implémentées sur un champ d'une surface de 10'000 m² au sud du complexe scolaire dans le périmètre du PDQ (zone en vert sur la Figure 3). Le réseau géothermique peut être raccordé uniquement aux futurs bâtiments et il ne permet pas de couvrir la totalité des besoins de chaleur de ces derniers (couverture de 40% des besoins des bâtiments neufs du PDQ).

Ainsi, il serait nécessaire de prolonger le réseau CAD développé à Gennecy pour alimenter les bâtiments existants du village d'Avully et les bâtiments du PDQ à bâtir non raccordés au réseau géothermique. Une jonction entre les réseaux Gennecy et PDQ (extension Avully-Village) pourrait alors potentiellement être réalisée (Figure 4).

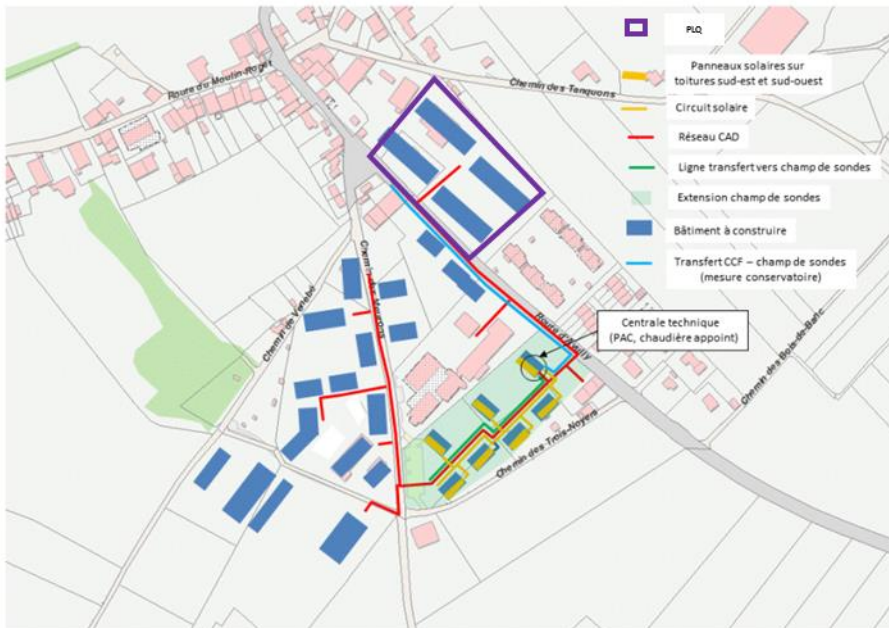


Figure 3 : développement du réseau CAD sur le périmètre du PDQ [7]

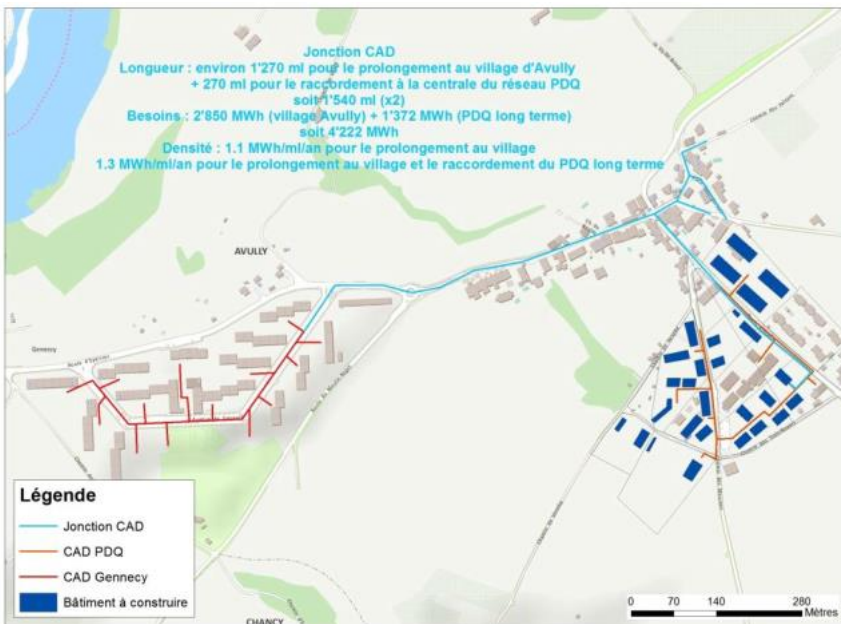


Figure 4 : Schématisation de la jonction entre les réseaux CAD Gennecey et CAD PDQ [3]

Comme le relève l'étude comparative [3], la jonction de deux réseaux entraînent de nombreuses interrogations. Tout d'abord les réseaux n'étant pas à la même température, le réseau devrait rester coupé en deux avec une partie haute température et une autre partie basse température. Le point d'injection du réseau Gennecey doit être proche de la centrale du réseau PDQ. Les deux réseaux ayant des horizons de planification différents, une mesure conservatoire doit être prévue pour le passage de la conduite du réseau bois vers le champ de sondes.

A la suite de cette étude, selon les informations fournies par l'OCEN, la société Alpiq s'est montrée intéressée à approfondir la faisabilité d'un tel réseau en menant une étude de contracting et en développant un concept à présenter aux différents acteurs intéressés. A ce jour, la société Alpiq a terminé une étude de faisabilité technique en traitant prioritairement le secteur Gennecey avec un concept

énergétique basé sur la filière bois avec une cogénération à gazéification. Toutefois, les négociations avec les copropriétaires de Gennecy sont encore en cours.

5.1.3 Concept énergétique décentralisé pour la production de chaleur [8]

La solution proposée se base sur un concept individuel, et concerne uniquement les bâtiments à bâtir, dont les besoins en température de chauffage ne dépassent pas les 35 à 40°C. La fourniture d'ECS étant à 60°C, il est proposé de séparer la production de l'un et de l'autre afin de livrer les habitants en fonction du besoin. Il s'agirait d'implanter un champ de sondes géothermiques verticales (jusqu'à 300 m) raccordées à deux PAC, une pour le chauffage et une autre pour l'ECS. L'installation supplémentaire de panneaux photovoltaïques en toiture permettrait de compenser l'électricité consommée par la PAC. Cette installation serait réalisée pour chaque bâtiment. Un refroidissement passif est également proposé afin de régénérer le champ de sondes.

Comme le relève l'étude comparative [3], si la réalisation d'une installation par immeuble présente l'avantage de permettre une totale indépendance dans le rythme des constructions et de produire de la chaleur proche des consommateurs (basse température), elle multiplie les installations et par conséquent les coûts et également la maintenance. Elle n'assure pas non plus l'implantation rationnelle des champs de sondes en intégrant l'ensemble des étapes de concrétisation de chaque PLQ. Elle ne prétend pas un raccordement futur à un réseau de chaleur à distance qui pourrait voir le jour dans les alentours.

5.1.4 Réseaux de chaleur décentralisés [3]

Le bureau ayant élaboré l'étude comparative recommande au final une solution médiane d'approvisionnement par rapport aux deux autres présentées ci-dessus.

Elle consiste en un développement de plusieurs petits réseaux de chaleur à distance en fonction des étapes de construction et de la proximité des bâtiments. Cette variante réseaux de chaleur décentralisés consisterait en l'implantation d'un champ de sondes de 200 m de profondeur connectées à une ou des PAC pour produire la chaleur nécessaire à chaque îlot. Un îlot est un ensemble de plusieurs bâtiments contigus et construits sensiblement en même temps. Ce réseau délivrerait de la chaleur à une température de 30 à 40°C maximum. La production d'ECS se ferait de façon décentralisée via une PAC dans chaque bâtiment, dont la source froide serait le réseau d'eau de chauffage.

Une option centralisée est également proposée: dans celle-ci la chaleur basse température (température du sol) est valorisée par une seule PAC, qui distribue ensuite de la chaleur moyenne température à chaque bâtiment. *C'est ce type d'approvisionnement qui sera privilégié dans le présent concept énergétique et sera détaillé au chapitre 7.*

Les toitures des bâtiments neufs peuvent être utilisées à la fois pour l'installation de capteurs solaires thermiques et de panneaux photovoltaïques. Les capteurs solaires thermiques permettraient de recharger les terrains et faire un stockage saisonnier, tandis que les panneaux photovoltaïques serviraient à compenser l'électricité consommée par les pompes à chaleur.

Ainsi, plusieurs petits réseaux de chaleur à distance, déployés selon le découpage synthétisé dans la figure ci-après (Figure 5), couvriraient la totalité des besoins de chaleur des nouveaux bâtiments (secteurs 2, 4, 6, 7, 8, 9 et 10 sur la Figure 5).

Cette stratégie implique une planification rationnelle de l'implantation des champs de sondes nécessaires à chaque étape de réalisation des différents PLQ, afin d'assurer une affectation optimale des surfaces disponibles en fonction du développement prévu à long terme.

Cette variante regroupe les avantages des variantes centralisées et décentralisées développées précédemment dans le rapport. En effet, elle permet une indépendance dans les rythmes des constructions en raccordant sur un même réseau uniquement les bâtiments contigus et construits au même moment. Il est également possible de raccorder tous les petits réseaux basse température entre eux par la suite, et la possibilité d'un raccordement général à un autre réseau de chaleur qui pourrait voir le jour dans les années à venir reste présente.

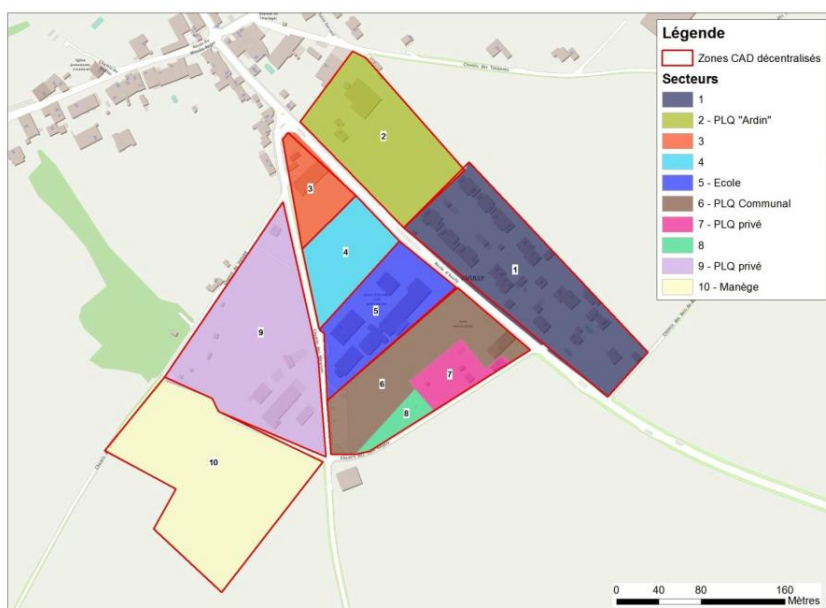


Figure 5 : Réseaux de chaleur à distance décentralisés pour la zone du PDQ [3]

5.2 Infrastructures énergétiques

Le projet de déployer un réseau CAD au bois depuis Gennecy et pouvant être étendu à Avully-Village a déjà été évoqué ci-dessus.

Il est à noter par ailleurs, que **la commune n'est pas desservie par le réseau de gaz**, ce qui enlève des opportunités possibles d'appoint au gaz selon les systèmes d'approvisionnement considérés.

5.3 Contraintes environnementales

5.3.1 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.

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).

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).

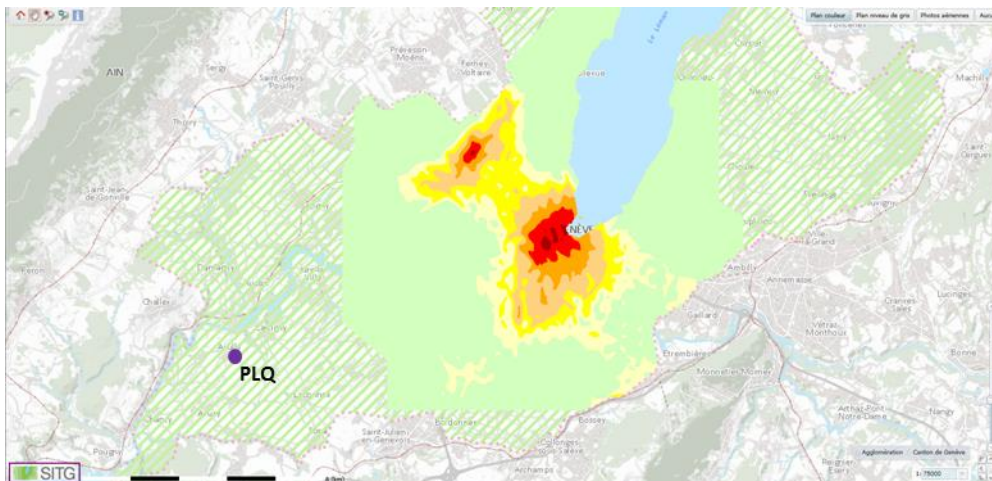


Figure 6 : Qualité de l'air: mesure de NO₂ en µg/m³ moyenne 2007-2014 (source : SITG)

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 7 présente la localisation de ces stations. La station de Passeiry, à proximité, est tout à fait représentative de la qualité de l'air dans le périmètre étudié.

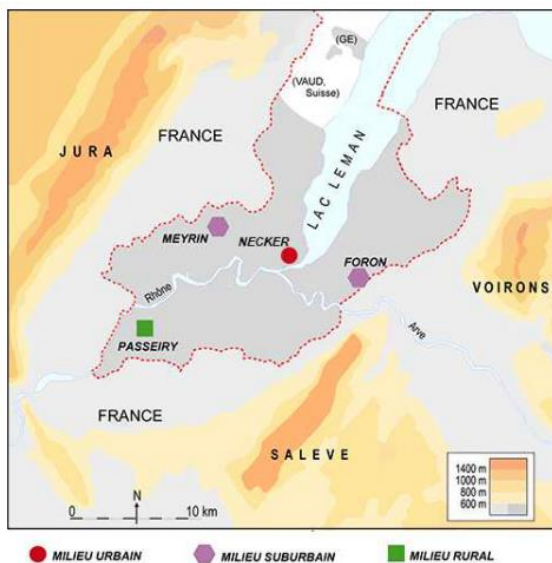


Figure 7 : Localisation des stations de mesure de la qualité de l'air sur le Canton de Genève [10]

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 rurale notamment. Ainsi, les chaudières à pellets ou à plaquettes sont tout à fait acceptables à Avully tant au niveau des NO₂ que des PM10.

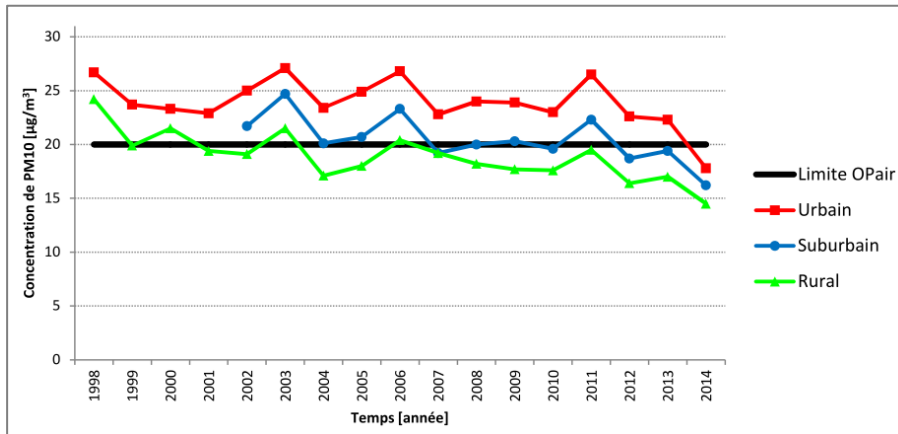


Figure 8 : Evolution des concentrations moyennes annuelles en particules fines (en µg/m³) à Genève depuis 1998 [10]

5.3.2 Protection des eaux souterraines

Comme le montre la carte ci-dessous, la zone d'étude ne se situe pas dans un secteur à restriction ni interdiction de sondes géothermiques. Cette filière peut tout à fait être envisagée.

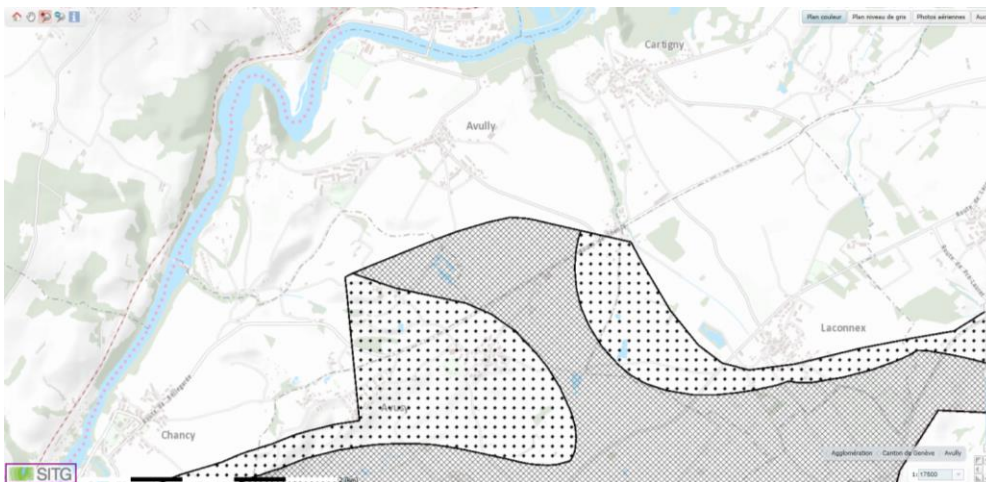


Figure 9 : zones de protection des eaux souterraines (source : SITG)

5.4 Aménagement du territoire : projet de PLQ

Les principes du programme de construction dans les grandes lignes sont les suivants selon l'architecte du projet [9] :

- IUS moyen : 0.836
- SBP totale : 10'071 m²
- 4 bâtiments : A, B, D sur la parcelle 2862, et D sur la parcelle 2863.
- Logements : 88.5%
- Activités (commerces) : 13.4% (1'002 m² au rez du bâtiment A et 348 m² au rez du bâtiment D)

Le Tableau 1 ci-dessous décrit de façon détaillée les SBP par bâtiment. La Figure 10 représente le plan provisoire des constructions au niveau du rez-de-chaussée.

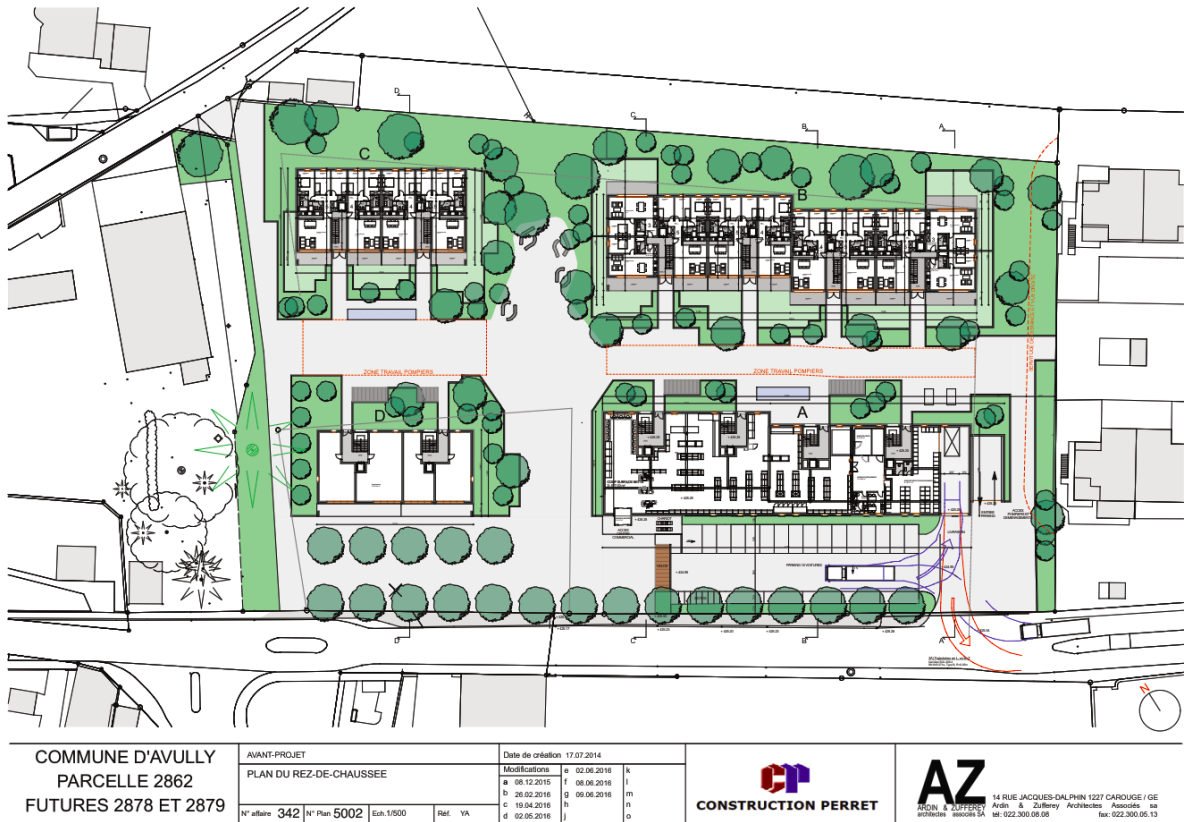


Figure 10 : avant-projet de PLQ au niveau du rez [9]

Affectations	Bâtiments				SBP tot [m ²]
	A	B	C	D	
Logements collectifs	2 634	3 605	1 655	994	8 888
Commerces	878			348	1 226
Total	3 512	3 605	1 655		10 113

Tableau 1 : surfaces brutes de plancher par bâtiment et affectation [9]

5.5 Acteurs

Les principaux acteurs sont la commune, les deux propriétaires privés des parcelles respectives et les promoteurs des différentes constructions à l'échelle des PLQ et bâtiments. L'Etat de Genève est aussi une partie prenante pour encourager la mise en œuvre de sa politique énergétique dans le cadre du PDQ et des PLQ. A cela s'ajoute aussi les contracteurs énergétiques potentiels, comme Alpiq (cf. section 5.1.2) dans le cadre du développement possible du réseau CAD communal.

Acteurs	Objectifs	Opportunités/contraintes	Horizon temporel
Commune d'Avully	<ul style="list-style-type: none"> - Réalisation des équipements publics - Réalisation du PLQ conforme aux objectifs établis 	Intérêt à promouvoir des solutions énergétiques efficaces (image, aides publiques, qualité de vie)/Contraintes d'investissement et de rentabilité	Court/Moyen terme
Etat de Genève	Réalisation du PLQ conforme aux objectifs établis	Promotion de solutions correspondant à la politique énergétique du canton	Moyen/Long terme
Promoteurs investisseurs	Rentabilité économique	Gains financier, promotion de l'image en cas de réalisation d'un projet durable sur le plan énergétique/ Contraintes d'investissement et de rentabilité	Variable
Propriétaires privés actuels des deux parcelles	Variables	Gains financiers	Variable
Contracteurs énergétiques	Développer des infrastructures énergétiques plus ou moins centralisées	Opportunités de nouvelles densités énergétiques / Contraintes de d'investissement, de rentabilité, de phasage dans le temps des constructions, de gestion de demandes de natures différentes (haute, basse température)	Moyen / Long terme

Tableau 2 : Tableau récapitulatif des acteurs intervenant dans le cadre du CET, adapté de [7]

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 des SRE (SBP) par affectation et pièce urbaine a été présentée au Tableau 1.

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

▪ **Scénario selon la norme 380/1**

Facteur de forme ³ :	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.

Les besoins énergétiques sont donnés pour les trois scénarii dans le tableau ci-après, distinguant les différentes bâtiments A, B, C, D.

³ 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).

SIA 380/1	Cl. SIA	Chaleur												Froid								Electricité							
		Chauffage [MWh/an]				ECS [MWh/an]				Puissance [kW]				Rafraîchissement [MWh/an]				Puissance [kW]				Equipements [MWh/an]							
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D				
Logements collectifs	I	102	140	64	39	55	75	34	21	98	134	61	37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123	168	77	46
Commerces	V	28	0	0	11	6	0	0	2	28	0	0	15	16	0	0	6	14	0	0	6	6	106	0	0	6	106	0	42
Total / Bât		130	140	64	50	61	75	34	23	125	134	61	52	16	0	0	6	14	0	0	6	6	229	168	77	89			
TOTAL		384				194				372				22				20				563							

HPE	Cl. SIA	Chaleur												Froid								Electricité							
		Chauffage [MWh/an]				ECS [MWh/an]				Puissance [kW]				Rafraîchissement [MWh/an]				Puissance [kW]				Equipements [MWh/an]							
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D				
Logements collectifs	I	82	112	51	31	55	75	34	21	86	117	54	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123	168	77	46
Commerces	V	22	0	0	16	6	0	0	19	23	0	0	13	16	0	0	6	14	0	0	7	7	106	0	0	7	106	0	42
Total / Bât		104	112	51	47	61	75	34	40	108	117	54	45	16	0	0	6	14	0	0	7	7	229	168	77	89			
TOTAL		314				211				325				22				21				563							

THPE	Cl. SIA	Chaleur												Froid								Electricité							
		Chauffage [MWh/an]				ECS [MWh/an]				Puissance [kW]				Rafraîchissement [MWh/an]				Puissance [kW]				Equipements [MWh/an]							
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D				
Logements collectifs	I	61	84	38	23	55	75	34	21	74	101	46	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	123	168	77	46
Commerces	V	17	0	0	7	6	0	0	2	18	0	0	12	16	0	0	6	14	0	0	6	6	106	0	0	6	106	0	42
Total / Bât		78	84	38	30	61	75	34	23	92	101	46	39	16	0	0	6	14	0	0	6	6	229	168	77	89			
TOTAL		230				194				278				22				20				563							

Tableau 3 : Consommations et puissances selon 380/1, HPE et THPE

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

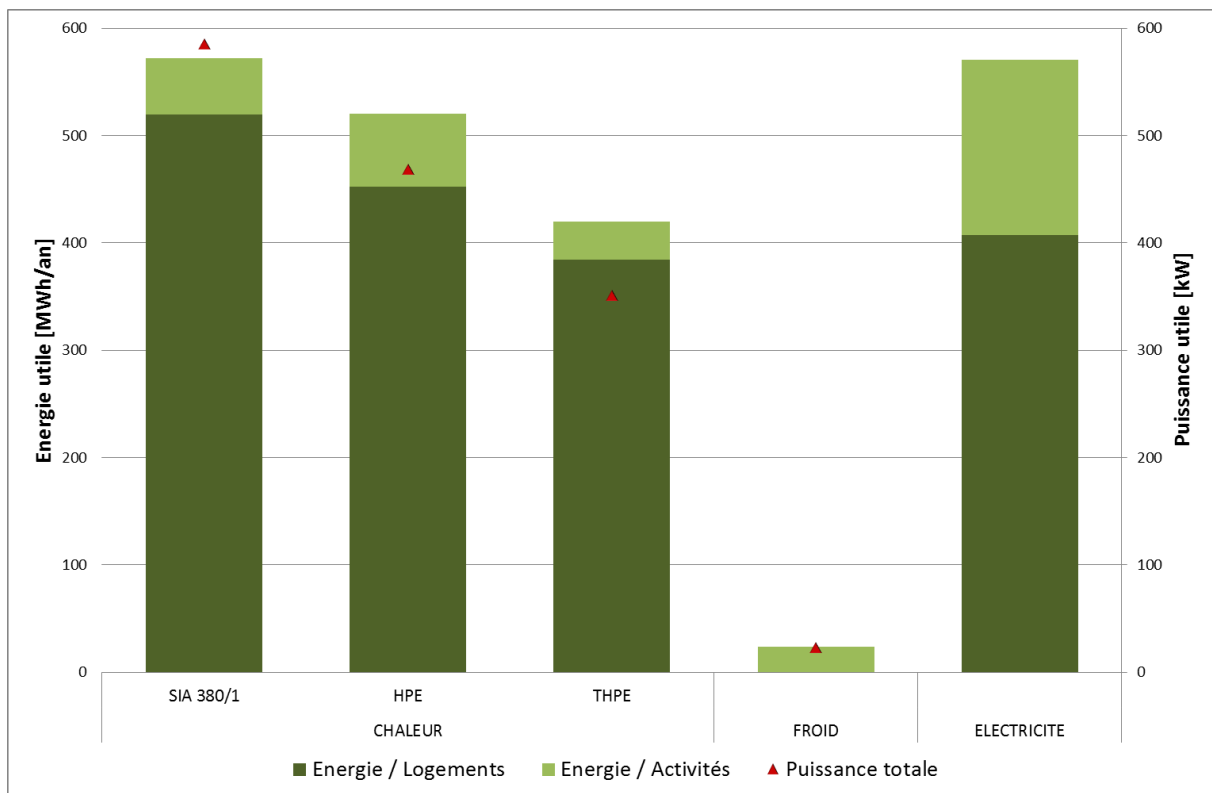


Figure 11 : Synthèse des besoins énergétiques

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.

Les ressources suivantes sont considérées :

- Solaire thermique et PV
- Géothermie : basse profondeur (sondes et nappe), moyenne et haute profondeur
- Biomasse
- Eaux-usées
- Rejets thermiques
- Aérothermie

Nous allons dans ce qui suit préciser certains potentiels à l'échelle du périmètre.

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 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. En se basant sur les surfaces des attiques transmises par l'architecte, la surface totale de toitures pour les 4 bâtiments est de 2'258 m².
3. La surface de toit utile ou installable correspond à 90% 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 2032 m²**.
4. Rendements (sources : catalogues de fabricants et expérience A+W):
 - a. Panneaux photovoltaïques (polychristallin) : 17%
 - b. Indice de performance – solaire PV (performance ratio) : 80%
 - c. 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).
 - d. Conduites et ballons de stockage : 90%.
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), le rapport entre la surface des panneaux installés et la surface de toit utile est de 0,7.

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	[m2]	[m2]
Photovoltaïque (total)	-	249	242	44%	-	1 423	2 032
Panneaux hybrides (total)	320	226	219	40%	65%	1 423	2 032
Solaire thermique (total)	506	-	-	-	102%	914	2 032
Solaire thermique (30% ECS)	57	-	-	-	-	104	230
Solaire thermique (60% ECS)	115	-	-	-	-	311	691

Tableau 4 : Potentiels solaires totaux et partiels, couverture des besoins d'électricité et de chaleur totale, surfaces de panneaux et de toiture utile (90% emprise bâtiments)

Le tableau ci-avant présente les potentiels en installant la totalité des toitures avec des panneaux solaires PV et hybrides, ou bien une partie des toitures avec du solaire thermique pour couvrir partiellement les besoins d'ECS (selon deux cas de figure : taux de couverture de 30% et 60%), en conformité avec la Loi sur l'énergie (taux minimum 30%).

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. Par ailleurs, des 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.

6.2 Energie géothermique avec des sondes verticales

6.2.1 Sondes géothermiques de basse profondeur

Comme l'a montré la Figure 10 plus haut, le secteur n'est pas soumis à la protection des eaux souterraines et des forages géothermiques peuvent être installés librement.

Le périmètre se situe dans une zone de terrain argileux de 10 à plus de 20 mètres de profondeur qui est très favorable pour la mise en œuvre d'un stockage thermique saisonnier.

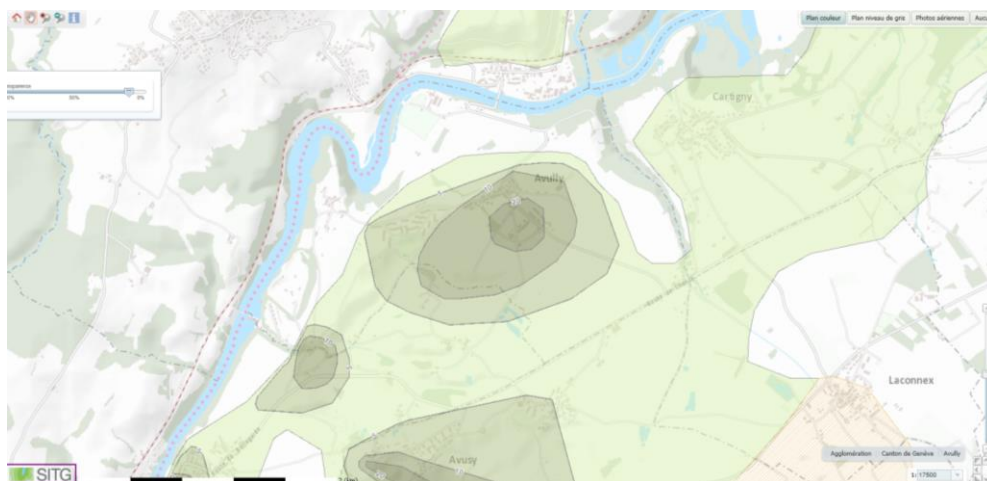


Figure 12 : localisation et épaisseur des terrains argileux (source : SITG)

Selon les cartes disponibles sur le SITG (Energie), la capacité thermique moyenne jusqu'à la molasse (environ 80m de profondeur) est relativement bonne (2.4 W/m³*K), ce qui permet un assez bon transfert de chaleur du sol aux sondes de même que la capacité thermique moyenne entre 0 et 300 m (2.5 W/m³*K), laissant entrevoir des bonnes capacités de stockage saisonnier.

Les hypothèses suivantes ont été admises pour déterminer le potentiel des sondes géothermiques⁴ :

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)

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, il est possible de placer des sondes sous des bâtiments, lorsque 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.

Concrètement sur le périmètre de construction, s'il l'on retranche approximativement 20% de la surface totale du fait notamment des différentes conduites souterraines, de chemins d'accès et d'arbres, il en résulte une surface disponible de 9'600 m². Dans le cas idéal d'implémentation en dehors de l'emprise des bâtiments et des sous-sols dédiés au parking souterrain (cf. plan du sous-sol Figure 13), la surface effective serait d'environ 2'400 m² (9'600 – 7'200).

Avec ces hypothèses, on peut théoriquement placer entre 38 (sondes hors sous-sol des bâtiments neufs et parking souterrain) et 150 sondes (incluant les sondes en sous-sol des bâtiments neufs) à 300 m de profondeur, ce qui permettrait d'obtenir les potentiels indiqués dans le tableau ci-dessous :

	Surface hors emprise bâtiments		Surface totale	
	Surface [m2]:		Surface [m2]:	
	Chaleur	Froid	Chaleur	Froid
Nombre de sondes	38		150	
Puissances valorisable	[kW]	359	1 438	675
Energie utile	[MWh/an]	599	2 396	1 125

Tableau 5 : Potentiel maximum géothermique selon qu'on dispose les sondes en sous-sol des bâtiments et du parking ou dehors

Le Tableau 6 ci-dessous précise pour chaque scénario de besoin (SIA 380/1, HPE, THPE) le nombre de sondes effectives nécessaire pour couvrir les besoins et le ratio extraction/injection qui en résulte. Il montre ainsi que la surface du périmètre disponible (2'400 m²) hors emprise bâtiments et parking souterrain ne suffit pas à l'installation des sondes nécessaires pour couvrir les besoins du scénario standard HPE (cela suffirait tout juste par contre pour THPE). Il sera ainsi nécessaire d'installer également des sondes sur une partie de l'emprise des constructions (sur environ 800 m² de surface), par exemple sur la partie sud du parking souterrain tel qu'illustré à la Figure 13.

⁴ 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	[-]	39	34	29
Surface de terrain	[m ²]	2 512	2 182	1 851
Besoins effectifs en puissance chaud (évaporateur)	[kW]	294	256	217
Besoins effectifs en énergie chaud (évaporateur)	[MWh/an]	491	426	362
Puissance injectée requise - recharge terrain	[kW]	177	153	130
Energie injectée requise - recharge terrain	[MWh/an]	294	256	217
Besoins effectifs en puissance froid	[kW]	20	20	20
Ratio puissances effectives injection/extraction	[-]	0.07	0.08	0.09

Tableau 6 : potentiel effectif géothermique pour satisfaire les besoins thermiques selon les trois scénarios de besoin

Par ailleurs, 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 aurait 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 7 et 9% selon le scénario de besoin pour satisfaire entièrement les besoins de chaleur du site avec la géothermie, 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), des aéro-refroidisseurs disposés en toiture, ou encore de l'apport solaire à travers des modules thermiques complémentaires.

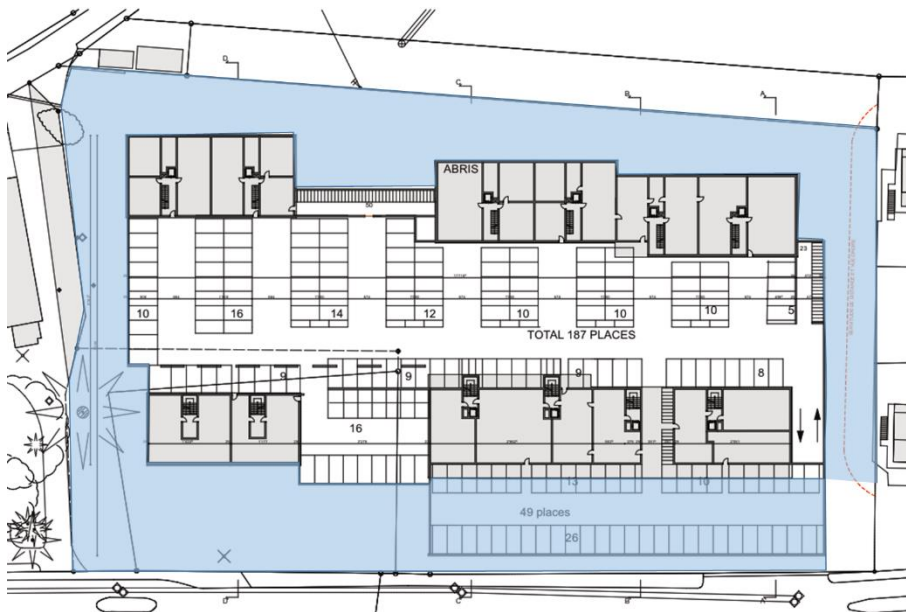


Figure 13 : plan du sous-sol selon [9] et zone indicative en bleu d'implémentation des sondes (environ 50) pour satisfaire les besoins selon HPE, couvrant une partie du parking souterrain (sur 800 m²) au sud.

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 (environ 35 sondes) qu'il s'agit de pouvoir maîtriser techniquement.

Conclusion

Selon le Tableau 6 et les surfaces de terrain nécessaires pour les sondes, il sera nécessaire de recourir à l'installation de sondes sur une partie de l'emprise des constructions (partie sud du parking souterrain par exemple). 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.

6.2.2 Puisage dans la nappe phréatique

Le périmètre se situe au-dessus de deux nappes phréatiques comme illustré sur la carte ci-dessous :

- Nappe principale du Rhône (traits hachurés) avec un potentiel unitaire de 1.9 W/m^2 .
- Nappe superficielle de Champagne (surface pleine) avec un potentiel unitaire de 2.9 W/m^2 .

Etant donné qu'il s'agit de réservoirs en écoulement, la source de température est toujours disponible, on peut donc considérer qu'il s'agit d'un potentiel chaud ou froid.

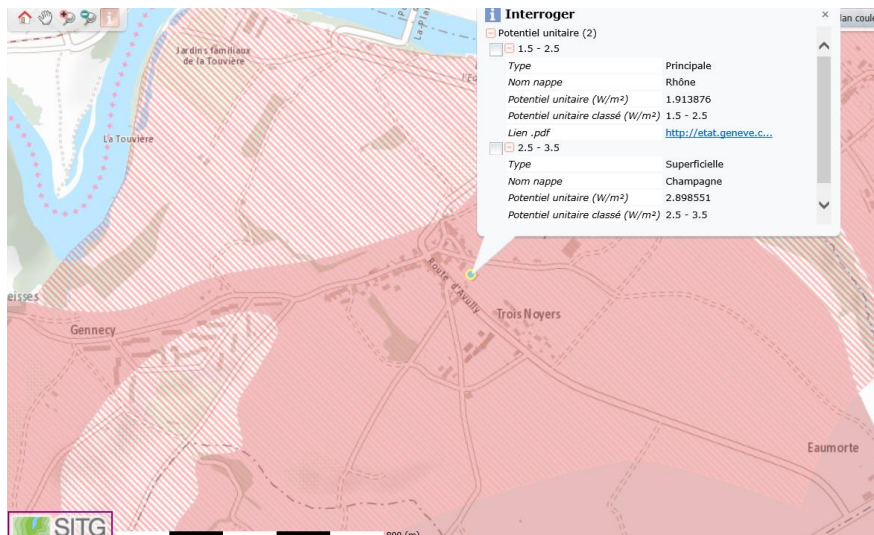


Figure 14 : localisation des nappes potentiellement exploitables au niveau du périmètre et des potentiels thermiques (source : SITG)

La nappe phréatique du Rhône couvre tout le périmètre, avec un potentiel unitaire important.

Dans le cas d'un pompage sur la nappe de Champagne au prorata de la surface du périmètre ($12'500 \text{ m}^2$), cela donne une puissance totale de 34.8 kW à l'évaporateur de la PAC et de 43.5 kW au condenseur (avec un COP moyen de 5), ce qui correspond à peine à 10% des besoins totaux de puissance (468 kW) selon le scénario HPE. En outre, il pourrait être décidé d'affecter la ressource de l'une ou l'autre des nappes en priorité au développement du nouveau secteur (PDQ extension d'Avully) et de mobiliser à cet effet une part importante des capacités de pompage de sorte à couvrir en grande partie les besoins futurs du secteur. Une telle décision devrait être ainsi prise non pas à l'échelle uniquement de ce PLQ mais du secteur du PDQ dans son ensemble.

Conclusion

Ces potentiels qui sont au niveau des deux nappes sont importants et offrent une opportunité significative d'approvisionnement du périmètre du PLQ. Cependant, la décision d'exploiter cette nappe doit être prise à l'échelle du PDQ, permettant d'envisager un pompage centralisé et une distribution vers les périmètres à travers un réseau basse température, tel que cela avait été envisagé d'ailleurs dans le CET 2013-07. Ces potentiels devront être confirmés par des études ultérieures précises selon les capacités de pompage réelles au niveau périmètre.

6.2.3 Moyenne et basse profondeur

Les résultats du programme GEothermie2020 font apparaître des potentiels intéressants en matière de ressource géothermique de moyenne et grande profondeur. La carte ci-dessous indique les secteurs particulièrement intéressants à Genève notamment au niveau des zones fracturées offrant des capacités de pompe intéressantes.

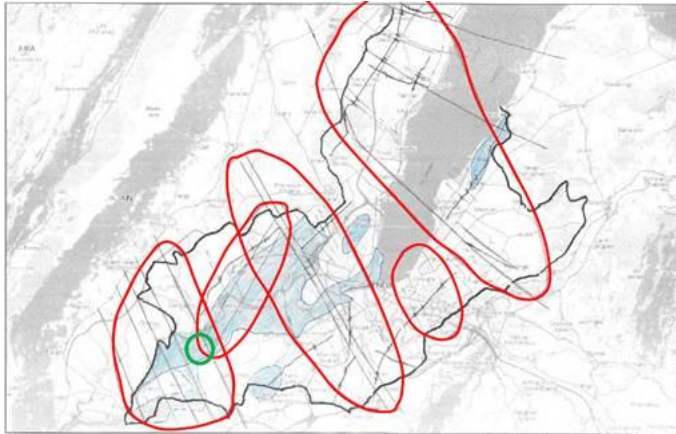


Figure 15 : mise en évidence des zones favorables sur le canton pour une exploitation de la géothermie moyenne-grande profondeur (source : illustration transmise par OCEN)

Conclusion

Une telle ressource dépasse l'échelle du périmètre étudié et nécessite des infrastructures (forage, pompage, réseaux CAD) à l'échelle cantonale qui seront précisées à travers le programme Géothermie 2020 et la PDER en cours d'élaboration. Les conclusions à venir de ces études permettront de déterminer si le secteur d'Avully pourra être concerné ou non par un futur réseau valorisant les ressources géothermiques à moyenne profondeur.

Il existe cependant des solutions de géothermie moyenne profondeur locales indépendamment de programme à large échelle, notamment à travers les sondes coaxiales 800m de profondeur proposées par la société Ausburger. Nous y reviendrons là-dessus dans le chapitre suivant dédié aux variantes d'approvisionnement.

6.3 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 exergétiques 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 et constituent une bonne alternative en cas de possibilité de mettre des sondes géothermiques notamment.

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 les 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.

6.4 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 [11] – 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 considérée.

6.5 Rejets thermiques

Aucun rejet thermique significatif n'a été identifié dans un périmètre élargi.

6.6 Eaux usées /logements

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 [14] 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 [15]⁵. 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 [13]. Il n'est pas adapté pour des bâtiments administratifs.

⁵ 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.

Concernant la première option (échangeur sur collecteur), il n'y a actuellement pas de collecteur avec un diamètre et débits suffisants qui passe à proximité.

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 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 générés 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 [16], 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			Besoins utiles chaleur (pièces Ea et Eb)		
	Débit total		Puissance PAC	SIA 380/1	HPE	THPE
	[l/j]	[m ³ /s]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
218	34 883	0.000404	34	586	468	351

Tableau 7 : Puissance utile continue potentiellement fournie par les rejets des eaux-usées au condenseur de la PAC

La puissance donnée dans le tableau ci-dessus (moins de 10% des besoins de puissance selon HPE) 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 30 à 40 % des puissances de pointe de chaleur.

Conclusion

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

6.7 Synthèse des sources d'approvisionnement renouvelables localement pertinentes

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

- Géothermie : potentiel très important tant au niveau des sondes géothermiques basse profondeur que de la nappe (dans le cadre d'un pompage centralisé pour tout le secteur du PDQ), possibilité aussi offerte par la géothermie moyenne profondeur.
- Solaire : thermique pour satisfaire une partie des besoins d'ECS (très importants dans le cas du centre sportif), voire même contribuer au chauffage de la piscine (capteurs non vitrés) ; PV (besoins électriques des PAC notamment), hybride (production à la fois d'eau chaude et d'électricité).
- Air (PAC air/eau): potentiel susceptible de couvrir l'ensemble des besoins de chaleur.
- Eaux usées (PAC eau-eau) : grâce au système FEKA combiné à une chaudière ou à une connexion au réseau CAD.
- Bois : le périmètre n'étant pas situé dans une zone à immissions excessives 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.
- Eaux superficielles, biomasse (autres que le bois-énergie), énergie éolienne : pas de potentiel.

7 Scenarii d'approvisionnement

7.1 Présentation des scenarii en bref

Différents systèmes d'approvisionnement ont été abordés dans les précédentes études énergétiques (cf. section 5.1). En fonction des conclusions de ces études, nous proposons d'étudier et tester trois scenarii :

1. Scénario 1 « géothermie solaire et réseau de quartier » (semi-centralisé) : réseau de chaleur basse température à l'échelle du PLQ alimenté par une PAC centrale de quartier sur 34 sondes géothermiques rechargées par géocooling et panneaux solaires (hybrides). PACs décentralisées par bâtiment pour le complément ECS. Type de solution préconisée par le bureau CSD dans son étude comparative [3].
2. Scénario 2 « réseau CAD – PDQ Extension Avully-Village » (centralisé) : réseau CAD développé à l'échelle de tout le PDQ alimenté en partie par un champ de sondes centralisé au sud du PDQ et par une jonction au CAD-bois (en cours d'étude par Alpiq) développé à partir de Gennecy. Solution étudiée par le bureau Enercore, incertaine au niveau de sa réalisation en particulier au niveau du PDQ [7].
3. Scénario 3 « PAC air-eau individuelles par bâtiment » (décentralisé) : installation de PAC air-eau individuelles par bâtiment.

7.2 Hypothèses générales relatives aux scenarii

Les besoins évalués dans la section 5.4 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 et d'autres, les hypothèses suivantes ont été utilisées comme base pour l'élaboration des scenarii qui suivent :

- Rendement chaudière gaz à condensation : 0.9.
- Rendement de distribution du chauffage à distance : 0.95.
- Les surfaces des locaux techniques (chaudières, groupes froid) sont calculées selon les normes SIA 384/1 (chaleur) et 382/1 (froid), en se basant sur les puissances par chaufferie décentralisée ou sous-station (à l'échelle des immeubles).

7.3 Scénario 1 : Géothermie solaire et réseau de quartier

Ce scénario propose un système basé sur le stockage géothermique saisonnier (via un champ et réseau de sondes), l'énergie solaire et la mutualisation de l'approvisionnement des bâtiments via un réseau de chaleur basse température de quartier.

Ce scénario comprend :

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 selon le standard HPE.
2. Un réseau de champs de sondes géothermiques moyenne profondeur (300m) avec une collecte centralisée de chaleur (hiver) et froid (été).
3. Une pompe à chaleur centralisée pour le chauffage valorisant la chaleur des sondes et la distribuant via un réseau de quartier basse température qui alimente les sous-stations des immeubles et des PAC spécifiques pour l'ECS. Une alternative possible serait une PAC centralisée qui alimente un réseau moyenne température (60°) desservant aussi bien les besoins de chauffage et d'ECS.
4. Des panneaux solaires hybrides dont la chaleur permet, via le réseau de sondes, de recharger les sondes géothermiques (en plus du géocooling) et produire de l'électricité couvrant une partie des besoins électriques (selon le concept 2SOL® [22]).
5. Les besoins de climatisation (bureaux, services et commerces) alimentés par les sondes (géocooling voire groupe froid si nécessaire) ; sondes permettant également la rafraîchissement des logements en été.

6. Des panneaux solaires PV additionnels (*en option*), permettant, avec les panneaux hybrides de satisfaire 20% des besoins électriques (hors PAC) et 50% des besoins électriques de la PAC centralisée.
7. Un tel dispositif basé sur la recharge solaire des sondes et un réseau de distribution à basse température permet d'atteindre un COP d'environ 6.5.

Le principe du système d'approvisionnement basé sur la géothermie solaire et la distribution de la chaleur via le réseau est illustré ci-dessous.

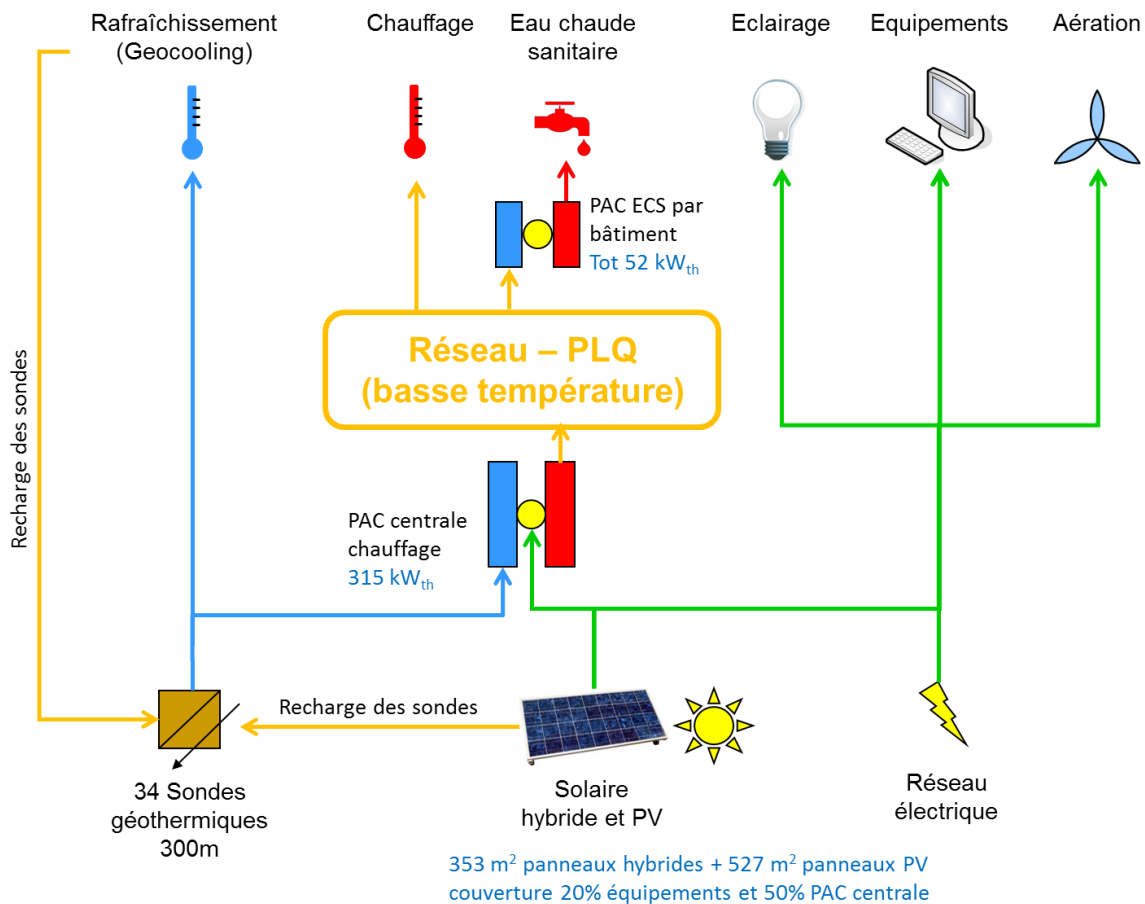


Figure 16 : Concept détaillé géothermie solaire

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 pour le standard HPE et les quatre bâtiments (A à D), en estimant un COP annuel de 6.5, selon l'approche de géothermie solaire :

Géothermie solaire	HPE				TOTAL
	A	B	C	D	
Besoins thermiques et locaux techniques					
Puissance totale PAC centralisée - chauffage [kW]			311		311
Puissance totale des PACs ECS par bâtiment [kW]			52		52
Volume totale ballon tampon ECS [l]	1 200	1 200	1 200	1 200	4 800
Surface chaufferie centralisée [m ²]			35		35
Surface totale des sous-stations du réseau CAD par bâtiment [m ²]	16	17	11	9	51
Energie de chauffage couverte par PAC			100%		100%
Energie d'ECS couverte par solaire thermique			0%		0%
Puissance utile totale froid (activités et logements) [kW]	41	35	16	15	108
Besoins froid couvert par geocooling			100%		100%
Energie solaire (panneaux hybrides)					
Energie thermique fournie par panneaux hybrides (recharge) [MWh/an]			196		196
Puissance thermique max. fournie par panneaux hybrides (recharge) [kW]			260		260
Electricité fournie par les panneaux hybrides [MWh/an]			61		61
Surface des panneaux solaires hybrides [m ²]			353		353
Surface de toiture brute requise pour les panneaux hybrides [m ²]			505		505
Sondes géothermiques					
Nombre de sondes	11	12	6	4	34
Surface du champ de sondes [m ²]	733	783	359	280	2 154
Taux de recharge du terrain			63%		63%
Electricité et complément solaire PV					
Electricité requise pour PAC [MWh/an]			81		81
Electricité requise pour les groupes froid [MWh/an]			0		0
Taux de couverture des besoins électriques - PAC par solaire PV+Hybr.			50%		50%
Taux de couverture des besoins électriques - équipements par solaire PV+Hybr.			20%		20%
Elec. générée par complément PV (en plus du solaire H) (option) [MWh/an]			92		92
Electricité de réseau requise si pas de PV [MWh/an]			249		249
Electricité de réseau requise si PV [MWh/an]			157		157
Surface de panneaux solaires PV (option) [m ²]			527		527
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m ²]			752		752

Tableau 8 : Principales caractéristiques du scénario géothermie solaire

Avantages

- Permet un approvisionnement 100% renouvelable du quartier.
- Concept très innovant basé les principes de géothermie solaire, donnant une image favorable au projet de quartier.
- 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 (interconnexion des réseaux).

Inconvénients

- Complexité relative du système à mettre en œuvre.
- Dimension assez importante du champ de sondes nécessitant une bonne coordination au niveau des travaux et investissement important (sondes + conduites + PAC individuelles).

Conclusion

La combinaison des concepts de géothermie solaire et de réseau de quartier est très prometteuse et innovante, tout en permettant de satisfaire les besoins énergétiques de façon rationnelle et avec un taux de renouvelable très important. Le réseau pourrait également être étendue aux **bâtiments existants** limitrophes (impliquant des sondes supplémentaires), permettant à ceux-ci d'augmenter sensi-

blement leur part de renouvelable, et/ou mutualisé avec d'autres réseaux de quartier développés à l'échelle du PDQ.

7.4 Scénario 2 : Réseau CAD de quartier à l'échelle du PDQ

Ce scénario comprend :

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 selon le standard HPE.
2. Un raccordement au réseau CAD moyenne température (~60°C) déployé à l'échelle du quartier (selon l'étude d'Enercore), alimenté en partie par une PAC centralisée sur un champ de sondes concentré au sud du secteur PDQ (cf. Figure 4), et pour l'autre partie, soit par une chaudière bois supplémentaire de quartier, soit un raccordement au CAD bois déployé à partir de Gennecy. En effet, l'étude avait montré que la géothermie ne suffirait pas à satisfaire l'ensemble des besoins du quartier. Au stade actuel, sans information précise, l'hypothèse est faite d'une répartition **50% géothermie, 50% bois**.
3. Les besoins de froid sont alimentés par des groupes froid.
4. Des panneaux solaires PV (en option) permettant de satisfaire 20% des besoins électriques (équipements hors PAC) et 50% des besoins électriques de la PAC centralisée utilisés pour le périmètre du PLQ.

Le raccordement au réseau CAD 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, 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. Les panneaux solaires thermiques peuvent alors être remplacés par des panneaux PV comme exposé plus loin.

Les besoins admissibles et les autres caractéristiques utiles sont les suivants dans le cadre d'un scénario basé sur le raccordement à CAD-PDQ et du standard minimum HPE pour les quatre bâtiments (A à D).

CAD-PDQ	HPE				
	A	B	C	D	TOTAL
Besoins thermiques et locaux techniques					
Puissance installation chaud [kW]	108	117	54	41	321
Surface totale chaufferie (sous-station CAD-PDQ) [m ²]	16	17	11	9	51
Energie finale de chaleur fournie par CAD-PDQ [MWh/an]	174	197	90	91	552
Part de bois dans le mix du CAD-PDQ (50%) [MWh/an]	87	98	45	46	276
Puissance utile totale froid [kW]	14	0	0	7	21
Surface de local production froid (groupe froid) [m ²]	35	0	0	10	45
Electricité et solaire PV					
Electricité requise pour PAC [MWh/an]	55				55
Electricité requise pour les groupes froid [MWh/an]	4	0	0	1	5
Taux de couverture des besoins électriques - PAC par solaire PV	50%				50%
Taux de couverture des besoins électriques - équipements par solaire PV	20%				20%
Electricité générée par complément PV (option) [MWh/an]	146				146
Electricité de réseau requise si pas de PV [MWh/an]	624				624
Electricité de réseau requise si PV [MWh/an]	478				478
Surface de panneaux solaires PV (option) [m ²]	831				831
Puissance solaire PV installée [kWc]	141				141
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m ²]	1 188				1 188

Tableau 9 : Principales caractéristiques du scénario « CAD-PDQ »

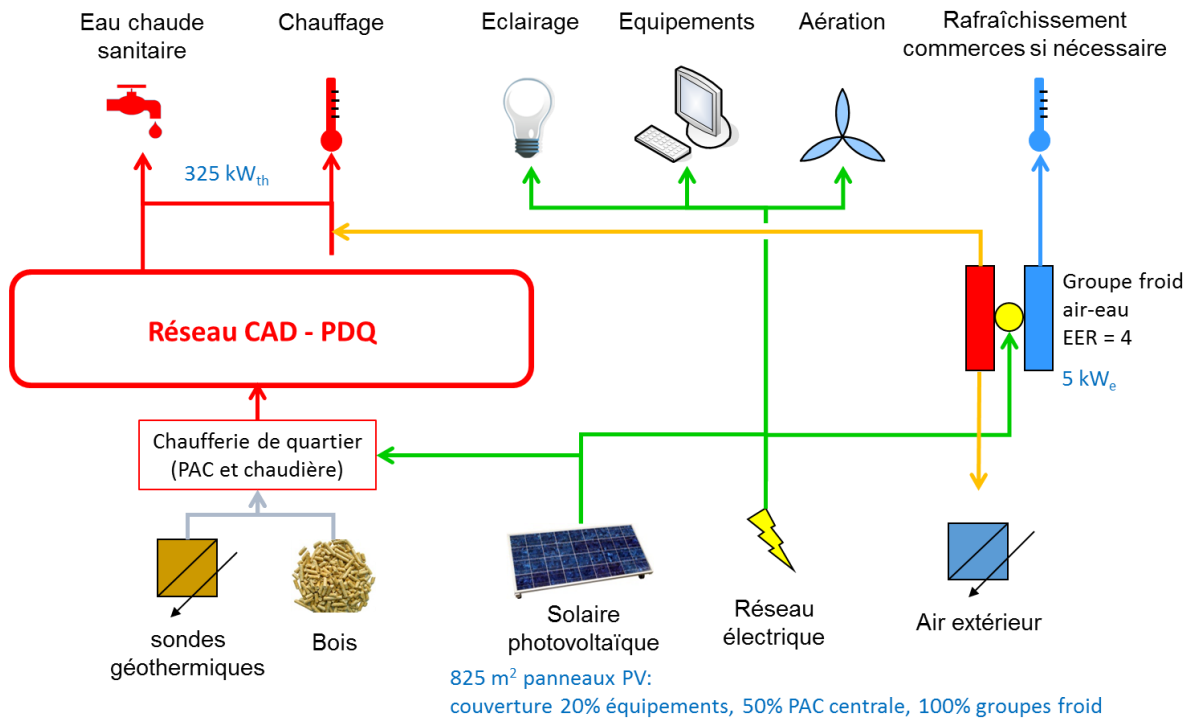


Figure 17 : Scénario « CAD-PDQ »

Conclusion

Le projet développé selon le scénario basé sur le raccordement au CAD-PDQ pour le chauffage et l'ECS s'inscrit en phase avec le projet en cours d'étude pour déployer un réseau CAD à Avully. Cependant, cette étude concerne pour le moment uniquement le noyau villageois de Gennecy. Les perspectives d'étendre ce réseau à Avully-Village et/ou de déployer un réseau CAD à l'échelle du PDQ sont encore floues. La question du phasage des travaux est centrale, à savoir la nécessité de planifier et réaliser le réseau CAD en amont de la construction du quartier. L'avantage d'un tel réseau, bien qu'à haute température et peu en phase avec le bâti neuf, est de pouvoir également faire basculer le tissu bâti existant vers le renouvelable.

Par ailleurs, les panneaux solaires thermiques n'étant a priori pas nécessaires, il permet de mieux valoriser les toitures pour le solaire PV et permet de compenser en partie les nombreux besoins électriques.

7.5 Scénario 3 : PAC Air-Eau

Ce troisième scénario comprend :

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 selon le standard HPE.
2. PAC air/eau individuelles par bâtiment pour satisfaire les besoins de chauffage et, en partie, d'ECS ; COP moyen annuel de 3.4, selon un rendement exergétique de 42%, (basé sur [17]), les températures de l'air basées sur les statistiques publiées par l'OCSTAT (source : Institut Suisse de Météorologie).
3. Une couverture des besoins d'ECS par au moins 30% avec du solaire thermique.
4. Les besoins de froid sont alimentés par des groupes froid.
5. Electricité livrée par le réseau, avec une option de couverture des besoins des groupes froid, des PAC (50%) et une partie des besoins électriques (20%) par des panneaux solaires PV.

Il faut en effet rappeler que, selon la directive relative aux projets de construction, de rénovation ou de transformation de bâtiments, il n'est 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 :

- 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.
- 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).
- 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 PAC⁶.

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 en tenant compte :

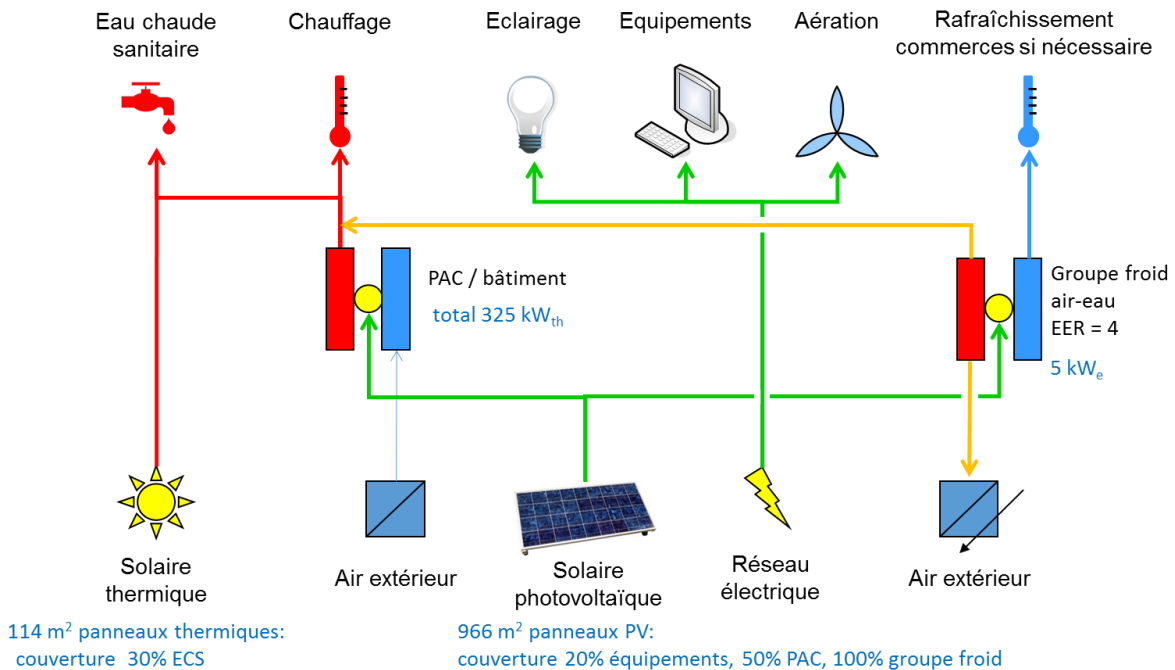


Figure 18 : Scénario « Air »

Les principales caractéristiques de ce scénario sont présentées dans le tableau ci-dessous dans le cas du standard minimum HPE pour les quatre bâtiments (A à D) :

⁶ 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				TOTAL
	A	B	C	D	
Besoins thermiques et locaux techniques					
Puissance installation chaud [kW]	108	117	54	41	321
Surface totale chaufferie [m ²]	24	25	16	13	78
Energie de chauffage couverte par PAC	100%				100%
Energie d'ECS couverte par solaire thermique	30%				30%
Puissance utile totale froid [kW]	14	0	0	7	21
Surface local production froid (groupe froid) [m ²]	22	0	0	20	42
Solaire thermique					
Energie requise pour part solaire ECS [MWh/an]	18	23	10	12	63
Surface de panneaux solaires thermiques [m ²]	33	41	19	22	114
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m ²]	74	91	42	48	254
Electricité et solaire PV					
Electricité requise pour PAC [MWh/an]	34	37	17	17	105
Electricité requise pour les groupes froid [MWh/an]	4	0	0	1	5
Taux de couverture des besoins électriques - PAC par solaire PV	50%				50%
Taux de couverture des besoins électriques - équipements par solaire PV	20%				20%
Electricité générée par complément PV (50% PAC et 20% besoins équipements) (option) [MWh/an]	67	52	24	27	170
Electricité de réseau requise si pas de PV [MWh/an]	267	205	94	106	673
Electricité de réseau requise si PV [MWh/an]	200	153	70	79	503
Surface de panneaux solaires PV (option) [m ²]	381	298	137	156	972
Puissance solaire PV installée [kWc]	65	51	23	27	165
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m ²]	544	426	196	223	1 389

Tableau 10 : 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).

7.6 Autres scénarii

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

- Sous-variantes de la solution géothermie solaire :
 - o Un seul réseau d'échange (anergie) (au lieu de deux réseaux : réseau sondes – PAC centrale et PAC centrale – sous-stations) mutualisant les apports énergétiques (sondes, rejets froid, solaire thermique) et approvisionnement via PAC individuelle par bâtiment.
 - o PAC individuelles par bâtiment, chacune étant approvisionnée par un champ de sondes spécifique à chaque bâtiment.
- Chauffage au bois décentralisé ou centralisé avec réseau CAD ;
- Système FEKA® (eaux-usées) avec appoint réseau CAD quartier.
- Glace solaire (« IceSOL ») avec appoint/secours au mazout (en principe très faible ou inexistant).
- La géothermie moyenne ou grande profondeur prévue dans le cadre du programme Géothermie 2020 peut constituer une source de chaleur à haut potentiel dans le cadre d'un réseau CAD communal / PDQ.
- La société Augsburger propose des **sondes coaxiales à moyenne profondeur (800 m)** et beaucoup plus performantes (48 à 64 W/ml de puissance thermique pouvant être soutirée selon le terrain). La température à cette profondeur étant de 30°C, cela permet d'obtenir des COP beaucoup plus importants (voire même de la chaleur quasi directe pour le chauffage), et la recharge du terrain n'est plus nécessaire. Ainsi, seules **8 sondes à 800 m** (au lieu de 34 sondes à 300 m) seraient nécessaires pour couvrir les besoins de puissance selon HPE.

L'inconvénient est qu'il en résulte d'une installation environ 1.5 fois plus chère qu'avec des sondes conventionnelles à basse profondeur.

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 de bois ou d'électricité 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 KBOB⁷ [21].

Les tableaux et graphiques ci-dessous donnent cette vue comparative dans le cas de figure avec installation de panneaux solaires PV complémentaires pour couvrir les besoins des PAC (50%), des groupes froid (100%) et équipements (20%).

Scénarii	Energie primaire	Emmissions	Part renouvelable
	[MWh/an]	[ton-CO ₂ /an]	(-)
CAD-PDQ	1 280	47	90%
Air	967	40	88%
Géothermie solaire	851	37	88%

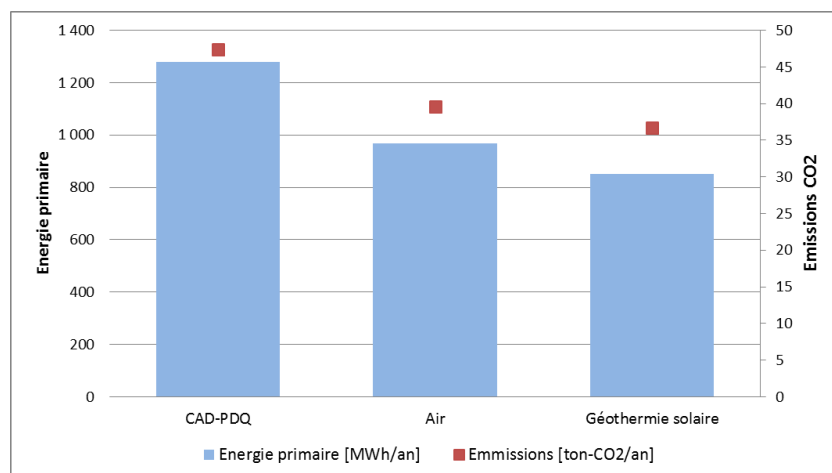


Figure 19 : Comparaison quantitative entre les scénarii avec le solaire PV complémentaire pour compenser les besoins électriques des PAC, des équipements et groupes froid.

Du point de vue environnemental, les trois scénarii sont relativement similaires et globalement satisfaisants. En absolu, le scénario « CAD-PDQ » implique un niveau plus élevé en énergie primaire et émissions CO₂, bien que la bois soit faiblement émetteur. En effet, un réseau CAD implique toujours

⁷ 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), est considérée à travers l'énergie finale électrique nécessaire pour le fonctionnement des PAC.

un facteur d'énergie plus important. De plus, l'énergie utile couverte par la PAC est nettement moins importante que dans les deux autres scénarii. Or, l'énergie finale et les émissions CO₂ correspondent uniquement à la partie électrique de la PAC (selon COP). Le scénario « Géothermie solaire » est le meilleur de ce point de vue, grâce à un COP de la PAC très bon (étant donné la recharge solaire des sondes) et donc des besoins électriques moindres.

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
« Géothermie solaire »	Solution innovante renouvelable à faible émission CO ₂ , garantit la recharge du terrain, compatible avec les orientations énergétiques définies au niveau du PDQ et dans les précédentes études, permet un approvisionnement autonome à l'échelle du quartier indépendamment du développement des autres pièces urbaines, tout en permettant ultérieurement une interconnexion possible vers l'extérieur (autres PLQ, bâtiments existants).	Système assez complexe et coûteux, emprise importante des sondes en sous-sol (faible espace disponible hors emprise construction), nécessitant une bonne coordination des travaux.	-	+++
« CAD-PDQ »	Solution à faible émission CO ₂ , facilité de mise en œuvre, peu coûteux, il ne reste plus qu'à se brancher au réseau venant dans le quartier, permet une dérogation au solaire thermique.	Scénario encore très hypothétique concernant aussi bien le développement et l'extension du réseau CAD-Gennecy et/ou d'un réseau interne au périmètre du PDQ. Réseau à haute température peu en adéquation avec les besoins basse température des bâtiments.	+	+
« 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.	+	+

Tableau 11 : Critères de comparaison qualitatifs

Les scénarios « Air » et « CAD-PDQ » sont les plus faciles à mettre en œuvre, peu coûteuses et offrent des bonnes performances environnementales.

Le scénario basé sur la géothermie solaire offre une plus-value en matière d'innovation et s'inscrit avec les orientations énergétiques définies au niveau supérieur à travers les études CET précédentes à l'échelle du PDQ (en particulier l'étude comparative du bureau CSD). Il est certes plus complexe (sondes, solaire, réseau de distribution et de recharge) et coûteuse au niveau de l'investissement de départ, cependant, les coûts annuels sont moindres, ce qui permet un temps de retour sur investissement de 10 à 15 ans, par rapport à un scénario classique (chaudière gaz, mazout + solaire thermique). Ainsi, la mise en œuvre de cette variante pourrait passer 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 Infrastructures, équipements, phasage et mesures transitoires

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. Elles font la distinction entre les quatre bâtiments.

Géothermie solaire + réseau de quartier	A	B	C	D	TOTAL
Puissance totale PAC centralisée - chauffage [kW]	311				311
Puissance totale des PACs ECS par bâtiment [kW]	52				52
Surface chaufferie centralisée [m2]	35				35
Surface totale des sous-stations du réseau CAD par bâtiment [m2]	16	17	11	9	51
Puissance utile totale froid (activités et logements) [kW]	41	35	16	15	108
Surface de toiture brute requise pour les panneaux hybrides [m2]	505				505
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m2]	752				752
CAD-PDQ	A	B	C	D	TOTAL
Puissance installation chaud [kW]	108	117	54	41	321
Surface totale chaufferie (sous-station CAD-PQD) [m2]	16	17	11	9	51
Puissance utile totale froid [kW]	14	0	0	7	21
Surface de local production froid (groupe froid) [m2]	35	0	0	10	45
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m2]	1 188				1 188
PAC Air-eau	A	B	C	D	TOTAL
Puissance installation chaud [kW]	108	117	54	41	321
Surface totale chaufferie localisée en <u>toiture</u> [m2]	24	25	16	13	78
Puissance utile totale froid [kW]	14	0	0	7	21
Surface local production froid (groupe froid) [m2]	22	0	0	20	42
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m2]	74	91	42	48	254
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m2]	544	426	196	223	1 389

Tableau 12 : Taille des réservations pour les installations techniques au niveau des bâtiments et pour les différents scénarii

Le scénario de base « Géothermie solaire » étant privilégié, nous donnons ci-dessous une indication des **réserves spatiales** à prévoir pour les champs de sondes, la PAC centralisée, le passage des réseaux de sondes et de distribution.

Selon ce schéma, en hiver, la PAC centrale sur sondes géothermiques fournit la chaleur (35°C) aux sous-stations des bâtiments à travers le réseau de distribution. Des PAC individuelles, par bâtiments, situées dans les sous-stations respectives permettent de fournir l'ECS (55°C), en utilisant comme source froide le réseau de quartier à 35°C.

En été (hors période de chauffage), la PAC centrale est inactive, et le même réseau de distribution est utilisé pour refroidir les surfaces de logements et de commerces (géocooling) et alimenter les PAC ECS par bâtiment. Les panneaux solaires hybrides sont centralisés sur le bâtiment B, celui-ci offrant assez de surface, et permettent de recharger les sondes via la conduite retour du réseau.

Les toitures des trois autres bâtiments permettent d'accueillir les panneaux solaires PV complémentaires (en option).

La collecte de chaleur et de froid sur les sondes est structurée sur deux niveaux :

- Les sondes sont réparties a priori en quatre groupes (de 7 à 10 pour un total de 34 sondes), chaque groupe étant relié à un collecteur intermédiaire.
- Les collecteurs intermédiaires sont reliés à un collecteur central situé à proximité de la chaufferie centrale.

Il est nécessaire de maintenir un accès aux collecteurs depuis la surface en cas d'entretien.

Il convient de noter que les objets géométriques sur la figure ci-après ne sont pas à l'échelle des surfaces données dans le Tableau 12 et que l'emplacement de ces objets est purement indicatif et devra être précisé dans les phases opérationnelles. Au stade actuel, nous pouvons simplement recomman-

der de réserver un espace dans le parking souterrain pour accueillir le local de chaufferie centralisée (PAC). Les conduites du réseau de distribution pourront ainsi avantageusement se situer dans la dalle délimitant le sous-sol et le rez.

Cette solution proposée est flexible en cas de phasage différencié de la construction des 4 bâtiments. En effet, la centrale de production peut être dimensionnée pour la puissance totale au terme de la réalisation du quartier. Tandis que les champs de sondes et les conduites du réseau peuvent être développés au gré de la construction des bâtiments. Une bonne coordination entre l'installation des sondes et l'aménagement des espaces (excavations, terrassements) sera importante.

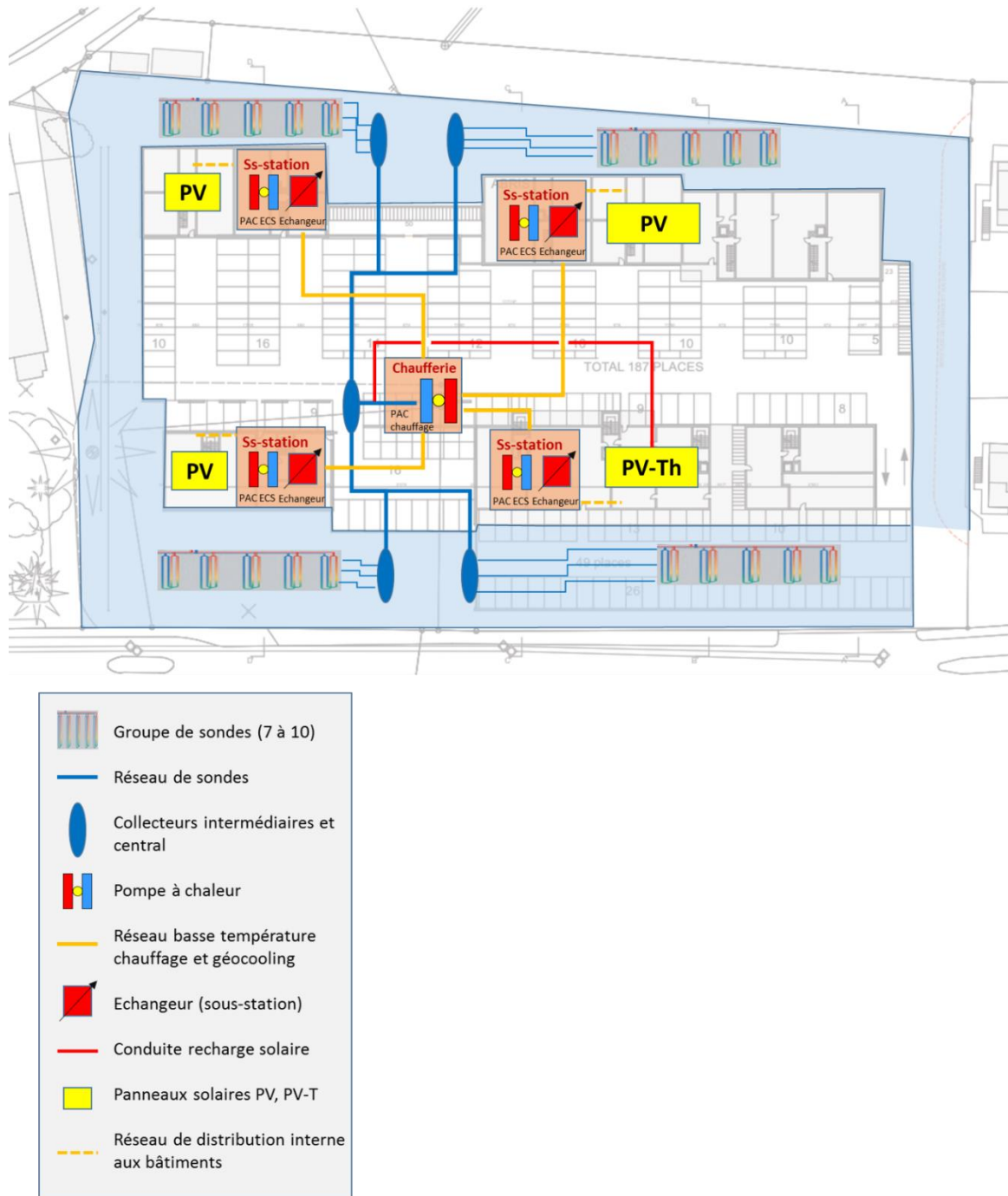


Figure 20 : schéma de réservation spatiale pour le déploiement des champs de sondes géothermiques et du réseau de quartier

10 Conclusion et recommandations

Ce concept énergétique territorial (CET) du PLQ Avully a permis de rappeler les principales orientations en matière énergétique définies aux échelons supérieurs (PDQ Avully-Village en particulier), 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 3 scénarii d'approvisionnement. Une solution basée sur le minimum légal combinant gaz et solaire thermique n'a pas été envisagée étant donné que la commune n'est pas desservie par le gaz.

Les trois scénarii permettent chacun d'offrir une solution d'approvisionnement en très grande partie renouvelable et à faible émission CO₂ et s'inscrivent en conformité avec les politiques énergétiques tant fédéral que cantonal, de même qu'avec les précédentes études énergétiques réalisées à l'échelle du PDQ.

Parmi les différentes variantes, un réseau CAD développé à l'échelle du PDQ voire à l'échelle de la commune, offrirait une solution facile et peu coûteuse à mettre œuvre, suffisant simplement de se connecter au réseau. Cependant, ce réseau (pour l'instant prévu à Gennecy à travers une chaufferie centralisée au bois) est encore hypothétique au niveau du PDQ. Et ces incertitudes ne doivent pas freiner le développement du présent PLQ. Ce réseau constituerait en outre un bon vecteur pour valoriser la géothermie profonde, la commune étant avantageusement située de ce point de vue. Les conclusions du programme Géothermie 2020 apporteront plus d'informations sur ces perspectives.

En absence de certitudes sur ce réseau communal/de quartier, le présent CET suggère de considérer en priorité le développement d'un réseau de chaleur à l'échelle du PLQ permettant de mutualiser entre les bâtiments l'énergie apportée par les sondes géothermiques et prévoyant un système de recharge des sondes basé sur le géocooling et le solaire thermique (pouvant être combiné avec la production d'électricité à travers des panneaux hybrides, cette production compensant en partie les besoins électriques des PACs). Cette solution, préconisée d'ailleurs par l'étude comparative réalisée par le bureau CSD à l'échelle du PDQ, permet à la fois de centraliser la production et distribution tout en offrant une indépendance énergétique à l'échelle du quartier.

La décentralisation de la production par bâtiment peut tout à fait aussi être envisagée, à travers des PACs individuelles soit air-eau, soit sur sondes géothermiques (sans mise en réseau). Des alternatives supplémentaires ont encore été listées à la section 7.6

Nous voyons ainsi que le champ des systèmes d'approvisionnement possibles est large. Les études en cours tant sur le réseau communal et que la géothermie moyenne profondeur permettront à un horizon relativement proche d'apporter plus de certitude sur les opportunités possibles et ainsi que de mieux orienter l'approvisionnement du quartier étudié.

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] *CET extension du village d'Avully. Comparatif des différentes options d'approvisionnement*, CSD Ingénieurs SA, mars 2016.
- [4] *Concept énergétique territorial – extension du village d' Avully. Comparatif des différentes options d'approvisionnement énergétique*, CSD Ingénieurs, mars 2016.
- [5] *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>.
- [6] *CET 2013-07, CET Plan directeur de quartier Extension d'Avully*, Enercore, mai 2012.
- [7] *Développement d'un réseau de chaleur à distance sur le territoire de la commune d'Avully, étude préliminaire*, Enercore SA, mai 2013.
- [8] *Contracting 15-034 – Concept énergétique pour la production de chaleur concernant l'extension de la Commune d'Avully*, bureau EKZ, novembre 2014.
- [9] *Avant-projet de PLQ*, Ardin&Zufferey architectes, juillet 2016.
- [10] *Qualité de l'air 2014*, Service de protection de l'air du Canton de Genève.
- [11] *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.
- [12] <http://www.wind-data.ch/windkarte/index.php?lng=fr>
- [13] *Heizen und kühlen mit Abwasser*, Baudirektion Kanton Zürich, Septembre 2010.
- [14] <http://www.energie-environnement.ch/economiser-l-eau/situer-sa-consommation-d-eau> .
- [15] *Chauffer et rafraîchir grâce aux eaux usées – Guide pour les maîtres d'ouvrage et les communes*, SuisseEnergie.
- [16] *Energie aus Abwasser, Lehrmittel – System Feka*, FEKA, 15.12.2009, http://www.feka.ch/pdf/FEKA_Energie_aus_Abwasser.pdf
- [17] *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
- [18] *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.
- [19] *Systèmes solaires & panneaux climatiques KIGO*, présentation Energie Solaire SA, mars 2016.
- [20] <http://www.energie-solaire.com>
- [21] 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>.
- [22] Concept de géothermie solaire 2SOL® <http://www.2sol.ch/>



Feuille de validation et suivi des modifications du concept énergétique territorial

Cette feuille fait partie intégrante du CET validé

CET 2018-04 associé au PLQ n°30041 PLQ Avully

Commentaires de l'OCEN

Bon pour validation:

Date: avril..2018

Visa: _____

Olivier Nigg (DT)
Responsable stratégie énergétique