



**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 »

3'22'080

## PLQ n°30233 Avenue Baud – Place de la Gare Concept énergétique territorial

30.06.2023

Version 2

Olivia Minam-Borier

Paul Bourdoukan

CET 2023-04

Validé OCEN

11.08.2023

*Maury*



## 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 .....	10
3. Besoins énergétiques .....	11
3.1 Besoins de chaleur .....	11
3.2 Besoins en électricité .....	12
3.3 Installation de production d'électricité.....	12
3.4 Installation de production d'eau chaude sanitaire .....	13
4. Propositions et analyses stratégiques .....	14
4.1 Stratégie de valorisation du potentiel énergétique local.....	14
4.2 Hypothèses de calcul .....	15
5. Evaluation des variantes .....	16
5.1 Gaz à effets de serre .....	16
5.2 Coûts d'investissements et d'exploitation.....	16
5.3 Analyse des variantes.....	17
5.4 Tableau comparatif .....	18
5.5 Mesures à prévoir pour les niveaux de planification inférieurs.....	19
6. Synthèses des orientations et des recommandations.....	20
6.1 Variante favorite .....	20

## Liste des figures

Figure 1 : Situation du PLQ.....	4
Figure 2 : Concepts énergétiques territoriaux à proximité.....	5
Figure 3 : Plan du PLQ.....	5
Figure 4 : Cadastre des immissions de NO <sub>2</sub> de l'année 2021 (source SITG).....	6
Figure 5 : Cadastre autorisation géothermie (Source SITG).....	6
Figure 6 : Degré de sensibilité au bruit OPB (Source SITG).....	6
Figure 7 : IDC des bâtiments existants [MJ/m <sup>2</sup> ] (source SITG).....	10
Figure 8 : Agents énergétiques principaux (source SITG).....	10
Figure 9 : Emissions gaz à effets de serre par année.....	16
Figure 10 : Coûts d'investissements et d'exploitation selon variantes sur 20 ans.....	17

## Liste des tableaux

Tableau 1 : Surface de référence énergétique [m <sup>2</sup> ] et rapport de forme par affectation.....	11
Tableau 2 : Besoins en eau chaude sanitaire par type d'affectation (SIA 380/1).....	11
Tableau 3 : Besoins en chauffage et prédimensionnement puissance.....	11
Tableau 4 : Prédimensionnement longueur sondes.....	12
Tableau 5 : Besoins en électricité par type d'affectation (SIA 380/1).....	12
Tableau 6 : Installations solaire photovoltaïques production électricité selon standards.....	12
Tableau 7 : Installations solaire thermique selon standards.....	13
Tableau 8 : Installations solaire photovoltaïques production électricité et ECS selon standards.....	13
Tableau 9 : COP des PAC.....	15
Tableau 10 : Rendement de la chaudière bois.....	15
Tableau 11 : Coût agents énergétique.....	15
Tableau 12 : Tableau comparatif.....	18

## 1. Mise en contexte

### 1.1 Localisation et périmètre d'étude

Le PLQ étudié se situe dans la commune de Chêne-Bourg à l'est du canton de Genève. Il est délimité au nord par l'avenue Edouard-Baud, à l'ouest par l'avenue de Bel-Air, à l'est par l'avenue F.A. Grison et au sud par la rue Dr Georges-Audeoud.

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

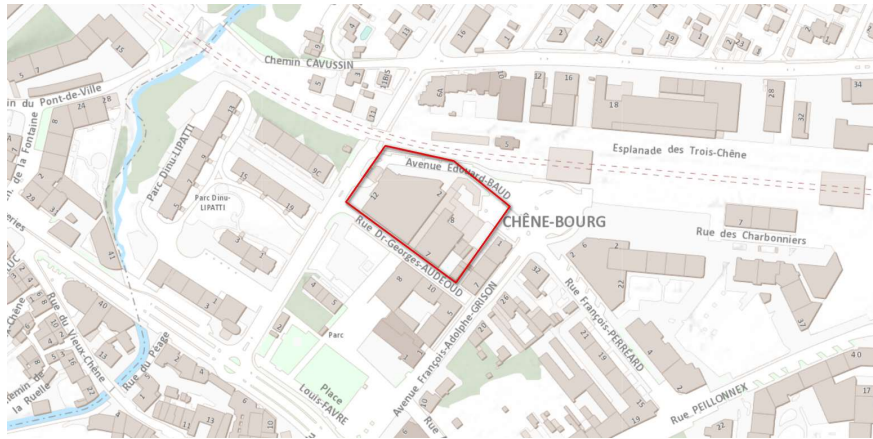


Figure 1 : Situation du PLQ

### 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 modifiant le règlement d'application de la loi sur l'énergie (Ren) du 5 juin 2019. Celui définit de nouvelles exigences à respecter afin de respecter les standards HPE et THPE.
- 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 m<sup>2</sup> 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 »

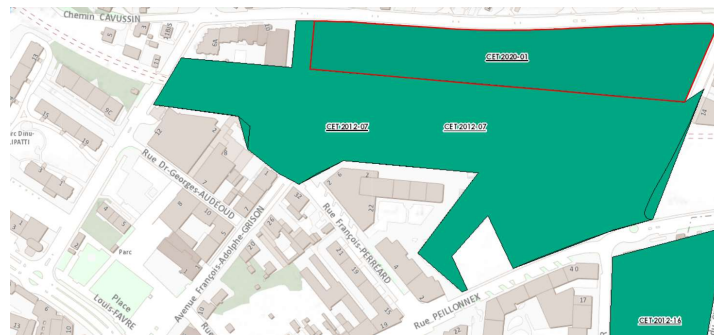
### 1.3 Objectifs du CET

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



**Figure 2 : 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 2020-01 lié au PLQ n°30016 « Chemin de la Mousse » préconisait une production de chaleur par PAC sur sondes géothermiques.

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

Le projet du PLQ prévoit la construction de 1 bâtiment de maximum 7 étages sur rez-de-chaussée présentant une SBP totale de 14'469 m<sup>2</sup>, dont 11'575 m<sup>2</sup> de logements et 2'894 m<sup>2</sup> de commerces et d'activités (1'900 m<sup>2</sup> de commerces au rez et 994 m<sup>2</sup> d'activités au premier étage).



**Figure 3 : Plan du PLQ**



## 1.6 Contexte environnemental

Selon les données SITG, la concentration en NO<sub>2</sub> de l'air du périmètre est inférieure à 30 µg/m<sup>3</sup>, limite fixée par l'OPair en 2021, mais a été dépassée les années précédentes.



**Figure 4 : Cadastre des immissions de NO<sub>2</sub> de l'année 2021 (source SITG)**

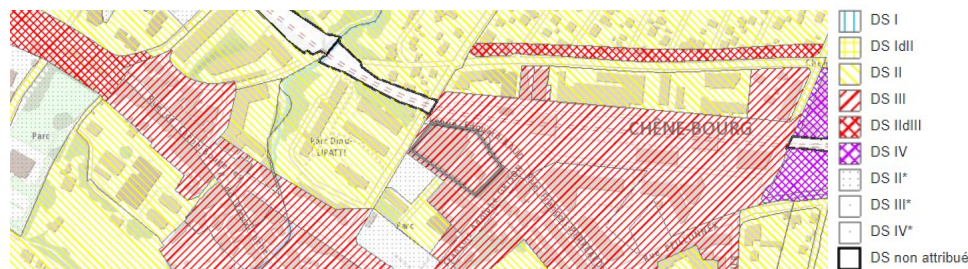
Pour le chauffage, les émissions de polluants atmosphériques (NO<sub>x</sub> et particules fines) devront cependant être limitées au maximum. L'annexe 1 de la Directive de l'OCEN relative aux projets d'installations techniques précise notamment que les installations productrices de chaleur alimentées 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 5 : Cadastre autorisation géothermie (Source SITG)**

Selon le site SITG, le projet se situe dans une zone de degré de sensibilité au bruit de degrés III (mixte). Cette valeur de planification sera à prendre en compte dans l'attestation du respect des exigences de protection contre le bruit pour pompe à chaleur air/eau.



**Figure 6 : Degré de sensibilité au bruit OPB (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.

#### 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 pourrait, 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.

- PAC sur air :

L'altitude et le climat du lieu permettent la mise en place d'une PAC sur air. Il faudra veiller à respecter le degré de sensibilité au bruit de la zone.

- Solaire

Les installations solaires permettent de valoriser une source d'énergie sans déchets, ni rejet de CO<sub>2</sub> 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. L'avantage des installations solaires est qu'elles peuvent tout à fait fonctionner en synergie avec d'autres sources énergétiques.

#### **2.1.4 Synergie avec les CET voisins**

Le projet Chemin de la Mousse dont le PLQ n°30016 préconisait une production de chaleur par PAC sur sondes géothermiques va entrer en phase d'avant-projet, cette solution énergétique est toujours proposée.

Le PLQ n°29683 « Gare de Chêne-Bourg » préconisait une production de chaleur par PAC sur sondes géothermiques, cela n'a finalement pas été réalisé.

Bien que la densité énergétique des quartiers voisins soit intéressante, il n'existe pas de réalisation au même horizon que le site du PLQ étudié. Ainsi, il est à ce stade difficile d'envisager une mutualisation de la production de chaleur pour les sites.



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

La Loi sur l'énergie, du 18 septembre 1986 (RSG L 2 30; ci-après LEn) et son règlement d'application (RSG L 20 30.01; ci-après 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/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> au maximum 30 kWc.
  - Les besoins de chauffage sont inférieurs ou égaux à 100 % des besoins admissibles de chaleur pour le chauffage définis par la norme SIA 380/1 : édition 2016
  - Capteurs solaires thermiques pour couvrir au moins 30% des besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire. Une dérogation est possible avec 10W/m<sup>2</sup> en plus de l'énergie solaire photovoltaïque.
  - Production de chaleur non fossile ou réseau thermique à distance dont la part d'énergies non fossiles et locales est d'au moins 50%.
  - Les valeurs limites relatives à la demande énergie d'éclairage définies par la norme SIA 387/4 sont respectées.

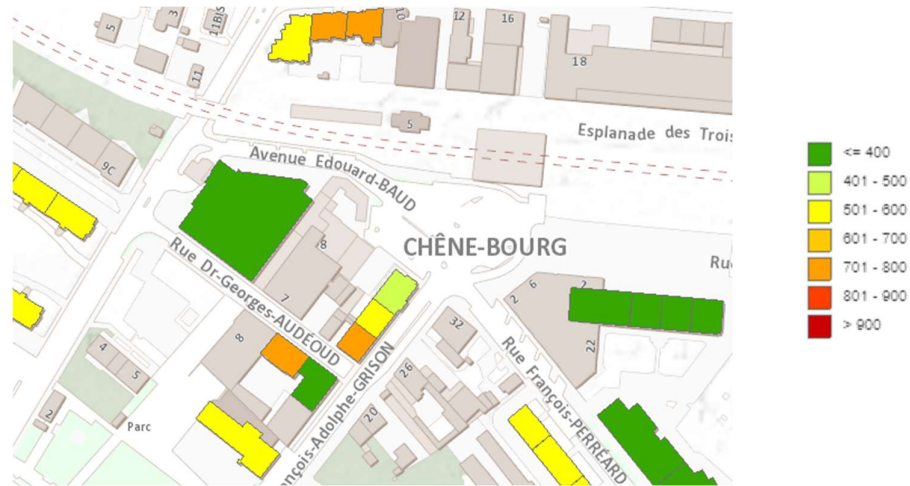
Sont considérés comme répondant à un standard de très haute performance énergétique (art. 12C REn) :

- 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/m<sup>2</sup> 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/m<sup>2</sup> au maximum 100 kWc.
  - 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.
  - Capteurs solaires thermiques pour couvrir au moins 50% des besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire. Une dérogation est possible avec 10W/m<sup>2</sup> en plus de l'énergie solaire photovoltaïque.
  - Production de chaleur non fossile ou réseau thermique à distance dont la part d'énergies non fossiles et locales est d'au moins 80%.
  - 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

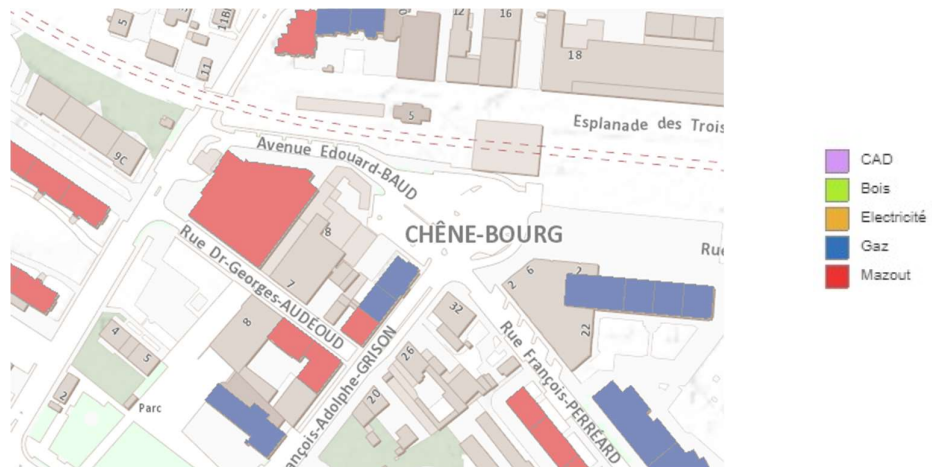
Les indices de dépenses de chaleur (IDC) représentent la quantité annuelle d'énergie consommée pour la production de chaleur (chauffage et eau chaude sanitaire) rapportée à un mètre carré de surface de plancher chauffée (SRE) et corrigée en fonction des données climatiques (degrés-jours) de l'année considérée. 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/m<sup>2</sup>. Le bâtiment actuel présente un IDC de 384 MJ/m<sup>2</sup>.



**Figure 7 : IDC des bâtiments existants [MJ/m<sup>2</sup>] (source SITG)**

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 8 : Agents énergétiques principaux (source SITG)**

Tous les bâtiments existants sont voués à être démolis.

### 3. Besoins énergétiques

#### 3.1 Besoins de chaleur

Pour les calculs l'hypothèse de base est que les besoins de chaleur correspondent à la valeur limite définie selon la SIA 380/1. Cette valeur est définie selon différents paramètres :

- La station météo de Genève-Cointrin qui donne une température moyenne annuelle de l'air de 10.7°C (SIA 2028) ;
- Le type d'affectation ;
- La surface de référence énergétique qui est la somme de toutes les surfaces de planchers des étages qui sont inclus dans l'enveloppe thermique et dont l'utilisation nécessite un conditionnement ;
- La surface de l'enveloppe thermique ;
- Le facteur de forme qui correspond au rapport entre la surface de référence énergétique et l'enveloppe thermique.

Les surface de références énergétiques par type d'affectation et les facteurs de formes calculés pour ce projet sont les suivants :

<i>SRE Habitats collectifs [m²]</i>	<i>SRE Administration [m²]</i>	<i>SRE Commerce [m²]</i>	<i>SRE totale [m²]</i>	<i>Facteur de forme</i>
10 622	1 094	2263	13 979	1.1

**Tableau 1 : Surface de référence énergétique [m²] et rapport de forme par affectation**

Les besoins de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire sont définis en fonction des types d'affectations.

<i>Affectation</i>	<i>Habitat collectif</i>	<i>Administration</i>	<i>Commerces</i>
Besoins ECS [KWh/m²]	20.8	6.9	6.9

**Tableau 2 : Besoins en eau chaude sanitaire par type d'affectation (SIA 380/1)**

Les besoins en chaleur selon le label sont présentés ci-dessous. La puissance nécessaire est prédimensionnée :

<i>Label</i>	<i>Q<sub>him</sub></i>	<i>Besoins de chaleur pour le chauffage [kWh/an]</i>	<i>Besoins de chaleur pour l'ECS [kWh/an]</i>	<i>Besoins totaux [kWh/an]</i>	<i>Estimation Puissance [kW]</i>
HPE	100%	355 000	376 000	731 000	370
THPE	70%	249 000		625 000	330

**Tableau 3 : Besoins en chauffage et prédimensionnement puissance**

Pour la version PAC sur sondes, le prédimensionnement des sondes donne les longueurs suivantes :

Site	Estimation puissance [kW]	Longueur totale sondes [m]
HPE	370	12 000
THPE	330	10 000

**Tableau 4 : Prédimensionnement longueur sondes**

### 3.2 Besoins en électricité

Les besoins en électricité sont définis selon les types d'affectations (tableau 12 de la norme SIA 380/1). Les valeurs pour les catégories étudiées sont présentées ci-dessous :

Affectation	Habitat collectif	Administration	Commerces
Besoins électricité [KWh/m <sup>2</sup> ]	28	22	33

**Tableau 5 : Besoins en électricité par type d'affectation (SIA 380/1)**

### 3.3 Installation de production d'électricité

L'exigence HPE impose une installation photovoltaïque qui permet de produire 10 W/m<sup>2</sup> de SRE mais au maximum 30 kWp. Cette nouvelle exigence rejoint l'exigence de Minergie.

L'exigence THPE impose une installation photovoltaïque qui permet de produire 30 W/m<sup>2</sup> de SRE mais au maximum 100 kWp.

Avec des panneaux photovoltaïques standards de 350 W et 1.7 m<sup>2</sup> par pièce, l'installation nécessaire serait la suivante :

Label	Exigences	Puissance PV [kWc]	Surface PV [m <sup>2</sup> ]
HPE	10 W/m <sup>2</sup> SRE - au max 30 kWc	30	146
THPE	30 W/m <sup>2</sup> SRE - au max 100 kWc	100	486

**Tableau 6 : Installations solaire photovoltaïques production électricité selon standards**

Le coût de l'installation solaire peut être estimé à 540 CHF/m<sup>2</sup> tandis que le coût de maintenance est de l'ordre de 5 CHF/m<sup>2</sup>.

Ces installations permettent de respecter les exigences de GPE respectivement THPE (sans imposer plus de 30 kWc respectivement 100 kWc). Ces valeurs minimales seront considérées pour cette étude, mais en phase de projet il sera pertinent de réfléchir à l'ajout de panneaux.

Aucune batterie n'a été considérée dans cette étude car le grand nombre de logements et la diversité des affectations pourrait permettre une autoconsommation intéressante.

### 3.4 Installation de production d'eau chaude sanitaire

L'exigence THPE impose une installation solaire thermique pouvant couvrir 30 % des besoins pour la labellisation HPE et 50% pour la labellisation THPE.

Les panneaux solaires sont dimensionnés pour les besoins définis par la norme sans prendre en compte la perte de stockage. Les installations sont les suivantes :

Label	Exigences	Compensation [kWh]	Surface solaire thermique [m <sup>2</sup> ]
HPE	30%	74 000	184
THPE	50%	122 000	306

**Tableau 7 : Installations solaire thermique selon standards**

Une dérogation au solaire thermique est possible avec 10 W/m<sup>2</sup> SRE en plus de l'énergie solaire photovoltaïque. Cela correspond à 140 kWc. Ainsi les variantes sans panneaux solaires thermique, uniquement photovoltaïque auront les installations suivantes :

Label	Exigences	Puissance PV électricité [kWc]	Puissance PV ECS [kWc]	Puissance PV totale [kWc]	Surface PV totale [m <sup>2</sup> ]
HPE	10 W/m <sup>2</sup> SRE - au max 30 kWc (électricité) + 10W/m <sup>2</sup> SRE (ECS)	30	140	170	825
THPE	30 W/m <sup>2</sup> SRE - au max 100 kWc (électricité) + 10W/m <sup>2</sup> SRE (ECS)	100	140	240	1165

**Tableau 8 : Installations solaire photovoltaïques production électricité et ECS selon standards**



## 4. Propositions et analyses stratégiques

### 4.1 Stratégie de valorisation du potentiel énergétique local

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 voisin n° 2012-07 d'avril 2007 « Gare de Chêne-Bourg », 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.

Les variantes étudiées diffèrent du point de vue de la production de chaleur, du standard de performance énergétique, et de la production d'ECS par les panneaux photovoltaïques (pour les PAC) ou panneaux solaires thermiques.

Pour le standard THPE qui est plus exigeant, les besoins sont minimisés et les installations solaires sont plus importantes. L'autoconsommation sera 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 :

- HPE – Bois + PV(elec) + Thermique (ECS)
- HPE - PAC sur sondes + PV(elec) + Thermique (ECS)
- HPE - PAC sur air + PV(elec) + Thermique (ECS)
  
- THPE – Bois + PV(elec) + Thermique (ECS)
- THPE - PAC sur sondes + PV(elec) + Thermique (ECS)
- THPE - PAC sur air + PV(elec) + Thermique (ECS)
  
- HPE - PAC sur sondes + PV(elec + ECS)
- HPE - PAC sur air + PV(elec + ECS)
  
- THPE - PAC sur sondes + PV(elec + ECS)
- THPE - PAC sur air + PV(elec + ECS)

## 4.2 Hypothèses de calcul

Pour les PAC, les COP suivants ont été considérés pour les calculs :

PAC	COP	
	air/eau	chauffage
ECS		2.3
sur sondes	chauffage	3.1
	ECS	2.7

**Tableau 9 : COP des PAC**

Système	Rendement	
	Chaudière bois	chauffage

**Tableau 10 : Rendement de la chaudière bois**

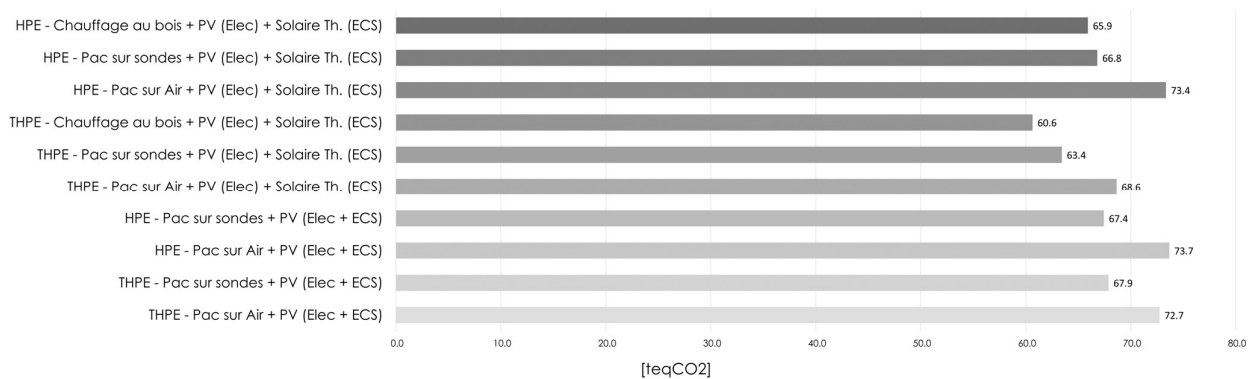
Cette étude considère les coûts des agents énergétiques début 2023 :

Source d'énergie	Coûts [ct/kWh]
Electricité achetée	35
Electricité vendue	14
Pellets	15

**Tableau 11 : Coût agents énergétique**

## 5. Evaluation des variantes

### 5.1 Gaz à effets de serre



**Figure 9 : Emissions gaz à effets de serre par année**

Ce premier graphique permet d'analyser les quantités d'émissions de gaz à effet de serre des variantes énergétiques. Les observations suivantes peuvent être faites :

- Les résultats des pompes à chaleur air/eau et sur sondes géothermiques dépendent de l'origine de l'électricité. Pour les calculs, le coefficient GES correspond à un mix de consommation électrique suisse. La PAC air/eau émet plus de gaz à effets de serre car consomme plus d'électricité que la PAC sur sondes géothermiques. En effet deux tiers de l'énergie est prélevé dans l'air extérieur grâce à une PAC air/eau tandis que trois quarts de l'énergie peut être prélevé dans le terrain grâce à une PAC sur sondes géothermiques.
- Le chauffage au bois émet peu de gaz à effets de serre des solutions proposées. Cependant il faut noter que ce système dégage de l'oxyde d'azote (NO<sub>x</sub>). Pour finir, ce système produit des particules fines qui doivent être gérées par un filtre selon les quantités émises et les zones de construction.
- Les variantes avec le standard THPE émettent moins de gaz à effets de serre car les besoins en chaleur sont diminués.

### 5.2 Coûts d'investissements et d'exploitation

L'étude se limite aux installations de production pure et à l'énergie d'exploitation. L'investissement du point de vue infrastructure (cout des locaux en plus) n'est pas pris en compte. Cela aurait pour conséquence d'augmenter l'investissement de la variante chauffage bois (pellets) étant donné le volume de stockage important.

Leur coût des panneaux solaires énoncé au chapitre 3.3 est aussi considéré dans ces graphiques. Leur autoconsommation plus importante dans le cas des PAC est considérée.

Les coûts présentés intègrent :

- Les investissements pour le système de chauffage et les panneaux solaires photovoltaïques et thermiques,
- Le coût d'exploitation sur 20 ans comprenant :
  - Le coût de l'énergie électrique pour les besoins chauffage (PAC) mais aussi effectivement hors chauffage, le coût de l'énergie (pellets)
  - Les coûts de maintenance des systèmes qui sont calcul en pourcentage du coût d'investissement



**Figure 10 : Coûts d'investissements et d'exploitation selon variantes sur 20 ans**

Les conclusions suivantes peuvent être faites :

- Le chauffage aux pellets possède des coûts d'exploitation (frais d'énergie et de maintenance) les plus élevés.
- Les deux PAC présentent des coûts d'exploitation plus faibles. Toutefois, la PAC géothermique est la plus chère à l'investissement, car elle nécessite des forages coûteux (80 CHF/ml).
- Les standards THPE nécessitent un plus grand investissement car ont des installations solaires photovoltaïques et thermiques plus conséquentes. Mais leur coût d'exploitation est plus faible étant donné que les besoins en chaleur sont diminués.
- Les variantes PAC avec des panneaux solaires photovoltaïques permettent d'avoir plus d'autoconsommation et donc de réduire les frais d'énergie.

### 5.3 Analyse des variantes

Le chauffage aux pellets possède des coûts d'exploitation (frais d'énergie et de maintenance) élevés. Pour des raisons de sécurité incendie, l'entretien d'une chaudière au bois nécessite des contrôles périodiques obligatoires ainsi qu'un ramonage de la cheminée plusieurs fois par année. Aussi, il faut prévoir l'accès au camion pour le transport des pellets en ville.

Malgré l'augmentation du prix de l'électricité, les deux PAC présentent des coûts d'exploitation plus faibles. La PAC géothermique est la plus chère à l'investissement mais est un système efficace qui consomme moins d'énergie. Aussi, cette solution est simple d'entretien.

Le tableau de la page suivante permet de synthétiser les différents avantages et inconvénients de chaque système de chauffage.

## 5.4 Tableau comparatif

VARIANTE	PAC AIR/EAU	PAC GEOTHERMIE/EAU	CHAUDIERE BOIS
Impact écologique	+ Dépend de l'origine du courant électrique Environ 2/3 de l'énergie prélevée dans l'environnement (air extérieur)	+ Dépend de l'origine du courant électrique Environ 3/4 de l'énergie prélevée dans l'environnement (terrain)	+ Production suisse Peu de CO <sub>2</sub> mais NO <sub>x</sub> et particules fines à contrôler
Coût d'investissement	+ Moins conséquent	-- Très conséquent	± Conséquent
Coût d'exploitation	± Important mais consomme moins que la chaudière bois	+ Important mais consomme moins que la chaudière bois et la PAC air	± Important
Transport	+ Réseau électrique	+ Réseau électrique	± Approvisionnement régulier par camion
Encombrement	+ Faible	+ Faible, forages pour sondes	-- Stockage important
Entretien	± Faible	+ Faible	- Contrôles périodiques obligatoires - Bac à cendre à vider et ramonage cheminée plusieurs fois par année
Bruit	± Faible mais des précautions doivent être prises (Cercle bruit à fournir)	+ Faible	+ Important vers installation, faible dans bâtiment
Risque incendie	+ Très faible	+ Très faible	± Faible
Conclusion	Variante économique mais moins efficace et donc moins écologique que la PAC sur sondes géothermiques.	Solution la plus onéreuse à l'installation mais nécessite peu d'entretien, est très efficace et est plus écologique que la PAC air/eau.	Solution intéressante écologiquement mais nécessite beaucoup d'entretien et présente un coût d'exploitation élevé.

Tableau 12 : Tableau comparatif



## 5.5 Mesures à prévoir pour les niveaux de planification inférieurs

La conception architecturale et énergétique du bâtiment 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 du bâtiment 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 ;
- Respectant une part de production solaire thermique pour la couverture des besoins de l'ECS de minimum de 30% si le bâtiment respecte le HPE ou 50% si le bâtiment respecte 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 le bâtiment ne ferait 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 THPE pourrait s'avérer plus complexe avec une PAC sur l'air, du fait des consommations électriques qu'elles engendrent.
- 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.

## 6. Synthèses des orientations et des recommandations

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

Des panneaux solaires photovoltaïques d'au minimum de 146 m<sup>2</sup> pour la production électrique et des panneaux solaire thermiques d'au minimum 184 m<sup>2</sup> pour la production d'ECS devront être mis 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.

### 6.1 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. Ainsi, les recommandations suivantes peuvent être faites :

- Pour autant que les exigences sur l'enveloppe thermique puissent être respectées, le standard THPE est prescrit.
- 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.
- Si la variante PAC sur sondes géothermique est retenue, l'installation de panneaux solaires thermiques pour la production d'eau chaude sanitaire est préférable. Cela permettra d'alléger le champ de sonde en été. Aussi, la demande de dérogation de production d'eau chaude sanitaire uniquement par des panneaux solaires photovoltaïques peut être difficilement argumenté pour des logements.