



srg | engineering®

CET 2024-01-V2

Validé OCEN

13.05.2025

Mautey

Praille-Acacias-Vernets

PAV Etoile Genève

Concept énergétique territorial

Genève, le 16 avril 2025

520- 23073 | Val/Ser - mise à jour du 16.04.2025

R.G. Riedweg et Gendre SA

certifié ISO 9001-14001
SQS N°42981

Bureau Carouge/Genève

| 31, avenue de la Praille
| 1227 Carouge

| T. +41 22 394 94 94
| F. +41 22 394 94 84

| srg-engineering.ch
| cvcge@srg-eng.ch

Table des matières

1	Gestion des modifications.....	3
2	Préambule.....	4
2.1	Introduction	4
2.2	Définition des objectifs du concept énergétique territorial.....	4
2.3	Localisation, caractérisation du site et de son environnement.....	5
2.3.1	Périmètre étudié	5
2.3.2	Bâtiments projetés	5
2.3.3	Contexte politique et institutionnel	7
3	Etat des lieux énergétiques	8
3.1	Evaluation des besoins énergétiques du projet.....	8
3.1.1	Besoins de chaud	8
3.1.2	Besoins de froid.....	11
3.1.3	Besoins électriques	12
3.1.4	Estimation des émissions de CO2.....	13
3.2	Potentiel des différentes ressources énergétiques disponibles	14
3.2.1	Solaire.....	14
3.2.2	Géothermie	15
3.2.3	Eaux usées.....	17
3.2.4	GeniLac.....	20
3.2.5	Rejets thermiques	20
3.3	Les acteurs concernés et leur rôle.....	21
3.3.1	Maître de l’Ouvrage.....	21
3.3.2	Fondation Praille-Acacias-Vernets.....	21
3.3.3	Services Industriels de Genève.....	21
3.3.4	Contracteurs énergétiques	21
3.3.5	Office Cantonal de l’Energie	21
3.3.6	Commune.....	21
3.3.7	Coordination entre les différents acteurs.....	22
4	Proposition et analyse de stratégies énergétiques	23
4.1	Analyse des productions possibles de chaleur et de froid	23
4.1.1	Pompe à chaleur géothermie / eaux usées / Genilac.....	23
4.1.2	Couplage chaleur-force	23
4.1.3	Conversion électricité en gaz.....	23
4.1.4	Production de froid	25
4.2	Stratégie de valorisation du potentiel énergétique local.....	25
4.3	Stratégie d’approvisionnement.....	25
4.4	Stratégie liée au phasage	26
5	Synthèse des orientations et recommandations	30
5.1	Synthèse des stratégies énergétiques et recommandations.....	30

1 Gestion des modifications

1	28.04.2017	Val/Ser	Edition initiale du document
2	29.08.2023	Val/Ser	Suite aux modifications du PLQ2 avec l'îlot de l'UBS, les surfaces énergétiques et les affectations ont été mises à jour
3	04.09.2023	Val/Ser	Modification recommandation Genilac suite remarque de l'OCEN
4	12.10.2023	Val/Ser	Modification conclusion suite remarques de l'OCEN
5	23.11.2023	Val/Ser	Modifications diverses suite remarques de SIG
6	22.03.2024	Val	Modifications diverses suite séance OCEN/SIG/DPAV
7	01.05.2024	Val	Modifications diverses suite courriel de M. Sossauer du 11.04.2024
8	31.05.2024	Val	Modifications diverses suite courriel de M. Sossauer du 29.05.2024
9	16.04.2025	Val	Modifications diverses suite retour préavis
10	13.06.2025	Val	Modifications diverses suite retour préavis

2 Préambule

2.1 Introduction

Le grand projet Praille Acacias Vernets (PAV) se situe sur trois communes genevoises : Carouge, Lancy et Genève. Ce grand projet consiste en la transformation de la plus grande et ancienne zone industrielle et artisanale genevoise, en un quartier mixte qui permettra la création de logements, de bureaux et d'activités diverses.

Le périmètre du PAV s'étend sur plusieurs hectares. Le secteur étudié dans le présent rapport est le secteur faisant partie du quartier de l'Etoile, qui représente une superficie d'environ 13 hectares.

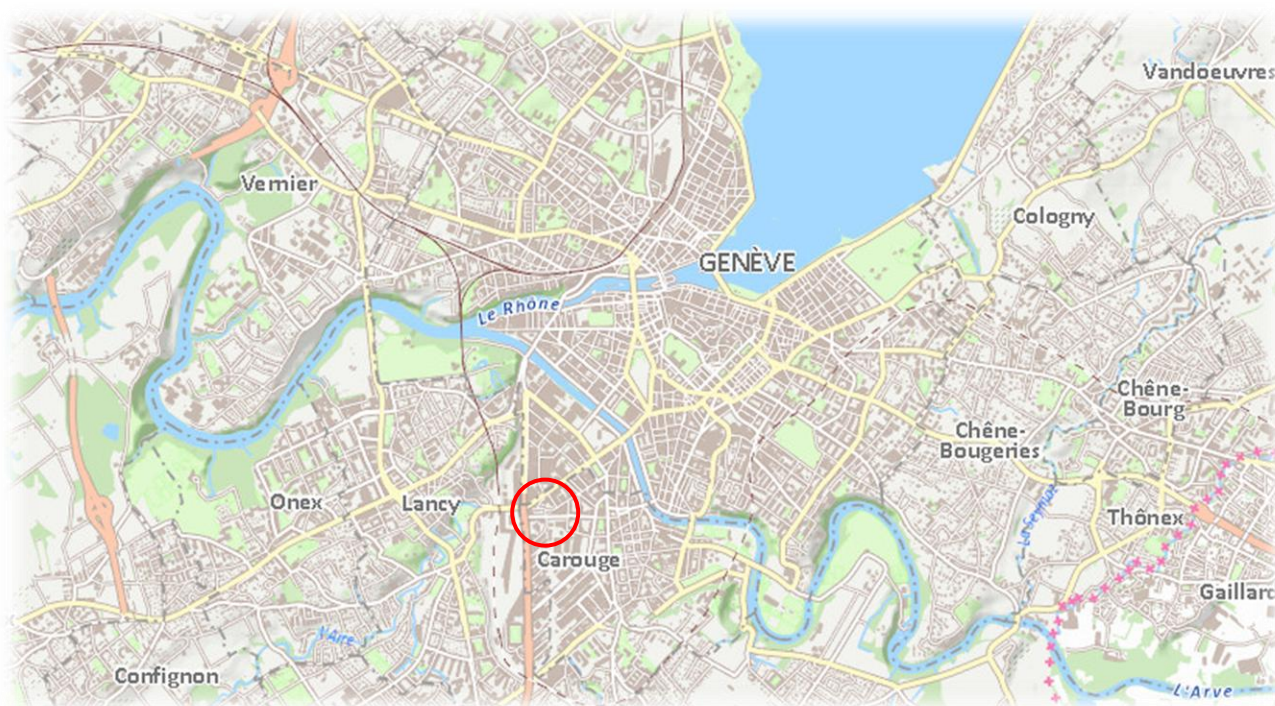
2.2 Définition des objectifs du concept énergétique territorial

Le présent rapport a pour but de faciliter la mise en œuvre du projet territorial d'un point de vue technique et énergétique en cohérence avec les objectifs de la politique énergétique, soit *la Société à 2000 Watts*, le cadre légal et les planifications énergétiques en vigueur à l'échelle du canton.

2.3 Localisation, caractérisation du site et de son environnement

2.3.1 Périmètre étudié

Le présent Concept Energétique Territorial (CET) étudie donc le quartier de l'Etoile, qui s'étend sur environ 130'000 m².



2.3.2 Bâtiments projetés

Le projet lauréat du mandat d'étude parallèle de 2015 qui a donné lieu à une image directrice prévoit la construction de différents îlots répartis sur toute la surface de *L'Etoile*. Ces îlots proposeront différentes affectations dont principalement des surfaces de bureaux, de logements, d'équipements publics et de commerces. Plusieurs tours d'une hauteur maximale de 175 m sont prévues par le PLQ. La surface brute de plancher (SBP) visée à l'échelle du secteur est d'environ de 516'015 m².

Il est important de spécifier que la construction des différents îlots se fera certainement par étapes. Le PLQ Etoile 2 adopté le 6 novembre 2019 et en cours de réalisation, prévoit la construction de deux îlots (A et B). L'importance de la planification énergétique due au phasage des constructions sera traitée dans le chapitre *stratégies énergétiques*.



Figure 1 Projet lauréat des mandats
d'étude parallèles

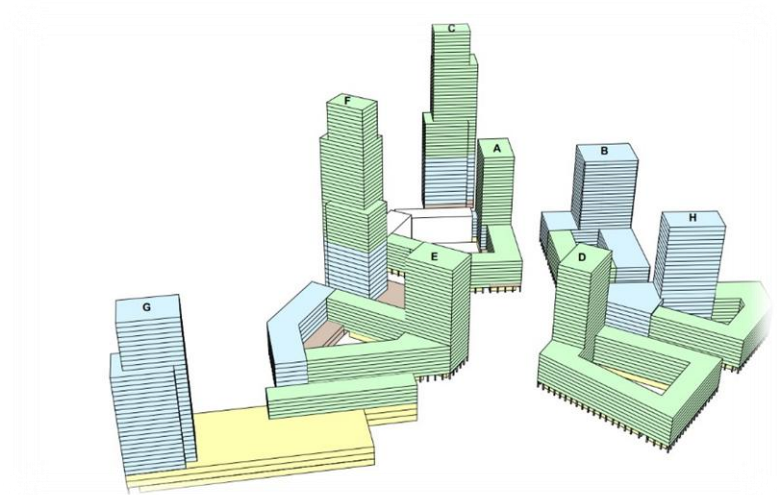


Figure 2 Ilots projetés PLQ PAV Etoile

2.3.3 Contexte politique et institutionnel

La réalisation de ce concept énergétique territorial (CET) s'inscrit dans le cadre de la loi sur l'énergie L 2 30 et de son règlement d'application. D'après cette loi, la réalisation d'un CET est obligatoire au niveau des plans localisés de quartiers.

Par ailleurs, les nouveaux bâtiments doivent répondre au minimum à un standard de haute performance énergétique et être équipés de panneaux solaires thermiques couvrant au minimum à un standard HPE des besoins en eau chaude sanitaire (ECS). Des exceptions sont prévues dans le cas de la couverture de ces 30% par d'autres énergies renouvelables.

De plus, le périmètre du PLQ Etoile s'inscrit dans les objectifs à long terme de *la Société à 2000 Watts*. Il s'agit de réduire d'un facteur 3 la consommation en énergie par rapport au niveau moyen actuellement en Suisse et de réduire de 75% l'utilisation d'énergies fossiles.

Il est également important de mentionner le plan directeur de l'énergie 2020-2030 (PDE) adopté par le Conseil d'Etat le 2 décembre 2020, qui oriente la politique énergétique cantonale et définit les étapes qui permettront d'atteindre les objectifs énergétiques cantonaux fixé aux horizons 2030 et 2050, et répondre à l'urgence climatique.

De plus, la Fondation Praille-Acacias-Vernets a publié en octobre 2023 une Charte sur la qualité urbaine, architecturale, paysagère et environnementale. Une des six thématiques mentionnées concerne la durabilité et la direction vers le net-zéro carbone avec comme objectif :

« Réduire l'impact carbone de la construction ».

3 Etat des lieux énergétiques

3.1 Evaluation des besoins énergétiques du projet

3.1.1 Besoins de chaud

La loi sur l'énergie du canton de Genève prévoit que les nouvelles constructions doivent respecter au minimum le standard de haute performance énergétique (HPE). Un deuxième standard de très haute performance énergétique (THPE) existe également et est imposé pour les bâtiments construits sur des terrains appartenant à l'Etat ou à des entités publiques. A l'avenir, la probabilité est forte que le standard THPE devienne la norme. Les impacts sur la consommation d'énergie entre ces deux standards seront évoqués ci-dessous.

On estime que la Surface de Référence Énergétique (SRE) est égale à 95 % de la Surface Brute de Plancher (SBP) à ce stade du projet.

	Logements (44.3%)	Bureaux (45.0%)	Equipements (3.8%)	Commerces (6.9%)	Total
	SRE (95% SBP)	SRE (95% SBP)	SRE (95% SBP)	SRE (95% SBP)	SRE (95% SBP)
Surfaces	245'691	249'950	21'572	38'553	555'766

Tableau 1 Surfaces du projet

Les besoins de chaleur peuvent être estimés à partir des prescriptions de la norme SIA 380/1 pour les catégories de bâtiments concernées :

- « I Habitat collectif » :	$Q_{h,lim} = 120 \text{ MJ/m}^2$
- « III Administration » :	$Q_{h,lim} = 150 \text{ MJ/m}^2$
- « V Commerce » :	$Q_{h,lim} = 115 \text{ MJ/m}^2$
- « VI Restauration » :	$Q_{h,lim} = 170 \text{ MJ/m}^2$
- « VII Lieux de rassemblement » :	$Q_{h,lim} = 170 \text{ MJ/m}^2$

En sachant que le standard HPE impose de respecter 80% de la norme SIA 380/1 et respectivement 70% pour le standard THPE, les valeurs ci-dessus ont été minorées des pourcentages correspondants.

A noter que conformément à la loi sur l'énergie, les PLQ se trouvant sur des terrains appartenant à l'Etat ou à des entités publiques devront prévoir des bâtiments qui satisfont le standard THPE.

Les consommations annuelles d'ECS peuvent également être estimées à partir des prescriptions de la norme SIA 380/1 pour les catégories de bâtiments concernés :

- « I Habitat collectif » : $Q_{ww} = 75 \text{ MJ/m}^2$
- « III Administration » : $Q_{ww} = 25 \text{ MJ/m}^2$
- « V Commerce » : $Q_{ww} = 25 \text{ MJ/m}^2$
- « VI Restauration » : $Q_{ww} = 200 \text{ MJ/m}^2$
- « VII Lieux de rassemblement » : $Q_{ww} = 50 \text{ MJ/m}^2$

Logements		
Chauffage MWh	ECS MWh	Chaleur (Chauffage + ECS) MWh
4'718	5'119	9'837

Bureaux		
Chauffage MWh	ECS MWh	Chaleur (Chauffage + ECS) MWh
4'799	1'682	6'481

Equipements		
Chauffage MWh	ECS MWh	Chaleur (Chauffage + ECS) MWh
587	300	887

Commerces		
Chauffage MWh	ECS MWh	Chaleur (Chauffage + ECS) MWh
709	268	977

Tableaux 2 Consommations par surfaces

Besoins annuels	Logements	Bureaux	Equipements	Commerces	Total
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
HPE	10'510	7'139	970	1'078	19'697
THPE	9'837	6'481	887	977	18'182

Tableau 3 Récapitulatif des consommations

La puissance des installations thermiques chauffage estimées par une consommation à pleine charge de 1'200 heures par année est située entre 8.6 MW (THPE) et 11.5 MW (HPE).

Pour la partie sanitaire, la puissance nécessaire s'élève à 6.9 MW, elle peut se fondre partiellement dans celle du chauffage, ce qui n'augmente pas la puissance nécessaire.

Les besoins annuels en chaleur et en énergie concernant l'ECS sont évidemment les plus élevés pour les logements. Il est important de noter que **la consommation d'ECS ne changent pas en fonction du standard HPE ou THPE, comme cette dernière dépend des habitudes des utilisateurs et non de la qualité de l'enveloppe des bâtiments.**

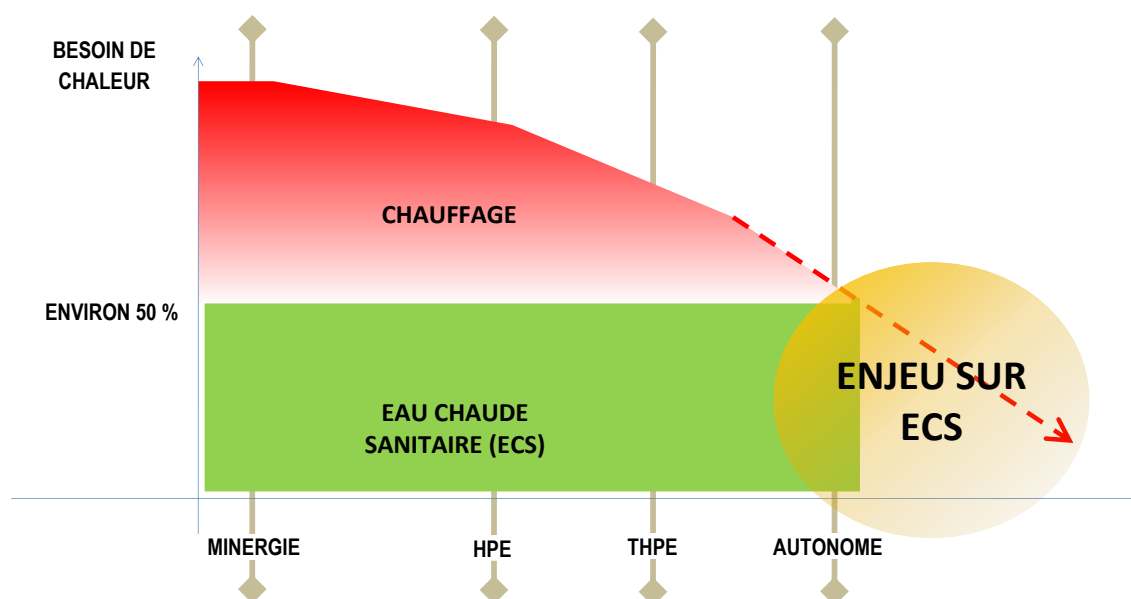


Figure 4 Chauffage et ECS, source: Riedweg et Gendre SA

Le rapport de consommation entre l'eau chaude sanitaire et le chauffage est environ de moitié/moitié pour des bâtiments type HPE ou Minergie. Cependant avec les nouvelles constructions de type THPE et l'évolution de certaines des enveloppes thermiques, ce rapport augmente en faveur de l'ECS. **L'eau chaude sanitaire devient donc un enjeu primordial des consommations de chaleur puisque cette dernière prend la main sur le chauffage.** Dans les phases d'élaboration de projets de construction (concours et DD), l'enjeu de la consommation d'ECS demandera une attention particulière avec des propositions innovatrices.

3.1.2 Besoins de froid

Les besoins de froid ont été évalués grâce au cahier technique *SIA 2024* selon les affectations des bâtiments concernés :

- « III Administration » : Puissance = 25.7 W/m²
Demande = 5 kWh/m² an
- « V Commerce » : Puissance = 48.5 W/m²

A noter que les logements du bâtiment de type tour sont impactés fortement par les chaleurs estivales et demanderont un rafraîchissement en énergie renouvelable sur Genilac.

- « Logements » : Puissance = 12 W/m²
Demande = 2.5 kWh/m² an
Demande = 54 kWh/m² an

Puissance	Bureaux	Commerces	Equipements	Logements	Total
	kW	kW	kW	kW	kW
Froid	4'750	1'870	580	2'400	9'600

Tableau 4 Puissances de froid

Besoins annuels	Bureaux	Commerces	Equipements	Logements	Total
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Froid	922	2'000	103	495	3'520

Tableau 5 Besoins annuels de froid

Ces évaluations sont des hypothèses hautes, c'est-à-dire que 80 % des surfaces administratives et de commerces sont considérées climatisées. En considérant un facteur de simultanéité, les valeurs peuvent être raisonnablement arrondies :

- Puissance de froid : entre 6 et 9 MW
- Consommation de froid : entre 2 et 3 GWh

Toutefois, les phases de projet (concours et DD) devront démontrer une démarche ambitieuse et innovatrice afin de limiter la climatisation par des mesures architecturales et techniques.

3.1.3 Besoins électriques

Les besoins électriques ont été évalués grâce au cahier technique *SIA 2024* selon les affectations des bâtiments concernés :

- « I Habitat collectif » :	E = 80 MJ/m ²
- « III Administration » :	E = 150 MJ/m ²
- « V Commerce » :	E = 300 MJ/m ²
- « VI Restauration » :	E = 700 MJ/m ²
- « VII Lieux de rassemblement » :	E = 150 MJ/m ²

Besoins annuels	Logements	Bureaux	Equipements	Commerces	Total
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Electricité	5'493	10'384	897	3'234	20'000

Tableau 6 Besoins électriques annuels

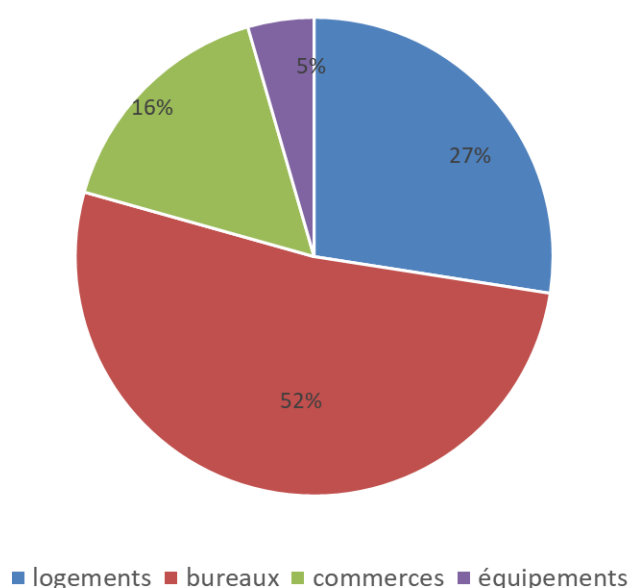


Figure 5 Répartition des besoins électriques

Les surfaces administratives sont évidemment celle qui requièrent le plus de consommation électrique. Toutefois, un déphasage apparaît entre ces pics de consommations :

Logements :	7h-9h, 12h-13h et 17h-21h
Bureaux :	8h-12h et 13h-18h

3.1.4 Estimation des émissions de CO2

Les émissions de CO2 ont été estimées selon les valeurs KBOB de novembre 2023 :

- Facteur émission électricité suisse 125 g/kWh

Besoins annuels	Logements	Bureaux	Equipements	Commerces	Total
	MWh	MWh	MWh	MWh	MWh
Electricité	5'493	10'384	897	3'234	20'000
Emissions	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
CO2	686	1'298	112	404	2'500

3.2 Potentiel des différentes ressources énergétiques disponibles

3.2.1 Solaire

Les toitures des bâtiments projetés bénéficient globalement d'une irradiation solaire favorable, orientées entre Sud-Est et Sud-Ouest. L'ombre projetée de la tour de grande hauteur devra toutefois être prise en considération.

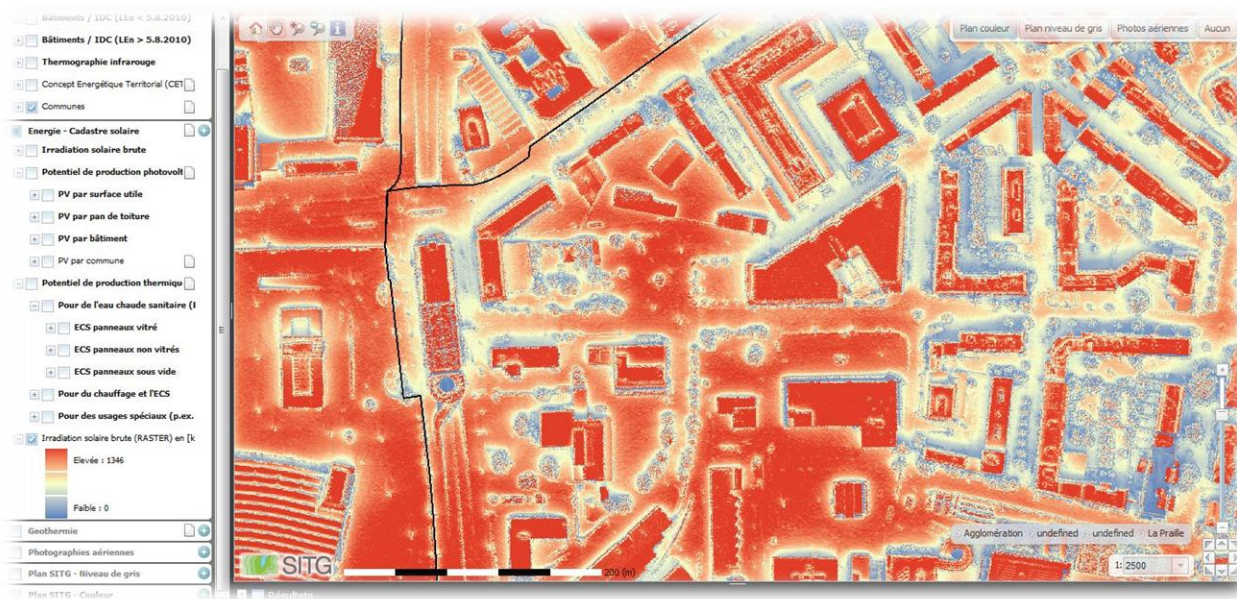


Figure 6 Irradiation solaire, source: SITG

Le potentiel de production d'énergie solaire est estimé selon les hypothèses suivantes :

- ❖ 30% des surfaces de toiture disponibles sont dédiés au solaire (par souci d'esthétisme dû à la visibilité des toitures)
- ❖ Production énergétique des capteurs photovoltaïques de 150 kWh/m²/an
- ❖ Production énergétique des capteurs thermiques de 550 kWh/m²/an

Avec une surface à disposition d'environ 12'800 m² (30% de 42'700 m²), les productions solaires possibles sont les suivantes :

- ❖ 100% Photovoltaïque : env. 1.9 GWh électrique
- ❖ 100% Thermique : env. 7.0 GWh thermique

Selon la loi sur l'énergie de 2019, nous avons pour l'HPE une couverture qui change les considérations du rapport initial. Nous avons maintenant pour l'HPE une couverture de 30% des besoins en ECS par du solaire thermique et du photovoltaïque à hauteur de 10 Wc par m² de SRE et pour le THPE 50 % de couverture solaire thermique et 30 Wc par m² SRE.

L'obligation d'installer du solaire thermique et du photovoltaïque est une contrainte sur les bâtiments hauts de type tour avec de faibles surfaces en toiture.

Le type et la surface de panneaux solaires seront à préciser ultérieurement, dans une optique de maximisation de la valorisation de l'énergie solaire. Il sera potentiellement nécessaire d'équiper les façades de la tour en photovoltaïque. Le potentiel éolien en toiture sera également à évaluer afin de pouvoir assurer une production électrique indépendante de l'ensoleillement.

Le type de panneaux sera défini principalement selon l'affectation des bâtiments et les standards THPE/HPE. **Ainsi le solaire thermique hybride sera développé sur les HPE pour les logements alors que le photovoltaïque de façades le sera pour les surfaces administratives.**

3.2.2 Géothermie

A l'heure actuelle, la géothermie basse profondeur (jusqu'à 300 m de profondeur) est une technologie fiable et éprouvée depuis les années 1980. La géothermie moyenne profondeur permettrait de récupérer plus d'énergie du sous-sol, notamment grâce à la température plus élevée. Le canton de Genève, en partenariat avec les SIG, a mis en place le programme GEothermies.

Le potentiel de production d'énergie lié à la géothermie a été défini selon les hypothèses suivantes :

❖ Longueur par sonde :	300 m
❖ Espacement entre les sondes :	8 m
❖ Puissance extractible (chauffage) :	40 W/m
❖ Surface du champ de sondes :	40'000 m ²

Selon ces hypothèses, la puissance extraite du terrain correspond à env. 2.5 MW. **Cette puissance ne suffit donc pas à couvrir l'entièreté de la puissance de chaud nécessaire** (estimée entre 8 et 10.8 MW). La principale raison de ce résultat est le rapport entre l'emprise au sol et la surface de référence énergétique. Effectivement, la surface de référence énergétique est importante due à la hauteur des bâtiments, alors que l'emprise au sol est relativement faible.

Il est important de mentionner que les forages géothermiques sont évidemment soumis à autorisation et que le GESDEC (Service de géologie, sols et déchets) doit être consulté afin de s'assurer que les forages sont réalisés dans le respect de la réglementation et de l'environnement.

De plus, les forages géothermiques ne sont pas l'option à privilégier dans le secteur de l'Etoile en raison de l'obligation de raccordement à Génilac.

3.2.3 Eaux usées

La température des eaux usées présente un régime de température intéressant toute l'année, de l'ordre de 10-20°C. La récupération de chaleur sur les eaux usées peut être envisagée de plusieurs manières. D'une manière centralisée avec la mise en place d'un échangeur de chaleur directement dans le collecteur, qui alimente l'évaporateur de pompes à chaleur. Cette option nécessite un collecteur suffisamment grand pour pouvoir accueillir l'échangeur (> 800 mm), ainsi qu'un débit journalier suffisant pour pouvoir atteindre une puissance intéressante. Voici un extrait du cadastre du sous-sol du quartier de *L'Etoile* :

Il est également à noter que le projet Pont-Rouge (situé de l'autre côté de la route des Jeunes) utilisera partiellement le potentiel des eaux usées. Le concept prévoit des sondes géothermiques avec l'utilisation des eaux usées en complément.

Un collecteur intéressant pourrait être celui le long de l'*avenue de La Praille*. Toutefois, la mise en place d'un échangeur de chaleur dans ce collecteur pose plusieurs problèmes :

- ❖ La température ne doit pas descendre trop bas afin de respecter une température d'arrivée suffisante à la STEP (env. 15°C).
- ❖ Les jours de pluie font descendre la température relativement basse, cela peut provoquer des pertes de puissance conséquentes au niveau de l'évaporateur des pompes à chaleur.
- ❖ D'un point de vue administratif, une coordination avec l'office cantonal de l'eau (OCEau) notamment, qui est l'instance qui délivre les décisions sur l'utilisation des eaux usées à des fins de production thermique, est à prévoir.

Une autre solution pour récupérer la chaleur des eaux usées est de le faire de manière décentralisée. Des systèmes avec accumulation (de type *FEKA*) existent. Toutefois, ces systèmes présentent l'inconvénient d'un entretien très rigoureux (encrassement de l'échangeur par les matières fécales et déchets solides présents dans les eaux usées).

De nouvelles solutions plus efficace voient le jour afin de récupérer les eaux usées de manière décentralisée directement à la source. Des échangeurs de chaleur existent pour être implémentés dans les bacs de douche, de baignoire de manière horizontale ou alors sur les colonnes de chute de manière verticale. Ces systèmes présentent l'avantage de pouvoir récupérer la chaleur en instantané et de préchauffer l'eau arrivant au robinet :

Vue en coupe

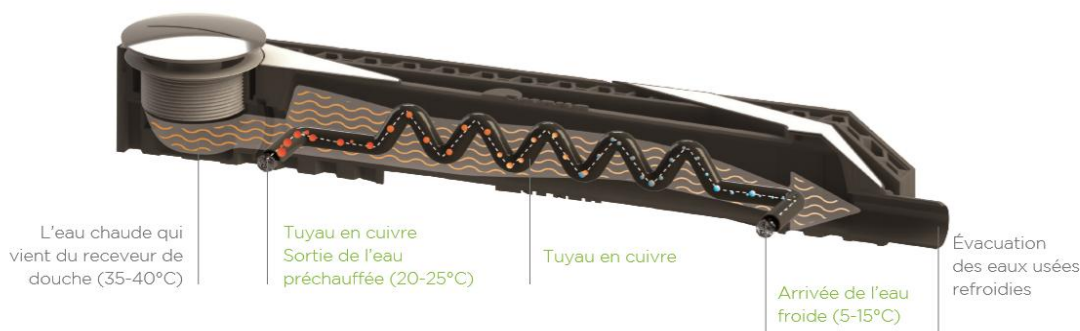


Figure 8 Récupération de chaleur bac de douche

Avec une température de douche de l'ordre de 35-40°C, l'eau froide se voit ainsi réchauffée d'env. 10°C à 20°C. Cela permet donc de diminuer la consommation d'eau chaude sanitaire en conséquence. La récupération de chaleur peut également être reliée au stockage d'ECS du bâtiment. Globalement, une installation de ce type permettrait une économie d'énergie d'env. 30% sur la consommation d'ECS. Le potentiel pour des logements est donc très intéressant.

Comme il a été démontré dans le chapitre *d'évaluation des besoins énergétiques du projet*, la consommation d'eau chaude sanitaire pour des logements de type THPE est supérieure à la consommation de chauffage. **L'enjeu sur la consommation d'eau chaude sanitaire est donc primordial.** Ce système décentralisé de récupération de chaleur est une solution simple d'un point de vue technique, fiable et peu coûteuse. Elle est donc extrêmement intéressante pour des affectations de logements et peut également être combinée avec d'autres solutions de production renouvelables d'ECS (panneaux solaires thermiques par exemple).

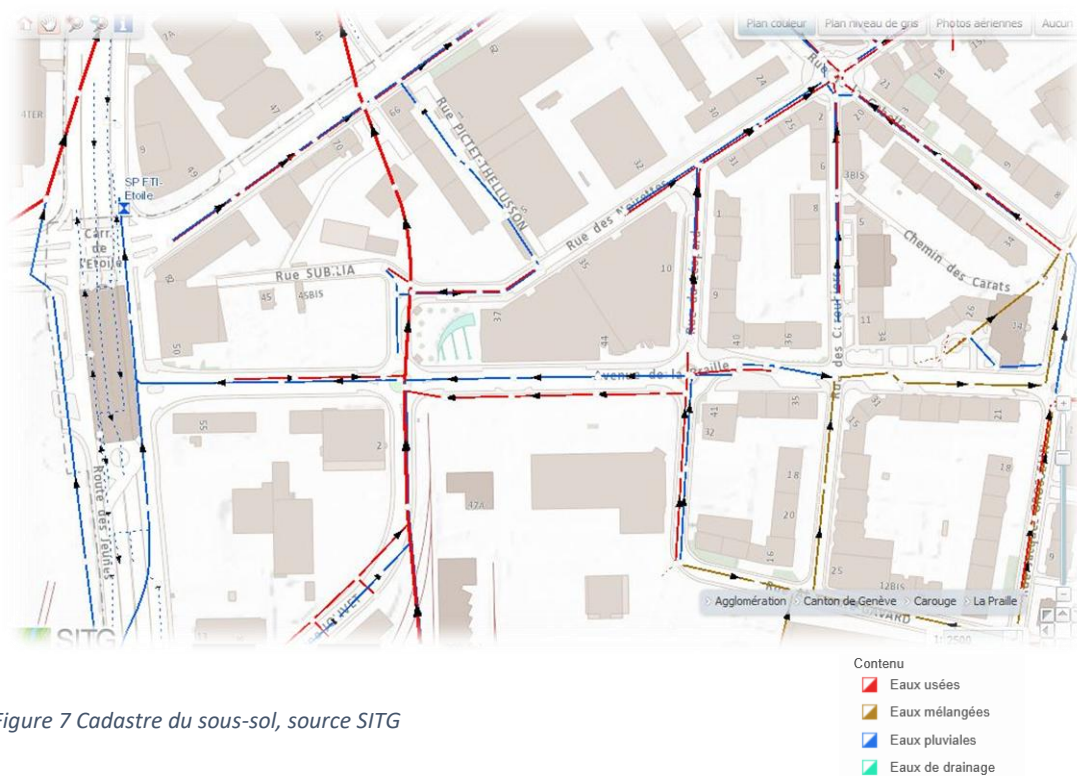
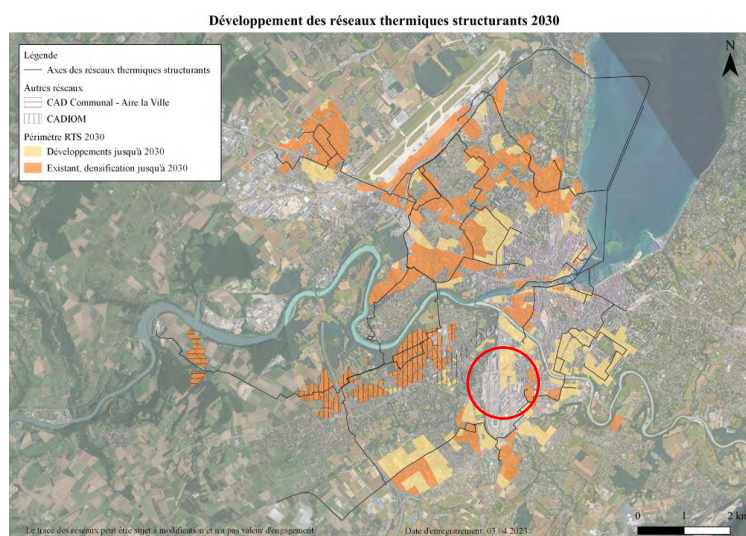


Figure 7 Cadastre du sous-sol, source SITG

3.2.4 GeniLac

GeniLac est un réseau thermique structurant du canton de Genève. Il utilise l'eau du lac Léman pour chauffer et rafraîchir les bâtiments qu'il dessert. Le déploiement et l'exploitation des RTS ont été confiés aux services industriels de Genève (SIG) par délégation de monopole. Les bâtiments situés dans les zones de déploiement des RTS, validées par le Conseil d'Etat en 2023, sont concernés par l'obligation de raccordement au sens de l'article 22 de la loi sur l'énergie (LEn). Le quartier de l'Etoile se trouve à l'intérieur de la zone de déploiement à l'horizon 2030 de GeniLac. Les besoins en chaud et froid du futur quartier de l'Etoile pourront donc être assurés par GeniLac.

Une alimentation est prévue depuis la route des Jeunes. Ce tracé permettrait d'alimenter le secteur de *L'Etoile* en traversant la route des Acacias.



3.2.5 Rejets thermiques

Le périmètre du PLQ « Etoile 2 » étant une zone dédiée principalement à des surfaces administratives et de logements, les seuls rejets de chaleur disponibles seront ceux de toutes les applications type « process » qui nécessiteront du froid toute l'année. Ces rejets de chaleur seront principalement à basse température (inférieurs à 25-30°C), la valorisation de ces rejets thermiques pourra donc être utilisée en été pour le préchauffage de l'ECS. En fonction des régimes de température, ces rejets de chaleur pourront également en hiver être valorisés par des pompes à chaleur pour la production de chaud.

3.3 Les acteurs concernés et leur rôle

3.3.1 Maître de l’Ouvrage

Le rôle du Maître de l’ouvrage (MO) est primordial, il finance le projet et décide des choix énergétiques en accord avec la politique cantonale de l’énergie. Les différents MO du périmètre de *L’Etoile* ne sont pas encore connus.

3.3.2 Fondation Praille-Acacias-Vernets

La Fondation est un acteur majeur qui gère les droits de superficie des terrains qui lui appartiennent dans le PAV et qui joue l’interface entre les propriétaires actuels, les industriels, les urbanistes et les développeurs des différents projets. De plus, la Fondation pour les Terrains Industriels (FTI) joue également ce rôle pour les terrains qui lui appartiennent.

3.3.3 Services Industriels de Genève

En tant que fournisseur d’énergie du canton, les SIG sont un acteur important. Ils assurent le raccordement électrique, le raccordement en eau, le raccordement en gaz ainsi que le déploiement et l’exploitation des réseaux thermiques structurants du canton par délégation de monopole.

3.3.4 Contracteurs énergétiques

Du fait du monopole RTS (Réseaux thermiques structurants), SIG sera le seul contracteur thermique possible pour la production de chaleur et de froid.

3.3.5 Office Cantonal de l’Energie

En validant le présent CET, ainsi que les futurs dossiers de demande d’autorisation de construire, l’OCEN veille à l’application de la loi sur l’énergie et incite à la mise en œuvre de stratégies énergétiques locales et renouvelables.

3.3.6 Commune

La commune de Carouge veille à ce que la stratégie énergétique choisie réponde aux objectifs qu’elle s’est fixés ainsi qu’aux orientations de son PDCom – Plan climat révisé « Carouge horizon 2040 » (adopté en janvier 2025).

3.3.7 Coordination entre les différents acteurs

La coordination entre les différents acteurs reste primordiale afin d'arriver à développer des projets les plus sobres et performants possibles et d'aboutir à une mise en cohérence de la performance énergétique avec l'ensemble des aspects du projet.

4 Proposition et analyse de stratégies énergétiques

4.1 Analyse des productions possibles de chaleur et de froid

4.1.1 Pompe à chaleur géothermie / eaux usées / Genilac

L'utilisation de pompes à chaleur peut se faire de différentes manières : d'une manière centralisée ou alors décentralisée, dans ce cas chaque bâtiment dispose de sa PAC. Les pompes à chaleur peuvent également utiliser plusieurs ressources comme source froide : la géothermie, les eaux usées ou alors l'eau du lac Léman via le réseau Genilac si disponible.

D'une manière générale, afin de présenter le meilleur rendement possible et éviter une montée en température de tout le réseau, l'utilisation d'une PAC basse température dédiée au chauffage statique et d'une PAC haute température dédiée à l'ECS est intéressante. Une production de chaleur centralisée permettrait à une PAC d'alimenter un réseau de chauffage à distance basse température (env. 35°C) et l'îlot disposerait de sa PAC haute température afin de faire le complément pour l'ECS en fonction de ses besoins.

Dans le secteur de l'Etoile, ce raisonnement est remplacé par GeniLac selon le concept des SIG pour les différentes sous-station GeniLac. Le déploiement du réseau GeniLac prépondérant dans le secteur devrait s'intégrer aux développements successifs des PLQ de ce secteur (voir chapitre 3.2.4). L'obligation de raccordement devra également être considérée.

4.1.2 Couplage chaleur-force

Un couplage chaleur-force (CCF) permet la production de chaleur et d'électricité simultanément. Un moteur alimenté au gaz permet d'entraîner un générateur qui produit de l'électricité. La chaleur du moteur et de l'échappement est récupérée afin d'alimenter le réseau de chauffage des bâtiments. Cette technologie est intéressante mais présente plusieurs contraintes de dimensionnement. En effet, il faut que l'électricité produite soit autoconsommée et que le CCF fonctionne un minimum d'env. 3'000 heures par année afin que le projet soit rentable économiquement. Il faut donc généralement sous-dimensionner un CCF en termes de puissance thermique afin qu'il tourne à un régime constant la majeure partie de l'année. Ce qui implique le recours à d'autres sources de chaleur afin de couvrir les pics de chaleur. Un CCF produit également des gaz à effet de serre.

Avec l'arrivée de GeniLac dans le secteur de l'Etoile, cette solution n'est pas pertinente.

4.1.3 Conversion électricité en gaz

Une technologie innovante commence à voir le jour sur de plus en plus de projets. Il s'agit de la solution *power to gas*. Cette technologie permet la convergence de 3 agents énergétiques qui sont : l'eau, le gaz et l'électricité. L'énergie excédentaire produite par des panneaux solaires photovoltaïques est valorisée par un électrolyseur qui transforme l'eau et l'électricité en hydrogène.

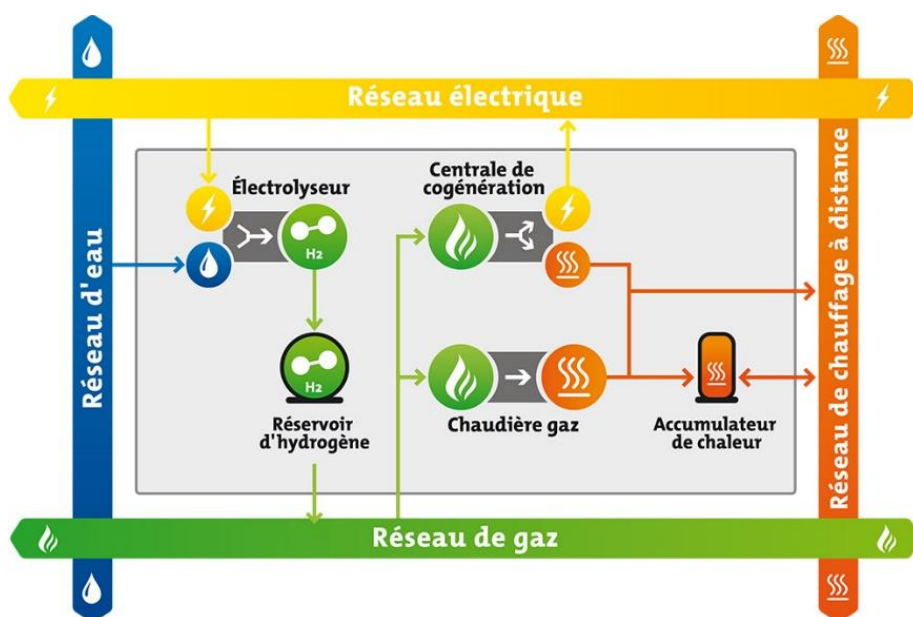


Figure 9 Schéma power to gas, source: Hybridwerk

Cet hydrogène ainsi produit peut être enrichi avec du CO₂ pour être converti en méthane puis être injecté dans le réseau gazier existant. L'important potentiel de transport et de stockage du réseau gazier permet d'être valorisé par ce processus. En effet, le réseau électrique ne dispose pas de cette capacité de stockage.

Des CCF peuvent être ajoutés par la suite afin de consommer ce gaz produit. Cette solution permet de répondre à un enjeu crucial qui est le stockage de l'électricité. Ce système permet également une vraie autonomie avec l'électricité photovoltaïque en été et une utilisation possible de cette énergie en hiver grâce au stockage du gaz.

Cette solution est comparable à un label Minergie-A, présentant une réelle autonomie, sans recours à une consommation électrique en hiver supplémentaire.

4.1.4 Production de froid

Dans le cadre de la production de froid, SIG est l'interlocuteur principal. Dans ce cas, chaque bâtiment devra être étudié précisément en fonction de son affectation (logements et/ou administratifs) afin de valoriser au maximum les rejets thermiques ainsi produits. Ces rejets thermiques seront valorisés par SIG pour le chauffage en hiver ou alors pour préchauffer l'ECS en été.

Avec le déploiement de GeniLac jusqu'au quartier de *L'Etoile*, SIG avec son monopole RTS doit être privilégié par l'obligation de raccordement. Des attentes seront prévues pour chaque projet afin de permettre le raccordement ultérieur à ce réseau. GeniLac permettrait l'utilisation de froid en direct sans recours à une compression mécanique pour les réseaux à une température compatible (entre 12-15°C). Pour les applications de process particulières, le recours à du froid mécanique afin d'abaisser les régimes de températures serait nécessaire.

4.2 Stratégie de valorisation du potentiel énergétique local

La valorisation du potentiel énergétique local doit être maximale.

Le réseau thermique structurant GeniLac assurera les besoins de chaleur et de refroidissement des bâtiments.

Le potentiel solaire sera à affiner en fonction de l'affectation de chaque bâtiment. Le photovoltaïque est intéressant pour les bâtiments à forte consommation électrique. L'autoconsommation doit être favorisée.

Les panneaux solaires thermiques seront favorisés pour les bâtiments de logements qui présentent une consommation d'ECS plus élevée.

4.3 Stratégie d'approvisionnement

La stratégie d'approvisionnement pour le chauffage doit se faire de manière à privilégier le déploiement de réseaux de chauffage à distance basse température. Le recours à SIG qui a le monopole RTS permettrait de déployer une production de chaleur centralisée avec un CAD basse température. Concernant l'ECS, l'approche d'une production décentralisée et mutualisée îlot par îlot permettrait de coller au mieux à la demande en ECS pour chaque affectation. Le raccordement au réseau électrique et gazier est évidemment nécessaire.

Le déploiement de ces réseaux devra suivre les étapes de chaque projet afin de permettre une évolution entre production centralisée/décentralisée optimale.

4.4 Stratégie liée au phasage

Le déploiement de GeniLac suivant un axe central permettrait à chaque bâtiment de pouvoir s'y raccorder par étapes successives.

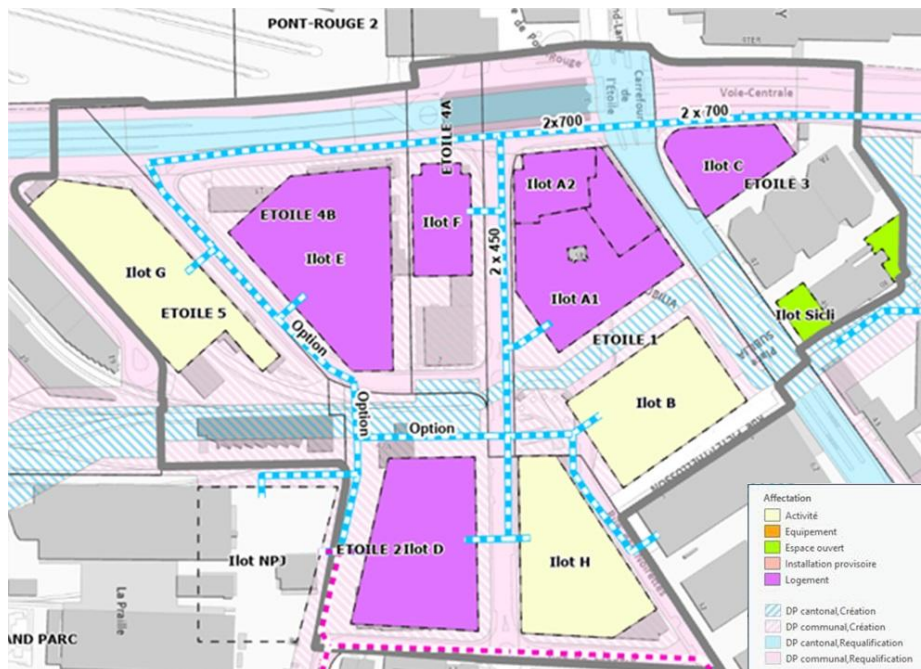


Figure 10 Structure des réseaux thermiques SIG GényLac (bleu) et Géniterre (rose), diamètres indicatifs.
Source: rapport tracés intentionnels des réseaux SIG, mai 2024

Le développement du tracé GeniLac devrait suivre les étapes suivantes avec une évaluation des puissances et consommations des différents bâtiments selon le tableau ci-après.

Les bases d'estimations pour les puissances et les consommations sont les suivantes :

❖ Pour le chaud

Les énergies de chauffage sont basées sur le standard THPE avec 0.7 de la valeur limite, l'eau chaude sanitaire est basée sur les standards (75, 25, 25, 50 MJ/m²) et ont été ajoutées dans le total énergie de chauffage.

Les puissances de chauffage sont évaluées sur 1'200h de DUP pour la partie chauffage, la puissance sanitaire y est intégrée et n'a pas été ajoutée, car on déleste le chauffage donc il n'y a pas de puissance supplémentaire pour l'ECS.

❖ Pour le froid

Les énergies de froid ont été estimées sur la base des valeurs de la SIA2024 avec les surfaces nettes de plancher qui sont estimées à 80 % de la SRE.

Administration = 5 kWh/m²

Commerces = 54 kWh/m²

Lieux de rassemblement = 6 kWh/m²

Il a été tenu compte du rafraîchissement pour les logements à la suite du constat de présence probable d'une surchauffe estivale ces prochaines années due à l'effet d'îlot avec des bâtiments de grande hauteur.

Habitat Collectif = 2.5 kWh/m², rafraîchissement estimé pour les logements

De même pour les puissances de froid

Les puissances de froid ont été estimées sur la base des valeurs de la SIA2024 avec les surfaces nettes de plancher qui sont estimées à 80 % de la SRE.

Administration = 25.7 W/m²

Commerces = 48.5 W/m²

Lieux de rassemblement = 33.5 W/m²

Habitat Collectif = 12 W/m² estimation

Îlots avec puissances de chaud et de froid et date de construction													
Projet	Situation	Identifiant	SRE Logements m2	Standard visé	SRE Bureaux m2	Standard visé	SRE Commerces m2	Standard visé	SRE Equipements m2	Standard visé	Puissance Chauffage kW	Puissance Froid kW	Périodes Construction
PLQ1		Îlot B - Pictet	9'785	THPE	50'255	THPE	3'135	THPE	-	-	600	600	2022-2025
		Îlot A1	35'963	THPE	4'088	THPE	1'714	THPE	1'483	THPE	1'408	368	2025-2027
		Îlot A2	3'367	THPE	7'692	HPE Reno	3'226	THPE	2'792	THPE	581	480	2026-2028
PLQ2		Îlot D	54'067	THPE	-		1'975	THPE	910	THPE	824	101	2028-2030
		Îlot H - UBS	21'968	THPE	38'239	THPE	1'602	THPE	-		919	1'020	20235-2037
PLQ4		Îlot F - Gd Tour	33'782	THPE	15'211	THPE	757	THPE	5'362	THPE	854	821	2029-2032
		Îlot E	45'982	THPE	12'652	THPE	1'857	THPE	6'610	THPE	1'000	951	2029-2032
PLQ3		Îlot C	33'782	THPE	14'965	THPE	976	THPE	4'416	THPE	834	798	2029-2032
PLQ5		Îlot G	6'995	THPE	41'297	THPE	23'311	THPE	-		1'110	1'821	2031-2033
NPJ		NPJ (phases 1,2 et 3)	-		65'550	THPE	-		-		1'124	1'337	2033-2035
Total		555'766	245'691		249'950		38'553		21'573		9'255	8'297	3'274
Il est à noter que les valeurs apparaissant en bleu dans le tableau correspondent aux informations données par les mandataires et maître d'ouvrage et non de valeurs de planification selon SIA.													
Pour l'îlot D, la valeur de puissance est plus faible que celle de dimensionnement en raison de la faible proportion de surfaces d'activités sur lesquelles sont basées les calculs.													

Il est également à noter que SIG a entamé l'estimation des surfaces et volumes nécessaires aux différentes centrales thermiques GeniLac de l'îlot du PLQ « Etoile 2 », selon les besoins identifiés et partagés avec l'OCEN :

ILOT	Puissance chaud	Puissance froid	Surface	Hauteur libre
	kW	kW	m2	m
A1	1 408	368	220	4
A2	581	480	110	4
B	600	600	122	4
C	834	798	140	4
D	824	101	130	4
E	1 000	951	150	4
F	854	821	140	4
G	1 110	1 821	340	4
H	919	1 020	150	4
NPJ	1 124	1 337	300	4

- C'est une première approche, qui ne vaut pas une étude d'implantation à réaliser en EP et en ED pour chaque centrale, en coordination avec les DT respectives, lors des sollicitations officielles que nous aurons dans le cadre des projets de ces bâtiments.
- Ces surfaces valent pour les prestations standards GeniLac, à savoir la production de chaleur et la production de froid, sans distribution secondaire et sans stockage d'ECS (les 2 étant à la charge des clients).
- Les centrales doivent être positionnées en périphérie de bâtiment, à proximité des futurs réseaux, pour limiter les longueurs de réseaux en sous-sol des bâtiments.
- Si plusieurs bâtiments/preneurs par îlot, il sera privilégié 1 seule centrale par îlot dans la mesure du possible, avec liaisons CAD/FAD en sous-sol vers des SST par preneurs. Il faut compter env. 20 m2 sur 2.5m par SST.
- A cela s'ajouteront toutes les contraintes AEAI, de livraison d'équipement, d'accès pour maintenance, etc... qui seront traitées en EP et en ED
- A ces locaux doivent être associées des verticalités débouchant en toiture pour la ventilation de sécurité liée au fluide des pompes à chaleur, à dimensionner en EP et en ED. Et d'éventuels extracteurs en toiture.
- A ces locaux doivent être associées indépendamment les installations d'alimentation électriques de nos équipements (cellule de comptage en TGBT, éventuel transfo MT-BT en fonction des besoins). Nos besoins électriques seront déterminés en EP et en ED.

5 Synthèse des orientations et recommandations

5.1 Synthèse des stratégies énergétiques et recommandations

Les enjeux principaux du quartier de l'Etoile sont de promouvoir la sobriété dans la consommation en énergie et eau des bâtiments de leur conception à leur fin de vie et de favoriser au maximum l'utilisation des ressources locales renouvelables. Pour ce faire, l'hypothèse à moyen terme que le standard de très haute performance énergétique (70% de la *SIA 380/1*) devienne la norme est forte probable. De plus, ce standard est déjà applicable aux bâtiments situés sur des terrains appartenant à l'Etat ou à des entités publiques. Cela permettrait de réduire la demande en puissance des énergies renouvelables. Ce qui se traduit par le principe d'une distribution de chaleur basse température pour le chauffage et d'une haute température décentralisée (solaire thermique et production ECS locale) pour les besoins d'eau chaude sanitaire (ECS).

Les circuits basse température impliqueraient également une production décentralisée d'ECS pour chaque bâtiment, par exemple une PAC haute température qui aurait comme régime d'évaporation le régime 35/30°C. Ceci si possible avec une récupération de chaleur sur les eaux usées en amont. Cette stratégie est à étudier en lien avec les possibilités qu'offre le déploiement de GeniLac qui permettrait d'avoir une sous-station pour l'îlot du PLQ « Etoile 2 » avec une production basse température pour le chauffage et une production haute température pour l'ECS.

Concernant le jeu d'acteurs, **il est nécessaire qu'une fois tous les Maîtres d'ouvrage connus au sein du présent PLQ PAB, une concertation ait lieu entre eux afin d'impliquer les SIG et la commune de Carouge dans le développement des tracés du réseau GeniLac.**

Il est aussi nécessaire de réfléchir à la stratégie énergétique des bâtiments dans les phases précoces de planification.

Pour conclure, la valorisation des ressources renouvelables locales doit être maximale. Une forte synergie entre consommateurs doit être intégrée notamment sur les éventuelles productions de froid et récupération de chaleur en fonction des affections des bâtiments (logements vs administratifs).