



SORANE
CONCEPTION ÉNERGÉTIQUE

SORANE SA
Ch. des Saugettes I - CP 248
CH - 1024 Ecublens
Tél: +41 21 694 48 00
mail@sorane.ch
CHE-101.290.077 TVA

« Nous avons l'expérience de l'avenir »

3'19'078

CET 2020-01_V2

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

13/01/2021

PLQ n°30016 Chemin de la Mousse
Concept énergétique territorial

V2

Paul Bourdoukan

Morgane Emery



Table des matières

Table des matières	2
Liste des figures	3
Liste des tableaux.....	3
1. Mise en contexte.....	4
1.1 Localisation et périmètre d'étude	4
1.2 Bases légales et documents de référence.....	4
1.3 Objectifs du CET.....	5
1.4 Concepts énergétiques territoriaux à proximité.....	5
1.5 Projet d'aménagement en cours ou à venir sur la zone et à proximité.....	5
1.6 Contexte environnemental	6
2. Etat des lieux énergétiques	7
2.1 Potentielles ressources énergétiques locales	7
2.1.1 Réseau de chauffage à distance :	7
2.1.2 Energies fossiles :	7
2.1.3 Energies renouvelables :	7
2.1.4 Synergie avec les CET voisins	8
2.2 Structure qualitative et quantitative des besoins énergétiques actuels et évolution future 9	
2.2.1 Besoins énergétiques actuels.....	9
2.2.2 Besoins énergétiques projetés	11
2.2.3 Acteurs concernés et rôles.....	11
3. Propositions et analyses stratégiques.....	12
3.1 Stratégie de valorisation du potentiel énergétique local	12
3.1.1 Variantes de production.....	12
3.1.2 Evaluation des variantes	14
3.1.3 Analyse des variantes.....	17
3.2 Stratégie d'approvisionnement.....	18
3.3 Mesures à prévoir pour les niveaux de planification inférieurs	18
4. Synthèses des orientations et des recommandations	19
4.1 Variante favorite	20

Liste des figures

Figure 1 : Situation du PLQ	4
Figure 2 : Plan du PLQ	5
Figure 3 : Cadastre des immissions de NO ₂ de l'année 2018 (source SITG)	6
Figure 4 : Cadastre autorisation géothermie (Source SITG)	6
Figure 5 : IDC des bâtiments existants [MJ/m ²] (source SITG)	10
Figure 6 : Agents énergétiques principaux (source SITG)	10
Figure 7 : profil de besoins annuels	14
Figure 8 : Couverture solaire des besoins d'ECS	15
Figure 9 : Consommation électrique des PAC pour les différentes variantes	16
Figure 10 : Autoconsommation électrique	16
Figure 11 : Emissions de gaz à effet de serre	17

Liste des tableaux

Tableau 1 : Besoins énergétiques par affectation selon la norme SIA 380/1 et 2024 (froid)	11
Tableau 2 : Surfaces de panneaux solaires considérées.....	12
Tableau 3 : COP employés selon norme SIA 380.....	15
Tableau 4 : Coefficients d'impact environnementaux	17
Tableau 5 : Comparatif des variantes	18

1. Mise en contexte

1.1 Localisation et périmètre d'étude

Le PLQ n°30016 chemin de la Mousse se situe dans la commune de Chêne-Bourg à l'est du canton de Genève. Il est délimité au nord par le chemin de la Mousse, à l'ouest par l'avenue de Bel-Air, à l'est par le chemin de la Gravière et au sud par le tracé du raccordement ferroviaire Cornavin – Eaux-Vives – Annemasse réalisé en tranchée couverte.

Le PLQ n° 29683 « Gare de Chêne-Bourg » adopté par le Conseil d'Etat le 26 juin 2013 est situé au sud du PLQ n°30016 chemin de la Mousse. Il a fait l'objet du CET n° 2012-16.

Les réflexions porteront sur le périmètre élargi afin d'envisager une stratégie énergétique coordonnée et complémentaire avec les développements des autres quartiers.



Figure 1 : Situation du PLQ

1.2 Bases légales et documents de référence

Les principales bases légales, directives cantonales, normes et recommandations de la Société suisse des ingénieurs et architectes (SIA) sont les suivantes :

- La Loi cantonale sur l'énergie du 18 septembre 1986 (LEn, L 2 30) et son Règlement d'application, qui ont pour but de favoriser un approvisionnement énergétique suffisant, sûr, économique, diversifié et respectueux de l'environnement, ainsi que de déterminer les mesures visant notamment à l'utilisation rationnelle et économe de l'énergie et au développement prioritaire de l'exploitation des sources d'énergies renouvelables ;
- Le Règlement d'application de la loi sur l'énergie (Ren), a été modifié le 5 juin 2019, en cours de cette étude, il définit de nouvelles exigences à respecter afin de respecter les standards HPE et THPE. Celui-ci est paru au cours de cette étude ;
- Le Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC) de la Conférence des Services cantonaux de l'énergie, édition 2014, constitue un ensemble de prescriptions énergétiques élaborées conjointement par les cantons sur la base de leurs expériences en matière d'exécution. De ce point de vue, il constitue en quelque sorte le dénominateur commun des cantons. Le niveau d'exigence pour les bâtiments à construire a été élevé à celui de Minergie®, en fixant un objectif équivalent à 4,8 litres de mazout par m² de la surface de référence énergétique (SRE) ;
- La norme SIA 380/1 : 2016 L'énergie thermique dans le bâtiment ;
- La norme SIA 380 : 2015 Base pour les calculs énergétiques des bâtiments ;
- La directive relative au concept énergétique territorial ;

- La stratégie de protection de l'air 2030 en particulier son axe « réduction des émissions dues au chauffage »

1.3 Objectifs du CET

Le concept énergétique territorial doit permettre de proposer des stratégies d'approvisionnement énergétique pour le périmètre concerné à partir d'un état des lieux des ressources, besoins, acteurs et infrastructures.

Ce concept énergétique territorial vise donc à :

- Conduire à une utilisation rationnelle de l'énergie ;
- Permettre l'adoption des futurs bâtiments à des standards énergétiques performants (minimum HPE) ;
- Utiliser les ressources locales et renouvelables ;
- Réduire, voire se passer de consommation d'énergie fossile.

1.4 Concepts énergétiques territoriaux à proximité

Plusieurs CET situés à proximité du chemin de la Mousse sont à considérer :

- Le CET 2012-07 lié au PLQ n°29683 « Gare de Chêne-Bourg » préconisait une production de chaleur par PAC sur sondes géothermiques, cela n'a finalement pas été réalisé ;
- Le CET 2011-10 du Quartier de Laurana-Parc qui a conduit à la réalisation du CAD Laurana. Il est alimenté à 20% par une PAC sur sondes géothermiques et à 80% par du gaz. Ce dernier est arrivé à saturation et ses conduites ne permettent pas un raccordement (même avec l'ajout d'une production de chaleur) des bâtiments du site ;
- Le CET du PLQ n° 30182 chemin de la Gravière / Avenue Vergys, en cours d'élaboration, qui prévoit 15 000 m² de logements. Les besoins en chauffage et ECS sont estimés respectivement à 130 MWh/ an et 280 MWh/an par le bureau en charge du projet.

1.5 Projet d'aménagement en cours ou à venir sur la zone et à proximité

Le projet du PLQ n°30016 chemin de la Mousse prévoit la construction de 9 bâtiments de 4 à 5 étages plus superstructure habitable présentant une SBP totale d'environ 35 500 m², dont 29 500 m² de logements, environ 6 000 m² d'activités (dont 1800 m² sont existant).



Figure 2 : Plan du PLQ

1.6 Contexte environnemental

Selon les données SITG, la concentration en NO₂ de l'air du périmètre est inférieure à 26 µg/m³, à la fois pour l'année 2018 mais également par rapport à la moyenne depuis 2011. Elle est donc inférieure à la valeur limite fixée par l'OPair à 30 µg/m³.



Figure 3 : Cadastre des immissions de NO₂ de l'année 2018 (source SITG)

Pour le chauffage, les émissions de polluants atmosphériques (NO_x et particules fines) devront cependant être limitées au maximum. L'annexe 1 de la Directive de l'OCEN relative aux projets d'installations techniques précise notamment que les installations productrices de chaleur alimentées au bois sont autorisées seulement si le recours à une autre source de chaleur présente un désavantage économique démontré sur la durée de vie de l'installation tenant compte des investissements, du coût de maintenance et d'exploitation. La « Stratégie de protection de l'air 2030 » impose d'ailleurs de promouvoir les réseaux de chauffage à distance à faibles émissions atmosphériques.

Selon le site SITG, le projet se situe en dehors de toutes zones de restriction de l'utilisation des sous-sols. Les forages géothermiques peuvent donc être envisagés.



Figure 4 : Cadastre autorisation géothermie (Source SITG)

2. Etat des lieux énergétiques

2.1 Potentielles ressources énergétiques locales

Les principales ressources locales sont inventoriées ci-après :

2.1.1 Réseau de chauffage à distance :

Il n'y a pas de réseau existant de chauffage à distance sur le site. Le CAD Laurana situé au sud du PLQ entre la route de Jussy et la rue de Genève est alimenté par une chaufferie commune à Laurana-Parc. Ce réseau de quartier à moyenne température (90/70 °C à -10 °C) alimenté par une chaufferie commune a été développé dans le cadre du CET 2011-10. La production de chaleur est réalisée par des chaudières à gaz pour environ 80 % et par une PAC sur sondes géothermiques pour 20 %. Ce réseau est arrivé à saturation et ne peut être envisagé dans le cadre de ce PLQ.

De plus, les SIG n'ont pas de réseau en développement ou en conception à proximité du PLQ.

2.1.2 Energies fossiles :

Tant le gaz que le mazout seraient disponibles sur le site. Toutefois, le mazout étant l'agent énergétique le plus polluant et n'apportant rien au niveau de la politique énergétique, il ne pourra être employé, bien qu'il soit l'une des sources de chaleur actuellement consommées sur le site. Le gaz peut, quant à lui, être envisagé comme appoint de chaleur et non comme source de chaleur principale.

2.1.3 Energies renouvelables :

- Bois :

Selon l'annexe 1 de la directive de l'OCEN sur les installations techniques, les chaudières bois ne sont autorisées que si le recours à une autre source de chaleur présente un désavantage économique démontré sur la durée de vie de l'installation.

Ce type d'installation est envisageable. Un système centralisé présentera l'avantage d'avoir une installation pouvant fonctionner avec de meilleurs rendements qu'un ensemble de petites installations. Il permet également de ne nécessiter qu'un seul volume de stockage, une seule centrale à entretenir. En revanche, cela impose d'avoir une température de réseau élevée. Afin que la chaudière fonctionne de manière optimale et ait une durée de vie la plus longue possible, il est plus intéressant de sous-dimensionner la puissance de la chaudière bois et de réaliser l'appoint de chaleur (les pics) par une autre source de chaleur, du gaz. Ce qui provoque un investissement supplémentaire.

Par ailleurs il serait préférable de favoriser la cogénération comme le demande la stratégie de protection de l'air 2030.

- Géothermie :

Un champ de sondes géothermiques est autorisé sur le site. Une ou plusieurs pompes à chaleur (PAC) seraient utilisées afin de rehausser la température obtenue en sortie du terrain. Deux technologies sont disponibles. Les forages de faible profondeur (jusqu'à 400 m) et les forages profonds (à 800 m). Ces derniers permettent d'avoir une température de l'eau en sortie du terrain bien supérieure. Cela entraîne un nombre de forages moins important et un COP des PAC supérieur à celui des PAC sur des sondes peu profondes. Toutefois, ils sont encore peu répandus et les retours sur leur exploitation sont peu nombreux.

Enfin, les forages de faible profondeur présentent l'intérêt de permettre le rafraîchissement des locaux (dans lesquels cela s'avère nécessaire) grâce au géocooling qui ne nécessite pas l'emploi d'un compresseur et demande donc peu d'électricité pour fonctionner. Le

fonctionnement en géocooling permet également une recharge, même très partielle, du terrain.

- Solaire

Les installations solaires permettent de valoriser une source d'énergie sans déchets, ni rejet de CO₂ pendant leur exploitation. Les panneaux solaires peuvent être de deux types : photovoltaïque pour la production d'énergie électrique et thermique pour la production de chaleur. Le site dispose d'une situation très favorable avec plus de 1 100 kWh/(m².an) d'énergie solaire incidente. Une part importante des toitures pourra alors être réservée à ces installations solaires. Il convient de respecter les exigences du standard HPE en vigueur. L'avantage des installations solaires est qu'elles peuvent tout à fait fonctionner en synergie avec d'autres sources énergétiques.

- Solaire photovoltaïque

L'exigence HPE doit être considérée. En effet, depuis juin 2019, l'exigence HPE impose une installation photovoltaïque qui permet de produire 10 W/m² de SRE mais au maximum 30 kWp. Cette nouvelle exigence rejoint l'exigence de Minergie® (éditions 2017 et 2019). La surface minimale totale de panneaux photovoltaïques à installer est donc de 1 400 m² (puissance de 228 kWp).

- Solaire thermique :

Selon les exigences de la Loi cantonale sur l'énergie et son article 15, une installation solaire thermique est requise et doit (sauf cas particulier) couvrir 30% des besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire (ECS).

La surface à installer pour la couverture de ces besoins a été estimée à 500 m² en considérant une production de 400 kWh/m².

Bien que l'orientation des façades principales ne soient pas optimales pour l'installation de panneaux solaires cela ne doit pas être écarté.

2.1.4 Synergie avec les CET voisins

Le CET du PLQ 30182, actuellement en cours d'élaboration, situé entre le chemin de la Gravière et l'avenue des Vergys est également en cour d'étude. Ce PLQ devrait abriter 15 000 m² de logements répartis sur une trentaine de bâtiments de 3 étages au maximum. Les besoins de chaleur estimés à ce jour sont de 130 MWh/an pour le chauffage et 280 MWh/an d'ECS. Le phasage est à ce jour inconnu. Puisque les deux PLQ seront affectés essentiellement à du logement, aucune synergie entre demande de froid (donc rejet de chaleur) et demande de chaud n'existe. L'intérêt de considérer ce second PLQ n'est donc pas en termes de synergie mais bien en termes de mutualisation des besoins de chaleur et de production.

Bien que la densité énergétique de ce quartier voisin soit intéressante, sa réalisation ne se fera pas au même horizon que le site du PLQ 30016 chemin de la Mousse. Ainsi, il est à ce stade difficile d'envisager une mutualisation de la production de chaleur pour ces deux sites.

Il conviendra dans les prochaines phases du projet de contacter les personnes en charge chez CSD Ingénieurs SA (Mme Johana Fernandez) du CET de ce PLQ afin de vérifier la faisabilité d'une mutualisation.

2.2 Structure qualitative et quantitative des besoins énergétiques actuels et évolution future

La Loi cantonale sur l'énergie (LEn) et son Règlement d'application (REn) définissent les exigences à respecter lors de la construction, de l'équipement et de l'exploitation d'un nouveau bâtiment ou de l'extension d'un bâtiment existant. Ceux-ci doivent ainsi respecter des standards de haute performance énergétique.

Sont considérés comme répondant à un standard de haute performance énergétique (art. 12B REn) :

- Les bâtiments neufs répondant aux exigences du standard HPE ou du label Minergie® ; ayant une installation photovoltaïque d'au moins 10 W/m² et une installation solaire thermique permettant de couvrir 30% des besoins d'ECS.
- Les bâtiments neufs respectant les critères cumulatifs suivants :
 - La valorisation de l'enveloppe thermique par un taux de production propre d'électricité est d'au moins 10 W/m²
 - 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 : édition 2016
 - La part d'énergie non renouvelable pour couvrir les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire est inférieure ou égale à 50 % des besoins admissibles de chaleur définis par la norme SIA 380/1 : édition 2016
 - Les valeurs cibles relatives à la demande énergie d'éclairage définies par la norme SIA 387/4 sont respectées.

La loi cantonale sur l'énergie (LEn) ayant été modifiée avec une entrée en vigueur le 04.07.2020, les bâtiments neufs des collectivités doivent désormais répondre au standard THPE.

Sont considérés comme répondant à un standard de très haute performance énergétique (art. 12B REn) :

- Les bâtiments neufs répondant aux exigences du standard THPE ou du label Minergie P-ECO ou A-ECO® ; ayant une installation photovoltaïque d'au moins 30 W/m² et une installation solaire thermique permettant de couvrir 50% des besoins d'ECS.
- Les bâtiments neufs respectant les critères cumulatifs suivants :
 - La valorisation de l'enveloppe thermique par un taux de production propre d'électricité est d'au moins 30 W/m²
 - Les besoins de chauffage sont inférieurs ou égaux à 70 % des besoins admissibles de chaleur pour le chauffage définis par la norme SIA 380/1 : édition 2016
 - La part d'énergie non renouvelable pour couvrir les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire est nulle
 - Les valeurs cibles relatives à la demande énergie d'éclairage définies par la norme SIA 387/4 sont respectées.

2.2.1 Besoins énergétiques actuels

Les indices de dépenses de chaleur (IDC) représentent la quantité annuelle d'énergie consommée pour la production de chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire) rapportée à un mètre carré de surface de plancher chauffée (SRE) et corrigée en fonction des données climatiques (degrés-jours) de l'année considérée. Ils permettent d'évaluer la qualité des bâtiments d'un quartier.

Quelques bâtiments renseignés et présents sur le site présentent des IDC supérieurs à 500 MJ/m² (chemin de la Mousse 6, 8, 28 et 30). Le bâtiment du chemin de la Gravière 9 et 11 présentent un IDC de 435 MJ/m².

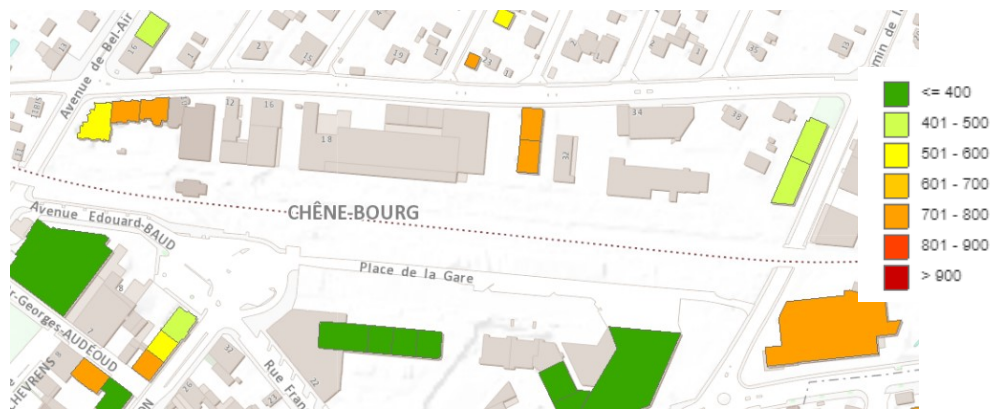


Figure 5 : IDC des bâtiments existants [MJ/m²] (source SITG)

Les besoins actuels de chaleur dans le périmètre du PLQ sont estimés à environ 3'500 MWh/an.

A noter qu'actuellement les agents énergétiques principaux pour les bâtiments du secteur sont le mazout pour la majorité des bâtiments, puis le gaz. Il y a donc un fort potentiel de conversion vers les énergies renouvelables.



Figure 6 : Agents énergétiques principaux (source SITG)

Tous les bâtiments existants sont voués à être démolis excepté cas-échéant le bâtiment H (bâtiment du chemin de la Gravière 9 et 11).

2.2.2 Besoins énergétiques projetés

Les futurs besoins sont déterminés sur la base du programme du PLQ qui prévoit la réalisation d'une SBP de 29 500 m² de logements, environ 6 000m² de commerces et activités (dont environ 1 800 m² d'administration existant). La surface totale sera d'environ 35 500 m².

Afin de déterminer les besoins, les hypothèses suivantes ont été considérées :

- La surface de référence énergétique (SRE) est assimilée à la surface brute de plancher (SBP) ;
- Les affectations suivantes sont prises en compte selon la norme SIA 380/1 : I Habitat collectif, III Administration, V Commerces et VII Lieux de rassemblement ;
- Les besoins de chaleur pour le chauffage sont déterminés en considérant 80 % Q_{h,li} (respect de l'exigence HPE) ;
- Les besoins d'énergie pour l'ECS sont déterminés selon la norme SIA 380/1 : 2009 ;
- Détermination des besoins d'électricité selon SIA 308/1 : 2009 ;
- Les besoins de rafraîchissement pour les commerces et l'administration sont déterminés selon le cahier technique SIA 2024 ;
- Le bâtiment H présente une consommation totale de chaleur de 320 Mwh/an.

Catégoried'ouvrage	SRE (m ²)	Besoins énergétiques (kWh/m ² /an)				Besoins (MWh/an)			
		Chauffage	ECS	Electricité	Froid*	Chauffage	ECS	Electricité	Froid*
I habitat collectif	29470	19	21	28	0	544	601	801	0
III administration existant	1800	182		22	0	320 (env 5% d'ECS)		40	0
III administration	3040	19	7	22	0	74	27	40	0
V commerces	1170	14	7	33	88	16	8	39	103
VII lieux de rassemblement	200	23	14	17	0	5	3	3	0
Total	35680					943	655	923	102.96

Tableau 1 : Besoins énergétiques par affectation selon la norme SIA 380/1 et 2024 (froid)

Les besoins de froid théoriques pour les commerces sont donnés ici selon la norme SIA 2024. Aucun froid n'est considéré pour les zones administratives, il conviendra de justifier le besoin de rafraîchissement le cas échéant.

2.2.3 Acteurs concernés et rôles

Les acteurs clefs et leur rôle sont les suivants :

- Propriétaires des bâtiments et promoteurs : réaliser des bâtiments énergétiquement performants (à minima HPE / Minergie) ;
- OCEN : valider les concepts énergétiques (CET mais également les concepts des bâtiments futurs) ;
- Contractant (SIG ou autre) : réaliser une/des installations de production de chaleur/froid et d'électricité pertinentes et efficaces.

3. Propositions et analyses stratégiques

3.1 Stratégie de valorisation du potentiel énergétique local

3.1.1 Variantes de production

Plusieurs variantes de production de chaleur pour le chauffage et/ou la préparation de l'eau chaude sanitaire ont été étudiées et évaluées dans le CET n° 2012-07 d'avril 2007, selon le potentiel des ressources énergétiques renouvelables et locales, ainsi que les infrastructures existantes ou projetées.

Le CET n° 2012-07 recommandait de retenir une production de chaleur par pompes à chaleur (PAC) sur sondes géothermiques. Une seconde variante avait été envisagée avec une production de chaleur par chauffage à distance (CAD) et de froid par électricité dans la perspective où des réseaux étaient développés. Le bois avait quant-à-lui été écarté pour une question d'émissions.

Dans l'intervalle, le CAD Laurana a été réalisé et alimente désormais les bâtiments se trouvant directement au sud du PLQ n°30016 chemin de la Mousse. Ce dernier est désormais saturé. Les conduites alimentant la tour Opale ne pourraient être étendues, car elles n'ont pas les dimensionnements nécessaires. Aucun réseau de chauffage à distance n'est à l'heure actuelle prévu par les SIG dans le périmètre élargi du PLQ n°30016 chemin de la Mousse. Les études des variantes de production de chaleur ne peuvent donc prendre en compte un apport de CAD à proximité.

Quelles que soient les variantes étudiées, une production d'électricité par panneaux solaires photovoltaïques permettant de respecter l'exigence HPE/Minergie et THPE pour les surfaces d'équipement public est considérée. Les variantes alors étudiées ne diffèrent que d'un point de vue de la production de chaleur et de la part autoconsommée de l'électricité produite par les panneaux. En effet, l'autoconsommation est plus importante dans le cas d'une production de chaleur consommant de l'électricité (PAC).

Les variantes de production de chaleur étudiées sont les suivantes :

- PAC sur sondes géothermiques + panneaux solaires thermiques ;
- PAC sur air + panneaux solaires thermiques ;
- PAC sur eau-glacée + panneaux solaires hybrides ;
- Bois + gaz 20% + panneaux solaires thermiques.

Dans toutes les variantes, un préchauffage de l'ECS avec un prédimensionnement fait pour respecter l'exigence cantonale d'avoir une production d'ECS réalisée à 30% par le solaire est considéré comme minimum (50% pour les surfaces d'équipement public). Les simulations indiquent que le taux de couverture des besoins d'ECS est finalement supérieur à celui nécessaire pour le strict respect de l'exigence cantonale. Toutefois, l'hypothèse de base de 500 m² de solaire thermique est conservée.

Seule la variante PAC sur eau glacée diffère, car son bon fonctionnement nécessite une production solaire thermique supplémentaire.

Les surfaces de panneaux solaires par variantes peuvent être résumées ainsi :

	PAC sur sondes	PAC sur air	PAC sur eau glacée	PAC sur eau glacée + 15% gaz	Bois + 20% gaz
Solaire thermique	500 m ²	500 m ²	-	-	500 m ²
Solaire photovoltaïque	1550 m ²	1550 m ²	-	-	1550 m ²
Solaire hybride			2200 m ²	2200 m ²	

Tableau 2 : Surfaces de panneaux solaires considérées

- PAC sur sondes géothermiques + panneaux solaires thermiques

Ici, les panneaux solaires thermiques sont conservés pour le préchauffage de l'ECS. Le chauffage et le supplément de chaleur à apporter à l'ECS est réalisé grâce aux sondes géothermiques.

Les champs de sondes devant fonctionner sans ou avec peu d'injection de chaleur dans le terrain (la quantité de rafraîchissement envisageable est faible), le dimensionnement des sondes devra faire l'objet d'une simulation détaillée. De plus, l'espace de terrain hors construction est de 6 000 m², un écart minimal de 8 m doit être respecté entre les sondes. Le nombre maximum de forage maximum serait alors de 90. La puissance maximale obtenue par ces forages serait suffisante (environ 700 kW). Toutefois, l'énergie soutirée au terrain pourrait entraîner un refroidissement de ce dernier trop conséquent. Cela devra être vérifié par une simulation sur 50 ans avec un logiciel spécialisé (type EWS) prenant en compte l'emplacement réel des sondes géothermiques.

Les sondes situées sous la construction sont réalisables, mais bien souvent non recommandées, car elles nécessitent une anticipation importante des forages dans la planification.

- PAC sur air + panneaux solaires thermiques

Tout comme la variante sur sondes géothermiques, dans la variante PAC sur air, les panneaux solaires thermiques sont conservés pour le préchauffage de l'ECS. Le chauffage et le supplément de chaleur à apporter à l'ECS est réalisé grâce à la PAC.

- PAC sur eau-glacée + panneaux solaires thermiques

Ce système est différent des autres variantes. Ici la production de chaleur se fait par une PAC tirant la chaleur d'un volume de stockage d'eau glacée. Elle utilise alors la chaleur latente de l'eau. Le stockage de chaleur est rechargé par des panneaux solaires thermiques. Le dimensionnement des panneaux solaires est alors plus important que pour les autres variantes. Ici une surface de 2 200 m² serait nécessaire. Afin de diminuer la surface totale de capteurs solaires (PV et thermiques), il conviendrait de mettre en œuvre des capteurs hybrides.

Cette hypothèse est par la suite retenue. Cette dernière est la plus pessimiste en termes de consommation d'électricité des PAC, car les panneaux hybrides ne font que de la basse température. Ainsi, ils ne peuvent couvrir ni production de chauffage, ni la production d'ECS directement. La PAC doit donc fournir 100% de l'ECS et du chauffage.

Pour cette variante, un complément au gaz est mis en œuvre comme appoint. Sa part de production peut varier selon que l'on souhaite tendre vers une production 100 % sur les PAC ou que l'on souhaite diminuer la surface de l'installation solaire pour des questions d'investissement et de surface.

- PAC sur eau-glacée + panneaux solaires thermiques + 15% de gaz

Cette variante considère que 15% du chauffage et de la production d'ECS se font par une chaudière gaz.

- Bois + panneaux solaires thermiques + gaz 20%

Cette variante considère une production de chaleur par une chaudière bois. De plus, 20% des besoins de chaleur sont couverts par une chaudière d'appoint permettant de réaliser l'appoint de chaleur et de limiter les cycles de fonctionnement de la chaudière bois afin qu'elle ait une meilleure durabilité. Le préchauffage de l'ECS est réalisé par les panneaux solaires thermiques.

3.1.2 Evaluation des variantes

Afin d'étudier les différentes variantes précédentes, un profil horaire des besoins a été créé par bâtiment pour le besoin de chaleur pour le chauffage et pour l'ECS. Le profil d'appel de puissances annuel pour l'ensemble des bâtiments obtenu est le suivant :

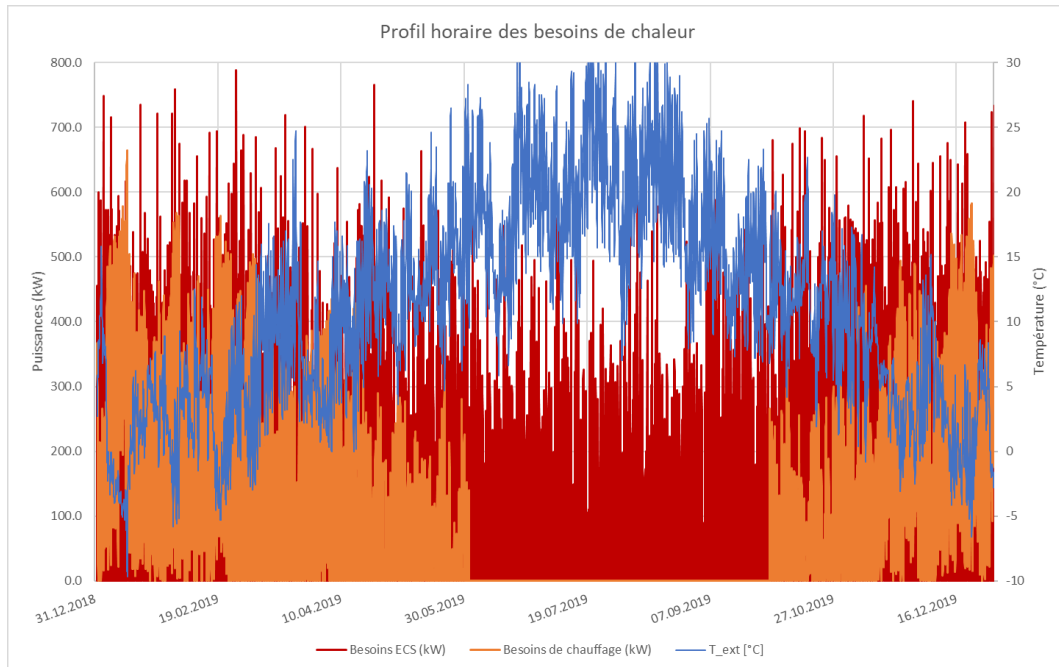


Figure 7 : profil de besoins annuels

Les puissances n'ont pas été bridées, c'est pourquoi des pics importants apparaissent.

A partir de ces profils de besoins, une simulation est réalisée par bâtiment avec le logiciel Polysun, afin de déterminer l'énergie horaire couverte par la production solaire thermique. Cela permet de connaître avec précision les besoins à couvrir par les pompes à chaleur.

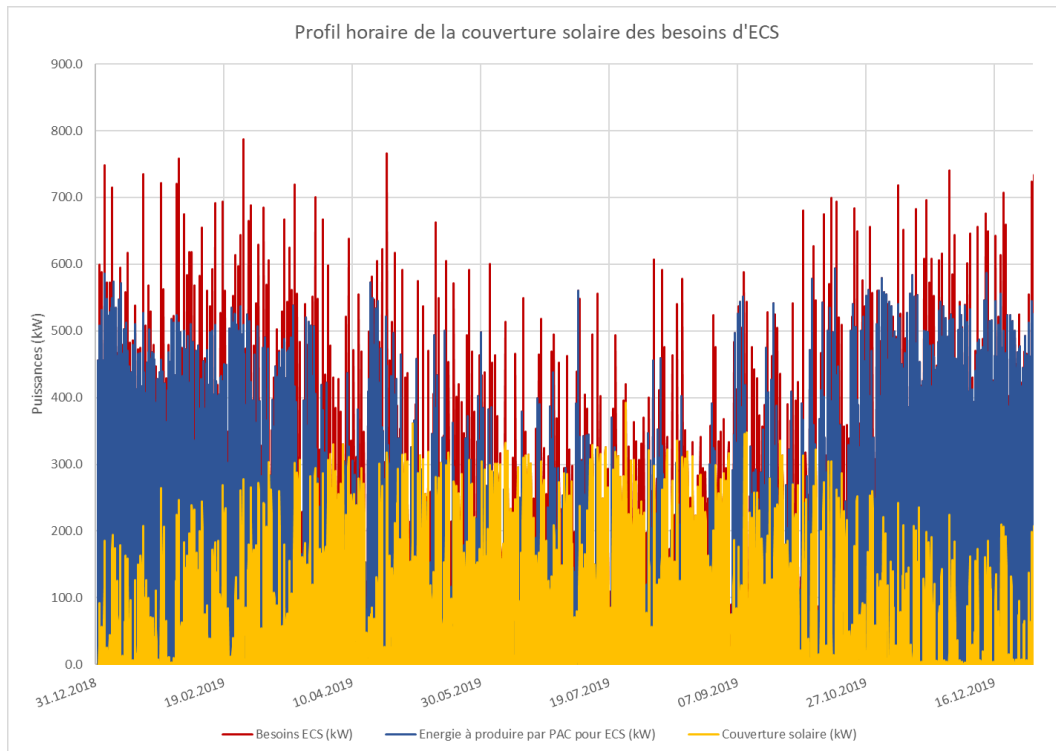


Figure 8 : Couverture solaire des besoins d'ECS

L'énergie électrique nécessaire à la production de l'ECS et du chauffage est alors déterminée. Pour cela, les COP de la norme SIA 380 (annexe J.3) sont employés.

Coefficients de performance annuels standard des pompes à chaleur				
	Temp. aller chauffage <= 35°C	Temp. aller chauffage <= 50°C	Eau chaude Charge par couche	Eau chaude Charge par niveau
Air extérieur	3	2.2	2.2	2.6
Sonde géothermique	4.3	3.1	2.4	2.8
Sonde à registre terrestre	3.4	2.5	1.9	2.2

Tableau 3 : COP employés selon norme SIA 380

La PAC sur eau glacée étant un système encore peu répandu aucun COP n'est défini dans la norme. Un COP de 3,2 est retenu pour le chauffage et pour la production d'ECS.

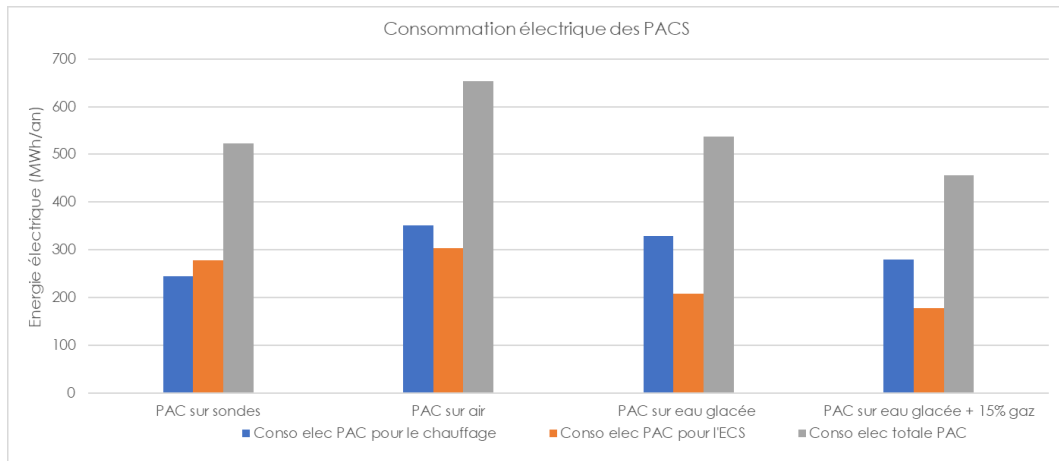


Figure 9 : Consommation électrique des PAC pour les différentes variantes

La consommation des PAC pour la variante PAC sur air est de 25% supérieure à celle de la variante PAC sur sondes. Celle de la variante PAC sur eau glacée n'est que de 3% supérieure à celle sur sondes. Pour la variante avec le gaz il y a une réduction de 13% d'électricité d'un côté, mais un ajout de consommation de gaz.

La demande électrique des PAC est alors ajoutée à la demande électrique des bâtiments selon la norme SIA 380/1, afin de déterminer l'autoconsommation d'électricité réalisée grâce à l'installation photovoltaïque. La simulation est également réalisée avec Polysun.

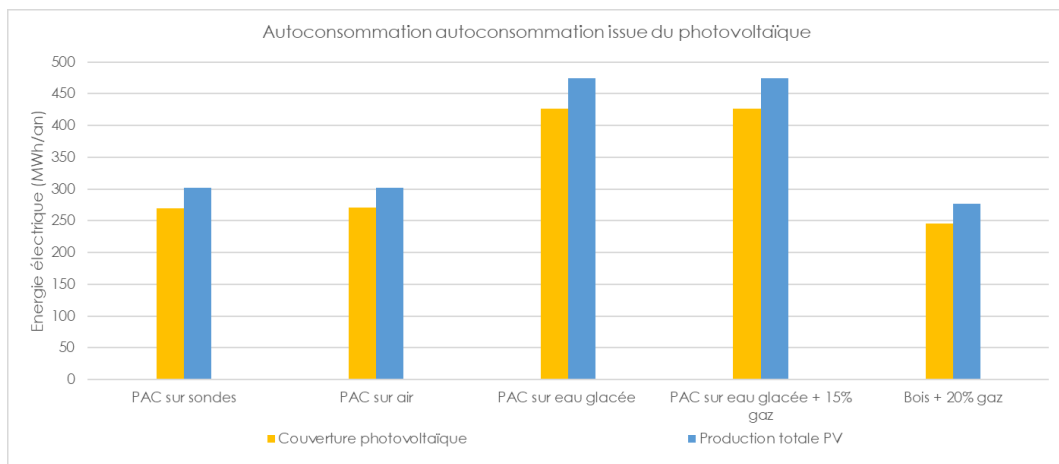


Figure 10 : Autoconsommation électrique

L'autoconsommation dans le cas de la variante bois est légèrement inférieure. La production et l'autoconsommation solaire photovoltaïque sont largement augmentées par l'augmentation de surface de panneaux dans les cas des variantes PAC sur eau-glacée.

Les variantes sont alors comparées du point de vue de leur impact environnemental. Pour cela, les données suivantes tirées des recommandations KBOB « données des Ecobilans dans la construction / Eco-bau / IBP 2009/1 » édition 2016 sont employées.

Agent énergétique	Emissions de gaz à effet de serre (kg-eq Co2/MWh)	Référence
Chaudière bois (pellets)	38	Chaleur utile
Chaudière gaz	249	Chaleur utile
PAC air-eau	63	Chaleur utile
PAC sur sondes géothermiques	46	Chaleur utile
Production PV	81	Energie finale
Collecteurs solaires plan, eau chaude	14	Chaleur utile
Mix de production élec CH	102	Energie finale

Tableau 4 : Coefficients d'impact environnementaux

Les résultats obtenus sont les suivants :

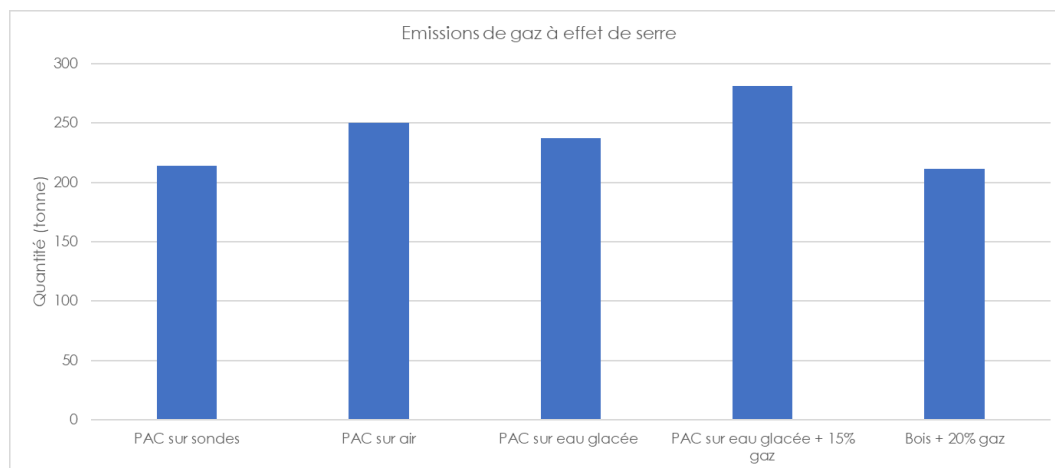


Figure 11 : Emissions de gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre sont supérieures dans le cas des productions par PAC. En effet, le mix de production électrique suisse ayant des émissions de gaz supérieures à celles des chaudières bois, on obtient une diminution de 3% de ces émissions pour la variante bois + 20% de gaz par rapport à la variante PAC sur sondes. Il est important toutefois de retenir que les émissions de particules fines, même avec l'installation d'un filtre sur la chaudière bois, seront plus importantes pour cette variante.

3.1.3 Analyse des variantes

Le système PAC sur air entraîne une surconsommation d'électricité, liée aux faibles COP. Cela aura un impact non négligeable sur le pourcentage d'énergie renouvelable. Le standard HPE impose un pourcentage d'énergie renouvelable minimal de 50% plus difficile à respecter avec ce système.

La PAC sur sondes géothermiques est la variante qui permettrait à la fois de respecter les exigences du standard HPE sans provoquer de dégagement de CO₂ trop important comme le bois.

La PAC sur eau glacée prise en compte n'est pas intéressante en termes d'émissions de gaz à effet de serre, cela à cause du fait que la production solaire thermique ne couvre pas directement la demande de chaleur ce qui crée une consommation électrique importante. De plus, la fraction de gaz est volontairement prise relativement élevée. Avoir une production solaire thermique directe imposerait d'augmenter les surfaces dédiées aux panneaux solaires et permettrait d'avoir moins d'émissions de CO₂.

La variante bois + gaz à hauteur de 20% semble une solution envisageable tant qu'il est prouvé qu'elle présente un avantage financier (exigence de la directive de l'OCEN sur les installations techniques). En revanche, elle impose d'avoir un volume de stockage important en sous-sol,

un entretien important et des livraisons de combustibles qui impose de trouver une solution technique (localisation du stockage) et augmente le trafic routier. De plus, cette solution émet localement des particules fines et ce même avec un système de filtre.

La PAC sur sondes géothermiques est dans ce cas un système qui permettrait de respecter les exigences HPE et Minergie®. Elle devra toutefois faire l'objet d'une étude approfondie, car la surface hors construction est limitée.

Le tableau suivant présente un résumé des variantes sous forme de variations positives ou négatives par rapport à la variante PAC sur sondes géothermiques qui est alors traité comme la variante de référence.

	PAC sur sondes	PAC sur air	PAC sur eau glacée	sur eau glacée + 15%	Bois + 20% gaz
Consommation électrique	Référence	-	=	-	--
Autoconsommation d'électricité	Référence	=	+++	+++	-
Emissions de gaz à effet de serre	Référence	+	+	+++	-
Emissions de polluants atmosphériques (part. fines + NOx)	Référence	=	=	=	+++
Coût des installations	Référence	--	--	=	--
Surface des installations + stockage	Référence	besoin de + surface en toiture	besoin de + surface en sous-sol	besoin de + surface en sous-sol	besoin de + surface en sous-sol
Approvisionnement en combustibles	Référence	=	=	=	Régulier fonction du volume stockage

Tableau 5 : Comparatif des variantes

3.2 Stratégie d'approvisionnement

La stratégie d'approvisionnement pour le chauffage qui sera faite devra privilégier le déploiement d'un réseau de chauffage à distance basse température. La volonté actuelle d'avoir recours à un contracteur énergétique est tout à fait appropriée à l'échelle de ce quartier. L'OCEN devra être informé de la procédure d'appel d'offres à un contracteur énergétique pour la réalisation d'un réseau de chauffage et toutes autres infrastructures énergétiques.

Concernant l'ECS, si une solution sur PAC est envisagée, il conviendra de définir la stratégie la plus adaptée. Une décentralisation de la production de l'ECS devra être envisagée afin de ne produire de la chaleur à 55°C que lorsque cela est nécessaire.

L'approvisionnement en froid, s'il s'avère nécessaire (une preuve du besoin sera nécessaire), pour les commerces devra faire l'objet d'une attention particulière. La production de froid pourrait tout à fait être couplée au fonctionnement des PAC. En revanche, elle nécessiterait l'ajout d'installations dans le cas d'une production de chaleur par une chaudière bois.

3.3 Mesures à prévoir pour les niveaux de planification inférieurs

La conception architecturale et énergétique des bâtiments devra être réalisée de manière à satisfaire les exigences d'un haut standard énergétique, en diminuant à la source les besoins énergétiques de chauffage, ainsi que les consommations d'énergie relatives à l'aération et à l'éclairage, tout en garantissant le confort des usagers, notamment en :

- Réalisant une conception des bâtiments selon un haut standard énergétique (HPE / Minergie), voire selon un très haut standard énergétique (THPE / Minergie P). Cela constitue la garantie d'une consommation maîtrisée pour le chauffage et la production d'ECS. Le standard THPE sera exigé pour le bâtiment abritant les équipements publics ;

- Respectant une part de production solaire thermique pour la couverture des besoins de l'ECS de minimum de 30% ou 50% pour les bâtiments respectant le THPE ;
- Apportant une attention particulière au réglage du chauffage et de la ventilation. Des systèmes de régulation adaptés aux besoins doivent être mis en œuvre et contrôlés ;
- Réduisant la consommation d'électricité :
 - En se passant des besoins de froid ou en les diminuant (pour les commerces et activités) grâce à l'emploi de systèmes passifs adéquats (ventilation naturelle, protections solaires efficaces) ;
 - Choisisant des moteurs de ventilateurs performants et adaptés aux systèmes de ventilation ;
 - Minimisant l'apport d'éclairage artificiel tout en l'adaptant aux besoins liés au confort ;

Par ailleurs, il est recommandé d'étudier la faisabilité d'installer des systèmes de recharge pour les véhicules dans les parkings, même dans le cas où les bâtiments ne feraient pas l'objet d'une certification Minergie (qui intègre depuis 2020 une exigence quant au dimensionnement de câbles en attente pour ces systèmes).

Toutes les variantes présentées pourraient être envisagées. En revanche, les éléments suivants devraient être pris en compte.

Dans le cas d'une PAC sur sondes géothermiques, l'espace hors construction étant restreint, il convient de déterminer si les sondes pourront se faire sous les constructions, ce qui impose une planification très en amont des sondes. L'emplacement des sondes devra alors être déterminé ainsi qu'une simulation du terrain sur 50 ans afin de garantir le bon fonctionnement de ce système.

La satisfaction des exigences de Minergie ou du HPE pourrait s'avérer plus complexe avec une PAC sur l'air, du fait des consommations électriques qu'elles engendrent.

Si un système par PAC sur eau-glacée était retenu, il conviendrait de prévoir une production solaire thermique permettant de produire une partie de l'année de la chaleur directement afin d'éviter une part des consommations électriques. Cette variante permettrait également de réaliser de la récupération directe de la chaleur sur l'air extrait ce qui justifierait une ventilation mécanique de type simple flux.

Une installation avec une chaudière bois peut être envisagée, mais la justification devra être réalisée en comprenant les investissements liés aux infrastructures importantes. Il sera nécessaire de considérer le besoin en surface nécessaire également pour l'accumulateur de chaleur qui est obligatoire dans le cas de chaudières à bois.

4. Synthèses des orientations et des recommandations

L'enjeu principal est de favoriser un recours aux ressources locales renouvelables. Pour ce faire, une conception des bâtiments respectant au minimum le standard HPE est nécessaire.

Des surfaces de toiture minimum de 500 m² pour la production thermique et 1 550 m² pour la production électrique devront être mises en œuvre.

Ces surfaces ne suffisent pas à elles seules à garantir une production énergétique renouvelable suffisante pour respecter les exigences. Aussi, il conviendra d'orienter le choix de la production de chaleur vers un système PAC ou bois avec la plus haute fraction renouvelable possible (un appoint par une chaudière gaz pourra être envisagée).

4.1 Variante favorite

L'analyse qui précède nous a permis d'obtenir un comparatif de chaque variante selon différents indicateurs. Ces indicateurs sont d'ordre énergétiques, écologiques et techniques. Sur la base des indicateurs étudiés, la variante PAC sur sonde géothermique semble, à ce stade de l'étude, la plus favorable. Nous n'écartons cependant pas les autres options qui répondent aux exigences légales.

Pour la suite, une étude de faisabilité technico-économique sera réalisée et englobera les différentes variantes étudiées. Si la variante PAC sur sonde conduisait à des indicateurs techniques ou économiques non avantageux pour le projet, les autres variantes seront considérées comme alternatives envisageables.

Ce questionnement sera également ouvert à d'éventuels réseaux de chauffage à distance qui pourraient être déployés d'ici là. Il conviendra également de vérifier l'intérêt et la faisabilité d'étendre le réseau de chaleur aux quartiers voisins (PLQ situé entre chemin de la Gravière et l'avenue des Vergys). L'OCEN devra être informé de ces procédures.