



AMSTEIN + WALTHERT

## DALE / Office de l'urbanisme PLQ Cherpines/Rolliet



REPUBLIQUE  
ET CANTON  
DE GENEVE

Concept énergétique territorial



Version 4 / 6 décembre 2016

CET n°2017-07  
OFFICE CANTONAL  
DE L'ENERGIE  
Rue du Puits-Saint-Pierre 4  
Case postale 3920  
1211 Genève 3  
10 avril 2017





## Impressum

**Donneur d'ordre**

Mme Séverine Pastor  
Office de l'urbanisme  
Rue David-Dufour 5  
Case postale 224 - 1211 Genève 8  
Tél. 022 546 73 63  
E-mail : severine.pastor@etat.ge.ch

**Mandataire**

AMSTEIN + WALTHERT SA  
Rue du Grand-Pré 54  
CH-1202 Genève  
Tél. +41 22 749 83 80  
[www.amstein-walthert.ch](http://www.amstein-walthert.ch)

**Rédaction**

M. Gilles Desthieux

**Distribution**

Mme Séverine Pastor

DALE/OU

M. Fabrice Guignet

DALE/OCEN

M. Marcos Weil

Urbaplan

**Versions**

Version 4

**Intitulé**

R160405DEST\_CET\_PLQ\_Roillet\_vFinale

# Sommaire

<b>Validation et suivi des mises à jour</b> .....	<b>5</b>
<b>Glossaire</b> .....	<b>6</b>
<b>Résumé</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Objectifs et positionnement de l'étude</b> .....	<b>10</b>
<b>2 Contenu du Concept Energétique Territorial (CET)</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Cadres légaux et politiques</b> .....	<b>11</b>
3.1 Niveau fédéral.....	11
3.2 Niveau cantonal.....	12
<b>4 Périmètres de l'étude</b> .....	<b>13</b>
4.1 Périmètre élargi .....	13
4.2 Périmètre d'entrée (étude).....	14
<b>5 Etat des lieux</b> .....	<b>15</b>
5.1 Concepts énergétiques préexistants aux échelons supérieurs et infrastructures énergétiques prévues.....	15
5.2 Contraintes environnementales.....	19
5.3 Aménagement du territoire : projet de PLQ.....	23
5.4 Acteurs.....	24
5.5 Évaluation des besoins énergétiques.....	25
<b>6 Ressources énergétiques locales disponibles</b> .....	<b>28</b>
6.1 Energie solaire.....	28
6.2 Energie géothermique avec des sondes verticales.....	30
6.3 Air .....	31
6.4 Energie de la biomasse .....	32
6.5 Rejets thermiques.....	32
6.6 Synthèse des sources d'approvisionnement renouvelables localement pertinentes.....	34
<b>7 Scénarii d'approvisionnement</b> .....	<b>35</b>
7.1 Hypothèses relatives aux scénarii.....	35
7.2 Scénario de base : CAD-Cherpines .....	35
7.3 Scénarii alternatifs au CAD-Cherpines.....	37
<b>8 Synthèse comparative des scénarii</b> .....	<b>45</b>
8.1 Comparaison quantitative des scénarii : bilan environnemental .....	45
8.2 Comparaison qualitative des scénarii.....	46
<b>9 Infrastructures, équipements, phasage et mesures transitoires</b> .....	<b>48</b>
<b>10 Conclusion et recommandations</b> .....	<b>50</b>
<b>Références</b> .....	<b>51</b>

## Validation et suivi des mises à jour

Version	Date	Identifiant et Visa			Descriptif succinct des mises à jour
		Auteur	Relecteur	Direction	
1	25.04.16	GD	LOPZ		Version PROVISoire
2.1	10.05.16	GD	LOPZ		Version modifiée selon remarques de l'OCEN et séance DIRPRO, le 28.04.16
3	19.05.16	GD	LOPZ	MAUC	Version finale modifiées selon remarques de l'OCEN sur version 2.1
4	06.12.16	GD	LOPZ	MAUC	Version finale modifiée concernant l'utilisation du bois et les contraintes liées à la qualité de l'air suite à la réalisation du projet, selon le RIE. Pages concernées : 9, 21-22, 48-50

## Glossaire

- CAD** : Réseau de chaleur à distance
- CCF** : Couplage chaleur-force
- CET** : concept énergétique territorial
- CGE** : Conception générale de l'énergie
- COP** : Coefficient de performance d'une pompe à chaleur
- DD** : Demande définitive
- DR** : Demande de renseignement
- ECS** : Eau chaude sanitaire
- GESDEC** : Service de géologie, des sols et des déchets
- HPE** : haute performance énergétique
- IUS** : Indice d'utilisation du sol
- L 2 30 (Len)** : Loi cantonal sur l'énergie
- NO<sub>2</sub>** : Dioxyde d'azote
- OCEN** : Office cantonal de l'énergie
- OPair** : Ordonnance fédérale sur la protection de l'air
- PAC** : Pompe à chaleur
- PDCant** : Plan directeur cantonal
- PDCom** : Plan directeur communal
- PDQ** : Plan directeur de quartier
- PLQ** : Plan localisé de quartier
- PM 10** : Particules fines
- REn** : Règlement d'application de la loi sur l'énergie
- SIA** : Société suisse des ingénieurs et architectes
- SIG** : Services industriels genevois
- SBP** : Surface brute de plancher
- SRE** : Surface de référence énergétique
- THPE** : Très haute performance énergétique

## Résumé

L'objet de cette étude est la réalisation d'un concept énergétique territorial (CET) pour le projet de PLQ Rolliet aux Cherpines. Un tel concept vise à identifier les stratégies d'approvisionnement énergétique pertinentes et conformes aux objectifs de la politique cantonale pour le complexe de bâtiments appelé à être construit sur ce périmètre. Ce CET intervient en amont de la définition même des caractéristiques et des performances énergétiques précises du futur complexe. Il doit donc être considéré avant tout comme une étape de cadrage permettant :

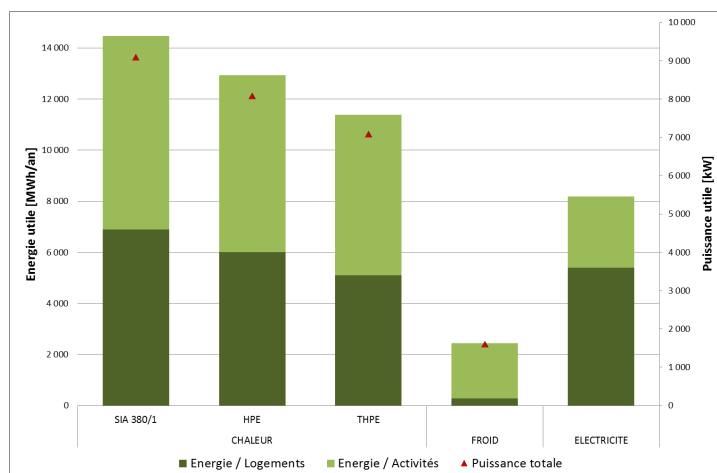
- d'identifier les principaux enjeux liés à l'approvisionnement énergétique des futurs bâtiments ;
- d'identifier les filières d'approvisionnement pertinentes et anticiper les actions à entreprendre pour ne pas compromettre la valorisation future.

## Contexte du PLQ et besoins énergétiques

Le PLQ Rolliet porte sur la première phase de construction des Cherpines. Il prévoit la construction de trois pièces, deux à dominante d'habitations (Ea et Eb), et une pièce dédiée à un complexe culturel et sportif (D), pour une SBP totale d'environ 166'000 m<sup>2</sup> (infrastructures sportives incluses).

Le présent CET s'inscrit à la suite de précédentes études énergétiques réalisées dans le cadre du PDQ-Grand Projet Cherpines et plus récemment lors du mandat de maîtrise d'œuvre urbaine. Les recommandations s'orientent vers le développement d'un réseau CAD sur les Cherpines valorisant les rejets de la ZIPLO (principe d'écologie industrielle) et favorisant une utilisation rationnelle de l'énergie. Elles visent également à répondre à la forte ambition des partenaires du Grand Projet des Cherpines, notamment des deux communes hôtes des Cherpines (Plan-les-Ouates et Confignon) de développer un quartier durable exemplaire en matière d'énergie. Afin de matérialiser le développement de ce réseau CAD, un appel à candidature a été organisé par les partenaires du projet des Cherpines afin d'évaluer l'intérêt de fournisseurs d'énergie à mettre en œuvre le concept énergétique territorial défini dans le cadre du PDQ. En raison notamment de l'horizon de réalisation du GP, l'appel à candidature n'a pas abouti. Le COPIL du Grand Projet a alors invité les SIG, en tant que fournisseur principal d'énergie à Genève, à faire une proposition de développement du réseau CAD. C'est dans ce cadre que le bureau Amstein+Walthert a été sollicité en parallèle du présent CET pour réaliser une étude d'opportunité du réseau.

Les puissances et énergies requises pour le PLQ Rolliet, incluant tout le complexe sportif et culturel (pièce D), sont les suivantes selon les trois niveaux de performance (SIA 380/1, HPE et THPE) :



## Scenarii d'approvisionnement et évaluation

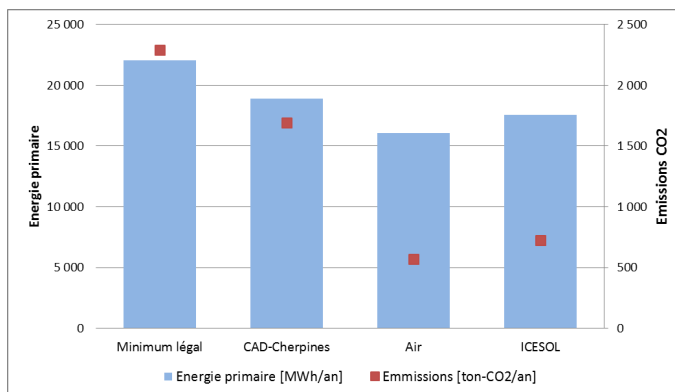
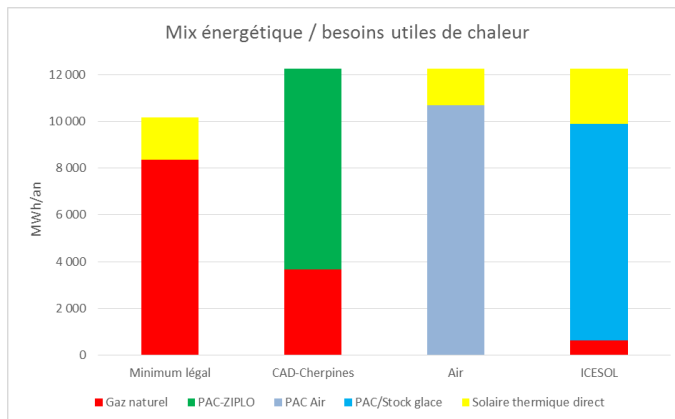
Concernant l'approvisionnement du quartier, le développement d'un réseau CAD de quartier valorisant les rejets de la ZIPLO est donc le système d'approvisionnement privilégié. Cela implique la construction d'une chaufferie centralisée de quartier (mix entre gaz et PAC sur rejets de la ZIPLO), qui permet de satisfaire la totalité des besoins de chaleur et de déroger en principe à l'obligation de cou-

vrir min. 30% des besoins d'ECS par du renouvelable (solaire thermique), les rejets étant normalement abondants en été. Il est recommandé alors la création de centrales solaires PV sur la totalité des toitures disponibles (potentiel de 3.8 MW<sub>c</sub>).

Au cas où ce réseau CAD ne se réalisait pas, trois alternatives ont été proposées et étudiées à savoir.

1. **Minimum légal** : chaudières au gaz, couverture de 40% des besoins d'ECS par des panneaux solaires thermiques et enveloppe performante (60% Q<sub>h,li</sub>) pour respecter le maximum de 60% non renouvelable de la demande admissible de chaleur au sens de la loi sur l'énergie.
2. **Air** : PAC air/eau par bâtiment pour satisfaire les besoins de chauffage et 70% des besoins d'ECS, ainsi que des panneaux solaires thermiques pour couvrir 30% d'ECS (50% pour le centre sportif).
3. **Glace solaire (concept ICESOL®)** : capteurs thermiques non vitrés sélectifs alimentant des PAC par bâtiment et un stockage centralisé à changement de phase par pièce urbaine, distribution et mutualisation via une boucle d'échange de quartier, appoint avec gaz.

Les deux graphes ci-dessous résument la comparaison quantitative des scenarii en fonction du mix énergétique pour les besoins utiles de chaleur, de l'énergie primaire totale et des émissions de CO<sub>2</sub>.



La comparaison des scenarii montre que le scénario « Minimum légal » est à écarter étant donné notamment ses mauvaises performances environnementales, et la très forte contrainte sur l'enveloppe des bâtiments pour satisfaire le minimum légal HPE.

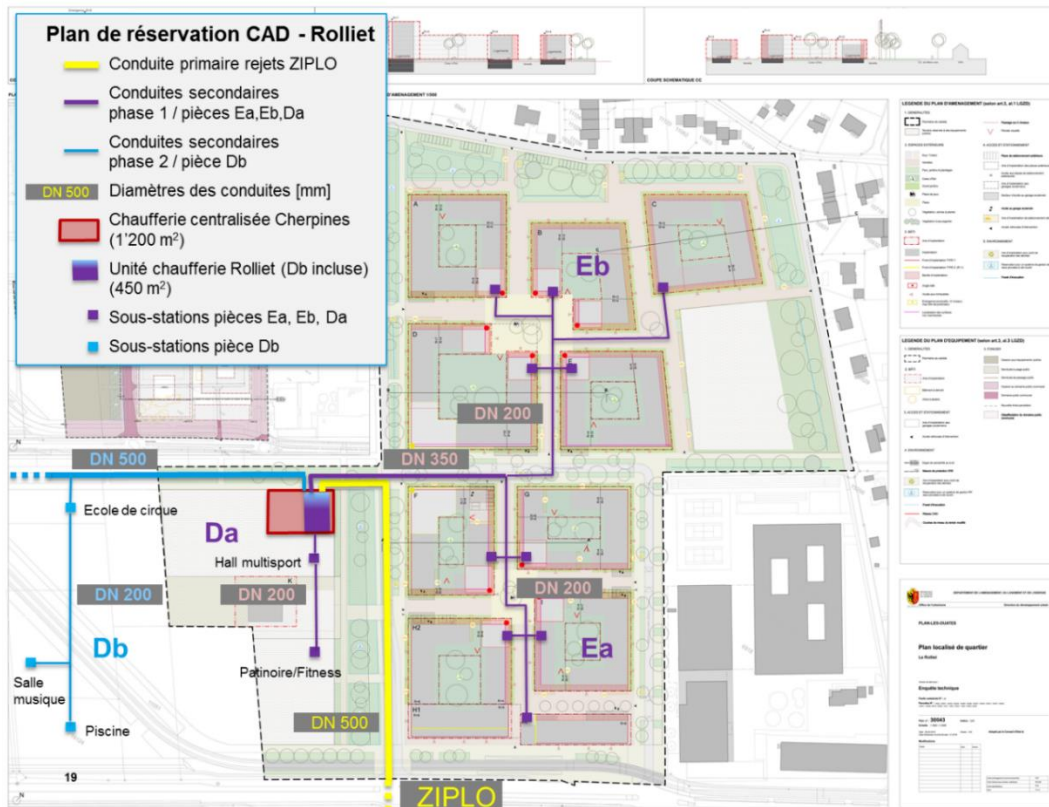
Le scénario « CAD-Cherpines » offre des performances environnementales moyennes du fait de la part significative de gaz dans le CAD au niveau de l'énergie délivrée par la chaufferie centralisée des Cherpines (à priori 30% gaz – 70% PAC sur rejets). Cette répartition entre gaz et PAC sur rejets ZIPL0 devra encore être précisée, modifiant le cas échéant les performances environnementales. Ces dernières seraient en effet nettement meilleures et similaires aux scenarii alternatifs si les PAC pouvaient alimenter la totalité des besoins (énergie primaire 14'600 MWh/an, émissions CO<sub>2</sub> 660 t/an). Des ressources énergétiques complémentaires aux rejets de la ZIPL0 pourraient être envisagées pour augmenter la part des PAC : stockage/déphasage thermique saisonnier des rejets de la ZIPL0



dans des sondes géothermiques basse profondeur (terrains de sport et une partie du périmètre du Rolliet) et valorisation de la chaleur des eaux usées.

### Réervations spatiales

Le scénario de base « CAD-Cherpines » étant privilégié, nous donnons ci-dessous une indication des réserves spatiales à prévoir pour la chaudière centralisée et le passage du CAD à travers le quartier. Sur recommandation de la Direction du projet, la chaufferie centralisée alimentant le futur CAD-Cherpines est située au niveau de la pièce Da.



### Recommandations et perspectives

L'intérêt du « CAD-Cherpines » basé sur la valorisation des rejets de la ZIPLO se confirme pour le périmètre des Rolliet. Il permet le mieux de rationaliser la distribution de l'énergie sur un quartier très vaste et s'inscrit dans une perspective innovante d'écologie industrielle.

Afin de mettre œuvre ce réseau, il s'agira de consolider l'engagement de tous les acteurs (fournisseurs de rejets sur la ZIPLO, contracteur et exploitant énergétique, promoteurs immobiliers, communes concernées, Etat), en particulier les SIG suite à leur sollicitation par le COPIL. Cependant, ce partenariat public-privé autour du projet du CAD-Cherpines basé sur les rejets de la ZIPLO n'est pas encore totalement abouti, ce qui rend le projet encore incertain par rapport à sa réalisation et son échéance.

Ainsi, en cas de retard du projet par rapport au développement du Rolliet, les unités de chaudière gaz, dimensionnées selon les besoins totaux de puissance, permettraient de constituer une mesure transitoire d'approvisionnement. Mais si le projet de réseau CAD devenait trop incertain, il conviendrait d'envisager d'autres solutions impliquant des systèmes décentralisés à travers les PAC air-eau ou bien solaire + ICESOL. Une autre alternative consisterait à maintenir le CAD-Cherpines, mais orienté vers une chaufferie de quartier en partie alimentée par du bois avec des unités de cogénération (assurant un ruban thermique et électrique) et équipée de filtres pour limiter les émissions de NO<sub>x</sub> et PM10.

## 1 Objectifs et positionnement de l'étude

L'objet de cette étude est la réalisation d'un concept énergétique territorial (CET) pour le projet de PLQ Rolliet situé dans le secteur du Grand Projet Les Cherpines. Un tel concept vise à identifier les stratégies d'approvisionnement énergétique pertinentes et conformes aux objectifs de la politique cantonale (objectifs rappelés à la section 2), pour le complexe de bâtiments appelés à être construits sur ce périmètre. Ce CET intervient en amont de la définition même des caractéristiques et des performances énergétiques précises du futur complexe. Il doit donc être considéré avant tout comme une étape de cadrage permettant :

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

## 2 Contenu du Concept Energétique Territorial (CET)

Depuis l'entrée en vigueur, en août 2010, de la nouvelle loi cantonale sur l'énergie (L2 30), les PLQ doivent comporter un concept énergétique (L2 30, article 11, alinéa 2). Tel que défini dans la L2 30, le CET est « *une approche élaborée à l'échelle du territoire ou à celle de l'un de ses découpages qui vise à :*

- a) Organiser les interactions en rapport avec l'environnement entre les acteurs d'un même territoire ou d'un même découpage de ce dernier, notamment entre les acteurs institutionnels, professionnels et économiques;*
- b) Diminuer les besoins en énergie, notamment par la construction de bâtiments répondant à un standard de haute performance énergétique et par la mise en place de technologies efficaces pour la transformation de l'énergie;*
- c) Développer des infrastructures et des équipements efficaces pour la production et la distribution de l'énergie;*
- d) Utiliser le potentiel énergétique local renouvelable et les rejets thermiques. » (L2 30, art 6)*

Conformément au règlement d'application de la loi cantonale sur l'énergie (L2 30.01) et à la directive relative au concept énergétique territorial, le CET se compose des éléments suivants :

1. Délimitation des périmètres de l'étude (périmètre restreint comprenant le PLQ et périmètre élargi comprenant la zone d'intérêt et/ou d'influence autour du périmètre restreint),
2. Etat des lieux de la qualité de l'air,
3. Evaluation qualitative et quantitative (énergie et puissance) de la demande en énergie actuelle et future (REn L 2 30.01 Art. 12A, al. 3 point b),
4. Détermination des infrastructures existantes et projetées (REn L 2 30.01 Art. 12A, al. 3 point d),
5. Evaluation qualitative et quantitative (énergie et puissance) de l'offre en énergies renouvelables et locales (REn L 2 30.01 Art. 12A, al. 3 point a),
6. Analyse des principaux acteurs présents dans le périmètre (REn L 2 30.01 Art. 12A, al. 3 points a et c),
7. Proposition de stratégies d'approvisionnement énergétique visant la valorisation des énergies renouvelables et/ou locales ainsi que des infrastructures existantes (REn L 2 30.01 Art. 12A, al. 3 points e et f),
8. Mise en évidence des mesures, infrastructures et équipements à préciser pour les niveaux de planification inférieurs (REn L 2 30.01 Art. 12A, al. 3 point g).

### 3 Cadres légaux et politiques

Ce chapitre récapitule les orientations et les objectifs quantifiés fixés par les autorités publiques à travers les lois et les programmes d'actions de politique énergétique, et auxquels devra se conformer le présent CET.

#### 3.1 Niveau fédéral

La politique énergétique fédérale se fonde sur les articles 89 à 91 de la Constitution, sur les engagements internationaux pris par la Suisse dans le cadre du Protocole de Kyoto<sup>1</sup>, ainsi que sur les lois sur l'énergie, sur l'approvisionnement en électricité et sur le CO<sub>2</sub>. Elle s'inscrit en outre dans la vision à long terme que représente la "Société 2000 Watt", qui correspond à une division par 3 à 4 de nos consommations actuelles.

Suite à la décision d'abandon progressif de l'énergie nucléaire prise en 2011 par le Conseil Fédéral et le Parlement, des études ont été menées pour évaluer la faisabilité de cette stratégie. Rendues au printemps 2012, ces études ont confirmé que la sortie progressive du nucléaire était réalisable avec des conséquences économiques limitées<sup>2</sup>. Elles ont également permis de préciser les objectifs quantitatifs et qualitatifs pour la politique énergétique. Ainsi, selon le scénario "Nouvelle politique énergétique" pour l'horizon 2050 :

- la consommation globale d'énergie et la consommation d'électricité doivent baisser respectivement de 70 TWh et de 21 TWh par rapport à la tendance actuelle ;
- la production d'électricité à partir de sources d'énergies renouvelables doit s'accroître d'un tiers, et compenser la réduction progressive de production issue du nucléaire ;
- afin de garantir, notamment en hiver, la sécurité de l'approvisionnement de la Suisse, la construction d'installations de couplage chaleur-force (CCF) et de centrales à gaz à cycle combiné est nécessaire ;
- les objectifs climatiques actuels sont maintenus.

Afin d'avancer vers la réalisation de ces objectifs, un premier paquet de mesures pour la stratégie énergétique 2050 a été proposé en avril 2012. Celui-ci se compose de différents volets :

- Efficacité énergétique
- Energies renouvelables
- Taxes énergétiques
- Centrales à combustibles fossiles
- Installations pilotes et de démonstration et projets phares
- Fonction de modèle de la confédération
- Programme Suisse Energie

Le contenu de ces volets est présenté de manière détaillée dans le communiqué de presse « Message relatif au premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 » publié en septembre 2013 par le Conseil Fédéral [1].

---

<sup>1</sup> Dans la cadre de ce protocole, la Suisse s'est engagée à réduire de 8% ses émissions de gaz à effet de serre entre 1990 et 2012.

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

## 3.2 Niveau cantonal

Axée sur l'objectif de la "Société à 2000 Watt sans nucléaire", la politique énergétique du Canton de Genève est basée sur les articles 167 à 170 de la Constitution cantonale ainsi que sur la loi sur l'énergie et son règlement. Dans le cadre de la dernière révision de cette loi, diverses dispositions ont été adoptées qui doivent être prises en compte pour la présente étude. On relèvera notamment :

- L'obligation de réaliser des concepts énergétiques territoriaux pour tout projet d'aménagement ainsi que sur tout périmètre désigné comme pertinent par l'autorité compétente (Art. 11 L 2 30),
- L'accroissement des exigences relatives à toute nouvelle construction ou rénovation (Art.15),
- L'accroissement des exigences concernant les performances énergétiques des bâtiments et installations des collectivités publiques (Art.16).

Si la loi fixe le cadre dans lequel la politique énergétique cantonale doit s'inscrire, c'est à travers la Conception Générale de l'Energie (CGE) – dont la dernière a été adoptée à l'unanimité du Grand Conseil début 2008 – qu'est définie une stratégie de politique publique. Cette dernière trouve ensuite sa concrétisation dans le Plan Directeur Cantonal de l'Energie, programme d'actions opérationnel, qui fixe les étapes et les moyens nécessaires, ainsi que les partenaires concernés par la mise en œuvre des objectifs de la Conception Générale.

Dans ce Plan Directeur qui, à l'instar de la CGE, est révisé lors de chaque législature, la priorité est donnée aux actions permettant de maîtriser et de réduire la consommation d'énergie pour tous les usages. Il s'agit également de repenser les filières d'approvisionnement de notre système énergétique afin de les rendre plus efficaces, et d'intégrer des énergies renouvelables au fur et à mesure de leur développement.

Le Plan Directeur Cantonal de l'Energie mettait notamment l'accent sur la planification énergétique territoriale, qui prend systématiquement en compte l'énergie dans les projets d'aménagement du territoire et qui planifie le déploiement des infrastructures énergétiques et des réseaux à l'échelle des villes et des quartiers. Cet aspect était également central dans la révision de la Loi sur l'énergie votée en 2010.

La CGE et le Plan Directeur de l'Energie ont fait ensuite l'objet d'une évaluation en vue d'adaptations visant à poursuivre les avancées vers la Société à 2000 Watt sans nucléaire.

Le projet de CGE 2013 a été publié par le Conseil d'Etat le 8 mai 2013 à l'intention du Grand Conseil en vue d'une résolution approuvant cette conception [2]. La nouvelle CGE se cale sur la Stratégie Énergétique Fédérale 2050 et propose les jalons suivants en matière de consommation d'énergie finale, par rapport au niveau de l'an 2000 :

- Réduire la consommation énergétique annuelle moyenne par personne de 15% d'ici 2020 et de 35% d'ici 2035;
- Réduire la consommation d'énergie thermique (combustibles et chaleur) par personne de 18% d'ici 2020 et de 37% d'ici 2035;
- Réduire la consommation d'électricité par personne de 2% d'ici 2020 et de 9% d'ici 2035.

Par ailleurs, le Conseil d'Etat souhaite que le canton contribue de manière substantielle au développement des énergies renouvelables. Cela concerne notamment :

- La production photovoltaïque qui devra doubler tous les 5 ans pour atteindre une production annuelle de 45 GWh en 2020 et de 380 GWh en 2035, ce qui correspondrait à 12% de la consommation actuelle d'électricité ;
- Les eaux de surface, dont la valorisation énergétique peut être multipliée par 10 et passer de 20 GWh aujourd'hui à quelques centaines de GWh par an;
- Le solaire thermique, qui couvre actuellement 0,2% de la consommation du canton et qui est susceptible d'être également multiplié par 10 d'ici 2035 en installant de 5'000 à 10'000 m<sup>2</sup> de capteurs thermiques par an;
- La géothermie de faible profondeur, exploitée par des sondes ou des champs de sondes, qui pourrait théoriquement couvrir 20% de la demande actuelle en énergie de chauffage du canton.

## 4 Périmètres de l'étude

La définition du périmètre de l'étude, en d'autres termes la délimitation spatiale de l'étude, est importante. En effet, si le PLQ, pour lequel le concept est établi, représente clairement le périmètre restreint, ou périmètre *d'entrée* pour la démarche (selon la Directive relative au concept énergétique territorial), il ne faut pas perdre de vue qu'il y aura des interactions entre ce périmètre restreint et son voisinage. En effet, non seulement les activités du PLQ pourront influencer des bâtiments situés à l'extérieur du PLQ, mais en plus les énergies consommées dans le PLQ ne se trouveront pas nécessairement toutes directement dans la zone du PLQ. Par exemple, en cas de forts rejets thermiques à l'intérieur du PLQ, on pourra souhaiter trouver des acteurs pouvant valoriser ces rejets à l'extérieur du PLQ. D'autre part, les besoins en électricité ne pourront, en général, pas être entièrement satisfaits par les seuls panneaux photovoltaïques qui seraient posés sur les toits des bâtiments situés dans le PLQ. La Directive relative au concept énergétique territorial propose donc de définir le PLQ comme périmètre d'entrée de la démarche, et de définir un second périmètre, communément appelé périmètre *élargi*, qui délimite une zone d'influence du périmètre restreint.

### 4.1 Périmètre élargi

Selon l'article 12A du Règlement d'application de la loi sur l'énergie (REn), il faut que les ressources et les acteurs qui peuvent influencer le périmètre restreint, ou qui sont influencés par le périmètre restreint, soient traités chacun à une échelle spatiale pertinente, et décrits avec un degré de précision tenant compte du niveau de planification. Il n'existe donc pas un seul mais de multiples périmètres pertinents, de taille variable selon les éléments considérés. Les différentes planifications qui sont menées à l'échelle du périmètre élargi peuvent influencer plus ou moins directement le périmètre d'entrée, ceci, sous différents aspects : mutualisation des ressources énergétiques, axes de mobilité, paysage, urbanisme, etc.

Comme le projet de PLQ Rolliet s'inscrit dans le cadre du grand projet des Cherpines, ce dernier constitue par défaut le périmètre élargi immédiat de l'étude et est présenté dans la figure ci-dessous avec les différents phasages du développement du Grand Projet [4]. Selon ce phasage, la pièce D du complexe sportif-culturel se réalisera en deux phases (la halle multisport et le complexe de patinoire dans un premier temps, le complexe culturel avec la piscine couverte dans un second temps). A tenir compte également dans le périmètre élargi la ZIPLO, dont, comme on le verra, les rejets constituent une source d'énergie prioritaire pour le PLQ Rolliet.



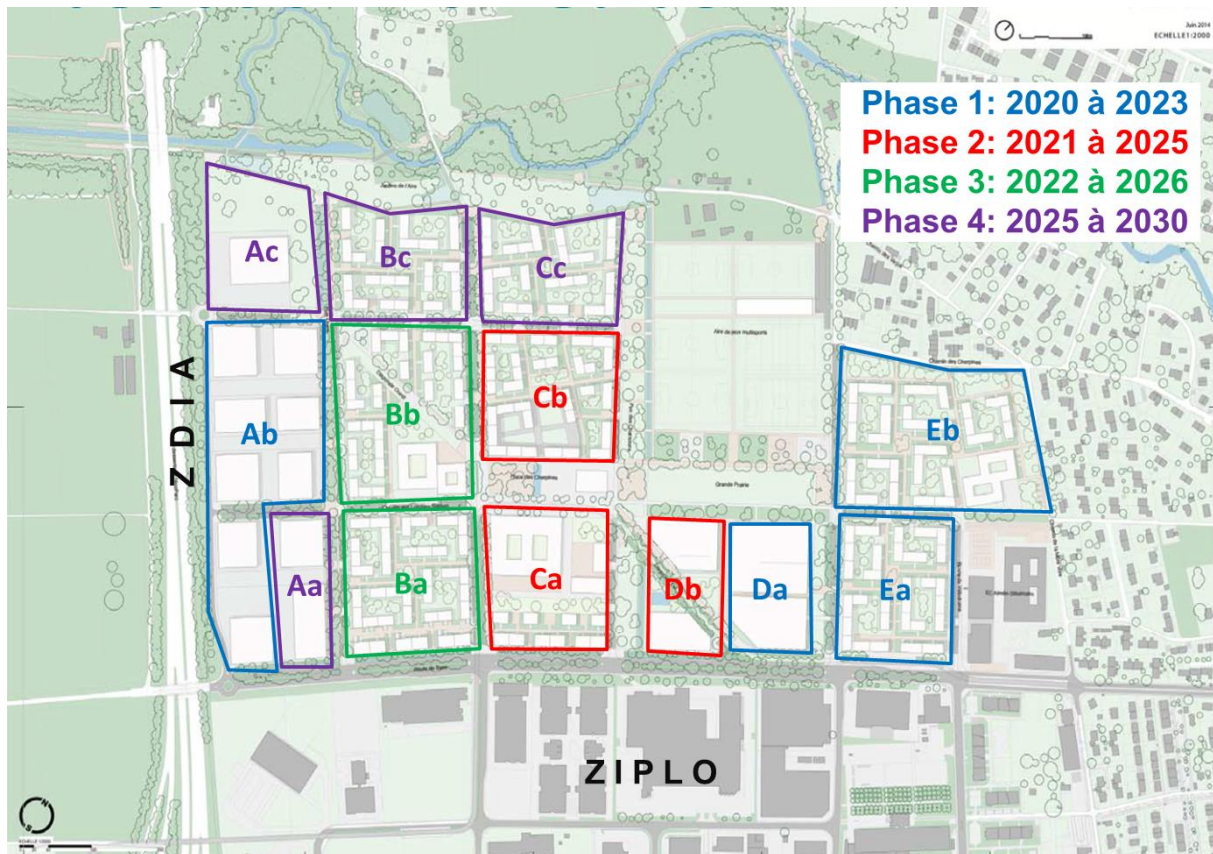


Figure 1 : Périmètre d'étude élargi constitué par le secteur du Grand Projet des Cherpines (sur fond du Plan guide [3]) et la ZIPLO dans le voisinage proche, avec les différentes pièces urbaines et une estimation des phasages.

## 4.2 Périmètre d'entrée (étude)

Le périmètre *d'entrée* correspond à celui du PLQ Rolliet, tel qu'il est présenté sur la Figure 2. Ce périmètre regroupe 3 pièces urbaines – Ea, Eb et D – d'une surface totale au sol de 148'772 m<sup>2</sup> (surface déterminante pour le calcul de l'IUS). Les parcelles correspondantes sont réparties en 8 propriétaires différents, aussi bien publics que privés (cf. section 5.4).

A terme, le but est de construire, sur les Ea et Eb des logements, locaux de commerces et bureaux, locaux associatifs et culturels, un EMS, un hôtel et un groupe scolaire, et sur la pièce D, un complexe sportif et culturel. A noter que le PLQ concerne uniquement la partie Da de la pièce D (cf. Figure 2 ci-dessus). Cependant, comme on le verra plus loin, il convient, du point de vue énergétique, de considérer le complexe sportif et culturel dans son ensemble, notamment au niveau des synergies possibles entre la patinoire (Da) et la piscine (Db).

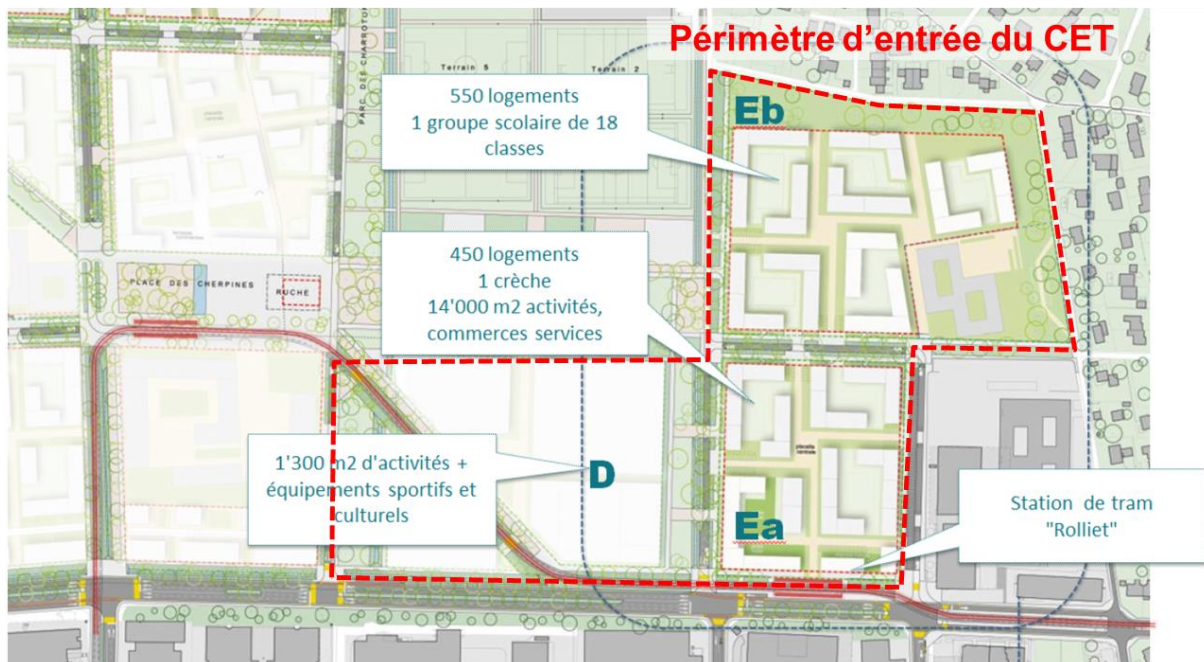


Figure 2 : Périmètre d'entrée de l'étude (périmètre du futur PLQ), extrait du Plan guide Les Cherpines [3]

## 5 Etat des lieux

L'état des lieux permet de mettre en évidence et de quantifier les différents paramètres dont il convient de tenir compte lors de l'élaboration d'un concept énergétique. Ces paramètres concernent :

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

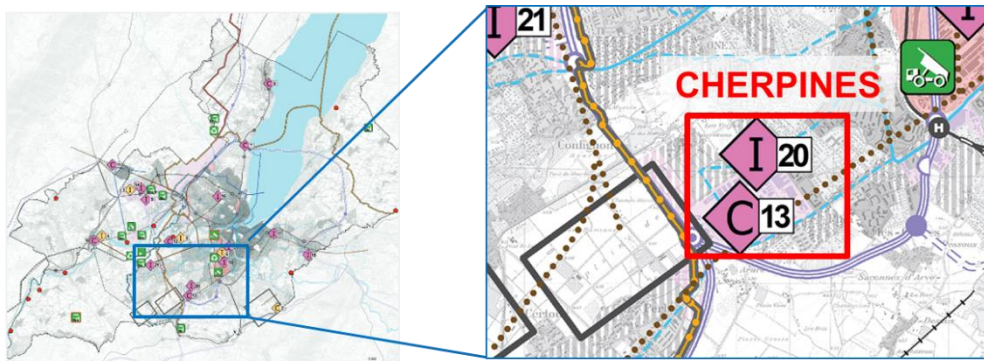
### 5.1 Concepts énergétiques préexistants aux échelons supérieurs et infrastructures énergétiques prévues

Le territoire des Cherpines se situe à un carrefour stratégique pour le Canton non seulement pour le développement territorial mais aussi sur un plan énergétique. Ce territoire constitue notamment l'un des secteurs pilote pour le stockage thermique saisonnier. En conséquence, un nombre important d'études énergétiques préexistantes a été réalisé aux échelons supérieurs. Il convient dans ce chapitre d'en présenter les principales conclusions qui vont grandement déterminer les orientations énergétiques à prendre pour le PLQ Rolliet.

#### 5.1.1 Plan directeur cantonal / volet énergie (carte D02/n°11) (2013)

La carte annexe n°11 du Plan directeur cantonal 2015 – 2030 représente les principaux axes stratégiques en matière de développement des infrastructures énergétiques sur le canton.

La principale infrastructure énergétique en cours de développement passant à proximité du périmètre du PLQ (au sud) est le CAD ZIPLO alimenté par les rejets (issus de process froid) de la zone industrielle (C13). Des réflexions sont aussi en cours concernant le stockage saisonnier de ces rejets, notamment dans les secteurs où il est possible de mettre des sondes (I20). A noter aussi à proximité à l'ouest des Cherpines, la ZAS (zone agricole spéciale) sur Confignon, nécessitant aussi un approvisionnement énergétique particulier (réseau nord-sud alimenté par les rejets de la STEP d'Aire).



#### Infrastructures énergétiques à proximité:

- I20 Stockage saisonnier des Cherpines
- C13 Valorisation de rejets thermiques sur le site de la ZIPLO

Figure 3 : carte n°11 du plan directeur cantonal (coordination aménagement du territoire et politique énergétique cantonale) et agrandissement sur le secteur d'étude (carré rouge localisant le périmètre des Cherpines) [5]

#### 5.1.2 Concept énergétique territorial CET 2011-39 [6]

Le CET 2011-39, élaboré par le groupement FHY dans le cadre du PDQ-Cherpines, constitue le point de départ aux différentes réflexions énergétiques qui ont suivi.

Les principales orientations proposées par ce CET de 2011 sont les suivantes :

- Tendre vers un quartier ayant des besoins de chauffage réduits, notamment par l'application du standard THPE ou Minergie-P;
- Utiliser des rejets de chaleur industrielle issus de la ZIPLO pour couvrir les besoins de chaleur (principalement pour la ZD3 qui concerne les habitations des Cherpines) ;
- Recourir à la géothermie pour la ZDIA pour la récupération d'éventuels excédents de chaleur en été et installer un champ de sondes au niveau des terrains de sport entre les pièces urbaines C et E ; dans tous ces secteurs admissibles pour la géothermie, des sondes à basses profondeurs doivent être prévues à environ 45 m, étant donné les restrictions dues à la proximité de la Nappe du Genevois.
- Installer des panneaux solaires photovoltaïques, étant donné l'importante chaleur fatale en été sur la ZIPLO. En effet, le solaire thermique constitue une offre thermique qui ferait doublon à la mi-saison et en été, période où les rejets thermiques sont les moins utilisés puisque la demande est réduite.
- Prévoir une production combinée chaleur et froid au niveau du complexe sportif, impliquant un développement simultané de la patinoire et de la piscine.



La figure suivante synthétise cette vision directrice à terme une fois toutes les phases réalisées :



Figure 4 : synthèse de la stratégie énergétique pour les Cherpines selon le CET 2011-39 [6]

### 5.1.3 Infrastructures énergétiques prévues

Ces infrastructures sont décrites dans le Cahier 4 (MOEU) abordé à la section suivante. Nous en faisons ici la synthèse.



Différents **réseaux CAD** devraient se développer dans le secteur des Cherpines selon des horizons temporels plus ou moins définis :

- Extension de CADIOM vers les Palettes passant à proximité des Cherpines selon l'une des variantes de tracé : cependant ce réseau ne sera pas disponible pour les Cherpines, la puissance étant réservée justement pour les Palettes ;
- CAD-ZIPLO « petit projet » : il s'agit du réseau interne à la ZIPLO mutualisant les rejets thermiques ;
- CAD-ZIPLO « grand projet » : extension du petit réseau vers d'autres bâtiments d'activités et à terme vers les Cherpines via le réseau des rejets à basse température.



### Légende

CAD Ziplo

-  grand projet
-  petit projet

**Figure 5 : tracé de principe du CAD ZIPLO, source : Energy 8 repris à partir de [7]**

Concernant le réseau d'eaux usées, comme le relève le Cahier 4, le secteur actuel les Cherpines ne possède pas de réseau EU pouvant mettre en œuvre une récupération de chaleur.

Le développement les Cherpines va nécessiter la création d'un réseau permettant de collecter les eaux usées du quartier. Un collecteur principal est en cours d'étude pour récupérer les eaux usées du quartier, mais également celles de la ZIPLO. Son tracé reste hypothétique, mais son diamètre sera vraisemblablement suffisant pour permettre de procéder à une récupération de chaleur. A noter que ce collecteur est un réseau primaire.

#### 5.1.4 Mandat de maîtrise d'œuvre urbaine / Cahier 4 (énergie) [7]

Cette étude réalisée par le bureau EDMS vise à approfondir les orientations et principes du CET 2011-39 sur tout le périmètre du Grand Projet des Cherpines. Après une mise à jour de l'état des lieux sur lequel nous reviendrons plus loin, cette étude propose de considérer 3 variantes d'approvisionnement :

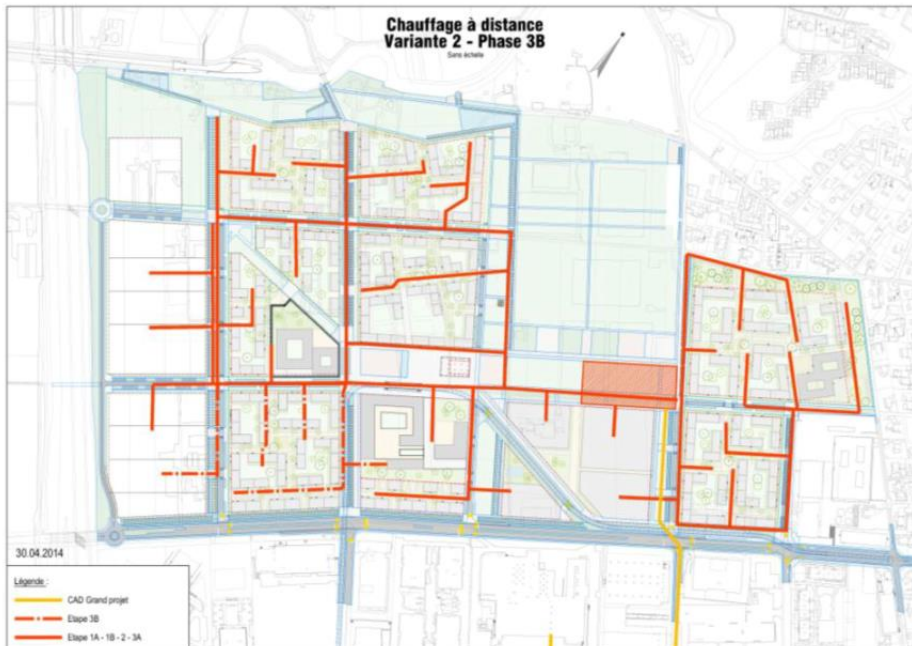
1. Alimentation des Cherpines avec le CAD ZIPLO ;
2. CCF au gaz avec apports partiels possibles par géothermie et récupération de chaleur sur eaux usées (100% chaleur, 50% ECS) et solaire thermique (50% ECS) ;
3. Approvisionnement individuel par bâtiment.

La variante consistant à approvisionner les Cherpines avec le CAD-ZIPLO est privilégiée. L'étude énergétique d'EDMS identifie des axes structurants sous le domaine public pour le déploiement du réseau ainsi qu'un phasage. Il importe ainsi, qu'au moment de la réalisation du PLQ Rolliet ainsi que les premières pièces de la ZDIA, le « grand réseau » CAD-ZIPLO en cours de planification soit réalisé et disponible.

Deux sous-variantes sont considérées :

- 1a : un réseau CAD connecté depuis la chaufferie de la ZIPLO ;
- 1b : un réseau connecté depuis la chaufferie interne à Cherpines.

La figure ci-dessous représente le schéma d'implémentation à terme dans le cas de la sous-variante 1b, le rectangle rouge représentant l'emplacement indicatif de la future centrale thermique de quartier (dimensions estimées : 1'000 m<sup>2</sup> en surface, 6 m en hauteur).



**Figure 6 : schéma d'implémentation du chauffage à distance à terme selon la variante 1b (chaufferie centrale de quartier) [7]**

### 5.1.5 Mandat de maîtrise d'œuvre urbaine / CET 2014-09 [8]

Cette étude constitue un approfondissement du Cahier 4 décrit à la section précédente sur la future ZDIA, qui comprendra non seulement des activités industrielles et artisanales, mais aussi des équipements culturels, lieux de rassemblements, bureaux, etc.. Elle décrit le développement d'un CAD interne (valorisant les rejets thermiques) en plusieurs phases au gré du développement des pièces urbaines. Selon les données à disposition et le manque d'information sur la nature exacte des futures activités, il n'est pas garanti que ce CAD interne suffise à l'approvisionnement de la ZDIA. Ainsi, l'étude conclut sur la nécessité d'envisager une connexion au CAD du quartier d'habitation (ZD3) approvisionné par le CAD ZIPLO.

## 5.2 Contraintes environnementales

### 5.2.1 Qualité de l'air

Le respect de l'Ordonnance sur la Protection de l'Air (OPair) se base principalement sur les immissions de deux polluants déterminants, qui sont le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et les poussières fines (PM10).

- La valeur limite à long terme pour le NO<sub>2</sub> est de 30 µg/m<sup>3</sup>.
- La valeur limite à long terme pour les PM10 est de 20 µg/m<sup>3</sup>.

Le SPAir assure un suivi de la qualité de l'air dans le canton de Genève à partir d'un réseau de capteurs passifs de NO<sub>2</sub> et de stations équipées de moniteurs (stations ROPAG).

## NO<sub>2</sub>

Comme l'indique la figure ci-dessous, les concentrations de NO<sub>2</sub> restent limitées dans la zone étudiée : pour le périmètre restreint comme pour le périmètre élargi, les valeurs se situent en effet en dessous des seuils légaux (30 µg/m<sup>3</sup>) dans la situation actuelle. Théoriquement, il serait donc envisageable de considérer les chaudières à pellets ou à plaquettes, pour autant que les valeurs d'immissions restent inférieure à la norme une fois le projet de PLQ réalisé. Le rapport d'étude d'impact (RIE) [29], p. 63, estime à ce sujet que le projet entraînera une augmentation de 6.9% de NO<sub>x</sub>. Celle-ci est due au trafic supplémentaire généré par les nouvelles constructions et s'inscrit dans le cadre du respect du minimum légal au niveau de l'approvisionnement en énergie (chaudières à gaz + solaire thermique). Ainsi, avec un niveau futur d'environ 25 µg/m<sup>3</sup> contre 23 aujourd'hui, il resterait suffisamment de la marge pour envisager des chaudières au bois du point de vue des NO<sub>x</sub>.

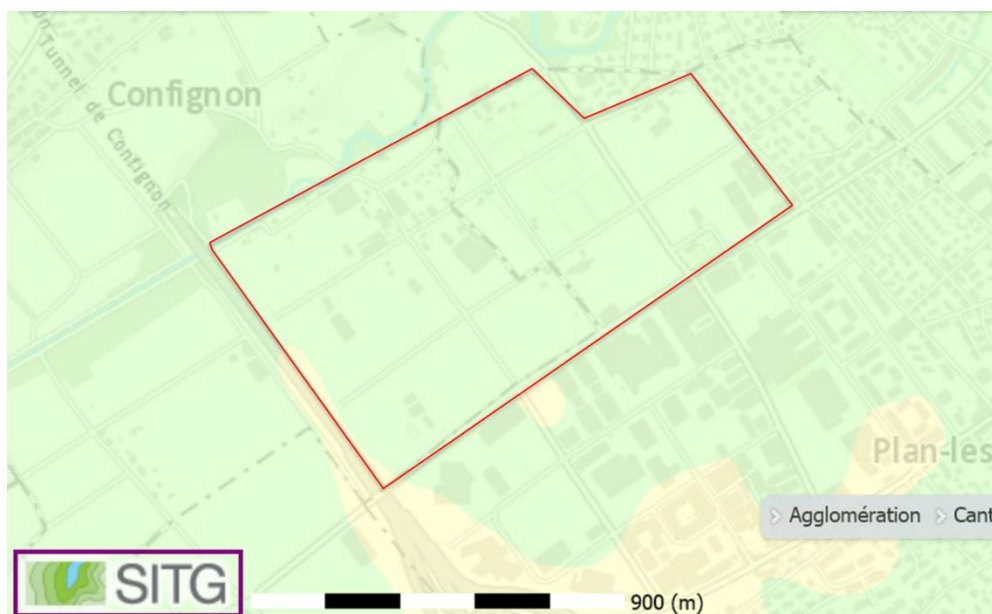


Figure 7 : Qualité de l'air: mesure de NO<sub>2</sub> en µg/m<sup>3</sup> moyenne 2007-2014 (source : SITG)

## PM10

Les données relatives à la concentration de l'air en PM10 sont fournies par les 7 stations de mesures fixes du service de protection de l'air. La Figure 8 présente la localisation de ces stations. Malheureusement, aucune station ne se situe à proximité du périmètre étudié, la plus représentative étant celle de Foron.



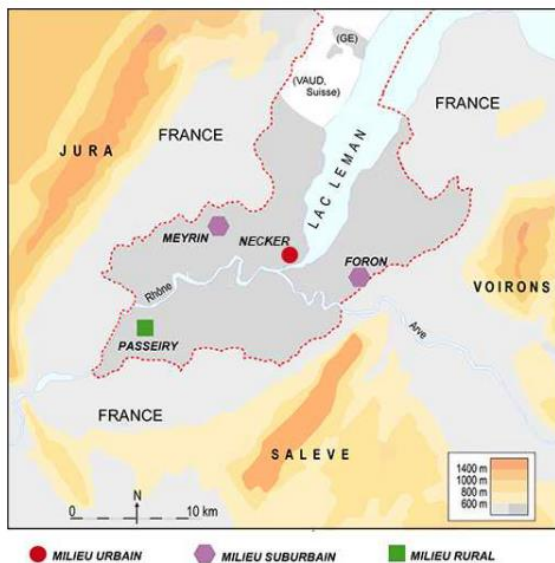


Figure 8 : Localisation des stations de mesure de la qualité de l'air sur le Canton de Genève [12]

Comme le montre la figure qui suit, les valeurs moyennes annuelles de concentration en PM10 tendent à diminuer au fil des années et ne font plus l'objet de dépassements du seuil légal (20 µg/m<sup>3</sup>) en zones suburbaine et rurale auxquelles nous pouvons assimiler le secteur des Cherpines. En revanche, comme relevé par le Rapport d'étude d'impact [29], les valeurs moyennes par 24h sont parfois dépassées (environ 5 jours par année en 2014), même si le nombre de jours avec dépassement tend à diminuer ces dernières années.

Ainsi, si les chaudières à pellets ou à plaquettes sont acceptables au niveau des NO<sub>x</sub>, la situation est plus délicate concernant les PM10 lors des journées avec dépassement des valeurs limites, étant donné qu'une chaudière à bois émet 100 fois plus de particules qu'une chaudière au gaz. Les chaudières au bois peuvent donc être envisagées mais à condition d'être équipées de filtres à particule performants afin de rester conforme avec les dispositifs légaux fédéraux (OPAIR) et cantonaux (RPAIR).

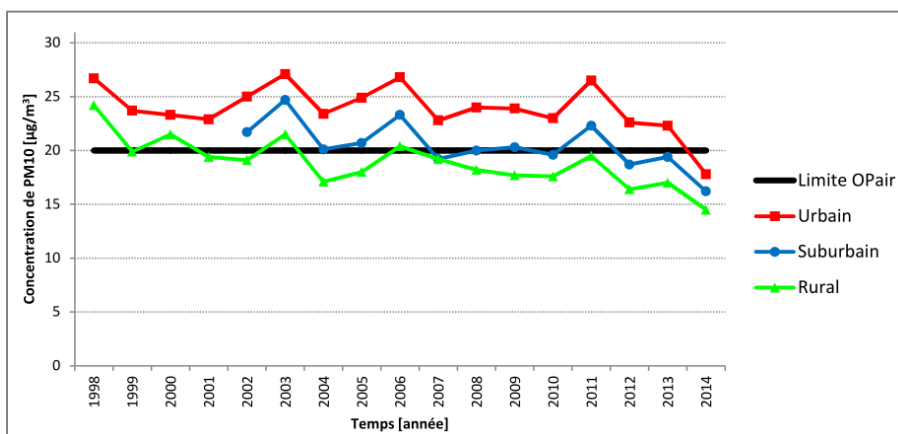


Figure 9 : Evolution des concentrations moyennes annuelles en particules fines (en µg/m<sup>3</sup>) à Genève depuis 1998 [12]



### 5.2.2 Protection des eaux souterraines

Le projet les Cherpines est soumis à une forte contrainte concernant les sous-sols, notamment par la présence de la nappe du Genevois. La carte ci-dessous présente les zones subissant des restrictions pour les forages géothermiques. Il en ressort que sur le périmètre du PLQ Rolliet, seule sur la pièce

Eb des sondes géothermiques pourraient être envisagées. Comme expliqué dans le Cahier 4, le GESDEC préconise une profondeur maximale d'environ 35 m des sondes.



Légende

- AUTORISATION\_SONDE
-  demande nécessaire
  -  sondes interdites >40m

**Figure 10 : zones de protection des eaux souterraines (source : SITG)**

### 5.3 Aménagement du territoire : projet de PLQ

Le périmètre du futur PLQ Rolliet se trouve actuellement classé en zone de développement 3, comme pour le reste du périmètre des Cherpines (hormis le secteur classé en ZDIA).

Comme présenté à la Figure 2, le PLQ Rolliet constituera, avec une partie de la ZDIA, la première phase de développement des Cherpines. Le périmètre du PLQ intègre non seulement les deux pièces urbaines Ea et Eb, mais aussi la pièce D comprenant le complexe sportif et culturel.

Le programme prévu pour le PLQ Rolliet intègre 10% de densification requis dans le cadre de la révision du Plan directeur cantonal de Genève, plus aussi 5% de surfaces dédiées à des locaux associatifs et lieux divers de rassemblement.

Les principes du programme dans les grandes lignes sont les suivants :

- IUS moyen après densification : 1,10
- SBP totale : 169'644 m<sup>2</sup>
- Environ 10 bâtiments sur les pièces Ea et Eb
- Logements : 91% sur Eb, 73% sur Ea, 0% sur D (si ce n'est quelques logements pour des étudiants/artistes)
- Activités : diverses activités sur Ea, un groupe scolaire et une crèche
- Stationnement : taux 0.6/logement.

Le tableau ci-dessous décrit de façon détaillée les SBP par affectation et pièce urbaine. La figure représente le plan provisoire du PLQ pour les pièces Ea et Eb.

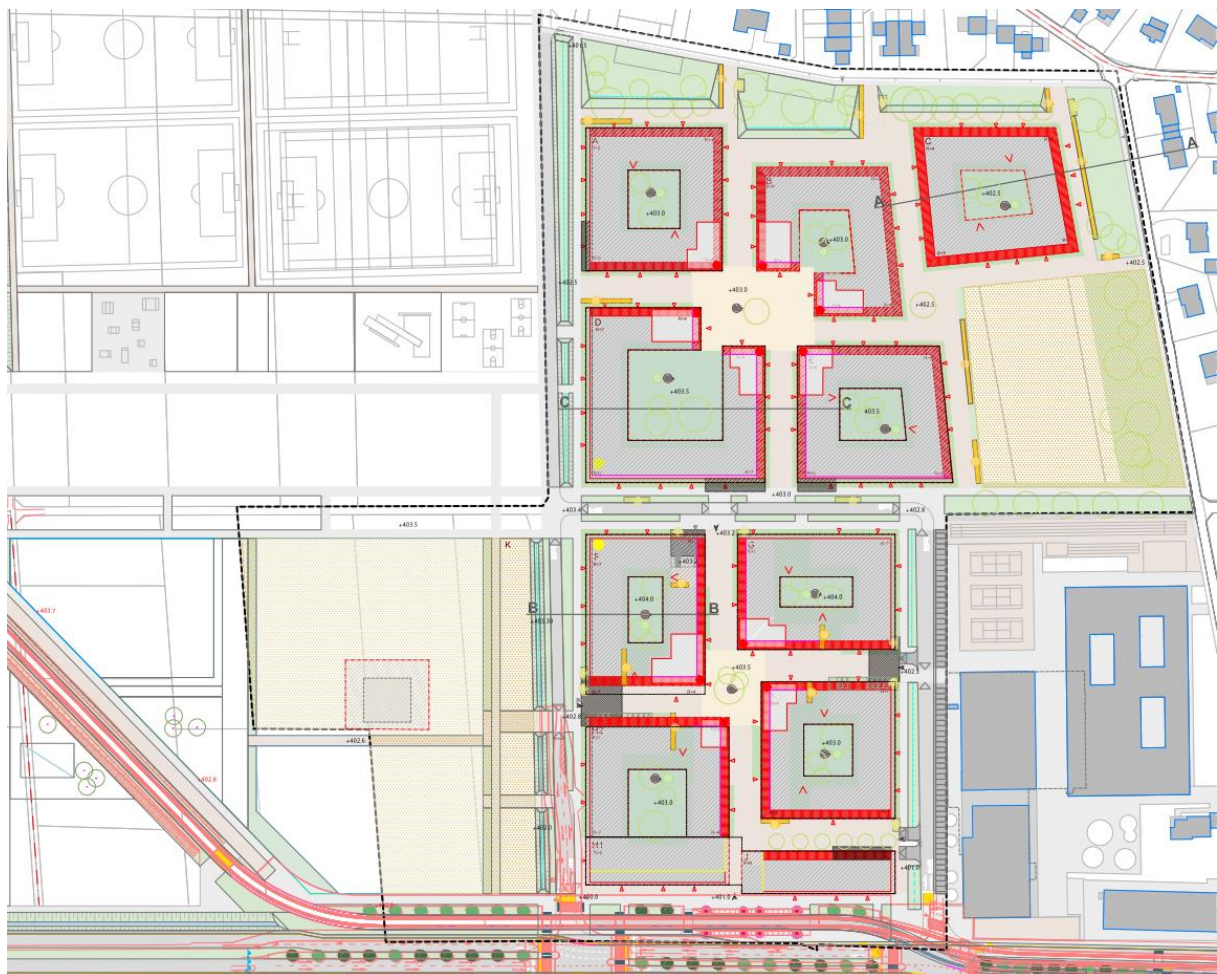


Figure 11 : variante actuelle (avril 2016) du PLQ/pièces Ea et Eb [9]

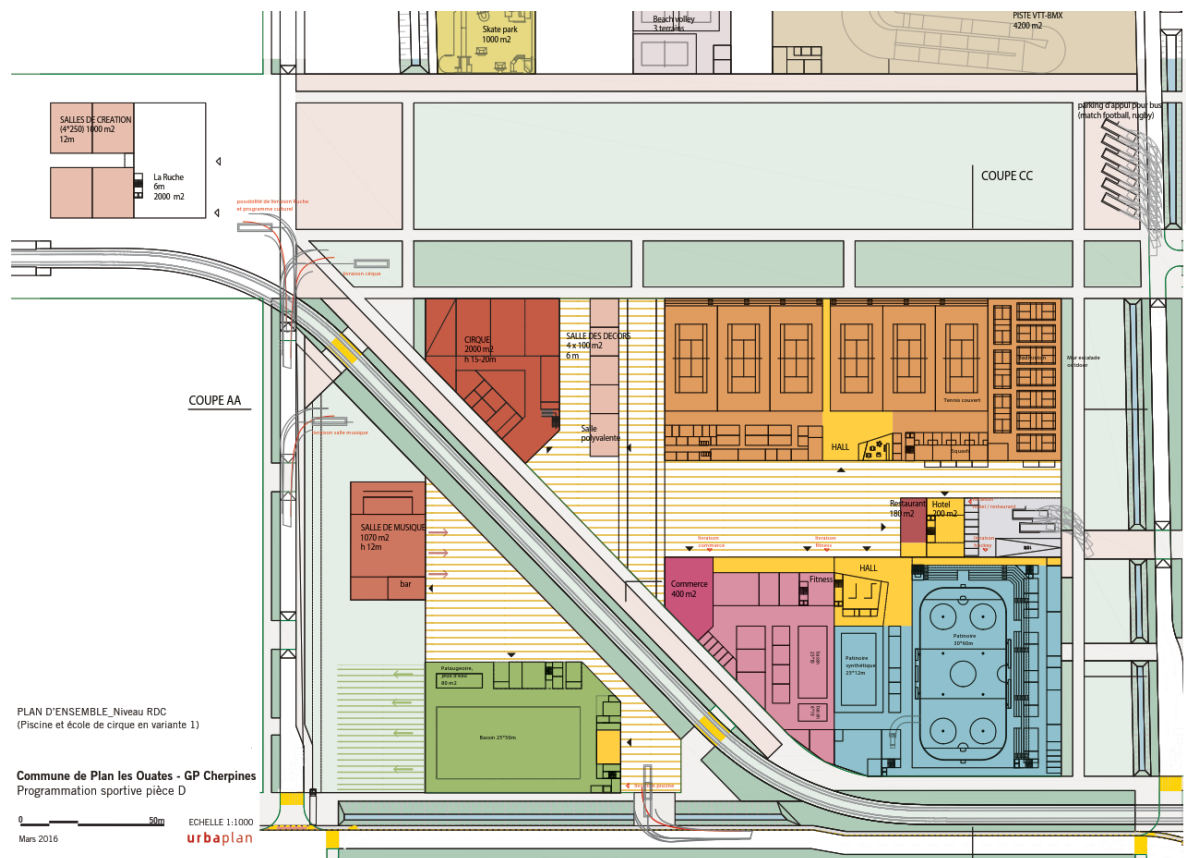


Figure 12 : plan d'ensemble du centre sportif / RDC (version mars 2016) [10]

Affectations	Pièces urbaines			SBP [m <sup>2</sup> ]
	Ea	Eb	D	
Logements	45 080	60 866	350	106 296
EMS	2 116			2 116
Hôtel	5 109		2 300	7 409
Bureaux et services	2 987		718	3 705
Ecoles, crèche, locaux associatifs, ateliers pour artistes	1 746	4 630	750	7 125
Commerces	1 727		400	2 127
Restaurants			180	180
Lieux de rassemblement (salle de musique, & spectacles, expos, hall unihockey avec tribunes)	1 046	1 330	12 895	15 270
Installations sportives (fitness, hall tennis & squash, école de cirque, patinoire)	1 981		19 935	21 916
Piscine intérieure			3 500	3 500
<b>Total</b>	<b>61 791</b>	<b>66 825</b>	<b>41 028</b>	<b>169 644</b>

Tableau 1 : surfaces brutes de plancher par affectation et pièce urbaine [11]

## 5.4 Acteurs

Le Cahier 4 a proposé un inventaire détaillé des acteurs qui reste d'actualité au stade actuel et s'applique à tous les Cherpines.

Nous redonnons ci-dessous le tableau des acteurs tiré du cahier.



Acteurs	Rôles	Recommandations futures étapes
CAD ZIPLO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fournisseur d'énergie ;</li> <li>- Société regroupant plusieurs acteurs (Alpiq, Energy8, FTI, etc.) ;</li> <li>- Compétence de contracteur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Clarifier la faisabilité temporelle ;</li> <li>- Réaliser des contrats ou des modèles afin de les présenter aux futurs propriétaires ;</li> <li>- Lancer les démarches administratives pour le grand projet ZIPLO.</li> </ul>
Contracteur	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investisseur pour le développement du réseau de chaleur ;</li> <li>- Prise en charge des installations énergétiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Discuter des conditions contractuelles de fourniture ;</li> <li>- Proposer un suivi/monitoring des consommations.</li> </ul>
OCEN	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Soutien et appui de solutions novatrices ;</li> <li>- Contrôle la mise en place et le respect de la loi sur l'Energie ;</li> <li>- Valider les CET accompagnant les futurs PLQ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Suivi et échange sur le projet.</li> </ul>
Communes (Plan les Ouates et Confignon)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mise en œuvre de la politique énergétique ;</li> <li>- Réalisation des équipements et espaces publics communaux ;</li> <li>- Accompagnement de la planification de projet ;</li> <li>- Planification de projet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vision partagée entre communes et mandataires ;</li> <li>- Suivi et échange sur le projet.</li> </ul>
Futurs propriétaires	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définir les attentes des usagers.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prise de position sur l'architecture et le choix des techniques.</li> </ul>
Office de l'Urbanisme	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboration et développement des Grands Projets ;</li> <li>- Coordination avec le projet du tram ;</li> <li>- Etablissement des PLQ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prise de position sur le développement de la zone.</li> </ul>
FTI	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Coordonner le développement de la ZDIA en lien le projet des Cherpines.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vision partagée entre le DU et les mandataires.</li> </ul>

**Tableau 2 : Tableau récapitulatif des acteurs intervenant dans le cadre du CET d'après l'étude d'EDMS (Cahier 4 [7]).**

Au type d'acteur 'Contracteur', il convient désormais d'associer les SIG qui ont été sollicités par le COPIL pour développer et mettre en œuvre le projet de réseau CAD – Cherpines.

## 5.5 Évaluation des besoins énergétiques

Cette section a pour objectif l'évaluation des besoins énergétiques thermiques (chauffage, ECS et rafraîchissement) et électriques des immeubles prévus sur le futur PLQ. Les surfaces de référence énergétique (SRE) prises en compte sont résumées dans le tableau ci-dessous. On fait l'hypothèse, à ce stade, que  $SRE=SBP$ .

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

Bien que la loi genevoise impose un standard de construction supérieur, au niveau énergétique, à la limite donnée par la norme SIA 380/1, les consommations correspondant à cette norme sont indiquées dans le Tableau 3 ci-dessous à titre informatif, afin de poser un référentiel pour une meilleure appréciation des consommations selon HPE (Haute Performance Energétique, performance minimale à atteindre selon la LEn) et THPE (Très Haute Performance Energétique). En ce qui concerne les besoins électriques évalués dans cette section, ils couvrent l'éclairage, les équipements (ordinateurs, électroménager, appareils de télévision,...), la ventilation et les autres techniques associées aux bâtiments (selon la norme SIA 380/4 et le cahier technique 2024).

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

- **Scénario selon la norme 380/1**

Facteur de forme<sup>3</sup> : Selon SIA 380/1

Chauffage : Selon les valeurs limites de la norme SIA 380/1 de l'affectation concernée.

ECS : Selon les valeurs limites de la norme SIA 380/1 de l'affectation concernée.

Part non renouvelable : Pas de contrainte.

Climatisation : Selon les valeurs de l'annexe B de la norme SIA 380/4, à savoir pas de climatisation pour les logements.

Electricité : Selon les indices de l'annexe C1 de la norme SIA 2031 pour l'éclairage, la ventilation et les équipements ; selon les valeurs de l'annexe B de la norme SIA 380/4 pour les techniques diverses.

- **Scénario HPE à respecter au minimum (référence légale REn art. 12B)**

Facteur de forme : Selon la norme SIA 380/1

Chauffage : Selon les exigences primaires HPE (80% des valeurs limites de la SIA 380/1 de l'affectation concernée).

ECS : Selon les valeurs limites de la norme SIA 380/1 de l'affectation concernée.

Part non renouvelable : maximum 60% des besoins admissibles de chaleur définis par la SIA 380/1

Climatisation : Selon les valeurs de l'annexe B de la SIA 380/4, à savoir pas de climatisation pour les logements.

Electricité : Selon les indices de l'annexe C1 de la norme SIA 2031 pour l'éclairage, la ventilation et les équipements ; selon les valeurs de l'annexe B de la norme SIA 380/4 pour les techniques diverses.

- **Scénario THPE (référence légale REn art. 12C)**

Facteur de forme : Selon la norme SIA 380/1

Chauffage : Selon les exigences THPE (60% des valeurs limites de la SIA 380/1 de l'affectation concernée).

ECS : Selon les valeurs limites de la norme SIA 380/1 de l'affectation concernée.

Part non renouvelable : maximum 50% des besoins admissibles de chaleur définis par la SIA 380/1

Climatisation : Selon les valeurs de l'annexe B de la SIA 380/4, à savoir pas de climatisation pour les logements.

Electricité : Selon les indices de l'annexe C1 de la norme SIA 2031 pour l'éclairage, la ventilation et les équipements ; selon les valeurs de l'annexe B de la norme SIA 380/4 pour les techniques diverses.

---

<sup>3</sup> Le facteur de forme (ou facteur d'enveloppe) est le rapport de la surface de l'enveloppe thermique du bâtiment et de sa surface de référence énergétique (SRE).

Les besoins énergétiques sont donnés pour les trois scénarii dans le tableau ci-dessous, distinguant les différentes pièces Ea, Eb, D.

SIA 380/1	Cl. SIA	Chaleur									Froid						Electricité		
		Chauffage [MWh/an]			ECS [MWh/an]			Puissance [kW]			Rafraîchissement [MWh/an]			Puissance [kW]			Equipements [MWh/an]		
		Ea	Eb	D	Ea	Eb	D	Ea	Eb	D	Ea	Eb	D	Ea	Eb	D	Ea	Eb	D
Logements, hôtels, EMS	I	2'027	2'359	103	1'090	1'268	55	1'939	2'256	98	194	0	88	189	0	85	2'441	2'840	124
Bureaux et services	III	110	0	27	21	0	5	93	0	22	18	0	4	26	0	6	117	0	28
Ecoles, crèche, locaux associati	IV	85	225	36	12	32	5	65	172	28	0	0	0	0	0	0	58	154	25
Commerces	V	55	0	13	12	0	3	54	0	13	93	0	22	83	0	19	209	0	48
Restaurants	VI	0	0	10	0	0	10	0	0	15	0	0	2,97	0	0	4	0	0	16
Lieux de rassemblement (salle)	VII	62	79	770	15	18	179	99	126	1'223	6.273	7.977	77.37	18	23	221	60	76	738
Installations sportives (fitness,	XI	134	0	1'346	165	0	1'661	171	0	1'723	0	0	0	0	0	0	61	0	615
Piscine intérieure (bâtiment)	XII			287			292			90									209
Chauffage piscine				1'900						900									
Patinoire (fabrication glace)													1851.43			823			370
<b>Total / Pièce</b>		<b>2'473</b>	<b>2'663</b>	<b>4'491</b>	<b>1'314</b>	<b>1'319</b>	<b>2'210</b>	<b>2'421</b>	<b>2'554</b>	<b>4'112</b>	<b>312</b>	<b>8</b>	<b>2'045</b>	<b>316</b>	<b>23</b>	<b>1'158</b>	<b>2'946</b>	<b>3'071</b>	<b>2'173</b>
<b>TOTAL</b>		<b>9'628</b>			<b>4'843</b>			<b>9'087</b>			<b>2'365</b>			<b>1'497</b>			<b>8'190</b>		

HPE	Cl. SIA	Chaleur									Froid						Electricité		
		Chauffage [MWh/an]			ECS [MWh/an]			Puissance [kW]			Rafraîchissement [MWh/an]			Puissance [kW]			Equipements [MWh/an]		
		Ea	Eb	D	Ea	Eb	D	Ea	Eb	D	Ea	Eb	D	Ea	Eb	D	Ea	Eb	D
Logements, hôtels, EMS	I	1'621	1'887	82	1'090	1'268	55	1'700	1'978	86	194	0	88	189	0	85	2'441	2'840	124
Bureaux et services	III	88	0	21	21	0	5	77	0	19	75	0	18	107	0	26	117	0	28
Ecoles, crèche, locaux associati	IV	68	180	29	12	32	5	54	142	23	0	0	0	0	0	0	58	154	25
Commerces	V	44	0	10	12	0	3	45	0	10	93	0	22	83	0	19	209	0	48
Restaurants	VI	0	0	8	0	0	10	0	0	14	0	0	3	0	0	4	0	0	16
Lieux de rassemblement (salle)	VII	50	64	616	15	18	179	81	103	1'003	6	8	79	18	23	225	60	76	738
Installations sportives (fitness,	XI	107	0	1'076	165	0	1'661	160	0	1'606	0	0	0	0	0	0	61	0	615
Piscine intérieure (bâtiment)	XII			229			292			83									209
Chauffage piscine				1'900						900									
Patinoire (fabrication glace)													1'851			823			370
<b>Total / Pièce</b>		<b>1'979</b>	<b>2'130</b>	<b>3'973</b>	<b>1'314</b>	<b>1'319</b>	<b>2'210</b>	<b>2'117</b>	<b>2'224</b>	<b>3'744</b>	<b>369</b>	<b>8</b>	<b>2'060</b>	<b>397</b>	<b>23</b>	<b>1'182</b>	<b>2'946</b>	<b>3'071</b>	<b>2'173</b>
<b>TOTAL</b>		<b>8'082</b>			<b>4'843</b>			<b>8'085</b>			<b>2'437</b>			<b>1'602</b>			<b>8'190</b>		

THPE	Cl. SIA	Chaleur									Froid						Electricité		
		Chauffage [MWh/an]			ECS [MWh/an]			Puissance [kW]			Rafraîchissement [MWh/an]			Puissance [kW]			Equipements [MWh/an]		
		Ea	Eb	D	Ea	Eb	D	Ea	Eb	D	Ea	Eb	D	Ea	Eb	D	Ea	Eb	D
Logements, hôtels, EMS	I	1'216	1'415	62	1'090	1'268	55	1'462	1'701	74	194	0	88	189	0	85	2'441	2'840	124
Bureaux et services	III	66	0	16	21	0	5	62	0	15	75	0	18	107	0	26	117	0	28
Ecoles, crèche, locaux associati	IV	51	135	22	12	32	5	42	112	18	0	0	0	0	0	0	58	154	25
Commerces	V	33	0	8	12	0	3	36	0	8	93	0	22	83	0	19	209	0	48
Restaurants	VI	0	0	6	0	0	10	0	0	12	0	0	2,95	0	0	4	0	0	16
Lieux de rassemblement (salle)	VII	37	48	462	15	18	179	63	81	783	6.38917	8.12472	78.8028	18	23	225	60	76	738
Installations sportives (fitness,	XI	80	0	807	165	0	1'661	148	0	1'489	0	0	0	0	0	0	61	0	615
Piscine intérieure (bâtiment)	XII			172			292			76									209
Chauffage piscine				1'900						900									
Patinoire (fabrication glace)													1'851			823			370
<b>Total / Pièce</b>		<b>1'484</b>	<b>1'598</b>	<b>3'455</b>	<b>1'314</b>	<b>1'319</b>	<b>2'210</b>	<b>1'813</b>	<b>1'894</b>	<b>3'375</b>	<b>369</b>	<b>8</b>	<b>2'060</b>	<b>397</b>	<b>23</b>	<b>1'182</b>	<b>2'946</b>	<b>3'071</b>	<b>2'173</b>
<b>TOTAL</b>		<b>6'537</b>			<b>4'843</b>			<b>7'082</b>			<b>2'437</b>			<b>1'602</b>			<b>8'190</b>		

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

Ce tableau inclut également l'estimation des besoins pour les infrastructures sportives particulières en se basant sur des études du bureau A+W antécédents :

- Chauffage des bassins de la piscine intérieure (1'330 m<sup>2</sup> au total), référence au CET XXX incluant notamment la future piscine de Pré-du-Stand au Grand-Saconnex, de dimension similaire [14].
- Besoins de froid (utiles et en électricité) pour la fabrication de la glace de la patinoire, référence à l'étude A+W sur le complexe des Vernets [13].

Il conviendra d'affiner le calcul de ces besoins, ainsi que leur profil horaire, dans les phases ultérieures du développement du complexe sportif.

Le graphique ci-dessous synthétise les besoins totaux selon les scénarii d'efficacité énergétique et par type de prestation, en incluant les besoins des équipements sportifs particuliers (chauffage bassin de piscine intérieure et fabrication de glace pour la patinoire).

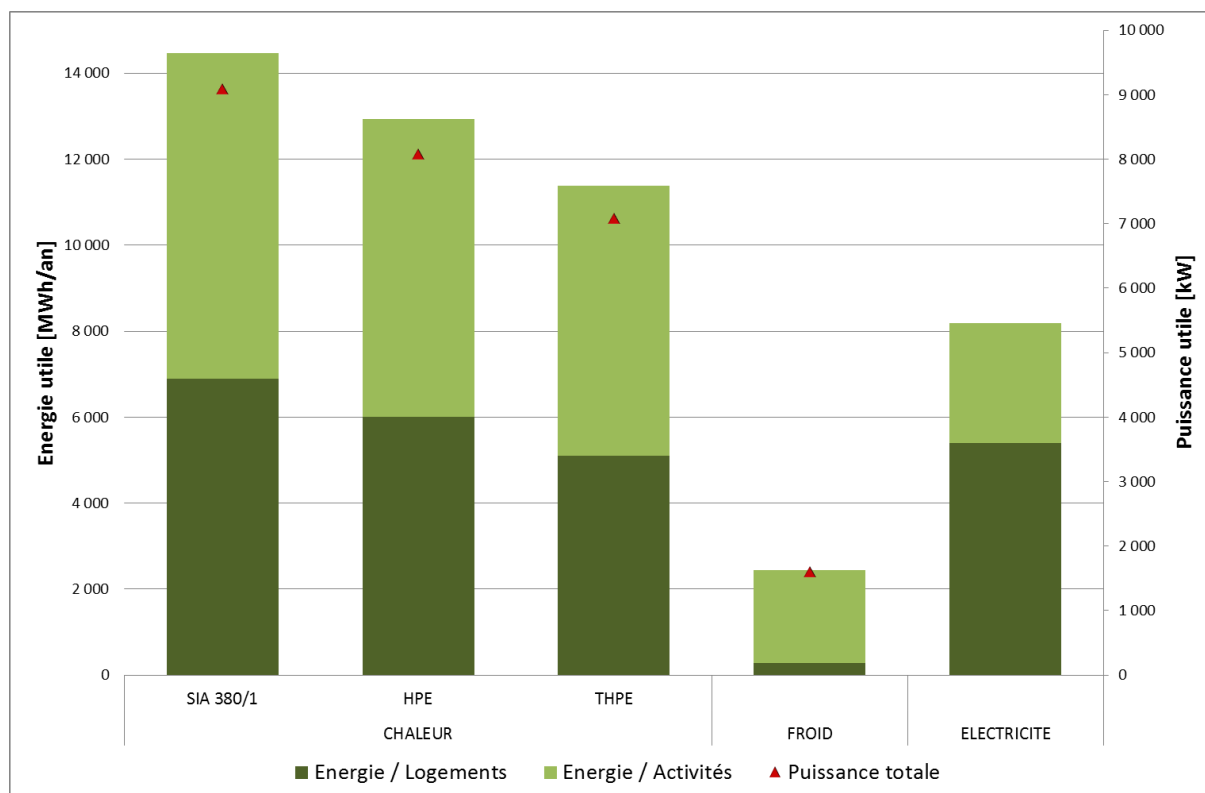


Figure 13 : Synthèse des besoins énergétiques

## 6 Ressources énergétiques locales disponibles

Cette section synthétise les ressources énergétiques locales disponibles, aussi bien en termes énergétiques qu'en termes de puissance, et leur capacité à satisfaire les besoins du PLQ.

En se basant sur le CET 2011-39, le Cahier 4 détermine les ressources locales suivantes pouvant être potentiellement exploitées :

- Solaire thermique et PV
- Géothermie
- Rejets thermiques (ZIPLO et patinoire)
- Eaux-usées
- Aérothermie
- Biomasse

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

### 6.1 Energie solaire

L'énergie solaire peut être valorisée de deux manières différentes : pour générer de la chaleur (panneaux solaires thermiques), ou pour générer de l'électricité (panneaux photovoltaïques). Des panneaux hybrides permettent actuellement de générer les deux conjointement, avec des rendements quelque peu affaiblis pour la production de chaleur, mais avec l'avantage de pouvoir s'affranchir de l'arbitrage entre la production de chaleur et la production d'électricité (la place en toiture étant limitée).

Les toits des nouvelles constructions seront essentiellement des toits plats, ce qui devrait faciliter la

mise en place de panneaux solaires.

Les hypothèses et données ci-dessous ont été faites pour évaluer le potentiel solaire :

1. L'ensoleillement annuel sur surface horizontale pour Genève est de 1'208 kWh/m<sup>2</sup> selon la base de données Meteonorm (V6.1).
2. En se basant sur l'emprise au sol des bâtiments prévus, la surface de toitures est d'environ 11'700 m<sup>2</sup> pour la pièce D (les toitures réservées aux activités sportives étant déduites), 11'000 m<sup>2</sup> pour la pièce Ea, et 17'600 m<sup>2</sup> pour la pièce Eb.
3. La surface de toit utile ou installable correspond à 80% de la surface de toit totale (tenant compte des marges entre bords de toiture et panneaux et des installations techniques en toiture) ; il en résulte ainsi les **surfaces utiles de toiture respectives pour les 3 pièces : 9'360 m<sup>2</sup> (D), 8'800 m<sup>2</sup> (Ea), 14'080 m<sup>2</sup> (Eb)**.
4. Rendements (sources : catalogues de fabricants et expérience A+W):
  - a. Panneaux photovoltaïques (polychristallin) : 17%
  - b. Indice de performance – solaire PV (performance ratio) : 80%
  - c. Panneaux solaires thermiques (capteurs plans vitrés, orientés plein sud, avec une inclinaison de 30°) : rendement de **45%** (par rapport à l'irradiation solaire incidente) pour une couverture de 30% de l'ECS, et rendement de **30%** pour une couverture de 60% de l'ECS, d'après le cadastre solaire genevois (disponible sur le SITG).
  - d. Conduites et ballons de stockage : 90%.
5. Pour des panneaux inclinés à 30° (Solaire thermique), le rapport entre la surface des panneaux installés et la surface de toit utile est de 0,45.
6. Pour des panneaux inclinés à 10° (Solaire PV), le rapport entre la surface des panneaux installés et la surface de toit utile est de 0,7.

Avec les hypothèses ci-dessus, on obtient les potentiels solaires indiqués dans le tableau ci-dessous :

	D				Ea				Eb			
	Chaleur	Electricité	Panneaux	Toitures	Chaleur	Electricité	Panneaux	Toitures	Chaleur	Electricité	Panneaux	Toitures
	[MWh/an]		[m <sup>2</sup> ]		[MWh/an]		[m <sup>2</sup> ]		[MWh/an]		[m <sup>2</sup> ]	
Photovoltaïque (total)		1 148	6 552	9 360		1 079	6 160	8 800		1 726	9 856	14 080
Solaire 60% ECS	1 326		3 598	7 996	788		2 139	4 754	791		2 147	4 771
Solaire 30% ECS	663		1 199	2 665	394		713	1 585	396		716	1 590

**Tableau 4 : Potentiels solaires totaux et partiels, couverture des besoins d'électricité et de chaleur totale, surfaces de panneaux et de toiture utile (80% emprise bâtiments)**

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

Un taux de couverture des besoins d'ECS de 50% à 60% est particulièrement pertinent pour le complexe sportif (pièce D) qui nécessite une grande quantité d'eau chaude sanitaire (douches des vestiaires en particulier).

Dans le cas des pièces Ea et Eb, les surfaces de toiture suffisent largement à accueillir des panneaux solaires thermiques pour l'ECS (quel que soit le taux de couverture de 30% ou 60%) et offrent des surfaces supplémentaires pour des panneaux solaires PV. Ceux-ci peuvent se justifier en particulier pour compenser les dépenses électriques des pompes à chaleur éventuelles et des groupes froids. Par ailleurs, des panneaux solaires hybrides permettent de combiner production électrique et de chaleur, mais avec un rendement moindre pour la partie chaleur.

#### Avantages

L'avantage aussi bien des panneaux solaires thermiques que photovoltaïques est le fait que ce sont des technologies connues et relativement faciles à implémenter (attention toutefois à la taille de l'installation). De plus, l'entretien est aisé, surtout pour le photovoltaïque (pas de circuit hydraulique).

### Inconvénients

Le seul inconvénient des panneaux solaires est le fait qu'ils ne permettent pas une valorisation optimale de la ressource solaire, pourtant si abondante. En effet le rendement encore relativement faible des panneaux solaires photovoltaïques, ou encore le fait que seuls 60-70% des besoins d'ECS peuvent être couverts avec des panneaux solaires thermiques, témoignent malheureusement encore d'une valorisation non optimale du rayonnement solaire. Ceci dit, il n'existe à l'heure actuelle aucune technologie comparable qui permettrait de faire mieux.

### Conclusion

Le potentiel solaire est conséquent et donc intéressant pour le PLQ, les surfaces de toitures étant suffisantes pour des installations solaires thermiques, PV. Un taux de couverture important (50 à 60%) des besoins d'ECS par du thermique devra être prévu sur les toitures du complexe sportif.

## **6.2 Energie géothermique avec des sondes verticales**

Comme l'a montré la Figure 10 plus haut, du fait de la protection de la Nappe du Genevois, il peut être envisagé d'installer des sondes uniquement sur le périmètre Eb, mais avec des fortes restrictions quant à leur profondeur (35 m d'après le GESDEC).

Dans le cas d'installation de sondes géothermiques, théoriquement, on notera cependant qu'il n'est pas souhaitable de mettre des sondes sous les bâtiments et dans le parking souterrain. En effet, en cas de sonde hors d'usage en sous-sol, il n'est pas possible d'installer une sonde de remplacement à côté (ce qui est possible hors emprise bâtiment dans l'espace extérieur). De plus, pour éviter la remontée de gaz géogènes, des sondes placées sous un bâtiment doivent être déviées à l'horizontale sous le radier, et ensuite être raccordées au collecteur (il n'est pas autorisé de percer le radier). Cependant, souvent des sondes sont placées sous des bâtiments, car le terrain disponible autour des bâtiments n'est pas suffisant eu égard au nombre de sondes requises. Dans ce cas, on prévoit un surdimensionnement de 10% de sondes si des sondes en sous-sol sont hors d'usage.

Les hypothèses suivantes ont été admises pour déterminer le potentiel des sondes géothermiques<sup>4</sup> :

1. Les sondes sont espacées de 8 m les unes des autres.
2. La puissance extraite est de 30 W/m<sub>l</sub> et l'énergie de 42 kWh/m<sub>l</sub>/an.
3. La puissance d'injection est de 15 W/m<sub>l</sub> et l'énergie injectée de 25 kWh/m<sub>l</sub>/an.
4. La profondeur est de 35 m par sonde.
5. Taux de recharge minimum du terrain : 60% (ce taux étant variable et pouvant aller jusqu'à 80% pour des champs de sondes de grande ampleur).
6. Un COP moyen (entre chauffage et ECS) de 4.6 environ (température à l'évaporateur 7°C selon expérience bureau A+W)

Concernant les surfaces disponibles, la superficie du périmètre sur laquelle se situe la pièce Eb est de 58'000 m<sup>2</sup>. Si l'on y retranche l'emprise des bâtiments (dans le cas d'une installation de sondes hors emprise des bâtiments), il reste une surface de 40'400 m<sup>2</sup>. Le tableau ci-dessous présente le potentiel total géothermique, dans les deux cas de figure – surface totale et hors emprise bâtiments – en retranchant à ces surfaces approximativement 20% du fait notamment des différentes conduites souterraines, de la voirie et des arbres.

---

<sup>4</sup> Ces valeurs dépendent fortement de cas en cas, et ne sont ici que des moyennes valables pour le plateau suisse, utilisées au stade d'avant-projet. Elles sont tirées de la norme SIA 384 / 6 et de l'expérience A+W pour les avant-projets.

	Surface hors emprise bâtiments		Surface totale	
	Surface [m2]:	32'320	Surface [m2]:	46'400
	Chaleur	Froid	Chaleur	Froid
Nombre de sondes		505	725	
Puissances [kW]	565	265	811	381
Energie utile [MWh/an]	941	442	1'351	634
Couverture besoins puissance [-]	15%	>100%	36%	>100%
Ratio injection/extraction [-]		5%	3%	

**Tableau 5 : Potentiel maximum géothermique (aux condenseurs des PACs pour la chaleur) selon qu'on dispose les sondes sur tout le périmètre ou hors emprise des bâtiments**

Avec ces hypothèses, on peut théoriquement placer entre 505 (sondes hors sous-sol des bâtiments neufs et parking souterrain) et 725 sondes (incluant les sondes en sous-sol des bâtiments neufs) à 35m de profondeur, ce qui est insuffisant pour couvrir intégralement les besoins de chaleur et de froid de la pièce Eb.

Tout champ de plus de 8-10 sondes nécessite une recharge du terrain pour éviter qu'il s'épuise à moyen et long termes. Etant donné les besoins très faibles de froid sur Eb, on constate que le ratio effectif (besoins de froid / puissance extraite des sondes) se situe entre 3% et 5%, ce qui ne suffit pas pour garantir la pérennité du système (taux minimum de recharge nécessaire 60%).

Pour combler la part de recharge manquante, les **rejets industriels de la ZIPLO**, en principe abondants en été, pourraient assumer ce rôle. Cela était d'ailleurs préconisé par le CET 2011-39, qui suggérait en particulier l'installation de sondes basse profondeur au niveau des terrains de sport.

### Conclusion

La géothermie basse profondeur, au niveau des terrains de sport et d'une partie du Rolliet, pourrait contribuer à mieux valoriser, sur toute l'année, les rejets de la ZIPLO particulièrement abondants à mi saison et en été, à travers le principe de stockage/déphasage thermique saisonnier. Ce dernier s'inscrivait dans la stratégie énergétique proposée par le CET 2011-39 (PDQ). Cependant, du fait de la profondeur limitée des sondes (34m), le nombre de sondes nécessaire pour un stockage significatif serait très important (500 à 700 sur Rolliet) et donc difficile à mettre en œuvre sur les plans technique et financier.

## 6.3 Air

Pour le chauffage des locaux, l'énergie contenue dans l'air ambiant représente une ressource énergétique intéressante. Elle est omniprésente, pour ainsi dire infinie, et sa valorisation à l'aide d'une pompe à chaleur se fait aisément. De plus, les systèmes de pompe à chaleur air/eau sont moins coûteux à l'investissement que les systèmes sol/eau, du fait qu'il ne faut pas de structures géothermiques.

La principale contrainte lors de la valorisation de cette énergie, est donnée par la quantité d'air qu'il faut faire circuler, et donc par la taille des conduites, si les unités ne sont pas placées sur le toit ou que les puissances sont grandes (plus que 50 kW environ). Si les unités sont placées sur le toit, cette contrainte tombe.

Au niveau énergétique, il faut également noter que les pompes à chaleur air/eau ont des rendements exergetiques jusqu'à 30% moins bons que les pompes à chaleur sol/eau, ce qui se traduit par une consommation d'électricité plus élevée. Cette consommation plus élevée peut cependant être compensée en été, lors de la production d'ECS. En effet, la température de l'air étant en principe plus élevée en été que la température des eaux de surface, le COP d'un système air/eau peut s'avérer meilleur en été, que celui d'un système eau/eau.

### Avantages

Les pompes à chaleur air/eau sont faciles à installer et à utiliser et constituent une bonne alternative en cas de possibilité de mettre des sondes géothermiques notamment.



### Inconvénients

Les pompes à chaleur air/eau sont les pompes à chaleur avec le moins bon rendement. D'autre part, il est difficile de supprimer complètement le bruit lié à l'aspiration de l'air, même avec des caissons d'insonorisation. Cet inconvénient peut cependant être largement atténué en plaçant les PAC en toiture, ce qui implique toutefois de l'espace nécessaire en toiture pour les installer la PAC.

### Conclusion

L'énergie de l'air présente un potentiel à prendre en considération en l'absence de possibilités d'approvisionnement renouvelable recourant à des systèmes plus performants.

## 6.4 Energie de la biomasse

L'environnement extra-urbain dans lequel se situe le quartier rend l'utilisation de la biomasse (en particulier le bois) envisageable. Cependant, les ressources disponibles – évaluées dans le cadre du projet VIRAGE [15] – relèvent d'une gestion régionale. Quant à la valorisation par méthanisation ou gazéification, celle-ci n'est actuellement maîtrisée que dans des installations de grande échelle et doit être réfléchie à échelle du Canton de Genève dans son ensemble (à travers le programme Pôle Bio notamment).

### Conclusion

L'énergie de la biomasse, en particulier le bois, apparaît comme une source d'approvisionnement pour le périmètre pouvant être considérée.

## 6.5 Rejets thermiques

Quatre sources de rejets thermiques doivent être considérées.

### 6.5.1 Rejets de la patinoire

La production de la glace de la patinoire implique des rejets thermiques importants pouvant être valorisés.

En se basant sur une étude énergétique réalisée en 2010 sur le complexe sportif des Vernets, les besoins de froid et les rejets exploitables estimés sont les suivants en considérant une piste de 1'800 m<sup>2</sup> de superficie :

- Consommation électrique production de froid : 370 MWh/an
- Rejets exploitables au condenseur du groupe froid (selon l'hypothèse que 85% des rejets totaux sont utilisables et d'un EER de 4) : 1'573 MWh/an
- Température des rejets : entre 17 et 28 °C
- Rejets exploitables au condenseur de la PAC (COP 5) : 1'573 MWh/an

Ces rejets potentiels pourraient ainsi servir à satisfaire une grande partie du chauffage de la piscine intérieure (1'900 MWh). Cependant, la production de glace n'est pas régulière durant la saison de patinage (de août à mars aux Vernets) et a surtout lieu durant les premières semaines de la saison. Les besoins de froid sont fortement réduits ensuite pour maintenir le niveau de température.

Ainsi, si selon un bilan annuel, les rejets comparables aux besoins de chauffage de la piscine, un autre système de chauffage devra être prévu hors saison de patinage ou lorsque la production de glace est de faible intensité. La toiture de la piscine pourra notamment être couverte par des **capteurs thermiques non vitrés** tout à fait adaptés pour le chauffage de la piscine durant les jours ensoleillés (intersaison et été), ainsi que pour le pré-chauffage, voire chauffage de l'eau chaude pour les douches.

### 6.5.2 Rejets thermiques de la ZIPLO

Le projet de déploiement du réseau CAD-ZIPLO, en deux phases a déjà été abordé à la section 5.1.3. Plus de détails sont donnés sur ce déploiement dans l'étude énergétique d'EDMS (Cahier 4), notamment à la page 28.



## Conclusion

Le CAD ZIPLO qui exploite les rejets thermiques de la ZIPLO est donc un projet structurant et très important dans le développement du futur quartier les Cherpines, à commencer par les premières pièces urbaines constituant le PLQ Rolliet. L'approvisionnement du futur quartier est cependant tributaire de la disponibilité des rejets, et de la mise en œuvre de mesures conservatrices pour pouvoir étendre le réseau sur les Cherpines en phase avec les premiers développements. L'engagement de tous les acteurs concernés est donc capital. La sollicitation des SIG par le COPIL devrait apporter des précisions quant à la faisabilité et aux potentiels du projet.

### **6.5.3 Eaux usées /logements**

Deux options sont envisageables pour la valorisation thermique des eaux usées :

1. Récupération directement dans le collecteur public, avec l'installation d'un échangeur de chaleur directement dans ce collecteur : dans ce cas, différentes contraintes doivent être prises en compte :
  - D'une part, il faut un débit minimum des eaux usées de 15 l/s. En admettant une consommation d'environ 160 l/pers/jour pour un ménage moyen [18] ceci correspondrait à un bassin de population d'environ 6'500 personnes.
  - D'autre part, ces collecteurs doivent disposer d'un diamètre supérieur ou égal à 800 mm [19]<sup>5</sup>. Enfin, l'abaissement de température des eaux usées ne doit pas affecter le fonctionnement des STEP.
2. Récupération de chaleur au niveau du bâtiment lui-même, avec l'installation d'un stockage tampon doté d'un échangeur de chaleur (système type « FEKA® »). En première approximation, et pour un système de récupération bien isolé, on peut admettre une récupération de 60% de l'énergie contenue dans les eaux usées. Si l'ECS est produite à 55°C, un COP de 5 environ pour la pompe à chaleur valorisant les eaux usées du bâtiment est réaliste. Pour 1 kWh d'eaux usées rejetées par le bâtiment, on peut donc générer 0,8 kWh d'ECS. Un tel système n'est cependant rentable que pour des immeubles à partir de 60 habitants environ, donc lorsque la production d'eaux usées du bâtiment est importante [17]. Il n'est pas adapté pour des bâtiments administratifs.

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

La deuxième option (valorisation au niveau des bâtiments) concerne en particulier les bâtiments neufs majoritairement affectés aux logements. Les eaux usées peuvent être collectées et valorisées via le système FEKA® soit individuellement par bâtiment ou bloc de bâtiments, soit de façon centralisée pour tous les bâtiments neufs, impliquant aussi une PAC centralisée. Le deuxième cas est sans doute meilleur, garantissant un débit et donc une puissance suffisante. Le tableau ci-dessous (Tableau 9) estime le nombre d'habitants total des bâtiments neufs (selon l'hypothèse 1 logement = 100 m<sup>2</sup> = 2.5 habitants), le débit d'eaux usées et la puissance pouvant être générée au niveau de la PAC centrale ; cette puissance est mise en perspective avec les besoins de puissance selon les standards énergétiques. Le calcul de puissance se base sur les hypothèses, d'après une notice de la société FEKA [20], que la température moyenne des eaux-usées (relativement constante toute l'année) en sortie des bâtiments est de 23°C et qu'après échange de chaleur, la température du fluide ne doit pas tomber en dessous de 5°C. Il en résulte un  $\Delta T$  potentiel de 16°C.

---

<sup>5</sup> La taille du diamètre minimal sert, d'une part, à assurer un débit minimal requis pour des raisons économiques, et, d'autre part, à garantir un accès sécurisé aux ouvriers.

Nb habitants [hab]	Ressource - eaux usées			Besoins utiles chaleur (pièces Ea et Eb)		
	Débit total		Puissance PAC	SIA 380/1	HPE	THPE
	[l/j]	[m <sup>3</sup> /s]	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
2 657	425 184	0,004921	414	4 975	4 341	3 706

**Tableau 6 : Puissance utile continue potentiellement fournie par les rejets des eaux-usées au condenseur de la PAC**

La puissance donnée dans le tableau ci-dessus correspond à une puissance moyenne continue (selon le débit moyen journalier ramené en m<sup>3</sup>/s). Le système FEKA® permet justement de stocker l'énergie fournie par les eaux-usées pendant plusieurs heures (selon la dimension du stock) avant de la restituer à l'approvisionnement des besoins de chaleur. Ainsi, en fonction du volume de stockage, il en résulte une puissance effective pouvant couvrir jusqu'à près de 40 à 50 % des puissances de pointe de chaleur.

### Conclusion

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

### **6.5.4 Rejets du centre sportif**

Le centre sportif consomme une quantité très importante de chaleur pour l'eau chaude sanitaire des douches. Un système de type Joulia® [21] permet de récupérer une partie de la chaleur sur les eaux grises pour préchauffer l'eau froide. Il en résulte une économie d'énergie sur l'eau chaude sanitaire de l'ordre de 30%, soit 0.3\*2'210 MWh = 663 MWh.

## **6.6 Synthèse des sources d'approvisionnement renouvelables localement pertinentes**

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

- Rejets thermiques ( ZIPLO): potentiel très important disponible à proximité immédiate, valorisation possible via un réseau CAD à développer dans le quartier.
- Autres rejets thermiques : la valorisation des eaux usées en sortie des bâtiments d'habitation via le système FEKA®, permet de couvrir une partie significative des besoins de puissance et, nécessite un appoint au gaz ou CAD ; une partie de chaleur des eaux usées des douches du centre sportif peut être également valorisée.
- Solaire : thermique pour satisfaire une partie des besoins d'ECS (très importants dans le cas du centre sportif), voire même contribuer au chauffage de la piscine (capteurs non vitrés) ; PV (besoins électriques des PAC notamment), hybride (production à la fois d'eau chaude et d'électricité).
- Air (pompes à chaleur air/eau): potentiel susceptible de couvrir l'ensemble des besoins de chaleur.
- Eaux usées (PAC eau-eau) : grâce au système FEKA combiné à une chaudière gaz.
- Bois : le périmètre n'étant pas situé dans une zone à immission excessive en PM10 et NO<sub>2</sub>, un système d'approvisionnement au bois (chaudière centralisée + réseau CAD) peut être envisagé ; cependant, ce système produisant de la chaleur à haute température est peu adéquat avec du chauffage à basse température.
- Géothermie basse profondeur : peu de potentiel (profondeur des sondes limitée à 35 m) et limité à la pièce Eb qui a très peu de besoins de froid (nécessaires pour la recharge des sondes).
- Eaux superficielles, nappe, biomasse (autres que le bois-énergie), énergie éolienne : pas de potentiel.

## 7 Scénarii d'approvisionnement

Compte tenu des conclusions des précédentes études énergétiques et des démarches en cours, le déploiement d'un réseau CAD sur les Cherpines, valorisant les rejets industriels, constitue le système d'approvisionnement qui sera privilégié conformément au CET établi pour le PDQ. Une étude d'opportunité du déploiement de ce réseau CAD est menée en parallèle de la présente étude de CET [27]. Nous ferons, dans ce chapitre, un résumé de cette étude d'opportunité mise en perspective avec le PLQ Rolliet. En outre, au cas où ce réseau CAD ne se réalisait pas, ou du moins pas dans l'horizon temporel du développement du Rolliet, il convient, sans les approfondir, d'envisager la possibilité d'autres solutions d'approvisionnement.

### 7.1 Hypothèses relatives aux scénarii

Les besoins évalués dans la section 0 correspondent à de l'énergie utile. Or, selon la stratégie d'approvisionnement choisie, les systèmes de transformation auxquels il faut faire appel ont des rendements variables et induisent donc des besoins différents en énergie finale. Sur ce point et d'autres, les hypothèses suivantes ont été utilisées comme base pour l'élaboration des scénarii qui suivent :

- Rendement chaudière gaz à condensation : 0.9.
- Rendement de distribution du chauffage à distance : 0.95.
- Selon une première approche estimative, tous les scénarios prennent en compte que les besoins de chauffage du bassin de piscine intérieur sont compensés en partie (82% environ) par les rejets thermiques issus de la production de la glace de patinoire (selon un bilan annuel, sachant que ces rejets ne sont pas constants durant l'année). Tous les scénarios prennent également en compte le gain de 30% sur l'eau sanitaire du complexe sportif grâce à la récupération de chaleur pour préchauffer l'eau froide (système du type Joulia®).
- Les surfaces des locaux techniques (chaudières, groupes froid) sont calculées selon les normes SIA 384/1 (chaleur) et 382/1 (froid), en se basant sur les puissances par chaufferie décentralisée ou sous-station (à l'échelle des immeubles).

### 7.2 Scénario de base : CAD-Cherpines

Ce scénario comprend :

1. Une enveloppe où les besoins de chauffage sont inférieurs ou égaux à 80% des besoins admissibles de chaleur pour le chauffage définis par la norme SIA 380/1 selon le standard HPE.
2. Un raccordement au CAD-Cherpines qui devrait en principe être étendu sur les Cherpines, à commencer par la première phase constituée par le PLQ Rolliet, permettant de satisfaire la totalité des besoins de chaleur.
3. Les besoins de froid sont alimentés par des groupes froid.
4. La totalité des toitures disponibles est couverte par des panneaux solaires PV permettant de compenser les besoins électriques des groupes froid, de l'unité de PAC centralisée dédiée au Rolliet et de couvrir une partie des autres besoins électriques.

Le raccordement au réseau CAD présente l'avantage, surtout pour des bâtiments ne nécessitant pas de production de froid, comme c'est le cas en grande partie sur le présent PLQ, de réduire considérablement la taille du local des machines. En effet, les besoins de chaleur sont assurés par un simple échangeur de chaleur entre le CAD et le système de distribution de chaleur du bâtiment, échangeur qui prend nettement moins de place qu'une chaudière ou une pompe à chaleur.

De plus, des exemples de connexion à d'autres CAD, alimentés en totalité ou partie par des sources renouvelables, ont montré que l'OCEN peut en principe accorder une dérogation concernant la pose de panneaux solaires thermiques en toiture pour faire 30% d'ECS. En effet, dans notre cas, l'apport solaire a lieu au moment (intersaison et été) où les rejets de la ZIPLO sont les plus disponibles, rendant donc la pose de panneaux solaires thermiques peu pertinente. Les panneaux solaires thermiques peuvent alors être remplacés par des panneaux PV comme exposé plus loin.

Comme mentionné précédemment, le déploiement du CAD-Cherpines fait l'objet d'une étude d'opportunité menée en parallèle à ce CET. Selon les premiers résultats de cette étude, il est prévu que la chaufferie centralisée située dans le quartier Cherpines accueillerait des unités de gaz couvrant

100% de la demande de puissance (21.5 MW), et des unités de PAC valorisant les rejets de la ZIPLO couvrant 50% de la demande de puissance (11 MW). Cette répartition est susceptible de changer sensiblement en fonction de l'évolution des partenariats trouvés sur le site de ZIPLO et la quantité de rejets mise à disposition. La couverture de la totalité de la puissance par du gaz s'explique pour des raisons de sécurité d'approvisionnement lorsque les rejets ne sont pas disponibles, et pour couvrir les besoins de pointe. Selon l'étude d'opportunité, un fonctionnement à 100% avec les PAC sur rejets est quasiment garanti pour une température extérieure supérieure à 10°C. En dessous de cette température, la répartition au niveau de l'énergie entre ces deux agents est plus aléatoire, étant donné notamment l'incertitude de la disponibilité des rejets en hiver (les groupes froid, sources des rejets, n'étant que peu ou pas activés). Dans une vision assez optimale, nous proposons de considérer une couverture annuelle des besoins énergétiques à 70% par les PAC sur rejets et 30% par le gaz.

Enfin, ce scénario ne nécessitant pas a priori de panneaux solaires thermiques, nous proposons d'installer la totalité des toitures disponibles par du solaire PV pour compenser une partie des nombreux besoins électriques (notamment PAC et groupes froid), tel que recommandé par ailleurs par le CET 2011-39 (PDQ). Cela revient à installer une puissance totale de 3.8 MWc ce qui est considérable (pour comparaison la centrale de Palexpo a une puissance de 4.2 MWc).

Les besoins admissibles et les autres caractéristiques utiles sont les suivants dans le cadre d'un scénario basé sur le raccordement à CAD-Cherpines, en tenant compte des deux variantes HPE et THPE.

CAD-Cherpines	HPE				THPE			
	Ea	Eb	D	TOTAL	Ea	Eb	D	TOTAL
<b>Besoins thermiques et locaux techniques</b>								
Puissance installation chaud [kW]	2 117	2 224	3 744	8 085	1 813	1 894	3 375	7 082
Surface totale chaufferie (sous-station CAD-Cherpines) [m <sup>2</sup> ]	135	139	191	465	125	125	178	429
Energie de chaleur fournie par CAD-Cherpines [MWh/an]	3 466	3 631	4 155	11 252	2 945	3 070	3 609	3 385
Part de gaz dans le mix du CAD-Cherpines (20%) [MWh/an]	1 040	1 089	1 246	3 376	884	921	1 083	677
Puissance utile totale froid [kW]	397	23	1 182	1 602	397	23	1 182	1 602
Surface local production froid (groupe froid) [m2]	90	20	150	260	90	20	150	260
<b>Electricité et solaire PV</b>								
Electricité requise pour PAC [MWh/an]	485	508	582	1 575	412	430	505	542
Electricité requise pour les groupes froid [MWh/an]	74	2	412	487	74	2	412	487
Electricité générée par complément PV au maximum des toitures disponibles (option) [MWh/an]	1 079	1 726	1 148	3 953	1 079	1 726	1 148	3 953
Electricité de réseau requise si pas de PV [MWh/an]	3 505	3 581	3 167	10 253	3 432	3 502	3 091	10 025
Electricité de réseau requise si PV [MWh/an]	2 426	1 854	2 019	6 300	2 353	1 776	1 943	6 072
Surface de panneaux solaires PV [m2]	6 160	9 856	6 552	22 568	6 160	9 856	6 552	22 568
Puissance solaire PV installée [kWc]	1 047	1 676	1 114	3 837	1 047	1 676	1 114	3 837
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m2]	8 800	14 080	9 360	32 240	8 800	14 080	9 360	32 240

**Tableau 7 : Principales caractéristiques du scénario « CAD-Cherpines »**

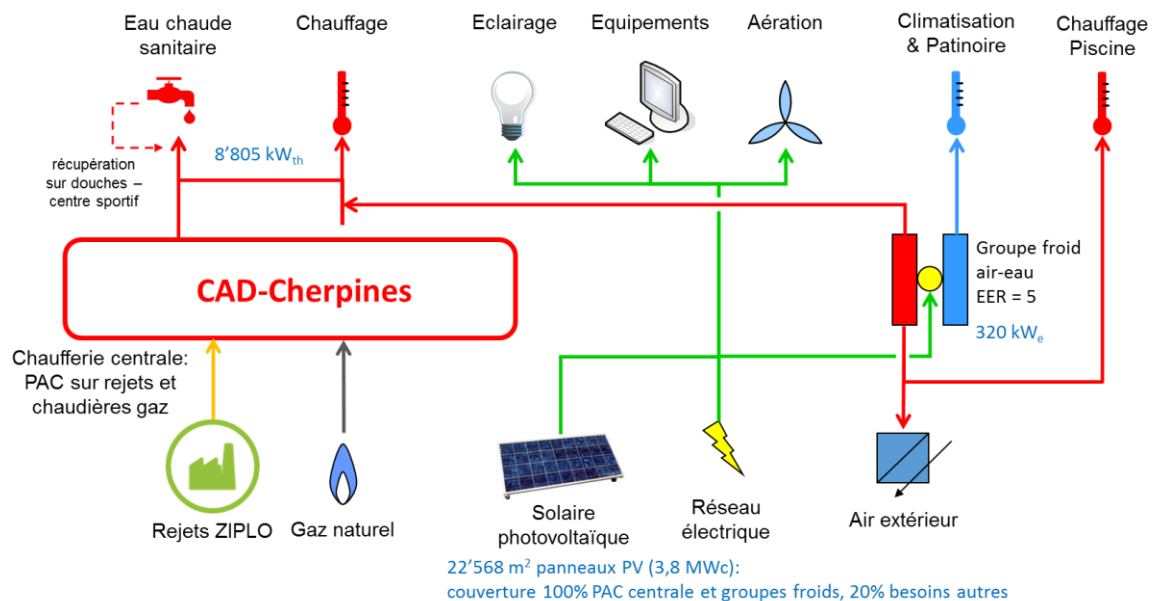


Figure 14 : Scénario « CAD-Cherpines »

### Conclusion

Le projet développé selon le scénario basé sur le raccordement au CAD-Cherpines pour le chauffage et l'ECS est conforme et s'inscrit pleinement en phase avec les orientations énergétiques établies à l'échelle des Cherpines. Il permet de rationaliser la distribution de l'énergie à l'échelle du quartier et s'inscrit dans une perspective d'écologie industrielle en valorisant une partie des rejets de la ZIPLO. Par ailleurs, les panneaux solaires thermiques n'étant a priori pas nécessaires, il permet de mieux valoriser les toitures pour le solaire PV et permet de compenser en partie les nombreux besoins électriques.

## 7.3 Scenarii alternatifs au CAD-Cherpines

### 7.3.1 Scénario 1 : Minimum légal (gaz + solaire thermique)

Ce scénario représente le scénario minimum légal que le maître d'ouvrage est tenu de respecter, soit :

1. Une enveloppe où les besoins de chauffage sont inférieurs ou égaux à 80% des besoins admissibles de chaleur pour le chauffage définis par la norme SIA 380/1.
2. Une couverture des besoins de chauffage par des chaudières au gaz individuelles par immeuble ; la part d'énergie non renouvelable pour couvrir les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire est inférieure ou égale à 60% des besoins admissibles de chaleur définis par la norme SIA 380/1.
3. Une couverture des besoins d'ECS par au moins 30% d'énergie renouvelable (a priori énergie solaire). Nous suggérons d'augmenter ce taux à 50% pour la pièce D, étant donné les besoins très importants (douches et piscine), avec un mix de capteurs vitrés et non vitrés (sur la toiture de la piscine en particulier).
4. L'intégralité de l'électricité peut être livrée par le réseau électrique.
5. Les besoins de froid sont alimentés par des groupes froid.

Les besoins de chauffage et d'ECS ont été calculés selon le standard HPE dans le Tableau 4. Sachant que les besoins de chauffage et d'ECS des bâtiments selon la norme 380/1 s'élèvent à 14'471 MWh/an pour l'ensemble du PLQ, on peut satisfaire au plus 8'683 MWh/an de chaleur avec une chaudière à gaz. En admettant que l'ensemble du chauffage est assuré par une chaudière à gaz, il faudrait satisfaire encore 4'243 MWh/an d'ECS avec des panneaux solaires thermiques par exemple.

Ceci représente 88% de l'ECS, il est donc techniquement quasi impossible de couvrir le solde avec des panneaux solaires thermiques.

Il faut par conséquent soit améliorer l'enveloppe du bâtiment par rapport à ce qui est préconisé au point 1 ci-dessus, soit ajouter un agent renouvelable supplémentaire. Ainsi, en abaissant les besoins de chauffage d'environ 40% pour les pièces Ea et Eb, et de 35% pour la pièce D, par rapport à la demande admissible de chauffage selon la norme SIA 380/1 (grâce à une meilleure isolation et une ventilation double-flux optimisée), les besoins de chauffage se situent à 6'000 MWh/an. Si on satisfaisait l'ensemble de ces 6'000 MWh/an avec une chaudière à gaz, il faudrait encore fournir 2'162 MWh/an d'ECS avec du solaire thermique, ce qui représente 40% des besoins d'ECS pour les pièces Ea et Eb et 50% pour la pièce D, techniquement tout à fait admissible. Dans tous les cas, une mise en conformité des besoins de chauffage avec le label Minergie® permet de satisfaire aux exigences de la loi sur l'énergie.

Ce scénario est montré dans la figure ci-dessous, qui intègre par ailleurs l'obligation légale de valoriser les rejets de chaleur issus du rafraîchissement pour l'eau chaude sanitaire (REn, art. 12J al. 9), ainsi que la valorisation des rejets issus de la production de glace de la patinoire pour le chauffage du bassin de la piscine et la valorisation des rejets de chaleur de l'ECS des douches du centre sportif.

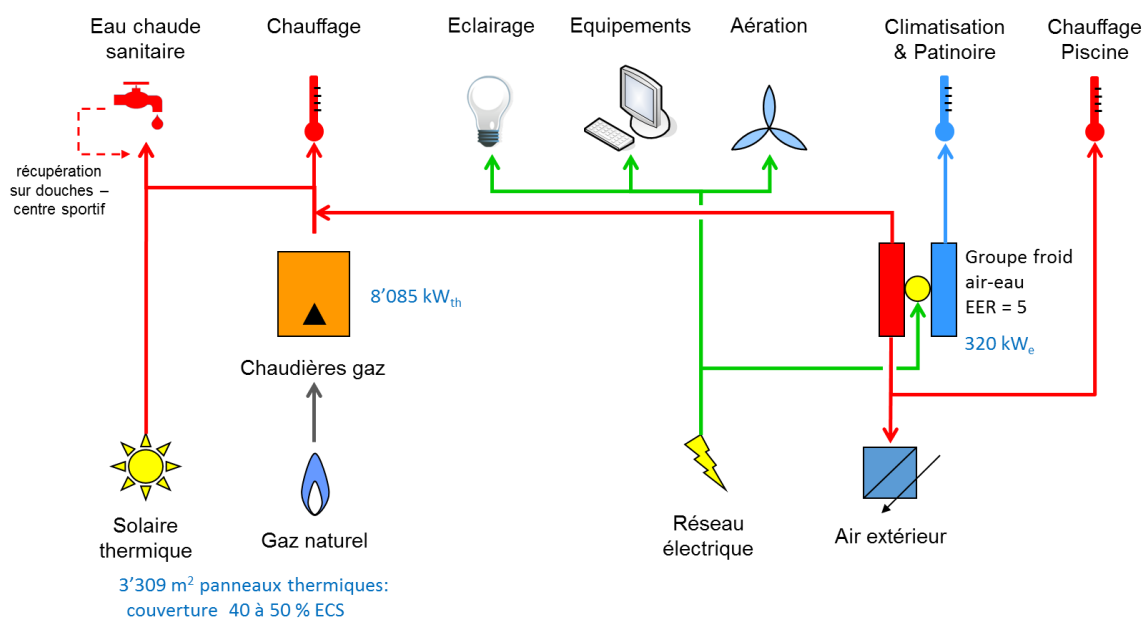


Figure 15 : Scénario « Minimum légal »

Selon ces contraintes, les besoins admissibles et les autres caractéristiques du scénario sont les suivants dans le cadre d'un scénario basé sur le gaz + solaire thermique, en distinguant les 3 pièces urbaines Ea, Eb et D.



Minimum légal (gaz)	HPE			
	Ea	Eb	D	TOTAL
<b>Besoins thermiques et locaux techniques</b>				
Puissance installation chaud [kW]	2 117	2 224	3 744	8 085
Surface totale chaufferie [m <sup>2</sup> ]	205	210	290	705
Energie de chaleur fournie par du gaz (chauffage et ECS) [MWh/an]	2 525	2 654	2 840	8 019
Energie de chauffage couverts par du renouvelable	0%	0%	0%	0
Energie d'ECS couverte par du renouvelable	40%	40%	50%	45%
Puissance utile totale froid [kW]	397	23	1 182	1 602
Surface local production froid (groupe froid) [m <sup>2</sup> ]	90	20	150	260
<b>Solaire thermique</b>				
Energie requise pour part solaire ECS (déduction faite de la récupération de chaleur sur les rejets pour préchauffage de l'eau froide - Pièce D) [MWh/an]	526	527	776	1 829
Surface de panneaux solaires thermiques [m <sup>2</sup> ]	951	954	1 404	3 309
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m <sup>2</sup> ]	2 113	2 120	3 120	7 353
<b>Electricité et solaire PV</b>				
Besoins d'électricité couverts par renouvelables (solaire PV)	0%	0%	0%	0%
Electricité requise pour les groupes froid [MWh/an]	74	2	412	487
Electricité de réseau requise [MWh/an]	3 020	3 072	2 585	8 678

**Tableau 8 : Principales caractéristiques du scénario « Minimum légal »**

### Conclusion

Le scénario basé sur le chauffage au gaz et le solaire thermique pour une partie de l'ECS est conforme avec la loi sur l'énergie dans le cas d'une demande de chauffage correspondant à 60% environ de la valeur limite ( $Q_{h,li}$ ) de la SIA 380/1 (soit un niveau équivalent à THPE). Etant donné les nombreuses possibilités développées ci-dessous de recourir aux énergies renouvelables, cette solution ne doit pas être recommandée en priorité.

### 7.3.2 Scénario 2 : PAC Air-Eau

Ce troisième scénario comprend :

1. Une enveloppe où les besoins de chauffage sont inférieurs ou égaux à 80% des besoins admissibles de chaleur pour le chauffage définis par la norme SIA 380/1 selon le standard HPE.
2. PAC air/eau individuelles par bâtiment pour satisfaire les besoins de chauffage et, en partie, d'ECS ; COP moyen annuel de 3.4, selon un rendement exergetique de 42%, (basé sur [22]), les températures de l'air basées sur les statistiques publiées par l'OCSTAT (source : Institut Suisse de Météorologie).
3. Une couverture des besoins d'ECS par au moins 30% avec du solaire thermique, avec un taux de 50% pour la pièce D (mix de capteurs vitrés et non vitrés, ces derniers couvrant en partie le chauffage de la piscine durant les mois estivaux).
4. Les besoins de froid sont alimentés par des groupes froid.
5. Electricité livrée par le réseau, avec une option de couverture des besoins des groupes froid et des PAC par des panneaux solaires PV.

Il faut en effet rappeler que, selon la directive relative aux projets de construction, de rénovation ou de transformation de bâtiments, il n'est possible de déroger à l'obligation de satisfaire 30% des besoins d'ECS avec des panneaux solaires thermiques, que si le COP de la PAC est supérieur à 3.9 (EN 14511) ou 3.7 (EN 255). Or de pareils COP sont difficiles à atteindre avec une PAC air/eau. Pratiquement, le respect de cette contrainte pose cependant trois problèmes :

- Les panneaux solaires thermiques sont plus performants en été, soit lorsque la PAC air/eau pourrait également fonctionner avec son meilleur rendement pour fournir l'ECS.
- Toujours en été, les habitants sont en général plus longtemps absents pour cause de vacances (or si la PAC peut être arrêtée, l'énergie fournie par les panneaux solaires thermiques, elle, ne peut être valorisée).

- La régulation pour l'arbitrage entre l'énergie provenant des panneaux et l'énergie provenant de la PAC, pour générer l'ECS, complique l'installation, par rapport à une installation qui n'aurait qu'une PAC<sup>6</sup>.

Malgré ces contraintes, il n'est pas possible de déroger à l'obligation de mettre des panneaux solaires thermiques. Et ce, même si on met suffisamment de panneaux photovoltaïques pour alimenter la PAC en électricité, et satisfaire les 30% d'ECS avec des ressources locales et renouvelable).

Ce troisième scénario est présenté dans la figure ci-dessous en tenant compte, comme pour le scénario « minimum légal », de la valorisation des différents rejets :

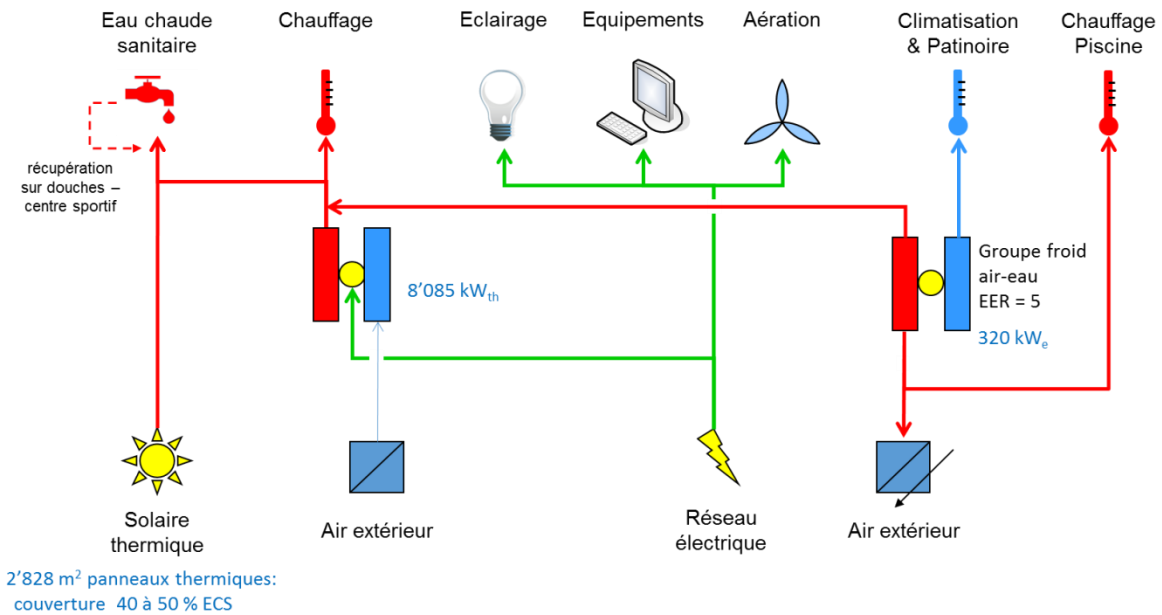


Figure 16 : Scénario « Air »

Les principales caractéristiques de ce scénario sont présentées dans le tableau ci-dessous, en distinguant les 3 pièces urbaines Ea, Eb et D ainsi que les standards HPE et THPE :

<sup>6</sup> Il convient en effet de rappeler que des panneaux solaires thermiques ne peuvent pas fournir 100% de l'ECS, et que donc la PAC en générera forcément une partie.



PAC Air-eau	HPE				THPE			
	Ea	Eb	D	TOTAL	Ea	Eb	D	TOTAL
<b>Besoins thermiques et locaux techniques</b>								
Puissance installation chaud [kW]	2 117	2 224	3 744	8 085	1 813	1 894	3 375	3 706
Surface totale chaufferie [m <sup>2</sup> ]	205	210	290	705	190	190	270	380
Energie de chauffage couverte par PAC	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Energie d'ECS couverte par solaire thermique	30%	30%	50%	100%	100%	100%	100%	100%
Puissance utile totale froid [kW]	397	23	1 182	1 602	397	0	0	397
Surface local production froid (groupe froid) [m <sup>2</sup> ]	90	20	150	260	69	0	0	69
<b>Solaire thermique</b>								
Energie requise pour part solaire ECS (déduction faite de la récupération de chaleur sur les rejets pour préchauffage de l'eau froide - Pièce D) [MWh/an]	394	396	774	1 563	394	396	663	790
Surface de panneaux solaires thermiques [m <sup>2</sup> ]	713	716	1 399	2 828	713	716	1 199	1 429
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m <sup>2</sup> ]	1 585	1 590	3 110	6 285	1 585	1 590	2 665	3 175
<b>Electricité et solaire PV</b>								
Electricité requise pour PAC [MWh/an]	658	698	903	2 259	857	889	1 044	1 746
Electricité requise pour les groupes froid [MWh/an]	74	2	412	487	74	2	412	75
Electricité générée par complément PV (production chaleur et froid) (option) [MWh/an]	732	700	1 316	2 747	931	890	1 456	1 821
Electricité de réseau requise si pas de PV [MWh/an]	3 678	3 770	3 489	10 937	3 877	3 961	3 630	7 838
Electricité de réseau requise si PV [MWh/an]	2 946	3 071	2 173	8 190	2 946	3 071	2 173	6 017
Surface de panneaux solaires PV [m <sup>2</sup> ]	4 176	3 994	7 510	15 680	5 315	5 082	8 315	10 397
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m <sup>2</sup> ]	5 966	5 705	10 729	22 400	7 592	7 260	11 878	14 852

**Tableau 9 : Principales caractéristiques du scénario « Air »**

### Conclusion

La solution PAC air-eau à l'échelle de chaque bâtiment est une bonne alternative renouvelable dans le cas où des sondes ne seraient pas installées. Cependant, la performance (COP) est peu élevée, et induit des contraintes en matière de bruit et d'occupation en toiture (PAC et local technique).

### **7.3.3 Scénario 3 : Concept « Glace solaire» (ICESOL®)**

Le concept « Glace solaire » comprend :

1. Une enveloppe où les besoins de chauffage sont inférieurs ou égaux à 80% des besoins admissibles de chaleur pour le chauffage définis par la norme SIA 380/1 selon le standard HPE.
2. La combinaison d'une pompe à chaleur eau/eau avec des panneaux solaires (capteurs solaires sélectifs sans vitrage) et un stockage de glace, selon un système développé par la société Energie Solaire SA en Valais, alimentant en quasi-totalité les besoins de chaleur (faible appoint nécessaire).
3. Une distribution de l'énergie via des stocks à changement de phase centralisés par pièce urbaine et une boucle d'échange (mutualisation entre les bâtiments), cf. description plus bas.
4. Les besoins de froid sont alimentés par des groupes froid.
5. Electricité livrée par le réseau, avec une option de couverture des besoins des groupes froid et des PAC par des panneaux solaires PV.

Même si ce concept est encore relativement nouveau, plusieurs exemples concrets existent en Suisse. La figure ci-dessous montre le schéma de principe d'une telle installation :

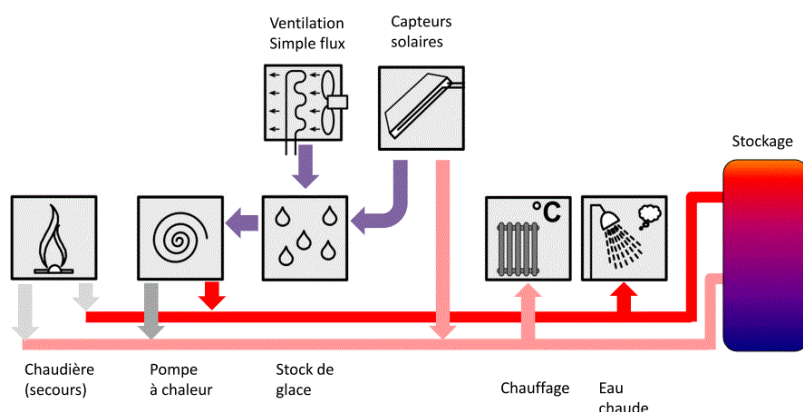


Figure 17 : Schéma de principe d'une installation avec panneaux solaires, PAC eau/eau et stockage de glace [25]

Selon un rapport d'étude [23], des COP annuels de 4,7 sont atteignables pour des constructions de haute performance énergétique dédiées au logement, et le système est rentable en 12 ans. A titre d'exemple, ce système a été mis en place pour un ensemble de deux immeubles de logements à Genève, appelés La Cigale (Figure 18). Ces immeubles datent de 1952 et ont été rénovés selon le standard Minergie-P®.



Figure 18 : Image de gauche immeubles de la Cigale avec toitures solaires, image de droite capteurs solaires sélectifs non vitrés sur toiture plate (MFW «Pauwmolen» en Pays bas: 160 m<sup>2</sup> capteur AS pour régénération & ECS) [24]

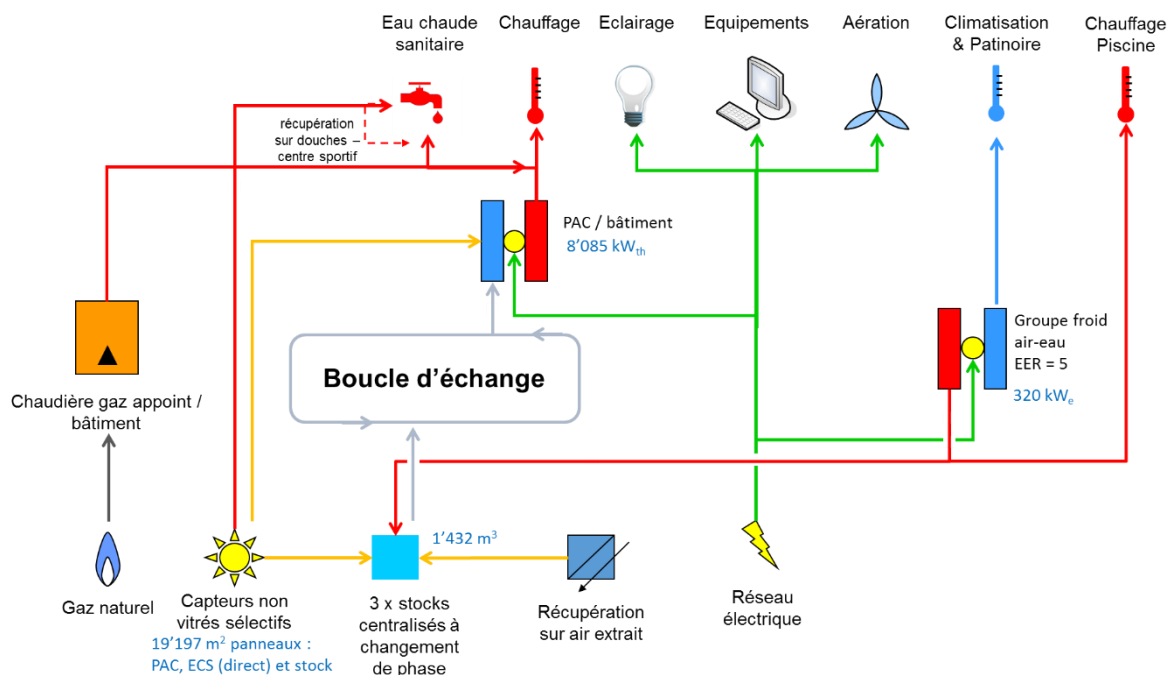
En se référant à des valeurs de pré-dimensionnement pour des CET précédents fournies par la société Energie Solaire SA et en les adaptant au PLQ Rolliet dans son ensemble au prorata des besoins énergétiques, les principales caractéristiques de ce scénario sont données dans le tableau ci-dessous. Une telle extrapolation suffit dans le cadre d'une première approximation.

<b>ICESOL + boucle anergie</b>	<b>Bât. A à E HPE</b>	<b>mix - production chaleur %</b>
<b>Besoins thermiques et locaux techniques</b>		
Puissance totale PAC chaleur [kW]	8 085	
Surface totale chaufferies [m <sup>2</sup> ]	705	
Volume du stock à changement de phase (eau/glace) [m <sup>3</sup> ]	1 432	
Volume d'accumulation total (ballons) [m <sup>3</sup> ]	483	
Besoin non couvert par système ICESOL, à couvrir par chaudière appoint [MWh/an]	641	5%
COP du système ICESOL seul (appoint non compris) [-]	4,8	
COP annuel global du système complet [-]	4,06	
Puissance utile totale froid [kW]	1 602	
Surface local production froid (groupe froid) [m2]	260	
<b>Energie solaire (panneaux thermiques)</b>		
Apport solaire directe (accumulateur de chauff.) [MWh/an]	2 372	19%
Apport solaire indirecte (circuit évaporateur PAC, stock glace) [MWh/an]	7 606	60%
Capteurs non vitrés type AS, inclinaison 15° sud-ouest, surface brute [m <sup>2</sup> ]	19 197	
Surface de toiture brute requise pour les capteurs non vitrés [m <sup>2</sup> ]	28 795	
<b>Electricité et complément solaire PV</b>		
Electricité requise pour PAC [MWh/an]	2 141	17%
Electricité requise pour les groupes froid [MWh/an]	487	
Electricité générée par complément PV (production chaleur et froid) (option) [MWh/an]	2 629	
Electricité de réseau requise si pas de PV [MWh/an]	10 819	
Electricité de réseau requise si PV [MWh/an]	8 190	
Surface de panneaux solaires PV [m2]	15 007	
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m2]	21 439	

**Tableau 10 : Principales caractéristiques du scénario boucle ICESOL sans récupération de chaleur sur l'air extrait (selon fiche de référence d'Energie Solaire SA pour des projets similaires)**

Cette première analyse faite par Energie Solaire montre que les surfaces disponibles en toiture seraient suffisantes, en l'état, pour poser assez de panneaux solaires thermiques. Il y a également la possibilité d'intégrer des surfaces de captage en façades, les capteurs non vitrés constituant le matériel de bardage. Les surfaces restantes devraient permettre également de combler une bonne partie des besoins électriques des PAC par des panneaux solaires PV.

Ce concept est résumé dans la figure ci-dessous :



**Figure 19 : Concept « ICESOL » et mutualisation du stock par pièce urbaine via boucles d'échange**

L'emprise des panneaux solaires thermiques sur les toitures étant importante, des solutions peuvent être proposées pour substituer une partie de l'apport solaire thermique par d'autres apports :

- Récupération de chaleur sur l'air-extrait, ventilation simple flux.
- Récupération de la chaleur sur les eaux usées en sortie des immeubles.
- Augmentation de la part de CADIOM.

Au niveau de l'implémentation, nous recommandons d'une part la construction de locaux individuels de chaufferie par bâtiment, contenant chacun la pompe à chaleur, le ballon d'accumulation, l'éventuelle chaudière d'appoint et le groupe froid (pour le bâtiment A d'activités) ; d'autre part, la construction de **stocks centralisés à changement de phase par pièce urbaine** (pour un de total 1'432 m<sup>3</sup>) dans des centrales techniques en sous-sol. L'avantage du stock centralisé par pièce urbaine est de permettre une économie d'échelle, d'éviter de prévoir un espace de stockage important par bâtiment et de mutualiser les énergies entre les bâtiments (en particulier lorsque l'installation de panneaux solaires est limitée sur un bâtiment ou autre).

Cette mutualisation de l'approvisionnement à travers le stock centralisé à changement de phase se fait par l'intermédiaire d'une **boucle d'échange** reliant les bâtiments entre eux. Ainsi, le stock à changement de phase vient équilibrer la boucle d'échange. Le niveau de température étant proche de zéro lors du changement de phase dans le stock, de l'eau glycolée devra circuler dans la boucle.

Le fonctionnement d'un tel système durant les mois chauffés est le suivant : lors de jours ensoleillés, les panneaux solaires d'un immeuble alimentent directement le bâtiment (si la température le permet). Lorsque la température n'est plus suffisante, la chaleur des panneaux solaires sert d'évaporateur pour la PAC. Cette dernière fournit sa chaleur (coté condenseur) en vue de satisfaire les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire. La part d'énergie solaire non valorisée par la PAC vient alimenter le stock centralisé à changement de phase, qui permet de mutualiser l'énergie accumulée avec les autres bâtiments, notamment la nuit ou lors de journées non ensoleillées.

### Avantage

Ce scénario offre un système alternatif au CAD-ZIPL0 s'il ne se réalise pas et est tout à fait approprié lorsque la géothermie basse profondeur n'est pas possible. La boucle d'échange permet de mutualiser l'approvisionnement entre bâtiments via le stock centralisé à changement de phase. Par ailleurs, la forte couverture de panneaux solaire thermiques est tout à fait adaptée au centre sportif pour le préchauffage de l'ECS (voire chauffage direct en été) et le chauffage de la piscine.

### Inconvénient

Investissement initial relativement élevé (mais moins cher que des champs de sondes), COP global moins bon que pour le système de géothermie solaire, système relativement complexe.

### Conclusion

La solution ICESOL combinée à une boucle d'échange est également très innovante et constitue la meilleure alternative renouvelable possible à la géothermie.

## **7.3.4 Autres alternatives**

Nous avons vu ci-dessus que certains scénarii peuvent proposer des variations, permettant notamment d'abaisser le nombre de sondes, de panneaux solaires ou bien encore du volume de stockage à changement de phase (via les géostructures énergétiques, CADIOM, la valorisation des rejets de chaleur de l'air extrait, des eaux-usées). D'autres scénarii, non détaillés dans ce chapitre, pourraient également être considérés et faire l'objet d'analyses complémentaires, en particulier :

- Chauffage au bois décentralisé ou centralisé avec réseau CAD ;
- Système FEKA® (eaux-usées) avec appoint au gaz ou CADIOM.

## **8 Synthèse comparative des scénarii**

### **8.1 Comparaison quantitative des scénarii : bilan environnemental**

Dans cette section, les différents scénarii sont comparés d'un point de vue quantitatif en fonction de la contribution des énergies renouvelables locales à la satisfaction des besoins totaux (thermiques et électriques) du périmètre, de la quantité d'électricité ou de gaz qu'il faut importer du réseau, des émissions de CO<sub>2</sub>, ainsi que de l'énergie primaire totale. Précisons que pour l'électricité, le tableau indique la quantité à importer pour satisfaire aussi bien les besoins liés aux équipements électriques, que les besoins liés aux PAC.

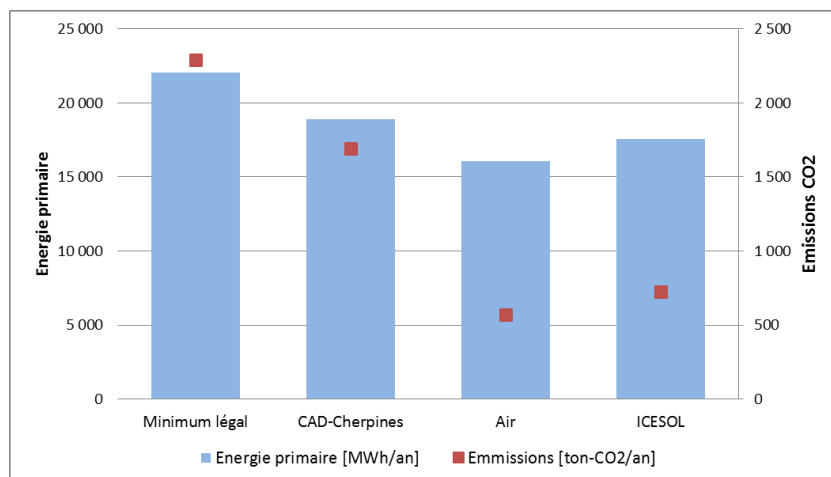
Les différents facteurs de conversion (énergie primaire, facteur primaire renouvelable, facteur émissions CO<sub>2</sub>) sont tirés du tableur 'Données des écobilans dans la construction' de KBOB<sup>7</sup> [26].

Les tableaux et graphiques ci-dessous donnent cette vue comparative dans le cas de figure sans installation de panneaux solaires PV complémentaires pour couvrir intégralement les besoins des PAC dans le cas des scénarii PAC-air et ICESOL.

---

<sup>7</sup> A noter que dans le cas du solaire thermique, seule la part de l'énergie finale utilisée directement pour le chauffage ou l'ECS est considérée dans le bilan. La part d'énergie solaire utilisée pour recharger les sondes (scénario Géothermie solaire) ou utilisée comme source des PAC (scénario IceSOL), directement ou via le stock à changement de phase, est considérée à travers l'énergie finale électrique nécessaire pour le fonctionnement des PAC.

Scenarii	Energie primaire	Emmissions	Part renouvelable
	[MWh/an]	[ton-CO <sub>2</sub> /an]	(-)
Minimum légal	22 043	2 291	55%
CAD-Cherpines	18 905	1 692	63%
Air	16 047	572	90%
ICESOL	17 584	726	86%



**Figure 20 : Comparaison quantitative entre les scénarii *sans* et *avec* le solaire PV complémentaire pour compenser les besoins électriques des PAC et groupes froid.**

Sans surprise, d'un point de vue environnemental, le scénario « Minimum légal » ne peut pas être recommandé sur la base des valeurs ci-dessus. Le CAD-Cherpines offre des performances un peu meilleures, mais restant moyennes. Il conviendra ainsi de pouvoir maximiser la part valorisant les rejets de la ZIPLO via les PAC afin d'améliorer ces performances.

Un stockage saisonnier des rejets estivaux dans les terrains où il est possible de poser des sondes à 34 m (au niveau des terrains de sport et d'une partie du périmètre du Rolliet notamment) contribuerait ainsi à accroître la contribution des PAC, de même qu'également la valorisation des eaux usées. Cet apport complémentaire par le déphase géothermique saisonnier et les eaux usées était d'ailleurs préconisé par le CET 2011-39 dans sa stratégie énergétique. En conséquence, si la part des PAC tendait vers 100% dans l'approvisionnement des besoins de chaleur, les performances environnementales du CAD-Cherpines (énergie primaire : 14'600 MWh/an, émissions CO<sub>2</sub> 660 t/an) deviendraient très proches de celles des deux autres scénarii basés sur les PAC (PAC-air et ICESOL).

## 8.2 Comparaison qualitative des scénarii

Une comparaison qualitative est également utile. Le tableau suivant récapitule ainsi les principaux avantages et inconvénients de chaque scénario. Il donne aussi, en prenant comme point de comparaison le scénario de base, les tendances au niveau de l'effort financier à fournir selon les variantes dans l'investissement de départ des infrastructures énergétiques et des coûts annuels (capital, énergies, maintenance), selon l'expérience du bureau A+W.

Scénario	Avantages	Inconvénients	Investissement	Coûts annuels
« Minimum légal »	Facilité de mise en œuvre. Efficacité énergétique accrue (au niveau de l'enveloppe pour être conforme à HPE).	Recours aux énergies fossiles impliquant des émissions de CO <sub>2</sub> , et une plus grande incertitude liée aux coûts des énergies. Contrainte d'une enveloppe thermique très performante	0	0
« CAD-Cherpines »	Projet pilote d'écologie industrielle Facilité de mise en œuvre, permet une dérogation au solaire thermique et de le remplacer par le solaire PV. Solution la plus adaptée à l'échelle des Cherpines, perspective d'écologie industrielle. Flexibilité : permet d'évoluer vers d'autres agents énergétiques, augmenter progressivement la part de renouvelable, se connecter à d'autres réseaux.	Incertitudes encore relatives par rapport à sa mise en œuvre. Effort de coordination entre tous les acteurs. Performances environnementales (énergie primaire, émissions, part renouvelable) moyennes.	+++	++
« Air »	Facilité de mise en œuvre, bonne alternative à la géothermie qui est très limitée.	Contrainte liée à l'obligation de mettre des panneaux solaires thermiques, performance (COP) assez faible. Occupation en toiture et bruit. Contrainte de décentralisation à travers une chaufferie par immeuble	+	+
ICESOL	Solution très innovante, mutualisation des ressources énergétiques dans le quartier, compatible avec un futur réseau interquartier. Bonne alternative aux sondes géothermiques, faibles coûts annuels.	Système complexe, très forte emprise des panneaux solaires en toiture, peu adapté à un phasage différencié des travaux, Fort investissement (nécessitant le recours au contracting et/ou subventions), coûts annuels de maintenance importants.	--	-

**Tableau 11 : Critères de comparaison qualitatifs**



## 9 Infrastructures, équipements, phasage et mesures transitoires

On synthétise les réservations à prévoir pour les niveaux de planification inférieurs, selon les différents scénarii. Les données d'installations techniques pour les bâtiments – puissances, surfaces de locaux de chaufferie, de production de froid, de toiture pour les panneaux solaires, volume de ballons ou stock – sont récapitulées ci-dessous. Elles font la distinction entre les trois pièces urbaines.

Gaz	Ea	Eb	D	TOTAL
Puissance installation chaud [kW]	2 117	2 224	3 744	8 085
Surface totale chaufferie [m2]	205	210	290	705
Puissance utile totale froid [kW]	397	23	1 182	1 602
Surface local production froid (groupe froid) [m2]	90	20	150	260
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m2]	2 113	2 120	3 120	7 353
CAD-Cherpines	Ea	Eb	D	TOTAL
Puissance installation chaud [kW]	2 117	2 224	3 744	8 085
Surface totale chaufferie (sous-station CAD-Cherpines) [m2]	135	139	191	465
Puissance utile totale froid [kW]	397	23	1 182	1 602
Surface local production froid (groupe froid) [m2]	90	20	150	260
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m2]	8 800	14 080	9 360	32 240
PAC Air-eau	Ea	Eb	D	TOTAL
Puissance installation chaud [kW]	2 117	2 224	3 744	8 085
Surface totale chaufferie localisée en <u>toiture</u> [m2]	205	210	290	705
Puissance utile totale froid [kW]	397	23	1 182	1 602
Surface local production froid (groupe froid) [m2]	90	20	150	260
Surface de toiture brute requise pour l'ECS [m2]	1 585	1 590	3 110	6 285
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m2]	5 966	5 705	10 729	22 400
ICESOL (stock centralisé)				TOTAL
Puissance totale PAC chaleur [kW]				8 085
Surface totale chaufferies [m2]				705
Volume du stock à changement de phase (eau/glace) [m3]				1 432
Volume d'accumulation total (ballons) [m3]				483
Puissance utile totale froid [kW]				1 602
Surface local production froid (groupe froid) [m2]				260
Surface de toiture brute requise pour les capteurs non vitrés [m2]				28 795
Surface de toiture brute requise pour solaire PV [m2]				21 439

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

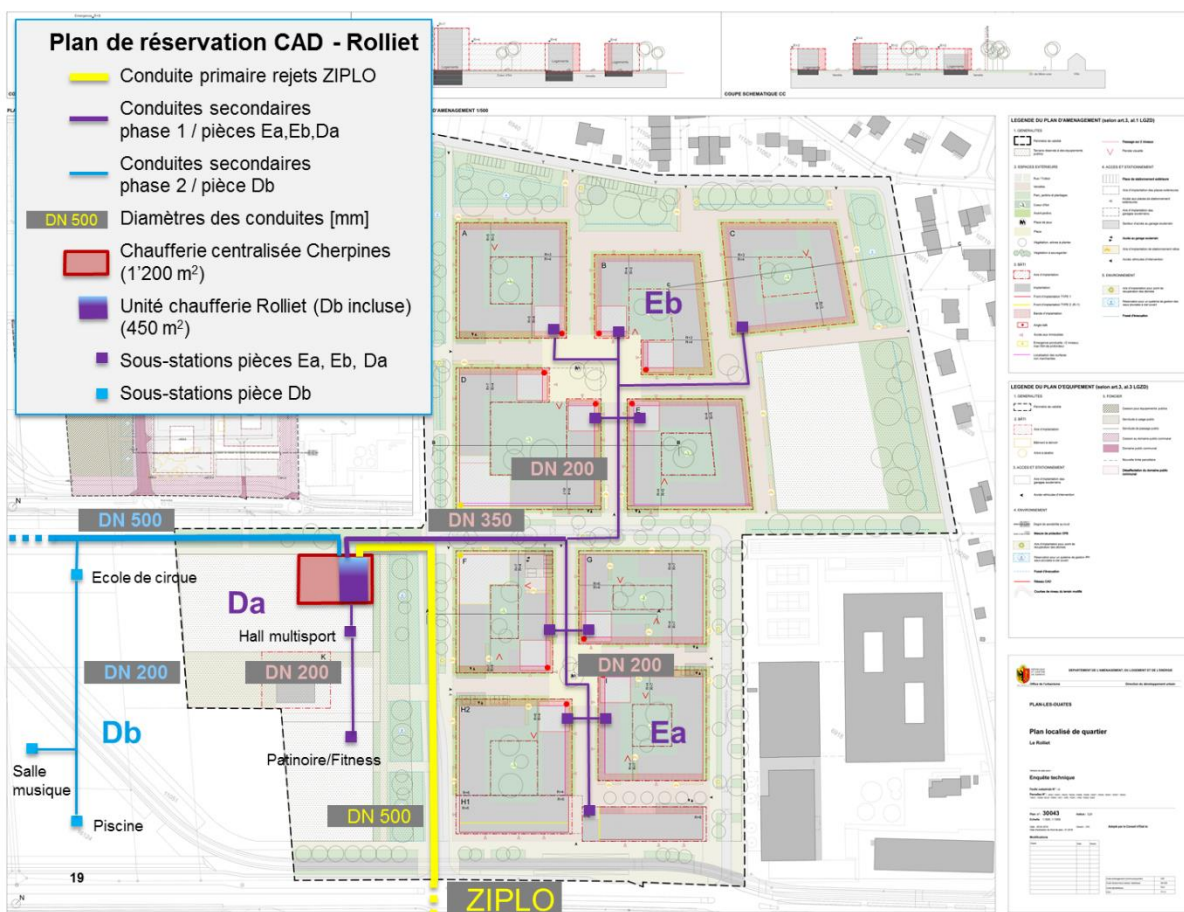
Concernant la prise en compte du **phasage** des travaux, comme présenté à Figure 2, la pièce D2, comprenant le complexe culturel et la piscine, sera réalisée probablement après les pièces Ea, Eb et D1. Cela n'a pas, a priori, d'incidence au niveau énergétique, notamment concernant la relation patinoire – piscine. Les rejets de la patinoire seront ainsi valorisés une fois la piscine construite.

Le scénario de base « CAD-Cherpines » étant privilégié, nous donnons ci-dessous une indication des **réserves spatiales** à prévoir pour la chaudière centralisée et le passage du CAD à travers le quartier. Cette carte est un approfondissement sur Rolliet du concept d'ensemble réalisé dans le cadre de l'étude d'opportunité menée en parallèle [27], tenant compte du projet en cours du PLQ [9].

Sur recommandation de la Direction du projet [28], la chaufferie centralisée alimentant le futur CAD-Cherpines est située au niveau de la pièce Da (emplacement à préciser ultérieurement). La carte met en évidence l'unité de chaufferie dédiée au Rolliet + pièce Db (surface à l'échelle). La chaufferie et ses différentes unités qui seront installées au gré du développement des phases du Grand projet comprennent à la fois des chaudières à gaz et des PAC valorisant les rejets de la ZIPLO (acheminés via la conduite à basse température en jaune).

A priori, les chaudières gaz seront dimensionnées pour couvrir 100% des besoins de puissance, d'une part pour satisfaire les besoins de pointes et assurer une solution de secours dans le cas de la non disponibilité des rejets de la ZIPLO (entretien des machines de froid par exemple). D'autre part, le développement d'un réseau à basse température valorisant les rejets de la ZIPLO est encore aujourd'hui empreint d'une certaine incertitude quant à sa réalisation et l'échéance de celle-ci. Cette incertitude se situe davantage au niveau de l'engagement des acteurs industriels que technique (une fois les engagements formalisés la création d'un réseau de rejets jusqu'aux Cherpines ne devrait pas poser de problème majeur en termes de délai de réalisation). Ainsi, une chaufferie centralisée dimensionnée pour couvrir la totalité des besoins de puissance avec du gaz constituerait en même temps une **mesure transitoire** si la mise à disposition des rejets de la ZIPLO intervenait après la réalisation de la phase 1 (PLQ Rolliet).

Il convient cependant de préciser qu'un retardement prolongé de la mise à disposition des rejets de la ZIPLO rendrait la solution transitoire (100% gaz) non conforme à la loi sur l'énergie (HPE impliquant une part fossile de maximum 60% par rapport au  $Q_{hi,ww}$  de la norme SIA 380/1). Dans ce cas, il s'agirait d'anticiper suffisamment tôt ce risque et de s'orienter soit vers les autres scénarios décentralisés analysés dans ce CET (PAC air-eau, solaire + ICESOL) en renonçant au CAD, soit de maintenir le réseau CAD en optant pour des unités de chaudière à **biomasse/bois énergie**, faisant de la cogénération et fournissant un ruban thermique et électrique toute l'année (unité dimensionnée selon les besoins d'ECS). Ce dernier cas serait envisageable, étant donné que la qualité de l'air future, une fois le projet réalisé, ne constitue a priori pas une contrainte au niveau des  $NO_x$  (cf. section 5.2). En revanche, des filtres à particules performants devront être prévus en conformité avec les normes relatives à la qualité de l'air, étant donné que le niveau maximum des PM10 est déjà dépassé en zones périphériques quelques jours par année.



**Figure 21 : schéma de réservation spatiale pour le déploiement du réseau CAD-Cherpines sur le périmètre du Rolliet en fonction des phasages des constructions (phases 1 et 2), sur fond du projet de PLQ [9]**

## 10 Conclusion et recommandations

L'intérêt du CAD-Cherpines, qui a déjà été largement démontré en amont à travers les orientations stratégiques et études précédentes, se confirme pour le périmètre des Rolliet à travers la présente étude de CET. Il permet de mieux de rationaliser la distribution de l'énergie sur un quartier très vaste et s'inscrit dans une perspective innovante d'écologie industrielle.

Le « CAD-Cherpines » offre cependant des performances environnementales moyennes du fait de la part significative de gaz dans le CAD au niveau de l'énergie délivrée par la chaufferie centralisée des Cherpines (a priori 30% gaz – 70% PAC sur rejets). Cette répartition entre gaz et PAC sur rejets ZIPLO devra encore être précisée, modifiant le cas échéant les performances environnementales. Des ressources énergétiques complémentaires aux rejets de la ZIPLO pourraient être envisagées pour augmenter la part des PAC et améliorer ces performances environnementales : stockage/déphasage thermique saisonnier des rejets de la ZIPLO dans des sondes géothermiques basse profondeur (terrains de sport et une partie du périmètre du Rolliet) et valorisation de la chaleur des eaux usées.

Afin de mettre en œuvre ce réseau, il s'agira de consolider l'engagement de tous les acteurs (fournisseurs de rejets sur la ZIPLO, contracteurs et exploitants énergétiques, promoteurs immobiliers, communes concernées, Etat), en particulier les SIG suite à leur sollicitation par le COPIL. Cependant, ce partenariat public-privé autour du projet du CAD-Cherpines basé sur la valorisation des rejets de la ZIPLO n'est pas encore totalement abouti, ce qui rend le projet encore incertain par rapport à sa réalisation et son échéance.

D'autres solutions ont été envisagées si le CAD-Cherpines venait à ne pas se réaliser (ou du moins à l'échéance du PLQ Rolliet) du fait de la non disponibilité des rejets de la ZIPLO. Ainsi des systèmes décentralisés, tels que les PAC individuelles par bâtiment, soit air-eau, soit solaire + stockage de glace, constituent des alternatives valables pouvant être considérées. La combinaison solaire – stockage de glace et boucle d'échange est particulièrement innovante et permet de mutualiser et rationaliser la distribution de l'énergie à l'échelle de tout un quartier. Une autre alternative consisterait à maintenir le CAD-Cherpines, mais orienté vers une chaufferie de quartier en partie alimentée par du bois avec des unités de cogénération (assurant un ruban thermique et électrique) et équipée de filtres pour limiter les émissions de PM10 et de NO<sub>x</sub>.

La conception énergétique de la pièce D est particulièrement complexe du fait de sa structure bâtie et de la multitude d'affectations différentes. La présente étude CET a proposé des valeurs approximatives de besoins de la patinoire et de la piscine et des rejets potentiels valorisables. Il s'agira ultérieurement de les approfondir et de les affiner en fonction du dimensionnement précis de ces infrastructures.

## Références

- [1] Stratégie fédérale 2050, <http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00527/index.html?lang=fr>
- [2] *Rapport du Conseil d'Etat au Grand Conseil sur la conception générale de l'énergie 2005-2009 et projet de conception générale de l'énergie 2013*, Secrétariat du Grand Conseil, 8 mai 2013, <http://www.geneve.ch/grandconseil/data/texte/RD00986.pdf>
- [3] *Plan guide Cherpines dans le cadre de la Maîtrise d'œuvre urbaine (Cahier 3)*, groupement Urbaplan, juin 2014.
- [4] Séance DIRPRO / NIE / Energie, 8 avril 2016.
- [5] *Plan directeur cantonal 2030 (D02/carte annexe n°11)*, Aménagement du territoire et urbanisme, Canton de Genève, <http://ge.ch/amenagement/plan-directeur-cantonal-2030>.
- [6] *CET 2011-39, Plan directeur de quartier – Cherpines*, groupement FHY, octobre 2011.
- [7] *Mandat de maîtrise d'œuvre urbaine. Cahier 4 : concept énergétique territorial*, EDMS, juin 2014.
- [8] *CET 2014-09. Zone industrielle et artisanale « écoParc industriel Cherpines »*. Cahier 2. *Concept énergétique territorial*, EDMS, novembre 2014.
- [9] *Avant-projet de PLQ Rolliet*, Urbaplan, avril 2016.
- [10] *Programmation sportive de la pièce D / Cherpines*, Urbaplan, mars 2016.
- [11] *Compilation des SBP prévues sur les Cherpines, selon informations fournies par Urbaplan et Direction de projet (OU)*, avril 2016.
- [12] *Qualité de l'air 2014*, Service de protection de l'air du Canton de Genève.
- [13] *Centres sportifs et voirie des Vernets. Etude de faisabilité*, Amstein+Walthert Genève, janvier 2010.
- [14] *CET-2013, Etude de planification énergétique, GP Grand-Saconnex*. Amstein+Walthert, novembre 2011.
- [15] *Valorisation intensive des énergies renouvelables dans l'agglomération franco-valdo-genevoise (VIRAGE) dans une perspective de société à 2000W*, Faessler J., Université de Genève, 2011.
- [16] <http://www.wind-data.ch/windkarte/index.php?lng=fr>
- [17] *Heizen und kühlen mit Abwasser, Baudirektion Kanton Zürich, Septembre 2010*.
- [18] <http://www.energie-environnement.ch/economiser-l-eau/situer-sa-consommation-d-eau> .
- [19] *Chauffer et rafraîchir grâce aux eaux usées – Guide pour les maîtres d'ouvrage et les communes*, SuisseEnergie.
- [20] *Energie aus Abwasser, Lehrmittel – System Feka, FEKA, 15.12.2009*, [http://www.feka.ch/pdf/FEKA\\_Energie\\_aus\\_Abwasser.pdf](http://www.feka.ch/pdf/FEKA_Energie_aus_Abwasser.pdf)
- [21] <http://j1.joulia.com/>
- [22] *Kriterien für « Best-Practice » von verschiedenen Wärmepumpen-Systemen*, Hubacher P., Rognon F., 19. Tagung des Forschungsprogramms Wärmepumpen und Kälte des Bundesamts für Energie, 26. Juni 2013, Burgdorf
- [23] *Chauffage par pompe à chaleur solaire avec des capteurs sélectifs non vitrés et accumulateurs à changement de phase*, Energie Solaire SA, édité par l'OFEN, Octobre 2012.
- [24] *Systèmes solaires & panneaux climatiques KIGO*, présentation Energie Solaire SA, mars 2016.
- [25] <http://www.energie-solaire.com>
- [26] Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics KBOB, <https://www.kbob.admin.ch/kbob/fr/home.html>.
- [27] *Elaboration d'un concept d'approvisionnement en chaleur par le CAD-ZIPLO pour le GP Cherpines*, sous mandat des SIG, auteur : Amstein+Walthert, avril 2016.
- [28] Séance DIRPRO, 28 avril 2016
- [29] *Rapport d'étude d'impact*, Urbaplan, version du 20 juillet 2016