



AMSTEIN+WALTHERT

CET 2017-12_v3

Office cantonal de l'énergie

Rue du Puits-Saint-Pierre 4

Case postale 3920

1211 Genève 3

13.03.2026

Mauty

Office de l'Urbanisme / DT
Communaux d'Ambilly –
Quartier Belle-Terre : A1

Mise à jour 2026 du CET n°2017-12

Version 2026.05 / 05.03.2026



REPUBLIQUE
ET CANTON
DE GENEVE

POST TENEBRAS LUX

Sommaire

1. Objectifs et positionnement de l'étude
2. Situation générale
3. Cadre législatif et objectifs énergétiques du PLQ
4. Périmètres de l'étude
5. État des lieux
6. Évaluation des besoins énergétiques
7. Évaluation des ressources énergétiques locales disponibles et synthèse
8. Concept d'approvisionnement
9. Bilan énergétique et CO₂ du concept
10. Conclusions et recommandations

Suivi des modifications

Version 2020.01

Date: 19.05.2020
Auteur: LEGA, DEST
Relecteur: GROK
Direction: GROK

Versions intermédiaires...

Version 2023.03

Date: 12.05.2023
Auteur: LEGA
Relecteur: DEST
Adaptations suite modification des droits à bâtir PLQ et formes urbaines
Adaptations mineures

Version 2023.04

Date: 10.10.2023
Auteur: LEGA
Relecteur: DEST
Adaptations suite préavis SERMA / OCEN

Version 2026.05

Date: 05.03.2026
Auteur: LEGA
Relecteur: DEST
Adaptations suite enquête publique et cadre légal (solaire)

Impressum

Rédaction : Pierre-Antoine Legrand
Gilles Desthieux

Distribution: Céline Bourgeois (OU)

Amstein + Walthert Genève S.A.
Avenue Edmond-Vaucher 18
1203 Genève
pierre-antoine.legrand@amstein-walthert.ch
www.amstein-walthert.ch

Glossaire des abréviations

BT	Réseau Basse Température
CAD	Réseau de Chaleur à Distance
COP	Coefficient de Performance (mesure d'efficacité d'une PAC)
ECS	Eau Chaude Sanitaire
EER	Energy Efficiency Ratio (mesure de l'efficacité d'un groupe froid)
FAD	Réseau de Froid à Distance
HPE	Standard genevois (minimum légal) Haute Performance Energétique
HT	Réseau Haute Température
LEn	Loi sur l'Energie
NO₂	Dioxyde d'azote (gaz issu de la combustion)
PAC	Pompe à Chaleur
PM10	Particules fines (issues de la combustion)
PV	Solaire Photovoltaïque (production d'électricité solaire)
PV-T	Solaire hybride (production couplée de chaleur et d'électricité à partir du soleil)
RAD	Réseau de Recharge à Distance
REn	Règlement d'application de la loi sur l'énergie (en vigueur depuis le 1 janvier 2020)
SIA	Société Suisse des Ingénieurs et Architectes
SIG	Services Industriels de Genève
THPE-2000W	Standard genevois Très Haute Performance Energétique

Introduction à la mise à jour 2026.05

La présente mise à jour 05.2026 fait suite à des modifications mineures intervenues dans le cadre légal sur l'énergie, ainsi qu'à des adaptations du projet (PLQ Belle-Terre étape 2) suite à l'enquête publique. Ces évolutions et les principales implications sur le concept énergétique territorial (CET) sont résumées ci-dessous:

- Modification de la Loi sur l'énergie L 2 30 (LEn) du 1^{er} septembre 2025 suite au vote (18 mai 2025) sur l'initiative «Pour une transition rapide vers le solaire à Genève» et son contreprojet, entraînant une modification du Règlement d'application de la loi sur l'énergie L 2 30.01 (REn): suppression du seuil de 10, respectivement 30 W/m² SRE pour l'atteinte des standards énergétiques HPE et THPE-2000W.
 - Adaptation des plans du PLQ et de la répartition des surfaces: dans l'ensemble, cette adaptation n'entraîne pas d'évolution des besoins du quartier et n'impacte pas le concept énergétique développé précédemment. Ainsi, uniquement les schémas de principes, les plans de disponibilité des sondes et de potentiel solaire sont adaptés sans incidence technique ou sur le bilan écologique au stade du CET.
 - La carte représentant l'extrait des CET en force à proximité du quartier a été adaptée, afin de refléter l'état actuel
- La stratégie d'alimentation énergétique du quartier demeure ainsi inchangée.

1. Objectifs et positionnement de l'étude

La présente étude porte sur la mise à jour du Concept Énergétique Territorial (CET) dans le cadre du Plan Localisé de Quartier (PLQ) n°30'102 Communaux d'Ambilly – Quartier Belle-Terre à Thônex. Ce CET est rédigé dans le respect de la directive relative au concept énergétique territorial de l'Office Cantonal de l'Énergie.

Un CET vise à identifier les stratégies d'approvisionnement énergétiques pertinentes et conformes aux objectifs de la politique cantonale pour les bâtiments appelés à être construits sur le périmètre.

Le système d'approvisionnement énergétique de la pièce A2-B, révisé en 2023, a nécessité une adaptation du CET des pièces voisines – pour lesquelles il était prévu d'appliquer un concept similaire. Le CET 2017-12 pour la pièce A1 fait l'objet de la présente étude. Elle explorera deux variantes d'approvisionnement – les deux pouvant être interconnectées avec la pièce A2-B et au-delà.

La présente mise à jour 05.2026 intervient suite aux modifications du règlement d'application de la loi sur l'énergie (L 2 30.01), intervenues entre septembre et novembre 2025 et à la procédure de consultation publique intervenue entre mars et avril 2025.

2. Situation générale

Le projet des Communaux d'Ambilly – Quartier Belle-Terre vise la construction d'un futur quartier entre ville et nature. Outre la création de logements, le quartier accueillera des équipements collectifs, des commerces et une variété d'activités: école, terrains de sports et services de proximité ainsi que des bureaux et des locaux d'activités contribuant à l'animation du quartier. Le tout s'intégrera dans le respect de l'environnement et de ses citoyens. Les projets des pièces urbaines A1-A3 sont les résultats des mandats d'études parallèles réalisés en 2014. Le périmètre de la pièce A1 représente un périmètre de 29'848 m² et les droits à bâtir y totalisent : 54'963 m² de SBP.



Périmètre A1. Image: projet du MEP. Source: État GE

3. Cadre légal

Le Canton et la Confédération se sont fixé comme objectif d'atteindre la Société à 2'000 Watts sans nucléaire. Les objectifs qui en découlent sont l'utilisation rationnelle de l'énergie et le développement des énergies renouvelables.

De plus, le nouveau quartier devra se conformer au Plan climat cantonal et à l'Urgence climatique décrétée par le Grand Conseil le 18 octobre 2019, visant à atteindre la neutralité carbone d'ici 2050.

Bases légales

- Loi sur l'énergie (LEn) L 2 30: Art. 11 al. 2, les PLQ doivent comporter un concept énergétique territorial (CET)
- Règlement d'application de la loi sur l'énergie (REn) L 2 30.01: Art. 12A définit les éléments dont se composent les CET
- Directive relative au concept énergétique territorial (2022)

HPE (REn Art. 12B, 12N)

ECS: Le solaire thermique n'est pas exigé, pour autant que les besoins centralisés d'ECS ne dépassent pas 21 kWh/m².an. Dans le cas contraire, le solaire thermique devra couvrir les besoins en ECS hors période de chauffe.

Production propre d'électricité PV: sur les surfaces appropriées des toitures.

Part non-fossile dans l'approvisionnement principal de chaleur: 100%, ou 50% dans le cas d'un réseau de chaleur à distance, ce qui est le cas dans le concept proposé ci-après.

Isolation/qualité de l'enveloppe

- Les besoins de chauffage ne dépassent pas le 80% des valeurs limites de la SIA 380/1: 2016 de l'affectation concernée

Éclairage: respect des valeurs cibles de la SIA 387/4: 2023.

THPE 2000W (REn Art. 12C, 12N)

ECS: idem HPE

PV: idem HPE

Part non-fossile dans l'approvisionnement principal de chaleur: 100%, ou 80% dans le cas d'un réseau de chaleur à distance.

Isolation/qualité de l'enveloppe:

- Les besoins de chauffage ne dépassent pas le 70% des valeurs limites de la SIA 380/1: 2016 de l'affectation concernée (soit l'équivalent de la valeur cible).

Éclairage: respect des valeurs cibles de la SIA 387/4: 2023.

4. Périmètres de l'étude

Selon l'article 12A du Règlement d'application de la loi sur l'énergie (REn), deux périmètres sont définis. Le périmètre élargi permet de tenir compte des interactions entre le périmètre d'entrée (ou restreint) et son voisinage.

Périmètre restreint

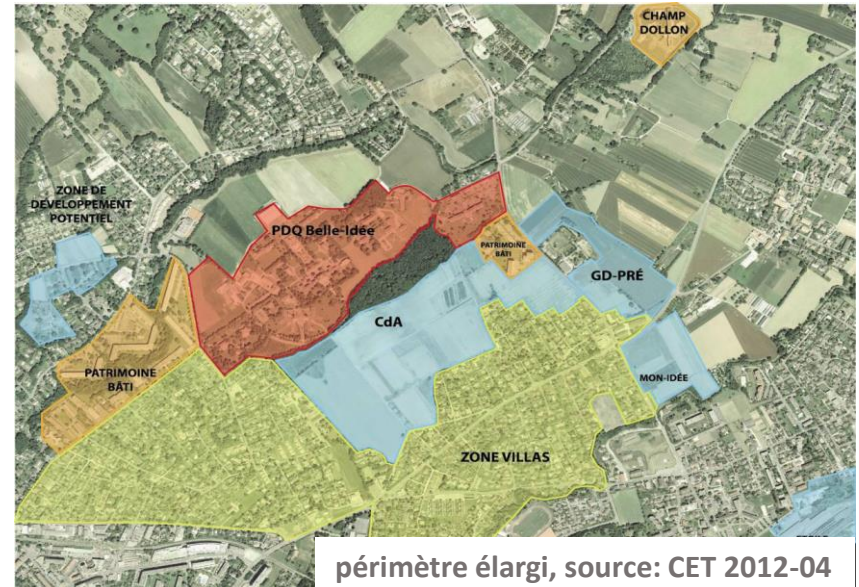
Le PLQ, pour lequel le concept énergétique territorial est établi, représente le périmètre restreint. Il s'agit **de la pièce urbaine A1** (en bleu foncé sur la carte ci-dessous) où sont menées les études en matière d'analyse des besoins, des ressources et des stratégies d'approvisionnement.

Les synergies possibles avec les pièces voisines seront considérées.



Périmètre élargi

Le projet s'intègre dans le Grand Projet des Communaux d'Ambilly – Quartier Belle-Terre, lui-même entouré d'autres secteurs stratégiques tels que décrits sur la carte ci-dessous. L'élargissement du périmètre vise à intégrer des réflexions sur des synergies éventuelles avec ces secteurs.



Lors de études préalables au CET sur la pièce A1, des réflexions avaient notamment été menées sur la possibilité de développer un CAD mutualisé avec le secteur de Belle-Idée, perspective abandonnée aujourd'hui.

5. État des lieux

Procédures d'aménagement en cours

Le Grand Projet Communaux d'Ambilly – Quartier Belle-Terre a fait l'objet d'un PLQ d'ensemble 29'743 adopté par le Conseil d'Etat en 2011 et les pièces A1-A3 ont fait l'objet de mandats d'études parallèles en 2014. Les pièces urbaines se situent à des stades de planification différents:

- A2-B et groupe scolaire: PLQ adopté en 2011, livré
- A1: PLQ en cours (objet du présent CET)
- A3: PLQ en cours
- A4 et A5: planification future

CET et études énergétiques dans le périmètre élargi

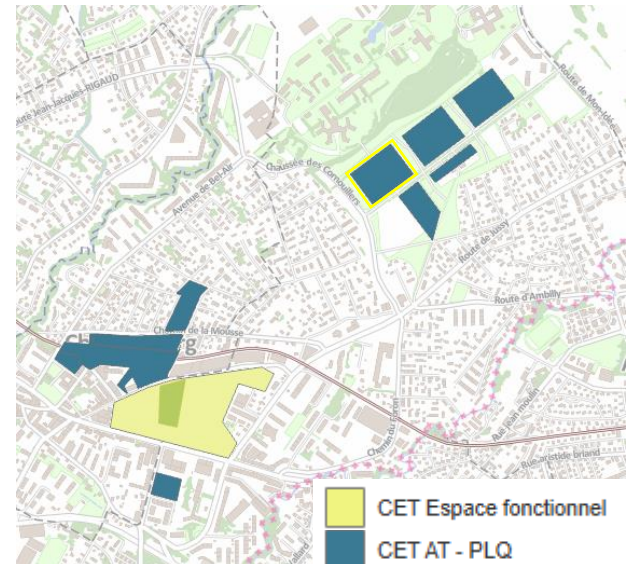
- CET 2020-03 concernant les pièces urbaines A2-B et incluant l'équipement public (pièce C2: groupe scolaire soit 16 classes), sur la base d'un concept technique d'approvisionnement d'Energgestion.
- CET 2012-04 « Étude stratégique MICA – Belle Idée - Etoile Annemasse ».
- Concept Énergétique (IceSol) réalisé par Effin'Art (2015)
- CET précédents réalisés par Amstein + Walthert en 2017, 2020 et 2023 sur les pièces A1 – dont ce document est la mise à jour – et A3.

Qualité de l'air

Les concentrations de NO₂ se situent en dessous des seuils légaux (30 µg/m³) fixés par l'OPair pour l'interdiction des chaudières à bois. Le niveau de PM10 est également correct, et les dépassements seulement ponctuels (selon la station de mesure ROPAG en milieu suburbain du Foron). Le recours à une chaudière bois devra se conformer aux normes en vigueur.



Projet de PLQ – pièce A1 (source: État GE)



CET à proximité du PLQ (source : SITG, 2026)

5. État des lieux

Infrastructures existantes : réseau de gaz, électricité, collecteurs d'eaux usées, eau potable et chauffage

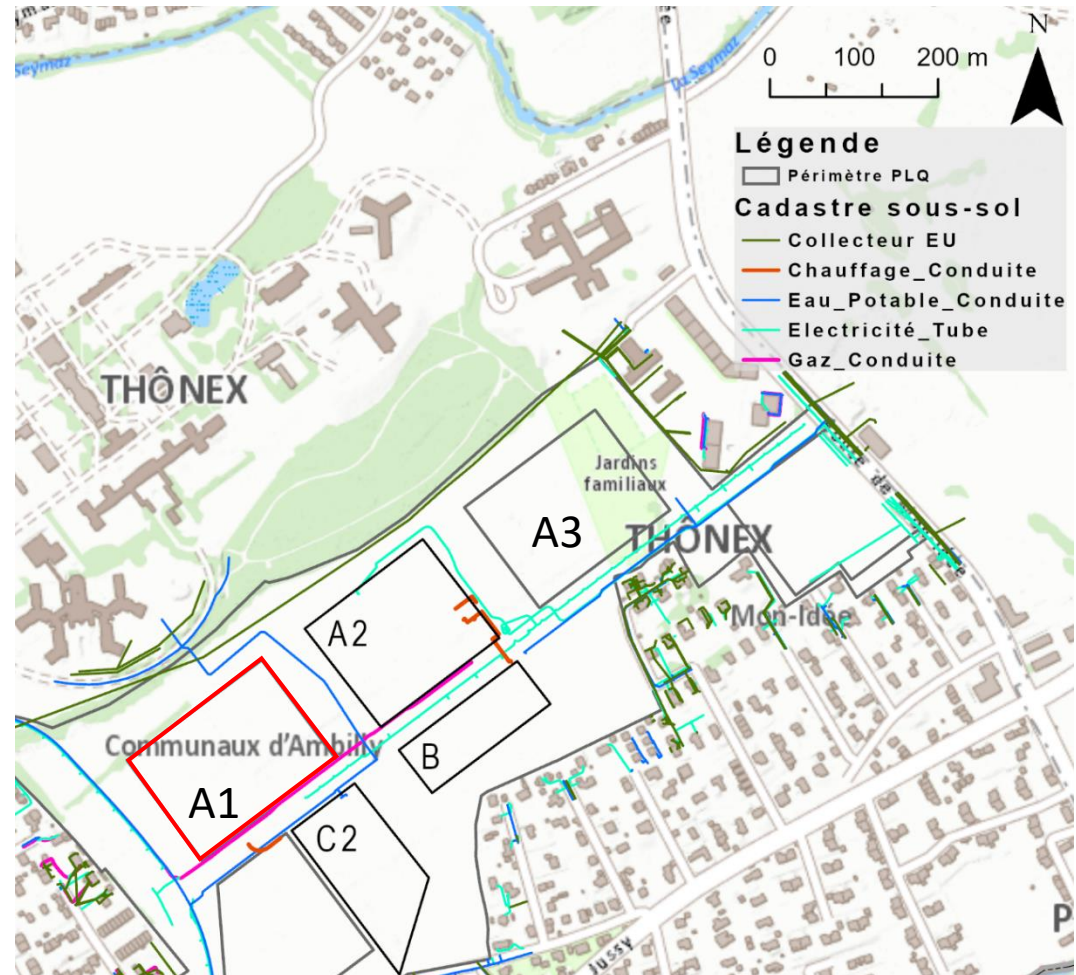
Les réseaux électriques et de gaz sont présents sur le périmètre du PLQ. Le gaz ne devrait servir qu'en tant qu'appoint lors des périodes les plus froides.

Le réseau de collecteurs des eaux usées est présent sur l'extérieur du périmètre.

Le schéma directeur gestion des eaux annexé au PLQ 29'743 définit le concept d'évacuation des eaux usées.

Les diamètres des collecteurs à proximité ne dépassent pas 800 mm, seuil minimum nécessaire pour envisager une valorisation énergétique.

Les réservations sont également mises en évidence en orange.



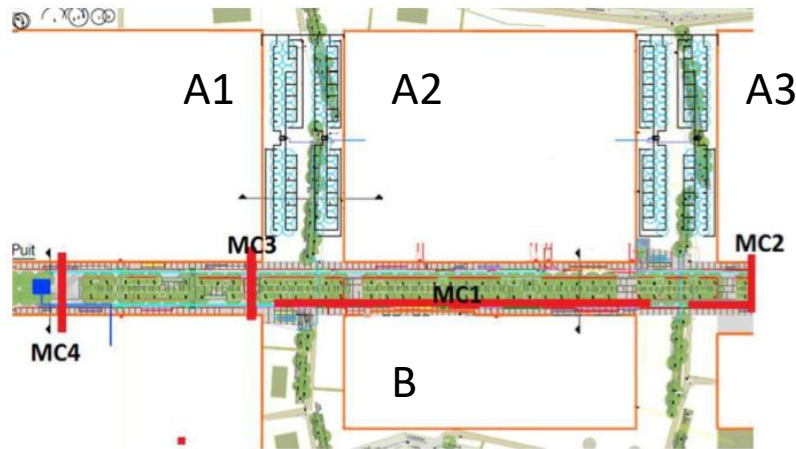
Réseaux: Tracé actuel (source : OCEN – cadastre technique du sous-sol, mars 2020)

5. État des lieux

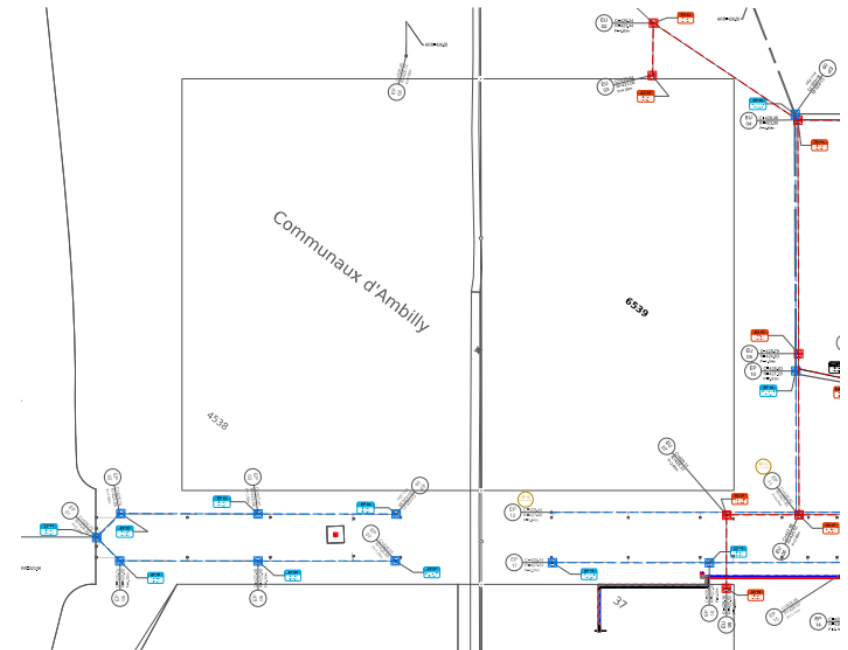
Infrastructures existantes: relevé des canalisations et réservations

La carte de gauche représente les mesures conservatoires mises en place afin de permettre une éventuelle interconnexion des pièces urbaines entre elles.

A droite, l'état des canalisations selon un relevé effectué en 2018.



Mesures conservatoires (source : Energgestion, décembre 2019)



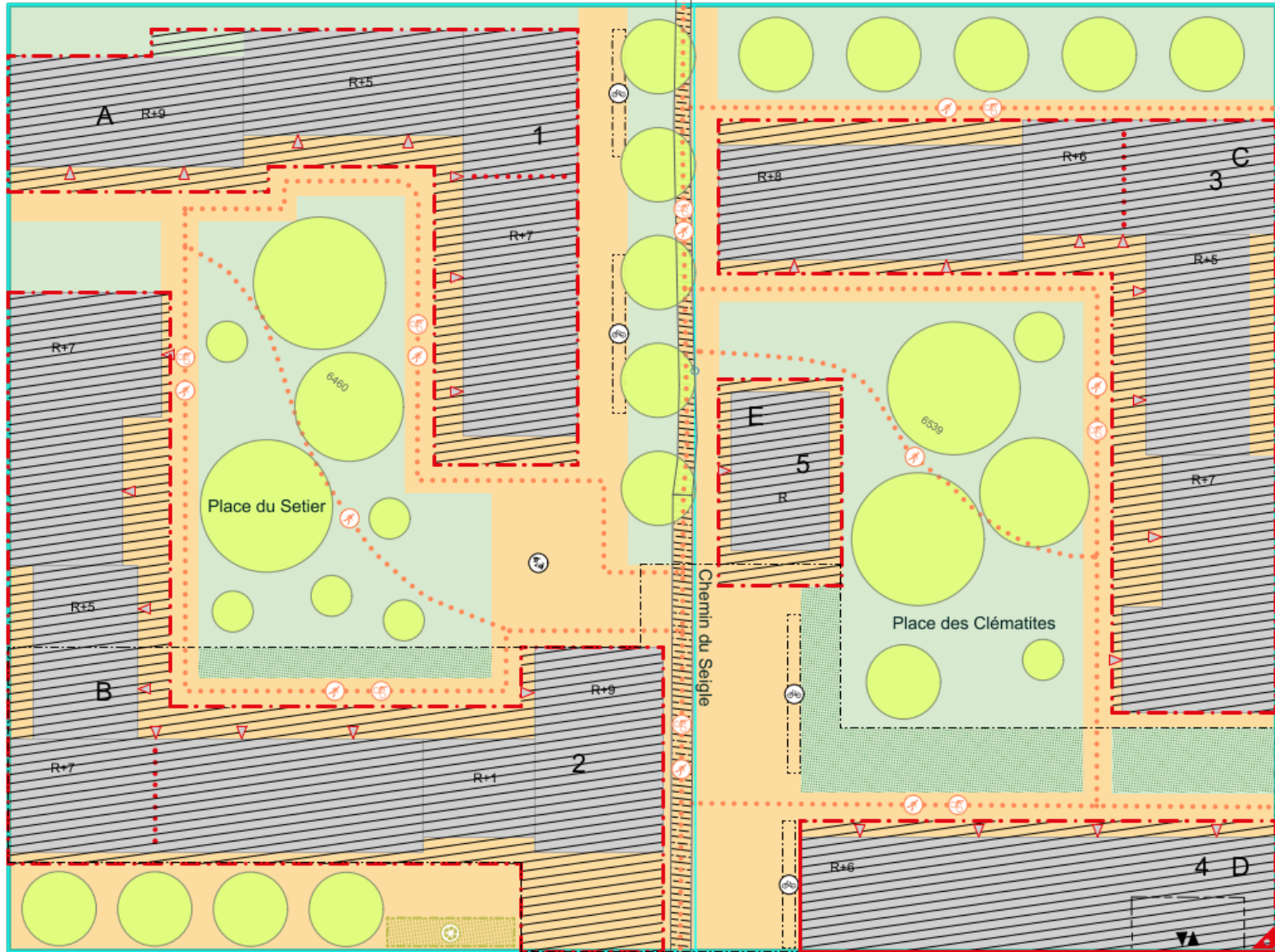
Relevé des canalisations (Haller, 2018)

5. État des lieux

Acteurs, positionnement et rôle dans l'étude

Catégorie d'acteurs	Liste des acteurs et fonction	Enjeux liés à l'énergie dans le cadre de ce PLQ ou positionnement
Autorités publiques	<ul style="list-style-type: none"> Office de l'Urbanisme (OU): Validation du PLQ Office Cantonal de l'Energie (OCEN): Validation du CET en application de la LEn. Autorité compétente pour les subventions Service cantonal de protection de l'air: contraintes relatives aux installations de combustion Service cantonal Géologie-Sol-Déchets (GESDEC): contraintes relatives à la valorisation géothermique du sous-sol Commune de Thônex: intégration des nouveaux développements dans le tissu villageois existant 	<ul style="list-style-type: none"> OCEN : Stimuler les synergies locales et les partenariats Commune de Thônex et canton de Genève : favoriser l'émergence d'un projet exemplaire en matière d'énergie Publication du Plan Directeur Cantonal et du Plan Directeur des Energies de Réseau
Propriétaires des parcelles du PLQ	<ul style="list-style-type: none"> Propriétaires des parcelles privées concernées par le PLQ Promoteurs 	<ul style="list-style-type: none"> Développer un quartier respectueux de l'environnement
Opérateurs énergétiques / gestionnaires de réseaux	<ul style="list-style-type: none"> SIG : Entreprise de droit public en charge de la fourniture d'énergie Contracteurs pour les prestations non soumises au monopole dans le cadre des pièces A2-B 	<ul style="list-style-type: none"> SIG : Approvisionnement en énergie compatible avec les objectifs cantonaux de transition énergétique SIG : Programme GEothermie2020 qui a pour objectif l'exploitation de la géothermie profonde afin d'en faire un projet pilote à l'échelle de la Confédération Contracteur: gestion et exploitation de réseaux de chaleur
Voisinage et autres acteurs	<ul style="list-style-type: none"> Propriétaires des villas 	<ul style="list-style-type: none"> Participation à des ateliers de concertation ou séances collectives
Futurs utilisateurs / occupants	<ul style="list-style-type: none"> Futurs propriétaires (PPE) et locataires Régies immobilières (exploitation) 	<ul style="list-style-type: none"> Consommateurs d'énergie responsables et acteurs de la vie du quartier Participation à des ateliers de concertation ou séances collectives

6. Plan du site selon PLQ. Source: Etat GE (OU, 22.01.2026)



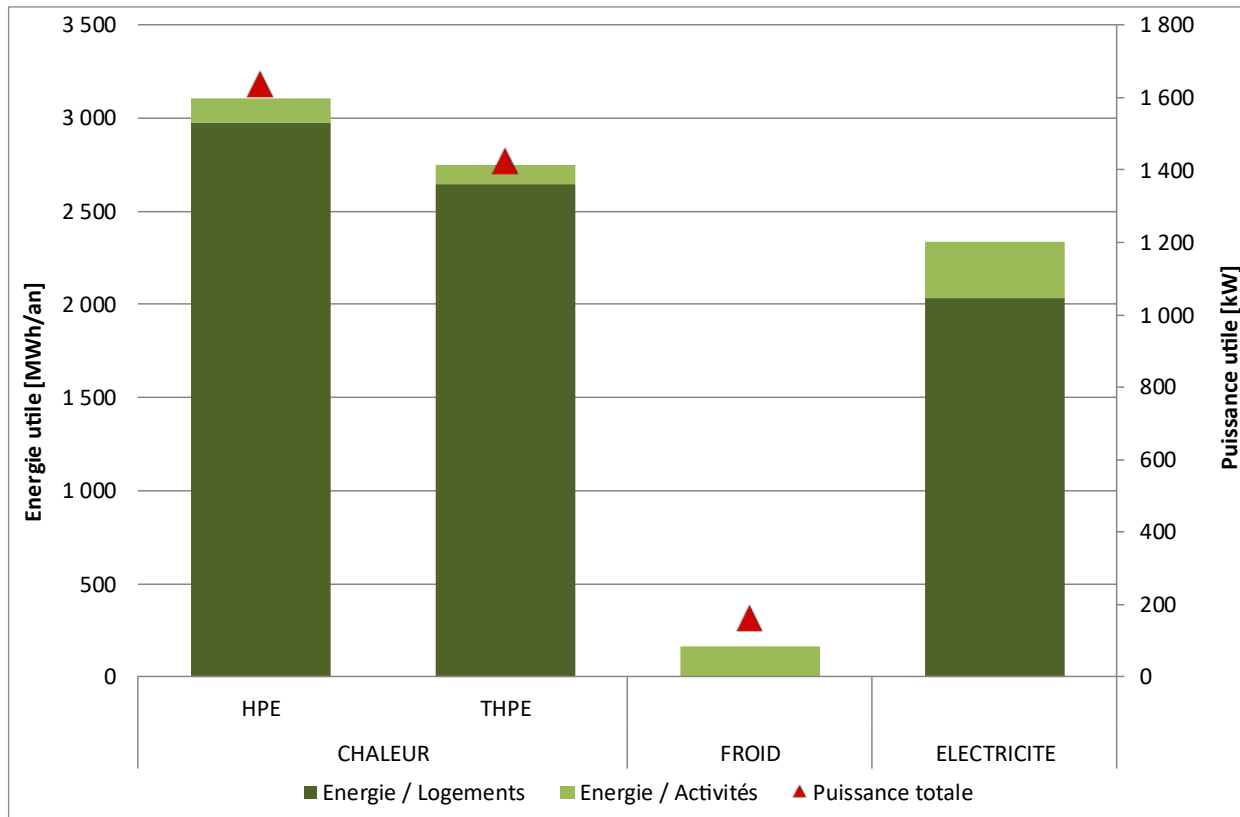
6. Évaluation des besoins énergétiques: synthèse des besoins des bâtiments selon SIA 380/1: 2016

Affectations	Classe SIA	Pièce urbaine A1				SBP tot [m ²]
		A	B	C	D-E	
Logements collectifs	I	11 970.0	16 455.0	15 540	6 771	50 736
Bureaux et services	III	798.5	1 032.5	197	509	2 537
Commerces	V	532.0	688.0	131	339	1 690
Total bâtiments		13 300.5	18 175.5	15 868	7 619	54 963

Récapitulatif des affectations.

Les SRE sont tirées du tableau de répartition des droits à bâtir. A ce stade, il est fait l'hypothèse que SRE = SBP.

Il est également fait l'hypothèse suivante de répartition entre les classes SIA III et V: 60% bureaux et services, 40% commerces (incl. AVQ).



Besoins de froid

Avec les changements climatiques à prévoir dans les prochaines décennies, l'évolution des besoins de froid pour les logements (non-compris ici) est un sujet qui devrait être développé lors d'études ultérieures. Le géocooling grâce aux sondes géothermiques offre une solution de rafraîchissement passif écologique et économique.

Synthèse des besoins énergétiques par classe SIA pour la chaleur, l'électricité et le froid.

Les besoins de chaleur intègrent des pertes de distribution, mais pas de rendement de production. Les besoins électriques liés à la mobilité ne sont pas compris ici.

6. Évaluation des besoins énergétiques: mobilité

Les besoins exprimés ci-dessus correspondent aux besoins électriques pour les équipements techniques des bâtiments et des usagers.

La mobilité n'en fait pas partie. Pourtant, la tendance à l'électrification de la mobilité se poursuit. Dès lors, la possibilité d'équiper toutes ou une partie des places de parking avec une borne de recharge paraît judicieuse.

Selon une étude réalisée par Protoscar*, la puissance nominale de chaque point de recharge est de 11 kW. L'étude donne pour l'une des pièces urbaines les puissances supplémentaires à prévoir en fonction des différents scénarios.

Une réflexion sur l'ensemble des pièces urbaines pourra orienter le Maître d'ouvrage sur les différentes stratégies d'approvisionnement électrique. Le cahier technique SIA 2060 donne des éléments de pré-dimensionnement.

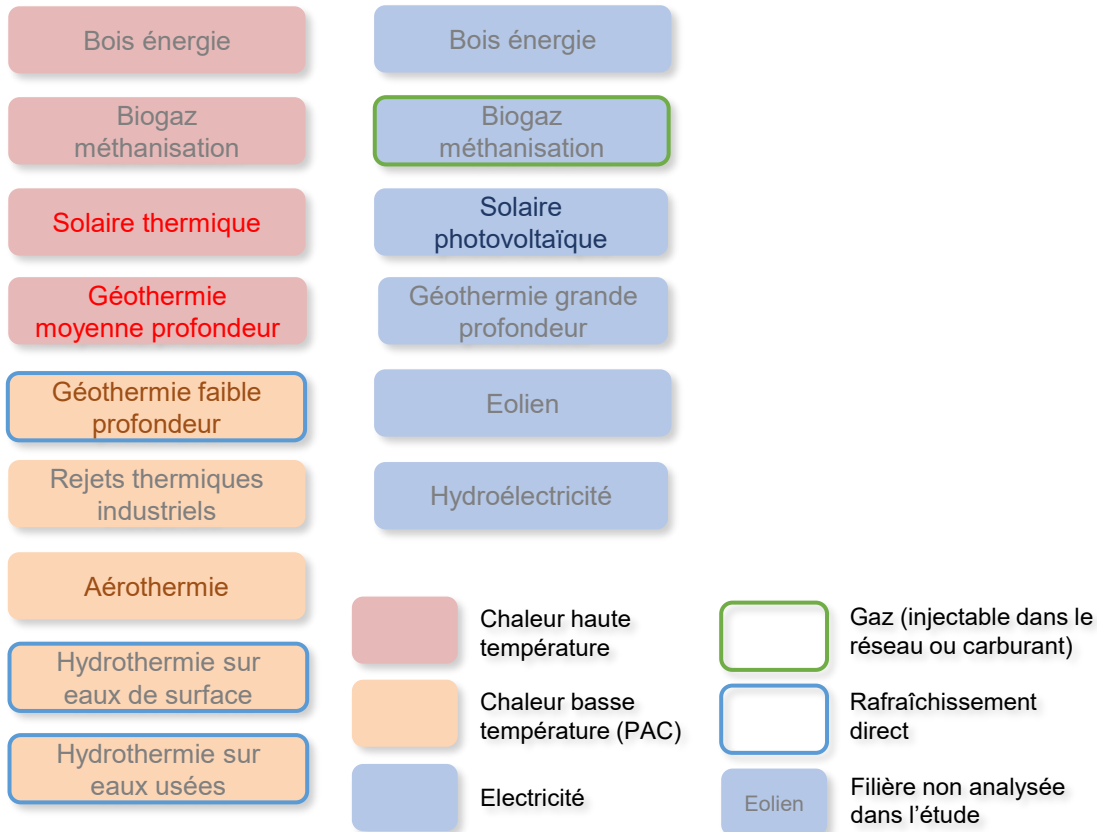


* Etude «CONCEPT GENERAL: BORNES DE RECHARGE – Phase 1» du 22.02.2019

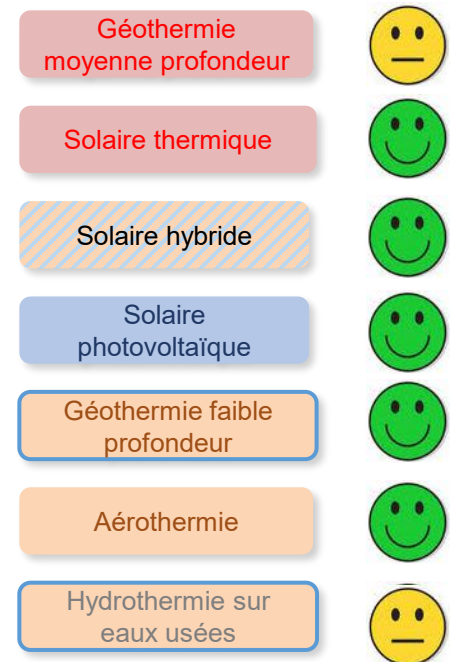
7. Évaluation des ressources énergétiques locales disponibles et synthèse

Cette section analyse les ressources énergétiques locales disponibles, et leur capacité à satisfaire les besoins des futurs bâtiments. Les illustrations ci-dessous récapitulent les ressources possibles (à gauche) et celles pouvant être considérées sur le périmètre (à droite).

Récapitulatif des ressources renouvelables



Ressources étudiées sur le périmètre d'étude



7.1 Espace disponible en toiture pour le Solaire thermique et photovoltaïque (PV)



Estimation des surfaces brutes de toiture. Les toitures en R ou R+1 ne sont pas considérées comme suffisamment exposées. La surface brute de toiture sur A1 totalise 9'700 m². Les façades élevées, non-ombragées et exposées sud pourraient être valorisées également.

7.1 Ressources énergétiques locales disponibles: Solaire thermique et photovoltaïque (PV)

Le solaire photovoltaïque permet de produire de l'électricité, et le solaire thermique, de la chaleur. Le solaire hybride, qui génère conjointement de la chaleur et de l'électricité (rendements moindres pour la chaleur mais plus élevés pour l'électricité) permet de s'affranchir de l'arbitrage entre les valorisations électriques et thermiques.

Potentiels évalués:

- Le potentiel de puissance PV installable en toiture (potentiel maximal).
- La production annuelle découlant de la valorisation de ce potentiel.

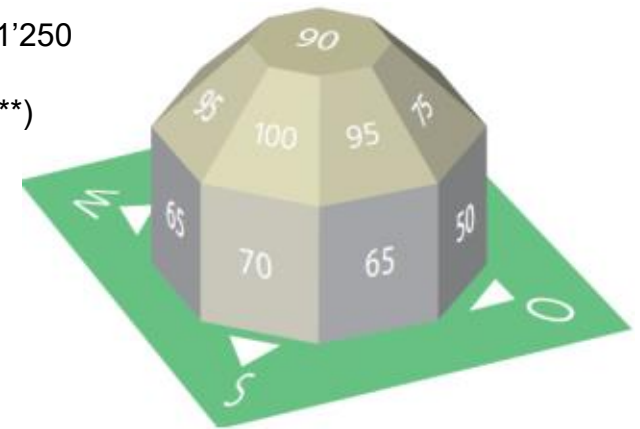
Éléments déterminants de planification:

- Surface brute de toiture plate et bien ensoleillée disponible : 9'700 m²
- Inclinaison des panneaux PV: 10°, orientation est-ouest (dômes)
- Absence de masques et ombrages (irradiation annuelle sur le plan horizontal 1'250 kWh/m².an): exclusion des toitures basses
- Puissance des modules PV: 225 Wc/m² (PV seul*), 194 Wc/ m² (hybride PV-T**)
- Rendement thermique des panneaux solaires thermiques: 450 kWh/m²/an
- Rendement thermique des panneaux hybrides PV-T: 250 kWh/m²/an

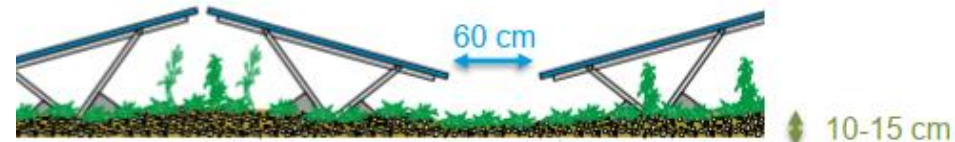
Bilan:

- **Puissance installée** (ratio de surface PV utile* = 60%): 1.3 MWc
- **Production annuelle**: 1'125 MWh

***Nota:** Selon le règlement du PLQ, les toitures doivent être végétalisées, y-compris en présence de systèmes de production énergétique. A ce stade l'estimation du ratio de surface utile sur la surface brute de toiture a été réalisée en considérant une surface dédiée à la végétation extensive (cf. illustration ci-contre, source: guide pour l'intégration solaire et végétation), ainsi que les exclusions liées à la technique du bâtiment (ventilation, ascenseurs, etc.).



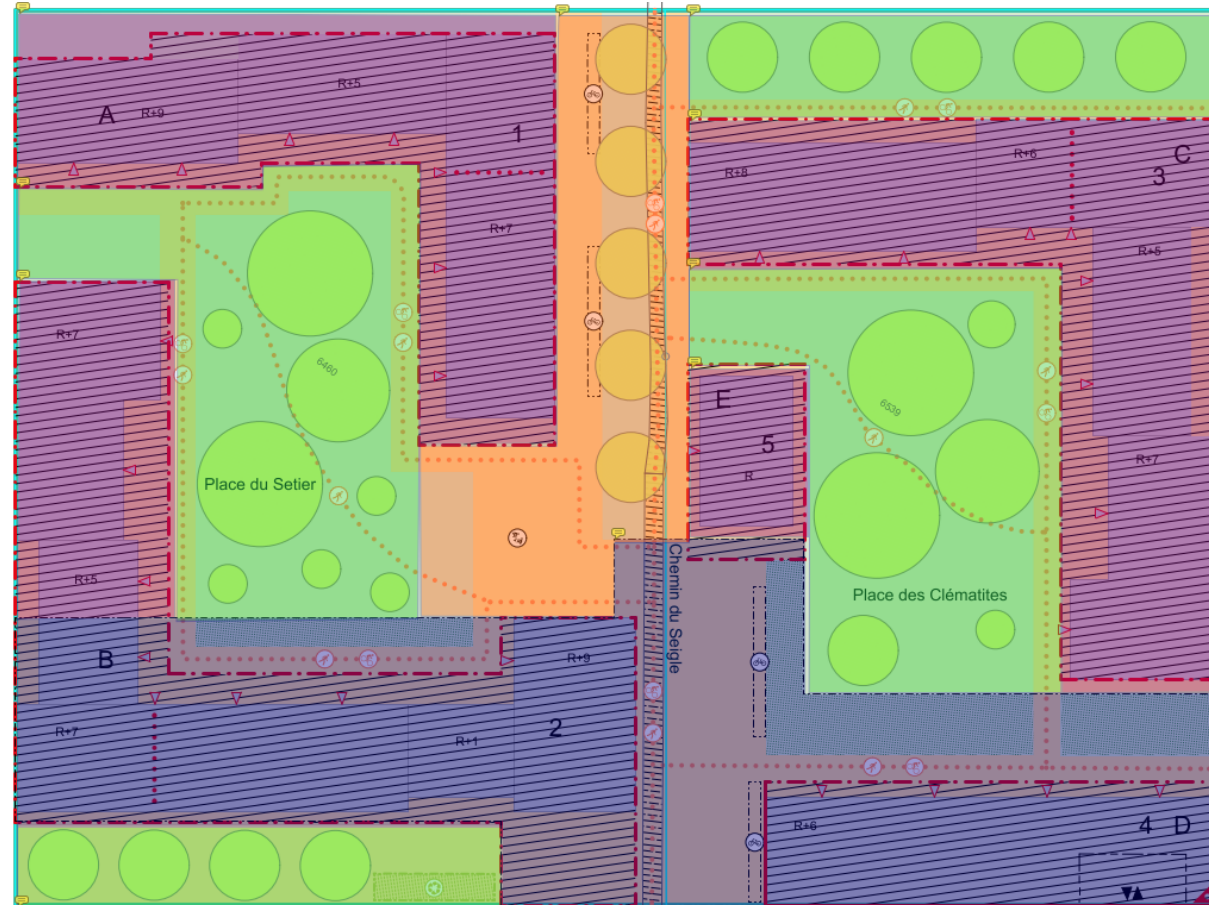
Pondération du potentiel solaire selon l'orientation et l'inclinaison



7.2 Ressources énergétiques locales disponibles: géothermie faible profondeur

Emplacement possible des sondes:

- **A exclure:** partie arborée (arbres à hautes tiges) des cours intérieures, ainsi que les cours champêtres entre les pièces urbaines, leur aménagement étant achevé avant le début des travaux (en parallèle de l'avancement de la pièce A2) (en rouge).
- **A privilégier:** les sondes peuvent être placées sous le parking (gris foncé) ou l'emprise bâtie des bâtiments (violet) pour autant que les collecteurs soient accessibles. Cette solution permet de libérer de l'espace extérieur pour des forages ultérieurs et est réalisable techniquement. La coordination du chantier devra prévoir ces forages.
- **En réserve:** pourtour des bâtiments et espaces non-végétaux des cours intérieures (orange).



Estimation du nombre de sondes possibles par emplacement:

- Emprise des bâtiments (hors parking): 9'430 m² => ~130 sondes
- Emprise du parking : 8'110 m² => ~120 sondes
- Réserve: ~2'700 m² => ~45 sondes
- A exclure: ~7'125 m²

7.2 Ressources énergétiques locales disponibles: géothermie faible profondeur

Paramètres du champ de sondes:

- Profondeur: 250 m
- Espacement: 8 m
- Puissance extraite: 25 W/ml
- Taux de recharge: 60%
- Part de l'ECS prise en charge par les sondes: 66%
- **Nombre de sondes nécessaires pour satisfaire les besoins énergétiques** : 170 (HPE) et 145 (THPE 2000W)

Bilan:

- En prenant en compte les différents types d'emprise à favoriser (sous les bâtiments et sous le parking), il en résulte un potentiel supérieur à 200 sondes.
- Afin d'assurer une exploitation pérenne de la ressource du sous-sol, un appoint devra être envisagé.

→ Un système complémentaire de **recharge des sondes** doit être prévu, tel que: géocooling, groupe froid, aérorefroidisseur, panneaux solaires hybrides, récupération de chaleur sur les eaux usées ou l'air extrait. Le concept géothermique de la pièce urbaine A1 devra se faire avec une vision d'ensemble des trois étapes de Belle-Terre afin de minimiser les interactions entre les champs de sondes et assurer une exploitation durable des ressources du sous-sol.

De plus, des compléments issus de pieux ou corbeilles géothermiques ainsi que l'activation des murs des parkings souterrains peuvent apporter une source complémentaire d'énergie thermique. L'opportunité de valoriser ces sources complémentaires devra être étudiée.



7.3 Ressources énergétiques locales disponibles: air et eaux usées

Il existe d'autres ressources, non analysées en détail mais brièvement décrites ci-dessous. L'air ambiant représente une ressource quasi illimitée – même si son efficacité est limitée en hiver. L'air extrait sur la ventilation simple flux présente également un potentiel intéressant. Les eaux usées sont également des ressources complémentaires à envisager.

Air extérieur

- Valorisation aisée avec une pompe à chaleur
- Solution peu coûteuse
- Taille importante des conduites d'air
- Équipements bruyants
- Concurrence en toiture
- Rendement réduit en hiver

Air extrait

- Valorisation aisée avec une pompe à chaleur
- Solution peu coûteuse
- Nécessite une ventilation contrôlée (simple flux)

Eaux usées

Il y a deux manières de valoriser les eaux usées: dans un collecteur public existant ou au sein du quartier même en sortie de bâtiment.

- Pas de collecteur existant de diamètre suffisant (800 mm)
- Installation relativement coûteuse
- Récupération sur les eaux usées en sortie de bâtiment à privilégier

Potentiel
énergétique Coûts



Potentiel
énergétique Coûts



Potentiel
énergétique Coûts



Les PAC air-eau en toiture individuelles par bâtiment constituent une solution possible d'approvisionnement (nécessitant toutefois une surface importante à considérer pour acheminer l'air vers les PAC en toiture ou sous-sol). Les deux autres systèmes ne suffisent généralement pas à satisfaire l'ensemble des besoins de chaleur, mais constituent un complément intéressant à la géothermie notamment pour réduire le nombre de sondes et/ou contribuer à la recharge du terrain.

8. Approvisionnement énergétique

Introduction

Suivant la volonté du Maître d'ouvrage, la variante de base s'appuie en grande partie sur le concept développé par le bureau Energgestion pour les pièces voisines A2-B-C2 actuellement en exploitation, afin de proposer un système d'approvisionnement cohérent à l'échelle du périmètre du Grand Projet et ouvrir la possibilité de synergies (interconnexions) entre les pièces.

La **variante 1** proposée (section 8.1) est celle d'un **réseau CAD basse température sur sondes géothermiques** alimentant, via une PAC centralisée, les besoins de chauffage et préchauffant l'eau chaude sanitaire (le reste de l'ECS étant alimenté par des PAC sur air extrait dans les sous-stations).

Ce réseau peut être interconnecté avec les autres pièces urbaines des Communaux d'Ambilly – Quartier Belle-Terre (des mesures conservatoires ont été mises en place lors de la construction des pièces A2-B-C). Il diffère cependant du concept élaboré par Energgestion par le fait que la recharge nécessaire des sondes géothermiques est effectuée, non pas par des aérorefroidisseurs, mais par des panneaux solaires hybrides PV-T. Ainsi la satisfaction partielle des besoins d'ECS par le solaire thermique se fait indirectement via la recharge des sondes.

Ce complément peut être assuré par d'autres sources d'énergie complémentaires (cf. 7.3)

Une **variante 2** est présentée à la section 8.2 consistant à développer une **boucle d'anergie sur sondes géothermiques** qui permet d'assurer sur **le même réseau** l'approvisionnement chaleur, froid et la recharge des sondes. La production de chaleur est en outre décentralisée par bâtiment à l'aide d'une pompe à chaleur.

Un appoint (centralisé) est à prévoir sur ce réseau.

8.1 Concept d'approvisionnement thermique: variante 1 (CAD-FAD)

Chauffage et pré-chauffage ECS / PAC centralisée sur sondes géothermiques:

- 120 sondes géothermiques à 250 m de profondeur (selon les besoins définis par le standard HPE)
- 1 PAC centralisée de 900 kW disposée dans un local à définir (considérant un foisonnement moyen de 75%)
- Réseau *CAD* basse température 35-45°C (chauffage et pré-chauffage de l'ECS à 40°C) alimentant les sous-stations (par bâtiment ou groupe de bâtiments), pouvant être interconnecté avec le réseau *CAD* de la pièce A2-B.
- Appoint gaz: 550 kW (40% de la puissance totale) pour assurer les pointes de puissance hivernales en mode bivalent avec la PAC, représentant environ 15% de l'énergie consommée pour le *CAD*.

ECS / Récupération de chaleur sur l'air extrait (variante possible: PAC sur eaux usées):

- PAC individuelles par sous-station sur air extrait pour produire l'ECS (à 60°C) à partir de l'eau préchauffée par le réseau *CAD*
- Puissance totale des PAC sur air extrait: 260 kW
- Besoins globaux d'ECS centralisés: 19.9 kWh/m².an

Froid / PAC sur sondes:

- Pas ou peu de geocooling possible étant donné la recharge solaire (températures trop élevées dans les sondes en été)
- Groupe froid sur les sondes géothermiques (EER env. 6), disposé dans la centrale thermique du quartier
- Réseau *FAD* 14-18°C alimentant les locaux commerciaux et autres activités nécessitant du froid

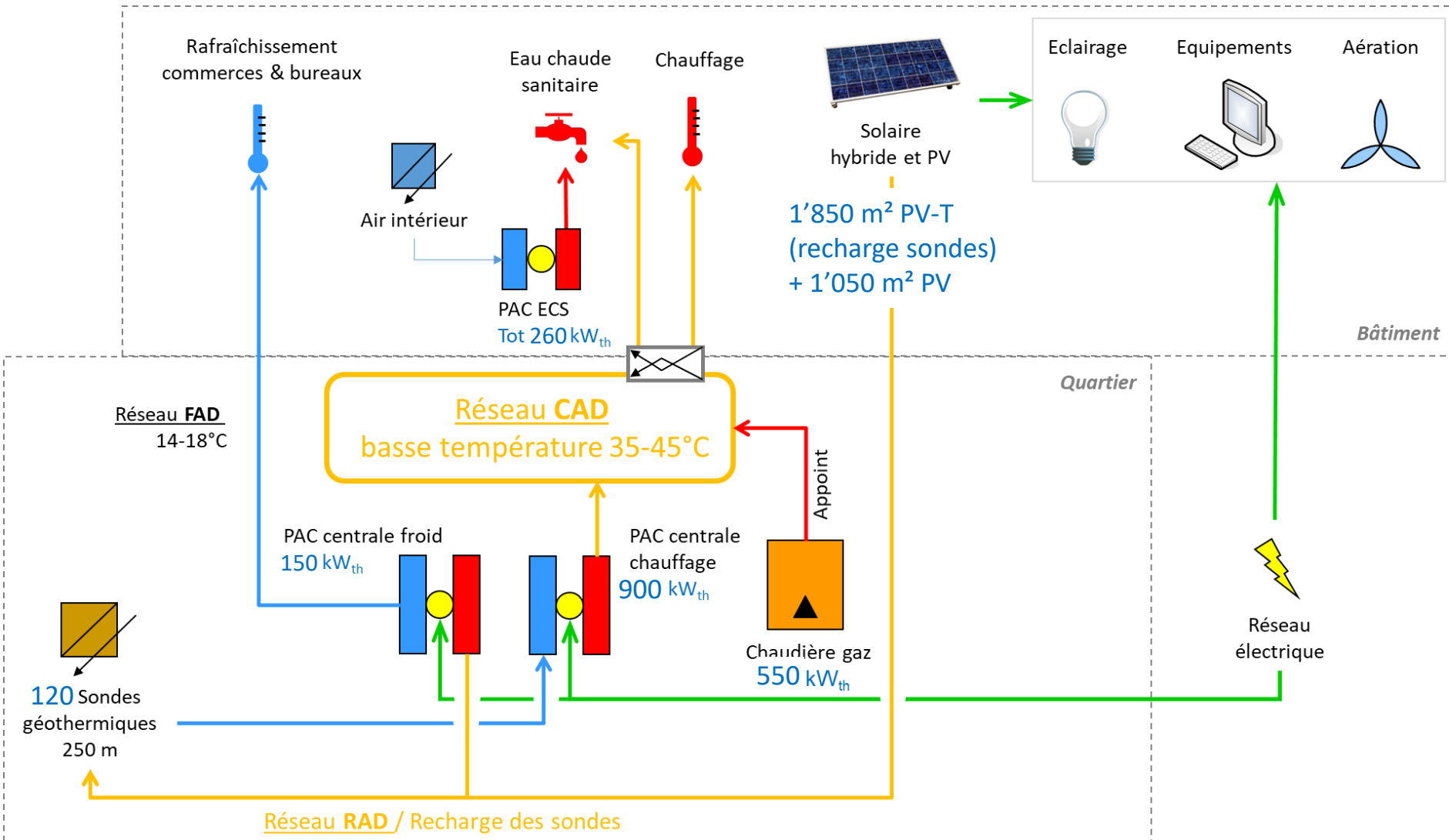
Recharge des sondes / solaire PV-T:

- Par les rejets de chaleur de la PAC sur sondes
- Par la production thermique des panneaux hybrides PV-T (surface de 1'850 m² nécessaire à la recharge)
- Recharge des sondes via le réseau *RAD* (recharge à distance)

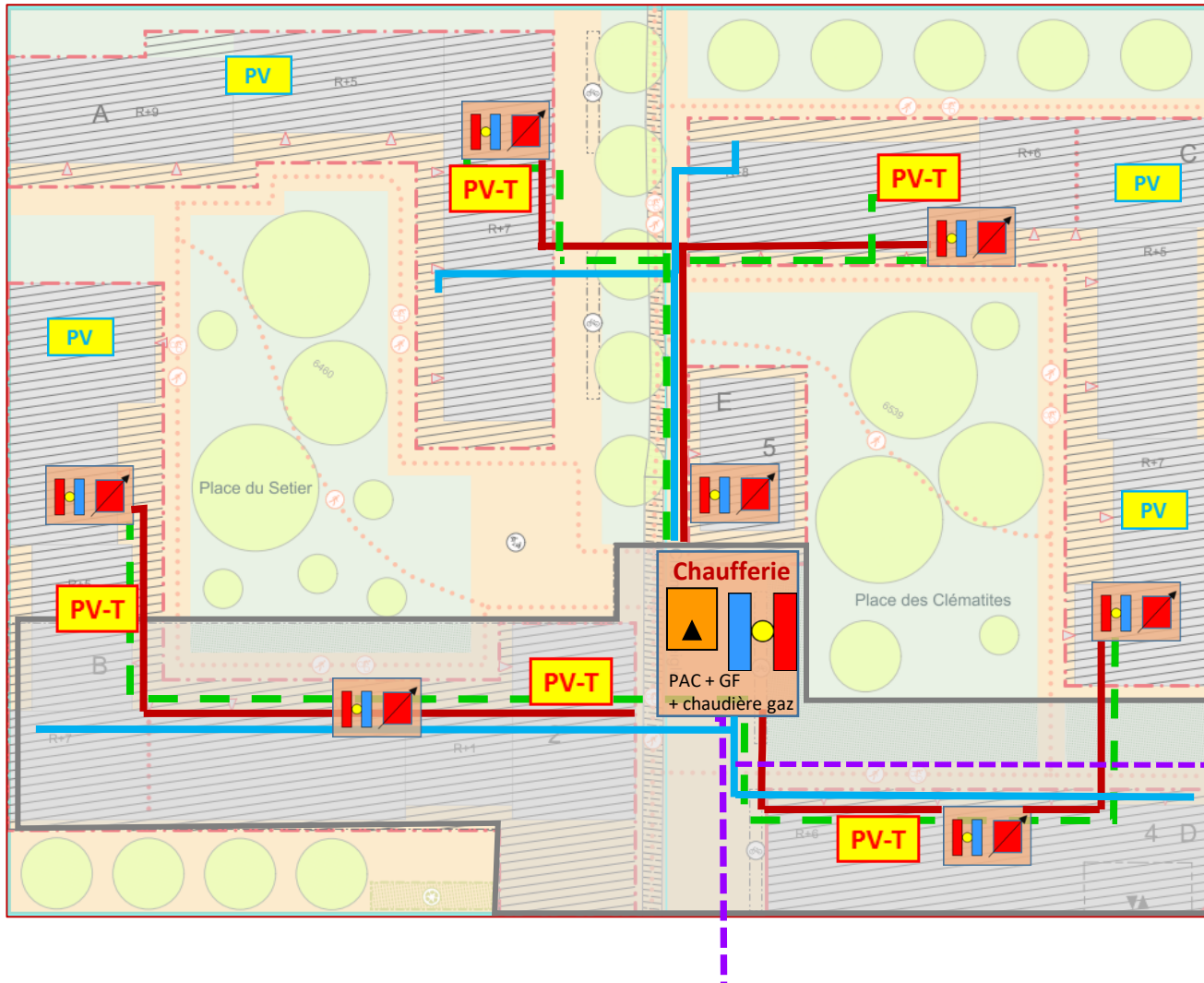
Électricité / solaire PV-T et PV:

- Maximisation de la production solaire par l'équipement des surfaces de toiture appropriées
- PV-T (1'850 m²) + panneaux solaires PV additionnels pour maximiser la production propre et l'auto-consommation
- Le reste des besoins d'électricité est fourni par le réseau










8.1 Concept d'approvisionnement thermique: variante 1 (CAD-FAD)



8.1 Approvisionnement thermique: variante 1 (CAD-FAD)



Légende (emplacements approx.)

-  Chaufferie centrale avec groupe froid, PAC sur sondes et chaudière gaz*
-  Sous-station avec PAC ECS et échangeur réseau BT
-  Réseau primaire chauffage basse température
-  Réseau de recharge solaire PV-T et géocooling
-  Réseau de sondes (collecteur principal)
-  Champ solaire hybride
-  Panneaux photovoltaïques
-  Parking souterrain
-  Possible interconnexion vers et. 1

* A confirmer selon disponibilité ressource réseau étape 1: une **chaudière gaz** d'appoint viendra compléter la chaufferie centralisée.



8.2 Concept d'approvisionnement thermique: variante 2 (boucle d'énergie)

Concept de boucle d'énergie

Le concept alternatif proposé est celui de la boucle d'énergie. Les bâtiments reliés entre eux par un réseau échangent l'énergie avec le champ de sondes et les panneaux hybrides.

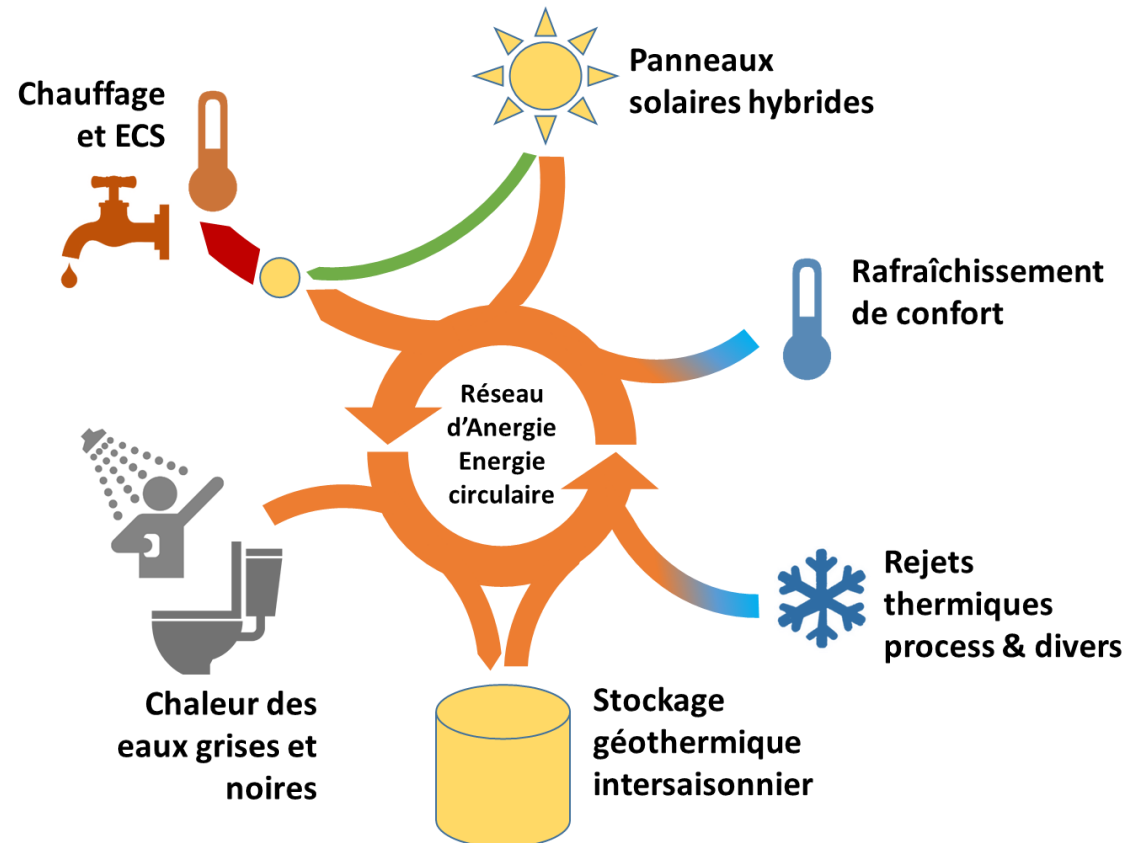
Le premier principe de la boucle d'énergie est la **mise en réseau des bâtiments**. Cette mise en réseau est réalisée à l'aide d'un tube «froid» et d'un tube «chaud», entre lequel un différentiel de température est maintenu le long de l'année (selon des régimes été/hiver différenciés).

Le second principe de la boucle d'énergie consiste à stocker dans un **champ de sondes** l'excédent de chaleur produit par les panneaux hybrides. Elle sera restituée en hiver.

Grâce au stockage géothermique les productions de chaleur (soleil, rafraîchissement, rejets thermiques) sont ainsi à l'équilibre avec les besoins (chauffage et ECS). Des pompes à chaleur dans chacune des sous-stations permettent d'atteindre les niveaux de température souhaités.

Bien entendu, si les besoins coïncident avec la production, la chaleur ne transite pas par les sondes.

Schéma synoptique de la boucle d'énergie



8.2 Concept d'approvisionnement thermique: variante 2 (boucle d'anergie)

Chauffage et ECS / boucle d'anergie et PAC décentralisées:

- 150 sondes géothermiques à 250 m de profondeur (selon les besoins définis par le standard HPE)
- Boucle d'anergie avec température variable selon saison (8-12°C en hiver, 16-20°C en été)
- Par sous-station:
- PAC chauffage et pré-chauffage ECS (jusqu'à 40°C), puissance totale: 1'100 kW
 - PAC sur air extrait ou eaux usées pour complément ECS (jusqu'à 60°C), puissance totale: 300 kW

Froid / PAC sur sondes:

- Groupe froid sur la boucle d'anergie (EER env. 6), installé dans les sous-stations des bâtiments d'activités concernés
- Pas ou peu de geocooling possible étant donné la recharge solaire (températures en été trop chaudes dans les sondes)

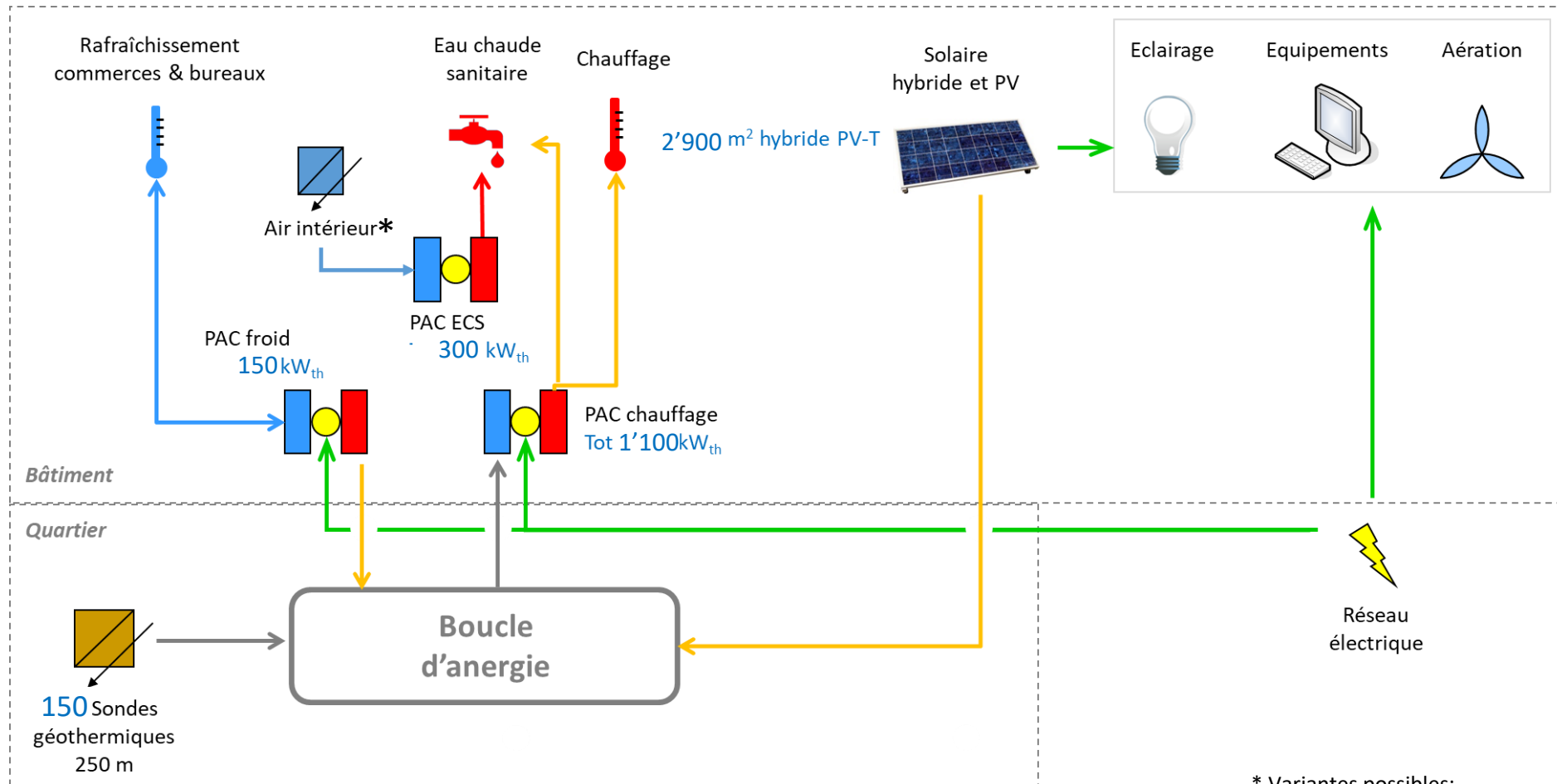
Recharge des sondes via la boucle d'anergie:

- Par les rejets de chaleur du groupe froid
- Par la production thermique des panneaux hybrides PV-T (surface de 2'900 m² nécessaire à la recharge), fournissant 700 MWh/an d'énergie thermique.
- Alternative possible: fournir la recharge avec un système d'aéro-refroidisseurs (combiné avec au minimum 2'500 m² de solaire PV), ou de récupération de chaleur sur les eaux usées.

Electricité / solaire PV-T et PV:

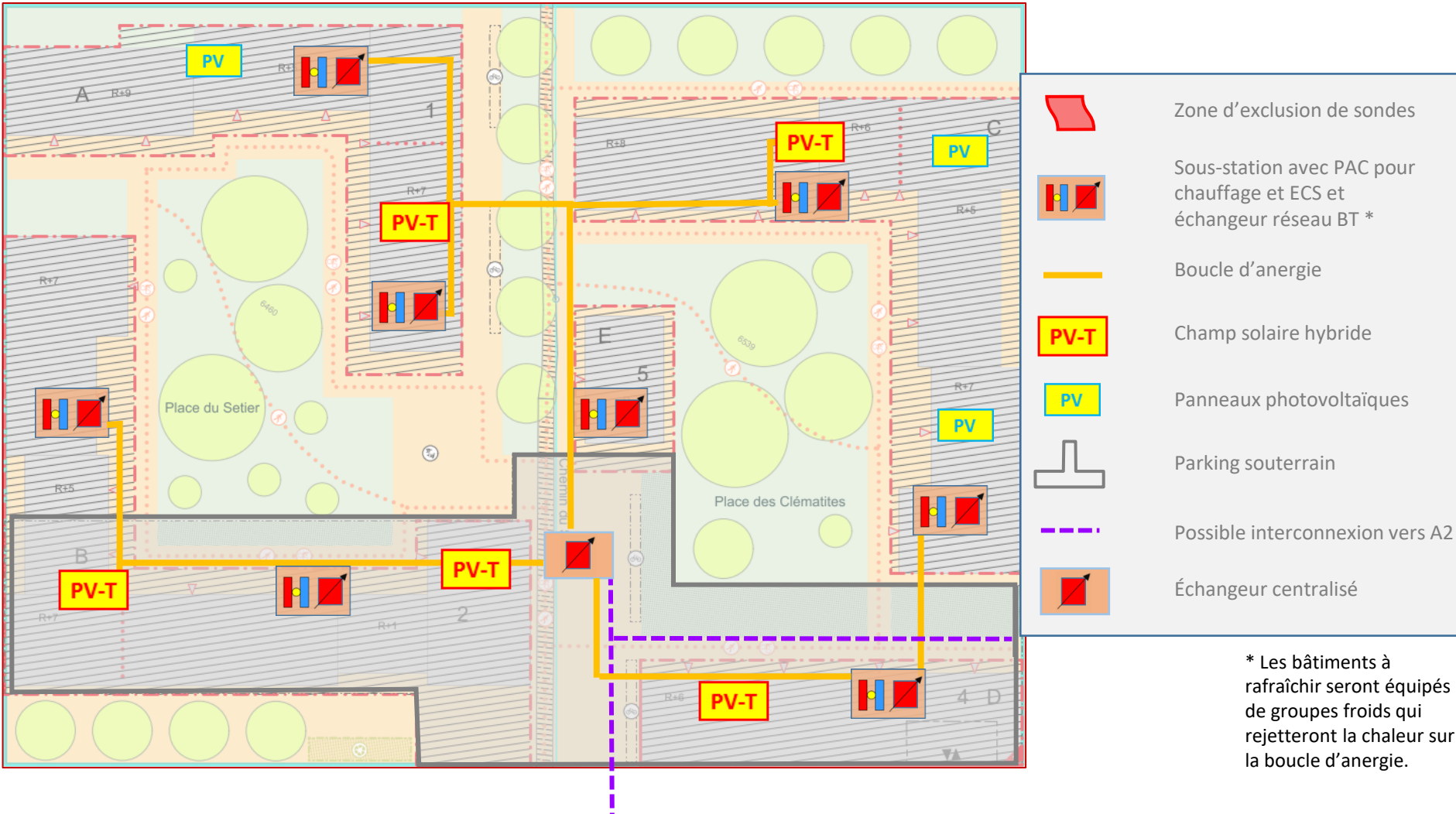
- Maximisation de la production solaire par l'équipement des surfaces de toiture appropriées.
- PV-T (2'900 m², sur une surface brute de toiture de 5'720).
- Possibilité d'installations solaires PV supplémentaires.
- Le reste des besoins d'électricité est fourni par le réseau.

8.2 Concept d'approvisionnement thermique: variante 2 (boucle d'énergie)

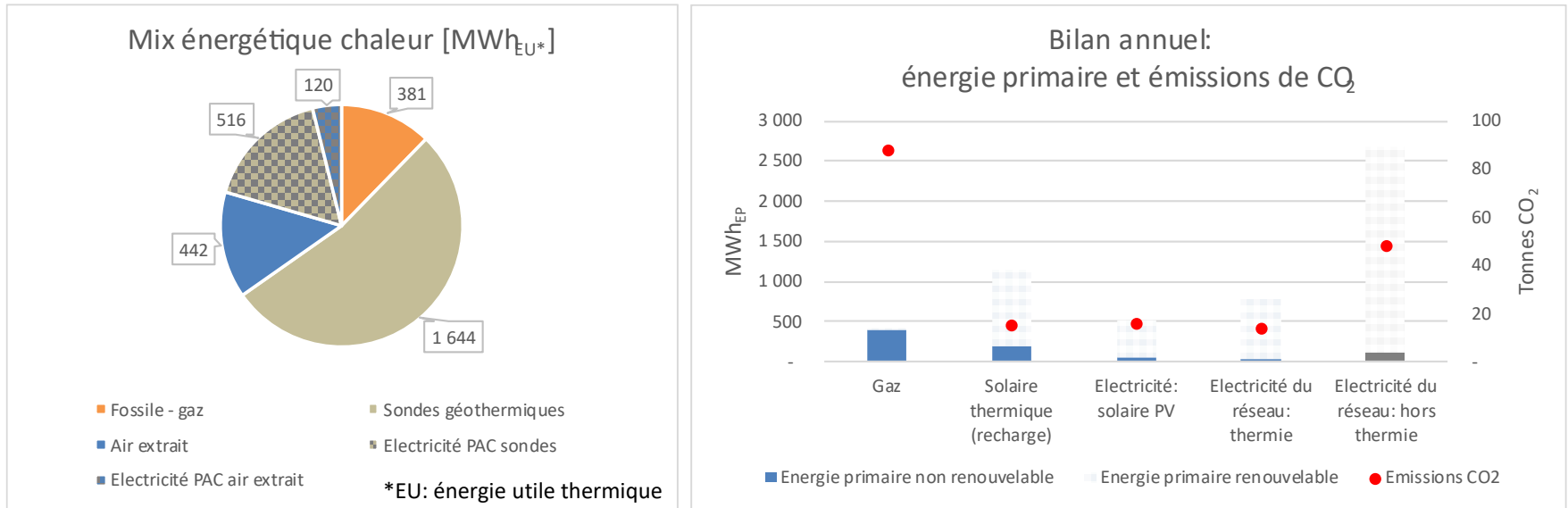


* Variantes possibles:
 - eaux usées
 - air extérieur

8.2 Approvisionnement thermique: variante 2 (boucle d'énergie)



9. Bilan énergétique et environnemental de la variante 1 (CAD-FAD)



Bilan environnemental:

Le mix énergétique représente l'alimentation des besoins de chaleur du site et distingue la part électrique des PAC de celle provenant de l'environnement. L'apport du solaire thermique (PV-T) est incluse dans la chaleur de l'environnement fournie par les sondes. La part fossile (gaz) au global représente 12% du mix énergétique.

Dans le graphique à droite les deux barres de gauche déclinent l'approvisionnement en chaleur (gaz et recharge des sondes par les panneaux solaires PV-T). Les trois barres de droite concernent les besoins électriques approvisionnés par les panneaux solaires PV et le réseau électrique (distinguant la part accordée à la thermie – chaleur et froid – et aux équipements électriques). Nous voyons ainsi que la part de l'électricité du réseau constitue le poste majeur de consommation en énergie primaire.

Les émissions s'élèvent à 180 tonnes de CO₂ par année, soit environ 0.16 t CO₂ / habitant ce qui est satisfaisant dans le cadre de la Société à 2000 watts. Le gaz, bien que minoritaire dans les dépenses énergétiques, représente tout de même 49% des émissions. Ces émissions devront être compensées d'ici 2050 pour viser la neutralité carbone (cf. chapitre 10).

La variante anergie, qui permet de s'affranchir du gaz, réduit donc de moitié l'impact environnemental (CO₂) de l'approvisionnement.

9. Analyse des scénarios: avantages, inconvénients

Nous effectuons ci-dessous une comparaison qualitative des deux variantes d’approvisionnement.

Concept	Avantages	Inconvénients	Recommandations
<p>Variante 1 (CAD-FAD): Géothermie solaire, réseaux CAD-FAD-RAD et systèmes centralisés</p>	<p>Concept équivalent à celui développé à la pièce A2-B et facilitant ainsi une interconnexion des réseaux entre les pièces urbaines ou au niveau du périmètre élargi.</p> <p>Système centralisé avec des PAC de grande puissance plus efficaces, avantageux économiquement.</p>	<p>Système complexe et coûteux basé sur un enchevêtrement de six conduites à travers les trois réseaux (chaleur, froid, recharge des sondes).</p>	<p>Evaluer la faisabilité de mettre en place des systèmes de récupération d’énergie du parking souterrain voire des pieux ou corbeilles géothermiques.</p>
<p>Variante 2 (boucle d’anergie) : Géothermie solaire, boucle d’anergie et systèmes décentralisés</p>	<p>Un seul réseau à <u>deux conduites</u> permettant d’assumer à lui tout seul les fonctions de CAD, RAD et FAD.</p> <p>Solution 100% non-fossile plus compatible avec les enjeux climatiques.</p> <p><u>Flexibilité:</u> permet la valorisation de plusieurs ressources renouvelables.</p>	<p>Faible simultanéité des besoins chaud/froid (quartier dont la mixité des affectations est faible).</p> <p>Systèmes décentralisés par bâtiment / sous-station avec des PAC moins efficaces.</p> <p>Charges d’exploitation plus élevées par sous-station (maintenance des PAC et chaudières).</p> <p>Gestion fine de la boucle.</p>	<p>Limiter le nombre de sous-stations privilégiant des systèmes semi-centralisés par ensemble de bâtiments.</p> <p>Veiller, à travers les études techniques, à ce que l’équilibre de la boucle puisse être garanti en toute saison (déphasage par stockage saisonnier).</p> <p>Evaluer la faisabilité de mettre en place des systèmes de récupération d’énergie du parking voire des pieux ou corbeilles géothermiques.</p>

10. Conclusion et recommandations

Cette étude a permis de mettre à jour le concept énergétique territorial existant (CET 2017-12) pour le PLQ 30'102, tenant compte de l'évolution contextuelle du projet et du cadre légal.

Nous retenons, concernant les ressources renouvelables disponibles localement, que:

- Les toitures hautes offrent un potentiel solaire important dont la valorisation et la maximisation de l'auto-consommation contribueront à rendre le concept énergétique vertueux (via notamment des panneaux solaires hybrides PV-T et permettant ainsi la recharge des sondes géothermiques).
- L'espace disponible au sein de la pièce A1 (hors zones dédiée au paysage et arbres à hautes tiges) permet l'implantation de sondes géothermiques satisfaisant les besoins de chauffage du site, indépendamment de la variante d'approvisionnement retenue (base ou anergie).

La présente étude s'est basée sur les ressources à disposition et l'estimation des besoins pour comparer deux concepts d'approvisionnement. La variante 1 reprend en grande partie le concept mis en œuvre sur la pièce A2-B (3 réseaux), et la variante 2 propose une boucle d'anergie (un seul réseau commun) et permettant d'atteindre un taux d'énergie renouvelable de 100%.

A ce stade des réflexions, **nous recommandons d'approfondir la variante 1 (CAD-FAD) tout en conservant l'opportunité que représente la variante 2 (boucle d'anergie).**

Recommandations pour la mise en œuvre:

- **Approfondir les études énergétiques** permettant d'optimiser le système basé sur les sondes géothermiques, préciser l'emprise du champ de sondes et valoriser autant que possible les énergies locales disponibles.
- Mettre en œuvre un **regroupement de consommateurs propres de l'énergie solaire PV (RCP)**, avec un seul point d'entrée sur le réseau électrique. L'accès au marché libre de l'électricité (optionnel) permet d'envisager de souscrire à des produits électriques écologiques couvrant l'intégralité des besoins électriques, en étant soumis aux prix du marché libre.
- Envisager une **certification SNBS-quartier ou Minergie-quartier** (label promu et soutenu par la Confédération / OFEN), marquant l'exemplarité du quartier sur le long terme.
- Développer un **concept de neutralité carbone** en intégrant les émissions issues de la **construction** ainsi qu'à **l'exploitation**, selon la norme SIA 390/1: 2025 et les articles 117 et 118 de la LCI.