

## TRAVAIL DE VALIDATION

### Conversion d'une friche industrielle en quartier d'habitation à Avully



## But

Ce document a pour but de présenter de manière détaillée les aspects suivants d'un quartier, notamment tirés de l'art. 6, al. 12 de la Loi sur l'énergie (LEn)<sup>1</sup> :

- La détermination des besoins énergétiques du quartier ;
- La détermination des ressources énergétiques à disposition localement et à différentes échelles du territoire ;
- Les processus de choix du ou des vecteurs énergétiques en fonction des intérêts des différents acteurs.

S'agissant d'un travail de semestre, ce document ne saurait être exhaustif. Il est toutefois articulé autant que possible autour des problématiques les plus intéressantes de l'énergie dans le territoire, de manière à contribuer à la recherche de solutions efficaces et innovantes.

## Introduction

Situé au creux d'un méandre du Rhône sur la Commune d'Avully, le quartier étudié s'étend sur une surface d'environ 20'000 m<sup>2</sup>. Les parcelles de la Touvière sont occupées par les installations d'une industrie chimique désormais désaffectée. Une station de pompage y avait été installée pour pomper l'eau du Rhône et garantir le refroidissement des machines. Quelques 150 jardins familiaux contrastant avec l'activité industrielle ont été aménagés aux alentours.



Dans la suite de ce document, le quartier que nous étudions sera nommé « quartier de la Touvière », en référence au lieudit « La Touvière ».



Figure 1 – Vue externe du quartier<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Voir [http://www.ge.ch/legislation/rsg/f/s/rsg\\_L2\\_30.html](http://www.ge.ch/legislation/rsg/f/s/rsg_L2_30.html)

<sup>2</sup> Toutes les photographies et les plans de situation de ce document proviennent du logiciel *Google Earth*. Elles sont et restent la propriété de leurs propriétaires respectifs.



## Table des symboles

Pour illustrer la démarche, chaque chapitre sera précédé d'un icône identifiant son champ d'application :

Icône	Champ d'application
-------	---------------------



Les bâtiments qui composent le quartier de la Touvière ou la zone à proximité immédiate de ce dernier (parcelle).



L'environnement du quartier, sa commune ou éventuellement des zones appartenant à d'autres communes très proches.



La zone située autour de la ville de Genève, de l'extrémité ouest du canton de Genève jusqu'à l'entrée de la ville.



L'ensemble de l'agglomération franco-valdo-genevoise<sup>3</sup>, faisant abstraction de la frontière cantonale ou nationale.



## Intégration dans la commune

Le plan directeur de la commune d'Avully<sup>4</sup> mentionne des thèmes principaux autour desquels elle souhaite se concentrer, notamment :

- Eviter la dispersion de l'urbanisation hors du centre du village ;
- Soutenir les projets agroécologiques en garantissant les intérêts de l'agriculture, le maintien des surfaces d'assolement et les corridors pour la faune ;
- Respecter les chemins de randonnées pédestres et les aménagements pour les deux-roues.

Il n'est à *priori* pas prévu de densifier la commune dans un futur proche. Cependant, durant son activité, l'industrie a pollué le sol et contaminé la nappe principale du Rhône par des solvants chlorés. La société exploitant l'usine est en faillite ainsi qu'en litige avec la commune qui exige qu'elle assainisse le site (principe du pollueur-payeur)<sup>5</sup>. Afin de revaloriser cette friche industrielle, la

<sup>3</sup> Voir <http://www.projet-agglo.org/>

<sup>4</sup> Voir [http://etat.geneve.ch/dt/amenagement/plan\\_directeur\\_communal\\_avully-691-3737-8536.html](http://etat.geneve.ch/dt/amenagement/plan_directeur_communal_avully-691-3737-8536.html)

<sup>5</sup> Les zones contaminées peuvent parfois réserver des surprises : [http://www.romandie.com/news/n/Des\\_produits\\_dangereux\\_reposaient\\_depuis\\_25\\_ans\\_a\\_La\\_Chaux\\_de\\_Fonds071220111112.asp](http://www.romandie.com/news/n/Des_produits_dangereux_reposaient_depuis_25_ans_a_La_Chaux_de_Fonds071220111112.asp)



commune d'Avully envisage la réaffectation du site en un quartier d'habitation, ce qui est compatible avec la volonté politique cantonale de construire des quartiers d'habitation sans pour autant sacrifier des zones agricoles.



### Plan directeur connexe

La consultation du plan directeur de quartier de la Plaine du Rhône<sup>6</sup>, zone située de l'autre côté du Rhône, en vis-à-vis du quartier de la Touvière, a permis d'identifier un quartier en projet de développement affecté en « zone péricentrale à forte densité » ou zone de développement 4A<sup>7</sup>. Celui-ci est issu d'un site industriel réaffecté. Les densités de construction sont de l'ordre de 0.7<sup>8</sup>.

### Intégration dans la politique d'extension de l'agglomération franco-valdo-genevoise

De par sa taille et sa diversité, l'agglomération franco-valdo-genevoise permet à ses habitants de se fournir en énergie de manière écologique et à des coûts raisonnables. De nombreux acteurs participent à son développement de manière à en faire une région prospère et durable.



En 2009, les services industriels de Genève ont ouvert un bureau en France voisine qui avait pour but de décrocher des mandats en relation avec l'énergie dans cette région. Malheureusement, ce bureau a été fermé faute d'opportunités<sup>9</sup>.

Le schéma directeur cantonal genevois<sup>10</sup> indique que la majorité de la commune d'Avully est située en zone agroenvironnementale<sup>11</sup>, exception faite du centre du village et des régions en bordures du Rhône qui sont classées dans l'inventaire fédéral des paysages (IFP). L'industrie exploitant le site étudié a été construite avant le découpage du territoire en zone d'affectation (1972 pour la commune d'Avully), ce qui explique son emplacement intrusif qui ne serait pas admis aujourd'hui<sup>12</sup>.

<sup>6</sup> Voir [http://etat.geneve.ch/dt/amenagement/pdq\\_plan-691-3720.html](http://etat.geneve.ch/dt/amenagement/pdq_plan-691-3720.html)

<sup>7</sup> Voir [http://etat.geneve.ch/geoportail/metadatas/Publish/documents/DESCRIPTIF\\_ZONES\\_AFFECTATION.pdf](http://etat.geneve.ch/geoportail/metadatas/Publish/documents/DESCRIPTIF_ZONES_AFFECTATION.pdf)

<sup>8</sup> Voir [http://etat.geneve.ch/geoportail/metadatas/Publish/documents/ZONES\\_AFFECTATIONS\\_SIMPLIFIEES.pdf](http://etat.geneve.ch/geoportail/metadatas/Publish/documents/ZONES_AFFECTATIONS_SIMPLIFIEES.pdf)

<sup>9</sup> Voir <http://www.20min.ch/ro/news/geneve/story/SIG-France-ferme-et-perd-un-million-de-francs-13265854>

<sup>10</sup> Disponible sur <http://etat.geneve.ch/dt/amenagement/carte-686-5101-7787.html>

<sup>11</sup> Un réseau agroenvironnemental vise à conserver voire à développer la biodiversité en reliant entre eux des espaces naturels d'intérêt particulier par des structures écologiques telles que prairies extensives, jachères florales, bandes culturales extensives, haies, etc.

<sup>12</sup> Voir l'annexe *Extrait du plan directeur cantonal Genevois (édition 2015)*



## Projet envisagé



À l'heure actuelle, aucun plan d'affectation n'est prévu pour ces parcelles ; on doit donc formuler une hypothèse réaliste en ce qui concerne le type d'affectation et la densité construite associée. Pour les estimer, on peut appliquer la même densité pour le quartier de la Touvière que celle qui est envisagée à la Plaine<sup>13</sup>. La surface disponible permettrait d'accueillir environ 14'000 m<sup>2</sup> de plancher brut.

### Potentiel d'habitat et d'activités

Afin de diminuer les transports, de favoriser les liens de voisinage et donc d'améliorer la qualité de vie des habitants du quartier, un tiers de la surface des rez-de-chaussée a été assigné à des commerces ou des restaurants selon la décomposition suivante :

Affectation	Surface brute de plancher [m <sup>2</sup> ]	Surface brute de plancher [-]
Habitat collectif	12'300	88%
Commerces	850	6%
Restauration	850	6%
<b>Total</b>	<b>14'000</b>	<b>100%</b>

**Tableau 1 – Répartition arbitraire des surfaces de plancher selon l'affectation**

Ne disposant pas de plans à cette étape du projet, il a été décidé de départager les surfaces en quatre bâtiments d'emprise au sol de 80 mètres par 16 mètres, comportant un rez-de-chaussée, deux étages et un attique. Il peut être admis que la surface de plancher brut est approximativement égale à la surface de référence énergétique.

Le quartier de la Touvière pourrait s'articuler autour de quatre immeubles, que nous considérerons de taille et de forme identique. Chacun d'eux pourrait accueillir 36 appartements d'une surface d'environ 100 m<sup>2</sup> en moyenne. Ainsi composé, le quartier de la Touvière permettrait de mettre à disposition des futurs habitants un total de 144 appartements.

Avec un nombre moyen d'habitants par logement de 2.09<sup>14</sup> à Genève, on peut estimer le nombre de résidents pouvant être accueillis à :

$$144 \text{ appart} * 2.09 \text{ pers/appart} = 300 \text{ personnes}$$

<sup>13</sup> Voir *Plan directeur connexe* ci-dessus

<sup>14</sup> Voir <http://www.ge.ch/statistique/tel/publications/2010/resultats/dg-rs-2010-12.pdf>



En résumé, nous obtenons :

Étendue	Un immeuble du quartier de la Touvière	Quartier de la Touvière au complet
Appartements	36	144
Personnes	75	300

**Tableau 2 – Nombre d’appartements et de personnes**

## Qualité énergétique des bâtiments

En termes de performance énergétique des nouvelles constructions, la loi sur l’énergie genevoise<sup>15</sup> impose le standard HPE (Haute Performance Énergétique)<sup>16</sup>. Les bâtiments du quartier de la Touvière devront donc satisfaire au moins aux critères de cette loi. L’État de Genève documente aussi le standard THPE (Très Haute Performance Énergétique)<sup>17</sup> qui demande des exigences encore plus poussées.

<sup>15</sup> Voir [http://www.geneve.ch/legislation/rsg/f/s/rsg\\_l2\\_30.html](http://www.geneve.ch/legislation/rsg/f/s/rsg_l2_30.html)

<sup>16</sup> Voir [http://www.geneve.ch/legislation/rsg/f/rsg\\_l2\\_30p01.html](http://www.geneve.ch/legislation/rsg/f/rsg_l2_30p01.html), art. 12B

<sup>17</sup> Voir [http://www.geneve.ch/legislation/rsg/f/rsg\\_l2\\_30p01.html](http://www.geneve.ch/legislation/rsg/f/rsg_l2_30p01.html), art. 12C



## Besoins énergétiques

L'ensemble des bâtiments du quartier de la Touvière doit être correctement alimenté en énergie de manière à satisfaire les besoins en termes de confort thermique, d'eau chaude sanitaire et d'électricité.

Pour ce qui concerne le chauffage et l'eau chaude sanitaire, divers vecteurs énergétiques sont possibles et sont étudiés ci-après ; la quantité d'énergie nécessaire nous donnera des indications quant aux vecteurs potentiellement utilisables.



Les calculs des exigences thermiques présentés dans ce document sont conformes à la norme SIA 380/1. Il a été observé que cette méthode sous-évaluait les besoins réels en énergie<sup>18</sup>.

Ceci provient du fait que la norme SIA cherche à quantifier la performance d'une enveloppe thermique dans des conditions d'utilisation normalisées. Elle s'affranchit donc par exemple des effets du comportement des utilisateurs qui a un fort impact sur la consommation d'énergie.

L'étude des besoins réels nécessiterait de prévoir une marge de sécurité confortable sur les hypothèses avancées de manière à couvrir les incertitudes liées aux comportements des utilisateurs et d'autres paramètres difficilement quantifiables.

### Confort thermique

Les bâtiments répondant au standard HPE doivent satisfaire aux exigences de la norme SIA 380/1 édition 2009 réduites de 20%. De plus, les 40% du solde des besoins doivent être produits par des sources d'énergie renouvelable.

De même, le standard THPE demande de satisfaire aux exigences de la norme SIA 380/1 édition 2009 réduites de 40%. Dans ce cas de figure, le 50% du solde doit être produit par des sources d'énergie renouvelable.

Moyennant l'approche « Performance globale requise » de la norme SIA 380/1 et tenant compte d'un facteur de forme optimiste de 1.1, les besoins annuels<sup>19</sup> en chauffage du quartier de la Touvière sont de 400 MWh/an pour le standard HPE et de 300 MWh/an pour le standard THPE.

### Production d'eau chaude sanitaire

Pour un bâtiment locatif, l'utilisation d'eau chaude sanitaire est de 35 litres à 60°C par personne et par jour<sup>20</sup>. La norme SIA 380/1 prévoit 75 MJ/m<sup>2</sup>/an pour le logement collectif, 25 MJ/m<sup>2</sup>/an pour les commerces et 200 MJ/m<sup>2</sup>/an pour les restaurants. Dans le quartier de la Touvière, il s'agit donc de dimensionner les installations de production d'eau chaude pour pouvoir produire 310 MWh/an<sup>21</sup>.

<sup>18</sup> Voir à ce propos la thèse de M. Jean Marc Zraggen disponible sur <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:13093>

<sup>19</sup> Voir l'annexe *Détermination des besoins de chaleur pour le chauffage*

<sup>20</sup> Voir *La Maison Solaire*, Josef Jenni, ISBN 978-3-033-02762-6

<sup>21</sup> Voir l'annexe *Détermination des besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire*



## Récapitulatif des besoins

Besoins annuels	HPE	THPE	Unité
Chauffage	400	300	MWh/an
Eau chaude sanitaire	310	310	MWh/an
<b>Total</b>	<b>710</b>	<b>610</b>	<b>MWh/an</b>
Part renouvelable minimale	40%	50%	-
<b>Énergie renouvelable</b>	<b>284</b>	<b>305</b>	<b>MWh/an</b>
<b>Énergie non renouvelable</b>	<b>426</b>	<b>305</b>	<b>MWh/an</b>

Tableau 3 – Besoins annuels totaux en énergie et répartition

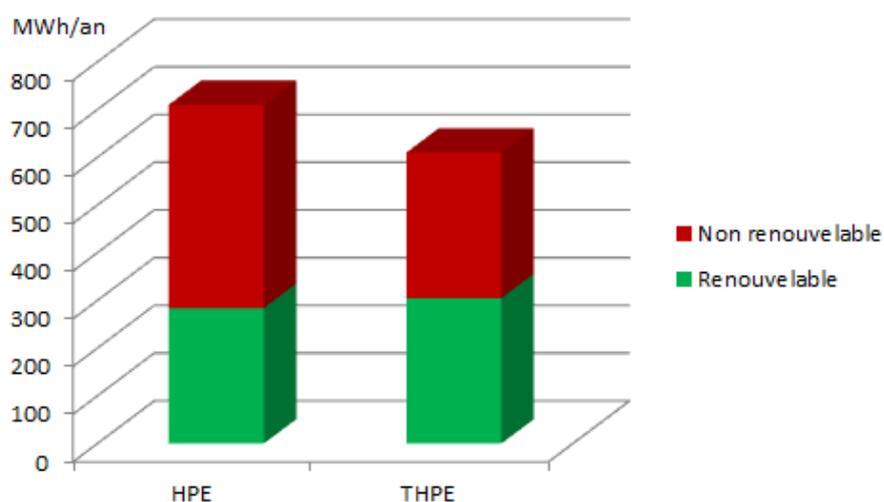


Figure 2 – Répartition des besoins en énergies renouvelable et non renouvelable

Il s'agira de fournir au quartier une part fixe d'énergie renouvelable à laquelle on devra éventuellement ajouter une part d'énergie non renouvelable pour assurer les besoins des utilisateurs. La part non renouvelable acceptable pour une construction HPE est supérieure à celle d'une construction THPE.



La suite de ce document n'évaluera que la variante HPE. Les raisonnements proposés ici s'appliquent aussi à des constructions répondant aux exigences des constructions THPE.





Les données présentées dans les chapitres précédents sont des valeurs d'énergie, qui sont utiles à la fois pour connaître la quantité de ressources à utiliser et pour en déterminer le prix à l'exploitation.

Pour effectuer certains calculs, nous avons quelques fois besoin de connaître la puissance de certains équipements. Une estimation de la puissance peut-être dérivée directement de l'énergie en utilisant la formule suivante<sup>22</sup> :

$$\text{Puissance} = \text{Énergie} / \text{Heures à pleine charge}$$

Le terme *Heures à pleine charge* est par convention défini à 2700 h/an pour un système assurant les besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire situé jusqu'à 800 mètres d'altitude. Il est entendu que les équipements ne fonctionnent pas forcément en « tout ou rien » – cette valeur a seulement pour but de permettre d'évaluer aisément la puissance requise.



## Mobilité

Une planification efficace des modes de transport est nécessaire lors de la construction d'un nouveau quartier et ce notamment dans les zones périurbaines. La mobilité peut avoir un impact considérable sur la consommation d'énergie ou la pollution locale, notamment si l'offre en transports public n'est pas adaptée.

Dans le quartier qui nous intéresse, il est nécessaire de s'assurer que les transports publics soient largement plus utilisés que les véhicules motorisés privés. Genève connaît un taux de 473 véhicules de tourisme pour mille habitants<sup>23</sup> (ou 0.473 véhicules par habitant). Appliqué au nombre d'habitants du quartier d'Avully, nous pouvons prévoir :

$$0.473 \text{ véh/hab} * 600 \text{ hab} = 284 \text{ véhicules}$$

Le taux de véhicule en zone périurbaine étant supérieur au taux de véhicule en zone urbaine, on arrondira ce nombre à 300 véhicules. Si chaque véhicule effectue 36 kilomètres par jour pour se rendre en ville (18 kilomètres aller-retour) cinq jours par semaine, on obtient une distance totale de :

$$300 \text{ véh} * 36 \text{ km/véh/jour} * 5 \text{ jours} = 54'000 \text{ km}$$

En 2008, l'émission de CO<sub>2</sub> des voitures neuves immatriculées en Suisse était de 175 g/km<sup>24</sup>. On peut donc calculer le total hypothétique des émissions de notre quartier :

$$54'000 \text{ km} * 175 \text{ g/km} = 9450 \text{ kg}$$

Ces 9.5 tonnes de CO<sub>2</sub> sont donc à mettre en comparaison avec une utilisation des transports publics, qui génèrent près de 50 fois moins de CO<sub>2</sub> par usager<sup>25</sup>.

<sup>22</sup> Voir [http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=fr&name=fr\\_276203272.pdf](http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=fr&name=fr_276203272.pdf)

<sup>23</sup> Voir le cours EDD-BAT de M. Micaël Tille, partie 1, page 9

<sup>24</sup> Voir [http://assets.wwf.ch/downloads/wwf\\_broschuere\\_offroad\\_4x4\\_fr\\_final.pdf](http://assets.wwf.ch/downloads/wwf_broschuere_offroad_4x4_fr_final.pdf)

<sup>25</sup> Selon [http://www3.unil.ch/wpmu/forumdd/files/2011/03/VE\\_6\\_S.Generoso.pdf](http://www3.unil.ch/wpmu/forumdd/files/2011/03/VE_6_S.Generoso.pdf)



On notera aussi que les routes d'accès au quartier sont des routes de campagne et bien qu'elles puissent supporter 300 véhicules de plus par jour, elles ne pourraient pas tolérer un développement massif de cette zone périurbaine.

Compte tenu de ce qui précède, le recours aux transports publics n'est pas seulement raisonnable ; c'est une nécessité.



Une autre option serait d'encourager le travail local, à l'idée du Domaine des Perrières à Coppet<sup>26</sup>. Ce quartier comporte des immeubles d'habitation mais aussi des immeubles mixtes, avec des habitations dans les étages et des commerces au rez-de-chaussée. Les habitants peuvent potentiellement travailler dans un restaurant, une société fiduciaire ou un salon de coiffure local, et n'ont de ce fait pas la nécessité d'emprunter un moyen de transport pour se déplacer.

La topologie du quartier de la Touvière est prévue dans ce sens.

La gare de la Plaine se situe à 950 mètres du quartier, soit à moins de 13 minutes à pied. Toutefois, la qualité de la desserte n'est pas bonne (classe D<sup>27</sup>). Pour l'améliorer, il s'agirait de construire une passerelle sur le Rhône pour réduire le trajet à pied à moins de 9 minutes et d'augmenter la cadence du RER à au moins un train toutes les 20 minutes.



Une telle passerelle permettrait aux parents d'accompagner leurs enfants à l'école primaire de la Plaine sans utiliser la voiture. Si les horaires des trains étaient synchronisés avec les heures d'école, les parents seraient ainsi encouragés à utiliser les transports publics.

---

<sup>26</sup> Voir [http://www.architectes.ch/files/file\\_id=7817](http://www.architectes.ch/files/file_id=7817)

<sup>27</sup> Selon le cours de M. Micaël Tile, partie 2, page 52 et suivantes



## État des lieux des ressources énergétiques



De nombreuses ressources sont à disposition, aussi bien localement que dans l'agglomération franco-valdo-genevoise. Il s'agit de déterminer le potentiel de chaque ressource, de manière à pouvoir ensuite choisir celle ou celles qui seront en adéquation avec les besoins du quartier.

### Électricité

L'énergie électrique consommée à Genève provient à 87%<sup>28</sup> de sources renouvelables. De bonnes installations sont en service, mais elles ne couvrent que 30% de l'énergie consommée dans le canton.



Il est envisageable de concevoir et de maintenir une installation de production d'électricité locale à au quartier de la Touvière en faisant appel aux services industriels de Genève (SIG)<sup>29</sup>. C'est ce qu'ont récemment fait les établissements publics pour l'intégration (EPI)<sup>30</sup>.

Les SIG exploitent deux installations de production d'électricité renouvelable à proximité du quartier de la Touvière : la centrale au fil de l'eau de Verbois et la centrale photovoltaïque SIG Solar<sup>31</sup>.

Ces deux installations se situent à un peu plus de 3 kilomètres du quartier de la Touvière :

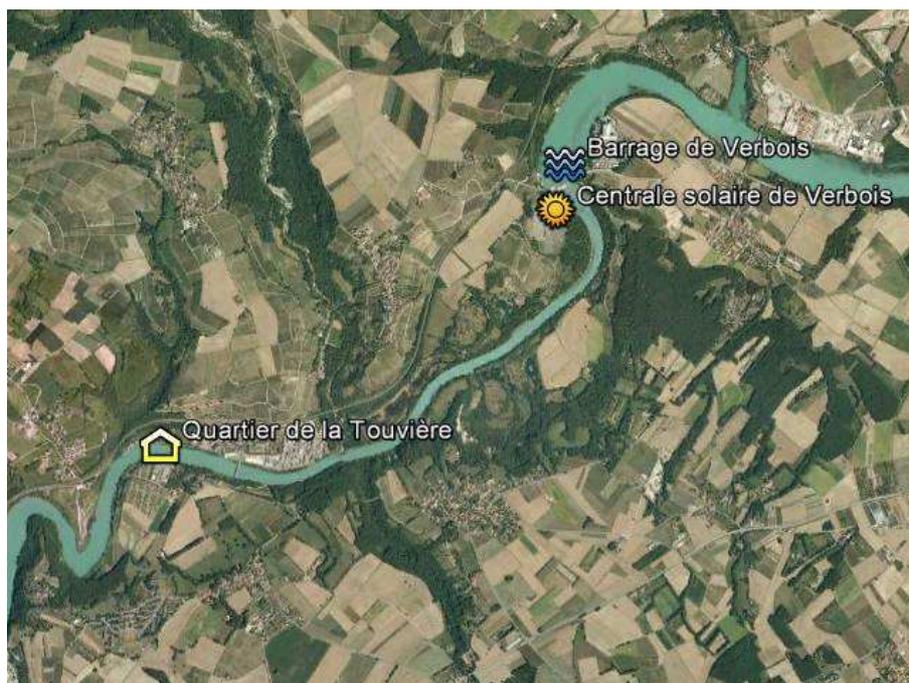


Figure 3 – Plan de situation des centrales de production de Verbois

<sup>28</sup> Voir <http://www.siq-ge.ch/corporate/nos-activites/les-energies/l-electricite/index.lbl>

<sup>29</sup> Voir <http://www.siq-ge.ch/corporate/nos-activites/index.lbl>

<sup>30</sup> Voir <http://www.siq-ge.ch/corporate/media-center/espace-presse/communiqués-de-presse/index.lbl?p=ED3FAD27-B103-47F0-B31E-6D8008F6ACE2>

<sup>31</sup> Voir <http://www.siq-ge.ch/corporate/l-entreprise-siq/notre-patrimoine/index.lbl>



Il n'est malheureusement pas possible de garantir un approvisionnement du quartier de la Touvière par ces deux centrales. Toutefois, les SIG proposent des offres qui permettent de garantir un approvisionnement en électricité renouvelable.

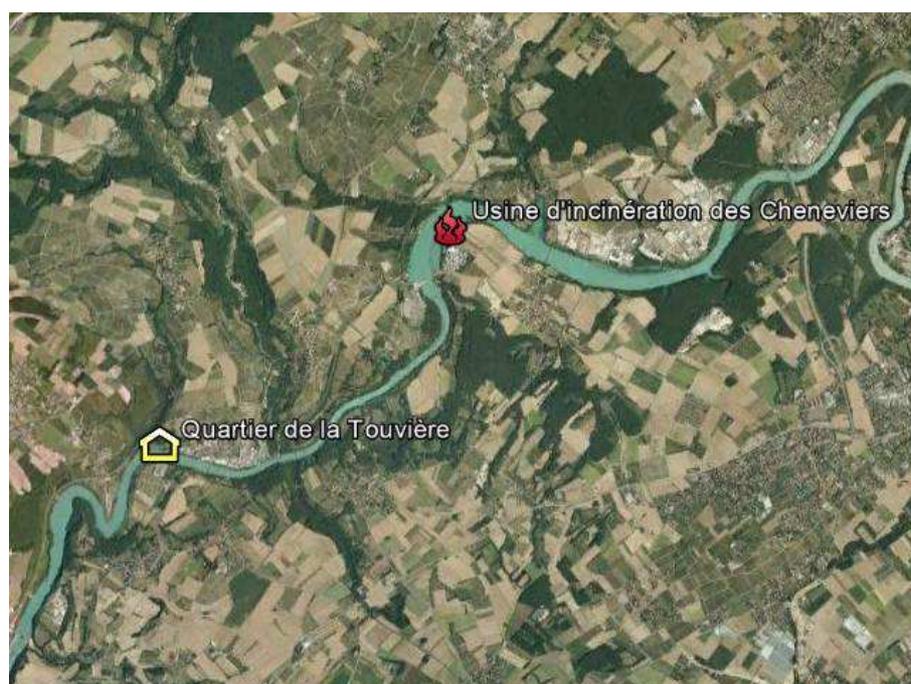


En complément, le recours à des certificats de production d'électricité écologique est une solution envisageable pour garantir une forme de compatibilité écologique du quartier.



### Chauffage à distance par les déchets ménagers

L'usine d'incinération des Cheneviers est située à 3.5 kilomètres du quartier de la Touvière et serait donc un producteur d'énergie potentiel pour le quartier :



**Figure 4 – Plan de situation de l'usine d'incinération des Cheneviers**

L'usine des Cheneviers incinère les déchets du canton pour produire 173 GWh d'électricité par an, tout en mettant à disposition de l'eau chaude dans le cadre du chauffage à distance Cadiom<sup>32</sup>. Ce réseau permet actuellement de produire de l'eau chaude et du chauffage pour 23'000 personnes (8'800 ménages) situées dans les communes d'Onex et de Lancy<sup>33</sup>.

Cadiom met chaque année une énergie de 90 GWh à disposition des bâtiments connectés. Il est désormais question d'augmenter sa puissance de 79 MW à 90 MW. Sans avoir pu obtenir de précisions, nous pouvons toutefois extrapoler ces nombres pour déterminer que l'augmentation annuelle en énergie se situe aux environs de 12 GWh/an, soit bien assez pour alimenter de nombreux quartiers.

<sup>32</sup> Voir <http://www.cadiom.ch>

<sup>33</sup> Voir <http://www.siq-ge.ch/entreprises/gestion-des-dechets/index.bl>





L'utilisation du réseau Cadiom fait l'objet de critères stricts, qui permettent de garantir son fonctionnement optimal en tout temps. Certains bâtiments incompatibles avec ce type de chauffage seront dès lors exclus.

Le quartier de la Touvière étant relativement isolé d'autres quartiers plus denses, il risquerait de ne pas répondre aux priorités d'approvisionnement du réseau Cadiom. Toutefois, nous avons considéré dans la suite de ce document que la densification de la zone périurbaine permettra à l'avenir la réalisation de projets qui vont dans ce sens.

Une extension du réseau Cadiom en direction de Cartigny, d'Avully et du quartier de la Touvière permettrait d'alimenter efficacement ces zones, et éviterait de recourir à une multitude d'installations locales de chauffage. Toutefois, les travaux d'installation de conduites sur cette grande distance induiraient des investissements particulièrement élevés.

Les pertes de distribution s'élevant à plus de 30% sur la distance nécessaire, l'énergie nécessaire se monte à 1014 MWh/an. Ces pertes – associées à un investissement élevé – sont tout à fait disproportionnées. Le système pourrait devenir rentable pour autant que d'autres quartiers soient connectés.



Une idée qui fait son chemin dans plusieurs villes d'Europe – et ce depuis des dizaines d'années déjà – est l'utilisation de transports pneumatiques souterrains pour acheminer les déchets vers le centre de retraitement<sup>34</sup>.

Dans le cas qui nous intéresse, des réseaux souterrains pourraient être réalisés pour relier Avully, Cartigny et Aïre-la-Ville à l'usine des Cheneviers.

Ce modèle dans lequel on aurait les déchets ménagers circulant des habitations vers l'usine d'incinération avec en parallèle la chaleur produite par ces déchets circulant dans le sens inverse est intéressant d'un point de vue économique : les mêmes fouilles pourraient être utilisées pour le transport des déchets et pour le chauffage à distance. Les coûts de construction et de maintenance seraient ainsi réduits.

---

<sup>34</sup> Voir <http://laviedesreseaux.fr/Consultez-nos-themes-reseaux/Autres/Envac-fait-disparaitre-les-dechets>





## Chauffage à distance par le bois

Le réseau de chauffage à distance à bois de Cartigny<sup>35</sup> est situé à 2 kilomètres du quartier de la Touvière :



**Figure 5 – Plan de situation du chauffage à distance à bois de Cartigny**

L'utilisation du réseau de chauffage à distance à bois de Cartigny pour l'alimentation en chaleur du quartier de la Touvière est une option envisageable, mais souffre des mêmes défauts que Cadiom, à savoir un investissement élevé pour la pose des conduites et des pertes de distribution importantes.



L'intérêt de cette option doit toutefois être mis en relation avec le prix et la disponibilité du bois de chauffage.

L'augmentation du prix de seulement quelques pourcents provoquerait un dépassement du prix actuel du pétrole et contribuerait à créer des frustrations chez les utilisateurs qui auraient l'impression d'être lésés d'avoir choisi une ressource écologique.

La centrale de chauffe de Cartigny dispose de deux chaudières existantes et d'un emplacement pour en accueillir une troisième. Cette troisième chaudière d'une capacité maximale de 2000 kW pourrait produire environ 7200 MWh/an, ce qui suffirait amplement à alimenter le quartier de la Touvière. On notera toutefois qu'en septembre 2010, la centrale n'était pas utilisée à sa pleine capacité par manque d'abonnés<sup>36</sup>.

<sup>35</sup> Voir <http://klimarappen.ch/fr/projets/suisse/chaleur/detail/reseau-de-chaleur-a-distance-a-cartigny.html>

<sup>36</sup> Voir <http://www.tdg.ch/geneve/actu/prix-chauffage-bois-flambe-cartigny-2010-09-03>



Le quartier de la Touvière a besoin de 710 MWh/an, ce qui nous permet de calculer un besoin en énergie finale de 1130 MWh/an (considérant un rendement de la chaudière de 90% et un rendement de distribution de 70%<sup>37</sup>).



On notera que cette valeur ne prend pas en compte l'énergie grise nécessaire à l'extraction, à la transformation ou au transport du bois<sup>38</sup>.

Le rendement de distribution très mauvais de l'ordre de 30% est dû au fait que le circuit de distribution n'alimente qu'un seul consommateur. Sa densité est donc très faible, et son rendement diminué d'autant. Si l'on pouvait ajouter plus de consommateurs autour du quartier de la Touvière, le rendement augmenterait proportionnellement.

Si seul le quartier de la Touvière est connecté au réseau de chauffage à distance, la densité de raccordement serait de 0.28 MWh/aml. Cette valeur est de 5 fois inférieure au minimum habituellement respecté<sup>39</sup>. Les frais de mise en place des conduites s'élèveraient à au moins 700'000 CHF<sup>40</sup>. Naturellement, l'investissement ne peut pas être rentable s'il n'est pas réalisé dans une zone à haute densité d'habitations.

---

<sup>37</sup> Voir « *Planification et exécution – Assurance Qualité* » – Office fédéral de l'énergie, disponible en commande sur <http://www.qmbois.ch/inhalt/indexfr.htm>

<sup>38</sup> Des informations détaillées sont disponibles sur [http://www.energie-bois.ch/uploads/tx\\_ttproducts/datasheet/403energieinhalt\\_graueEnergie\\_DFI\\_01.pdf](http://www.energie-bois.ch/uploads/tx_ttproducts/datasheet/403energieinhalt_graueEnergie_DFI_01.pdf)

<sup>39</sup> Voir le chapitre 11.2.1 du document « *Planification et exécution – Assurance qualité chauffage au bois* »

<sup>40</sup> Déterminé sur la base du chapitre 6.1.4 du document « *Planification et exécution – Assurance qualité chauffage au bois* »

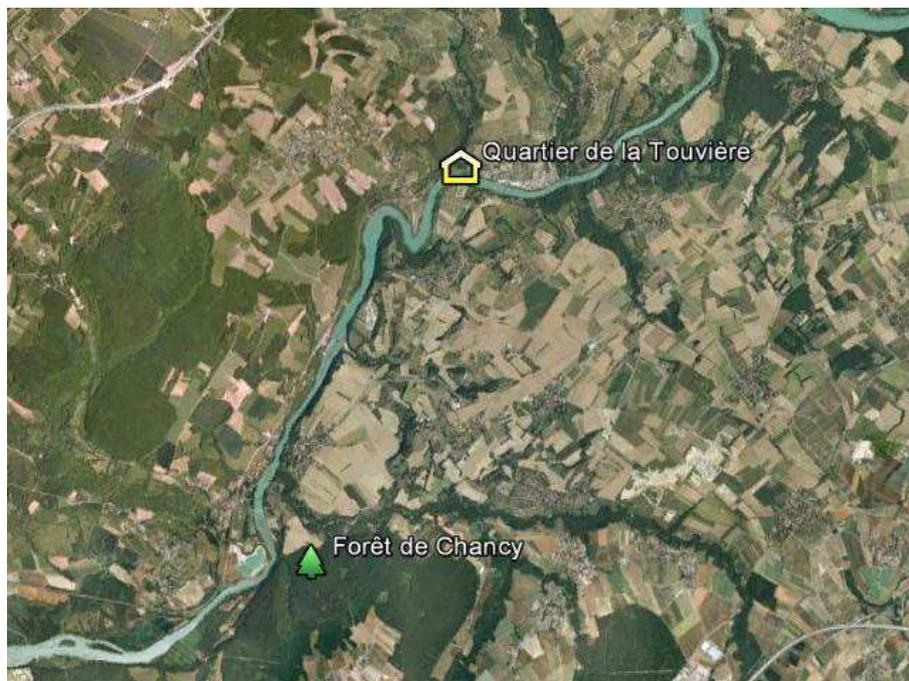




## Chauffage à bois local

Le canton de Genève gère environ la moitié des forêts du territoire genevois, soit 1412 ha<sup>41</sup>. L'ensemble de ces forêts genevoises a une croissance annuelle de 16'000 m<sup>3</sup>/année<sup>42</sup>, dont 6000 à 7000 m<sup>3</sup> sont valorisés économiquement<sup>43</sup>, le solde étant plus, difficilement accessible, trop coûteux à exploiter ou simplement pas encore utilisé.

La forêt de Chancy située à moins de 5 kilomètres du quartier de la Touvière constitue donc une ressource digne d'intérêt :



**Figure 6 – Plan de situation de la forêt de Chancy**

Le volume de bois inexploité dans la région correspond à une énergie de 4500 MWh/an, ce qui peut couvrir les besoins du quartier.

Considérant un rendement de la chaudière de 90%, nous pouvons déterminer les besoins en énergie finale de 790 MWh/an.



Sachant qu'un mètre-cube de plaquettes contient une énergie de 750 kWh, nous pouvons déterminer qu'il faudra 1053 m<sup>3</sup>/an de plaquettes de bois.

Une telle installation coûte environ 380'000.- francs, réduits à 300'000.- francs grâce aux subventions.

<sup>41</sup> Voir [http://www.cuepe.ch/html/biblio/pdf/filiere\\_bois\\_energie.pdf](http://www.cuepe.ch/html/biblio/pdf/filiere_bois_energie.pdf), page 8

<sup>42</sup> Cela correspond à la moyenne suisse de 3 m<sup>3</sup>/ha/an

<sup>43</sup> Voir [http://etat.geneve.ch/dt/nature/pourquoi\\_faut\\_parfois\\_couper\\_arbres\\_gestion\\_forestiare\\_est\\_elle\\_aujourd\\_hui\\_durable-274-4921-11849.html](http://etat.geneve.ch/dt/nature/pourquoi_faut_parfois_couper_arbres_gestion_forestiare_est_elle_aujourd_hui_durable-274-4921-11849.html)





## Biogaz

La région située autour de la commune d'Avully est riche en matière organique d'origine agricole. Il est possible de valoriser cette matière organique en biogaz, pour produire de la chaleur et de l'électricité :



**Figure 7 – Plan de situation de la commune d'Avully**

Les exploitations agricoles de la commune produisent 3800 tonnes/an de matières organiques, soit un potentiel annuel en termes de capacité calorifique du biogaz produit de 1440 MWh/an<sup>44</sup>.

Compte-tenu d'un rendement d'environ 80%, on peut estimer la production de chaleur à 734 MWh/an et la production d'électricité à 446 MWh/an<sup>45</sup>. Ces valeurs sont compatibles avec les besoins du quartier de la Touvière.

Le coût d'investissement pour une telle installation est d'environ 480'000.- francs<sup>46</sup>.

## Pompe à chaleur géothermique

La géothermie est une source de chaleur omniprésente et abondante dans le sous-sol. Différents moyens sont possibles pour la capter : nappe de tubes disposés horizontalement, corbeilles géothermiques ou sondes verticales. On se focalisera sur la dernière méthode qui est la plus répandue en Suisse car elle permet de mobiliser la chaleur en profondeur, là où la température est la plus élevée.



On parle de géothermie à basse température, lorsqu'on exploite le sous-sol entre 0 et 300 mètres. À cette profondeur, la température se situe aux environs de 20°C, ce qui nécessite l'emploi d'une pompe à chaleur pour extraire la chaleur.

<sup>44</sup> Valeurs non vérifiées, tirée du rapport « *Valorisation énergétique des déchets et coproduits agricoles genevois : étude d'orientation* », ACADE, BG ingénieurs conseils, AgriGenève – Juillet 2007

<sup>45</sup> Voir le « *Concept énergétique PDQ – Avully* », Enercore – Mars 2010

<sup>46</sup> Extrapolé de [http://www.aper.ch/pdf/doc\\_biomasse/rentabilite\\_demarches.pdf](http://www.aper.ch/pdf/doc_biomasse/rentabilite_demarches.pdf)



Le service de Géologie, Sols et Déchets (GESDEC) du canton de Genève est l'organe chargé de valider l'autorisation de forage de sondes géothermiques. Plusieurs critères doivent cependant être remplis pour que l'autorisation soit accordée :

- Les sondes géothermiques ne doivent pas entrer en contact avec une nappe d'eau souterraine exploitée pour l'eau de boisson ;
- La parcelle doit être située hors des zones de protection des eaux souterraines ;
- Le site ne doit pas être situé sur une zone en glissement, le sol en mouvement risquant de cisailer les sondes le long du plan de glissement.

Dans certains cas de figure, le forage de sondes géothermique est autorisé moyennant des précautions spécifiques<sup>47</sup>.

Le GESDEC publie sur son site internet une carte<sup>48</sup> répertoriant les zones de protection des nappes souterraines interdites à la géothermie. Le quartier de la Touvière se trouve hors d'une telle zone.

Concernant les zones en glissement, le Guichet cartographique du Système d'Information du Territoire Genevois (SITG) met à disposition une carte<sup>49</sup> permettant de localiser de telles zones. À nouveau le quartier de la Touvière se situe en dehors des zones à risques.

Comme énoncé précédemment, la parcelle est inscrite au cadastre des sites pollués<sup>50</sup> sous le registre : « Contamination de la nappe principale du Rhône par des solvants chlorés et benzènes ». Lorsqu'un site est contaminé au sens de l'art. 2 de l'OSites<sup>51</sup>, un assainissement de la zone est obligatoire et en principe le forage de sondes géothermiques est proscrit. Une entrée en matière serait envisageable une fois l'assainissement obligatoire effectué et moyennant un suivi hydrogéologique sévère lors du forage, de manière à détecter d'éventuelles traces de pollutions.

---

<sup>47</sup> Disponible dans l'ouvrage « *Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol* » édité par l'Office Fédérale de L'Environnement (OFEN) en 2009

<sup>48</sup> Voir l'annexe *Extrait de la carte des zones d'autorisation des forages géothermiques*

<sup>49</sup> Voir l'annexe *Extrait de la carte des zones en glissement*

<sup>50</sup> Voir l'annexe *Extrait du cadastre des sites pollués*

<sup>51</sup> OSites : Ordonnance sur l'assainissement des Sites pollués



Si l'autorisation était accordée, on pourrait envisager d'exploiter environ le tiers de la surface de la parcelle avec des sondes :



**Figure 8 – Plan de situation du forage géothermique**

En répartissant les sondes à raison d'une pour 100 m<sup>2</sup>, il serait possible d'installer environ 70 sondes. En admettant que la profondeur maximale de forage est de 300 mètres, en extrayant 30 W/m' dans le sous-sol et en fixant à 2700 le nombre d'heures à pleines charges, on peut alors estimer le potentiel géothermique exploitable à 1700 MWh/an. Ce potentiel couvre amplement les besoins du quartier de la Touvière en énergie géothermique, soit 585 MWh/an<sup>52</sup>.

Le cout d'une telle installation a été estimé à 425'000.- francs ; il peut être réduit à 260'000.- francs grâce aux subventions.

---

<sup>52</sup> Voir l'annexe *Détermination des besoins de la pompe à chaleur sur sondes géothermiques*





## Pompe à chaleur eau/eau

Une prise d'eau dans le Rhône, vestige de la zone industrielle sise à l'emplacement du quartier de la Touvière, serait utilisable pour assurer la totalité des besoins de chauffage du quartier de la Touvière :



**Figure 9 – Plan de situation de la prise d'eau dans le Rhône**

Pour déterminer le potentiel hydrothermique exploitable du Rhône, nous avons admis que les infrastructures seraient réemployées pour alimenter les bâtiments du quartier de la Touvière. Le débit maximal des pompes existantes est de 3340 litres/min<sup>53</sup>. En bornant la différence de température entre le prélèvement et le rejet à 3°C et en limitant la durée de fonctionnement à pleine charge de la pompe à chaleur, on obtient un potentiel exploitable de 1880 MWh/an, soit près de trois fois les besoins énergétiques<sup>54</sup> du quartier.



L'exploitation de l'eau du sous-sol à des fins hydrothermiques n'est possible qu'en cas de conditions hydrogéologiques favorables (bonne perméabilité de l'aquifère). De plus, la présence de pollutions solubles dans l'eau rendra les démarches d'autorisation difficiles, voire exclues.

Le cout d'une telle installation a été estimé à 350'000.- francs. Il semble qu'elle ne peut pas bénéficier de subvention.

<sup>53</sup> Voir l'annexe *Autorisation de prélèvement d'eau dans le Rhône*

<sup>54</sup> Voir l'annexe *Détermination des besoins de la pompe à chaleur eau/eau*





## Solaire thermique

L'utilisation de l'énergie solaire permet d'atteindre les exigences en matière d'énergie renouvelable, tout en s'affranchissant des risques d'approvisionnement en énergie. Le quartier de la Touvière étant idéalement placé loin de tout obstacle, le masque solaire est pratiquement neutre :

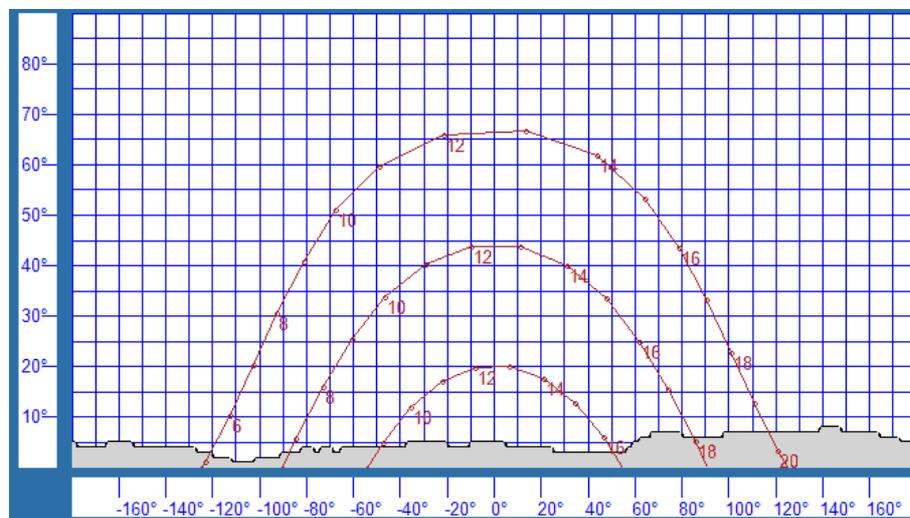


Figure 10 – Masque solaire calculé à l'emplacement du quartier de la Touvière

Le potentiel solaire peut être calculé en multipliant la surface potentiellement utilisable par l'irradiation moyenne annuelle. On considère que la totalité des toits pourrait être recouverte de capteurs solaires, ce qui donne :

$$5120 \text{ m}^2 * 1210 \text{ kWh/m}^2/\text{an} = 6195 \text{ MWh/an}$$

Le calcul complet<sup>55</sup> du rendement solaire d'une installation judicieusement dimensionnée sort du cadre de ce document, mais deux scénarios sont toutefois détaillés en annexe<sup>56</sup>.

Le premier scénario montre qu'un quartier particulièrement bien conçu peut être autonome en énergie de chauffage et de production d'eau chaude. Pour ce faire, il s'agit de recouvrir la quasi-totalité des toits de panneaux solaires inclinés et espacés judicieusement (3482 m<sup>2</sup> nets) et d'utiliser un stock d'eau conséquent (644 m<sup>3</sup>) dans les zones chauffées.

Avec une telle installation, le taux de couverture solaire atteint les 100%, ce qui indique que l'énergie produite et stockée durant l'année (notamment en été) suffit à couvrir les besoins annuels totaux du bâtiment. Aucune autre source d'énergie n'est nécessaire (excepté le peu d'énergie électrique nécessaire au fonctionnement de l'installation).

Cette installation coûterait tout de même 4.3 millions de francs<sup>57</sup> et utiliserait une quantité d'énergie solaire de 1064 MWh/an<sup>58</sup>. Une telle installation peut bénéficier

<sup>55</sup> Voir <http://www.jenni.ch/tc.htm>

<sup>56</sup> Voir les annexes *Scénario solaire thermique autosuffisant* et *Scénario solaire thermique économique*

<sup>57</sup> Voir <http://www.sebasol.ch/archives/2011/Bon%20a%20Savoir%20carnet%2016.09.11.pdf>, page 9

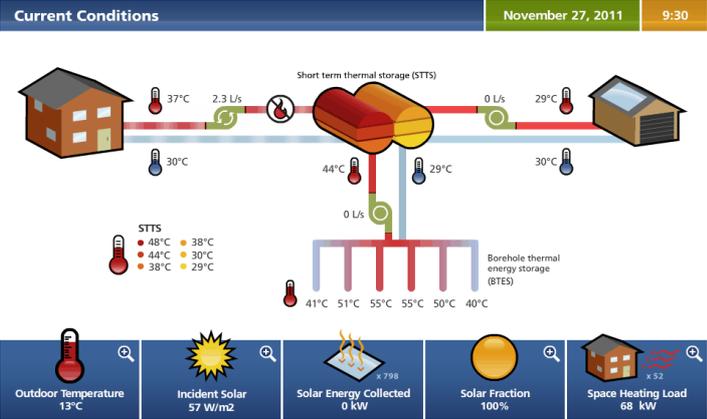
<sup>58</sup> On tient compte ici d'un rendement de 67%, tiré des données de l'annexe *Scénario solaire thermique autosuffisant*



d'environ 1.2 millions de francs de subventions<sup>59</sup> et coûterait donc finalement 3.1 millions de francs.

Un second scénario propose une installation plus modeste : 929 m<sup>2</sup> de capteurs pour un stock d'eau de 172 m<sup>3</sup>. Cette installation coûte 1'150'000.- francs mais ne couvre cette fois que 40% des besoins en énergie de chauffage. Les subventions permettraient de réduire ce montant à 870'000.- francs.

 Des installations solaires utilisant majoritairement le soleil comme source de chaleur existent et sont prometteuses. Ainsi, l'installation de Drake Landing<sup>60</sup> vise une couverture solaire de 90% pour 52 villas individuelles. Elle utilise des panneaux solaires thermiques disposés sur les toits de garages et stocke l'énergie dans le sol de l'été à l'hiver.



L'énergie est transmise aux villas par l'intermédiaire d'un système de chauffage à distance communautaire. L'ensemble permet d'économiser pas moins de 260 tonnes de gaz à effet de serre chaque année et de s'affranchir des risques liés à l'approvisionnement distant en énergie.

<sup>59</sup> Voir [http://etat.geneve.ch/dt/energie/connaître\\_critères\\_subvention-849-4592-11087.html](http://etat.geneve.ch/dt/energie/connaître_critères_subvention-849-4592-11087.html)

<sup>60</sup> Voir <http://www.dlsc.ca/how.htm> pour des informations détaillées ou [http://www.dlsc.ca/DLSC\\_Brochure\\_f.pdf](http://www.dlsc.ca/DLSC_Brochure_f.pdf) pour la brochure en Français





## Rejets thermiques industriels

L'entreprise Firmenich utilise des procédés industriels pour produire des substituts d'arômes et de ce fait utilise une grande quantité d'énergie, dont une partie est rejetée dans le Rhône. Ce complexe industriel se trouve à moins de 800 mètres du quartier de la Touvière, ce qui fait d'elle à *priori* une candidate idéale :



**Figure 11 – Plan de situation de la prise d'eau dans le Rhône**

L'utilisation de rejets thermiques industriels peut être intéressante, autant d'un point de vue écologique qu'économique. Cependant, cette potentialité n'a pas été retenue notamment parce qu'une rumeur fait état d'une éventuelle fermeture du site de la Plaine<sup>61</sup>. Si cela était avéré, il faudrait du jour au lendemain trouver une alternative pour continuer à assurer le chauffage et la production d'eau chaude pour 300 habitants. Une telle dépendance d'un quartier d'habitation à une entreprise privée n'est simplement pas acceptable.



Il serait bien sûr possible de prévoir une centrale de chauffe de secours, mais les coûts de construction et de maintenance de cette dernière dans l'éventualité de l'utiliser un jour seraient prohibitifs au regard des avantages apportés par l'utilisation de rejets industriels.

## Autres sources d'énergie

D'autres sources d'énergie pourraient être évaluées mais seules les ressources locales ou présentant une composante écologique ont été retenues.

Ainsi, le gaz de chauffage ou le mazout ont été exclus du champ d'analyse de ce document.

<sup>61</sup> Voir <http://fvelen.blog.tdg.ch/archive/2011/11/16/firmenich-et-la-llods-banque-quitteiraient-geneve.html>



## Considérations multicritères

Comme nous avons pu le voir, de nombreuses ressources énergétiques sont à disposition. L'état des lieux étant fait, il s'agit maintenant de déterminer quels vecteurs énergétiques sont appropriés pour le quartier de la Touvière. Pour se faire, il convient de fixer des critères de décision qui permettront de comparer ces vecteurs entre eux.

### Considérations écologiques

L'argument principal lors du choix de sources énergétiques écologiques est d'éviter celles qui ont une grande composante non renouvelable.

Le Tableau 4 ci-dessous résume l'énergie finale nécessaire à l'exploitation des bâtiments du quartier de la Touvière selon différents scénarios :

Scénario	Énergie renouvelable <sup>62</sup> [MWh/an]	Énergie non renouvelable [MWh/an]
<b>Solaire thermique autosuffisant</b> Solaire	<b>1'064</b> 1'064	
<b>Chauffage à distance Cadiom</b> Usine des Cheneviers <sup>63</sup>	<b>507</b> 507	<b>507</b> 507
<b>Chauffage à distance à bois</b> Chaufferie de Cartigny	<b>1'130</b> 1'130	
<b>Chauffage à bois local</b> Chaufferie locale au quartier de la Touvière	<b>790</b> 790	
<b>Biogaz</b> Partie thermique seulement	<b>1'393</b> 1'393	
<b>Pompe à chaleur géothermique</b> Géothermie Électricité de la PAC <sup>64</sup>	<b>911</b> 585 326	<b>49</b>  49

<sup>62</sup> Selon la définition de l'art. 6 de la loi sur l'énergie (LEn) disponible sur [http://www.ge.ch/legislation/rsq/f/s/rsq\\_L2\\_30.html](http://www.ge.ch/legislation/rsq/f/s/rsq_L2_30.html)

<sup>63</sup> L'entreprise qui exploite Cadiom indique que l'énergie produite peut être considérée renouvelable à hauteur de 50%

<sup>64</sup> On considère un facteur 3 pour produire de l'énergie électrique finale à partir d'énergie primaire, ainsi qu'une part de 87% d'énergie électrique renouvelable



Scénario	Énergie renouvelable <sup>62</sup> [MWh/an]	Énergie non renouvelable [MWh/an]
<b>Pompe à chaleur sur le Rhône</b>	<b>895</b>	<b>45</b>
Hydrothermie	595	
Électricité de la PAC	300	45

**Tableau 4 – Énergie finale nécessaire au quartier de la Touvière**

Le chauffage à bois local semble être particulièrement intéressant d'un point de vue écologique et comme nous l'avons vu plus haut, il pourrait utiliser du combustible produit localement.

Les installations à pompes à chaleur sont aussi intéressantes, mais dépendent directement du rapport entre l'énergie renouvelable et l'énergie non renouvelable mis à disposition lors de l'approvisionnement électrique.

Le chauffage à distance Cadiom présente une composante non renouvelable conséquente lorsqu'on le compare aux autres scénarios.

Le chauffage à distance à bois de Cartigny doit consommer largement plus de combustible qu'un chauffage à bois local pour produire le même résultat ; comme nous l'avons vu plus haut, la différence se situe dans les pertes du réseau de distribution.

L'installation solaire thermique quant à elle n'utilise que du soleil. Bien que sa part puisse paraître élevée par rapport à d'autres vecteurs énergétiques, on notera qu'elle ne risque pas de se tarir avant plusieurs milliards d'années<sup>65</sup>.

#### Disponibilité des vecteurs énergétiques

Le Tableau 5 ci-dessous compare l'énergie renouvelable nécessaire à l'énergie renouvelable mobilisable pour chacun des types de chauffage présentés plus haut :

Scénario	Énergie renouvelable nécessaire [MWh/an]	Énergie renouvelable mobilisable [MWh/an]
<b>Solaire thermique autosuffisant</b>	<b>1'064</b>	<b>6'195</b>
Solaire	1'064	6'195
<b>Chauffage à distance Cadiom</b>	<b>507</b>	<b>6'000</b>
Usine des Cheneviers <sup>66</sup>	507	6'000

<sup>65</sup> Voir <http://www.linternaute.com/science/espace/pourquoi/06/mort-soleil/mort-soleil.shtml>

<sup>66</sup> On ne considère ici que la part renouvelable de l'usine d'incinération



Scénario	Énergie renouvelable nécessaire [MWh/an]	Énergie renouvelable mobilisable [MWh/an]
<b>Chauffage à distance à bois</b>	<b>1'130</b>	<b>7'200</b>
Chaufferie de Cartigny	1'130	7'200
<b>Chauffage à bois local</b>	<b>790</b>	<b>4'500</b>
Chaufferie locale au quartier de la Touvière	790	4'500
<b>Biogaz</b>	<b>734</b>	<b>1'440</b>
Partie thermique seulement	734	1'440
<b>Pompe à chaleur géothermique</b>	<b>911</b>	-
Géothermie	585	1'700
Électricité de la PAC	326	∞ <sup>67</sup>
<b>Pompe à chaleur sur le Rhône</b>	<b>895</b>	-
Hydrothermie	595	1'880
Électricité de la PAC	300	∞

**Tableau 5 – Comparaison entre l'énergie nécessaire et l'énergie mobilisable**

Comme on peut le voir<sup>68</sup>, la quantité d'énergie disponible pour chaque type de chauffage est suffisante pour les besoins du quartier de la Touvière.



On notera toutefois que l'agglomération franco-valdo-genevoise est en déficit de logements et que d'autres projets pourraient avoir recours aux ressources nécessaires au quartier de la Touvière. Il est donc nécessaire de coordonner les projets, et de les agencer correctement dans l'espace et dans le temps.

<sup>67</sup> On considère la part d'électricité renouvelable nécessaire aux pompes à chaleur comme étant intarissable.

<sup>68</sup> Les mêmes données sont présentées graphiquement dans l'annexe *Carte comparative des ressources mobilisables*



## Considérations économiques

Le Tableau 6 ci-dessous résume les coûts des installations proposées :

Scénario	Investissement [Francs]	Exploitation [Francs/an]
<b>Solaire thermique autosuffisant</b>	3'100'000.-	3'000.-
<b>Chauffage à distance Cadiom</b>	700'000.-	90'500.-
<b>Chauffage à distance à bois</b>	700'000.-	98'500.-
<b>Chauffage à bois local<sup>69</sup></b>	300'000.-	22'000.-
<b>Biogaz</b>	480'000.-	34'000.-
<b>Pompe à chaleur géothermique</b>	260'000.-	25'000.-
<b>Pompe à chaleur sur le Rhône</b>	350'000.-	23'000.-

**Tableau 6 – Coût d'investissement et d'exploitation d'équipements de chauffage et de production d'eau chaude**

Comme le montre le tableau ci-dessus, le coût d'une installation de chauffage et de production d'eau chaude se divise en deux parts distinctes : l'investissement et l'exploitation.

L'investissement prend en compte tous les coûts nécessaires à l'étude, à l'achat et à la mise en service d'une installation. Cette installation ayant une durée de vie limitée, il s'agira de l'éliminer et de la remplacer ultérieurement.

Les coûts d'exploitation quant à eux comprennent l'achat d'un éventuel combustible, la maintenance périodique, les révisions et les éventuels intérêts à payer sur l'investissement. L'électricité a été devisée à un coût fixe de 23 cts/kWh.

A titre d'exemple, une installation solaire thermique demande un investissement conséquent alors qu'elle ne coûtera que peu à l'exploitation. A l'opposé, un chauffage à distance à bois ne demande qu'un bas investissement mais coûtera plus cher à l'exploitation.

<sup>69</sup> Selon « *Planification et exécution – Assurance Qualité* », Office fédéral de l'énergie, disponible en commande sur <http://www.qmbois.ch/inhalt/indexfr.htm>



La Figure 12 ci-dessous fait apparaître que les scénarios utilisant des équipements locaux (à l'exception de l'installation solaire autosuffisante) sont plus intéressants financièrement que les installations de chauffage à distance :

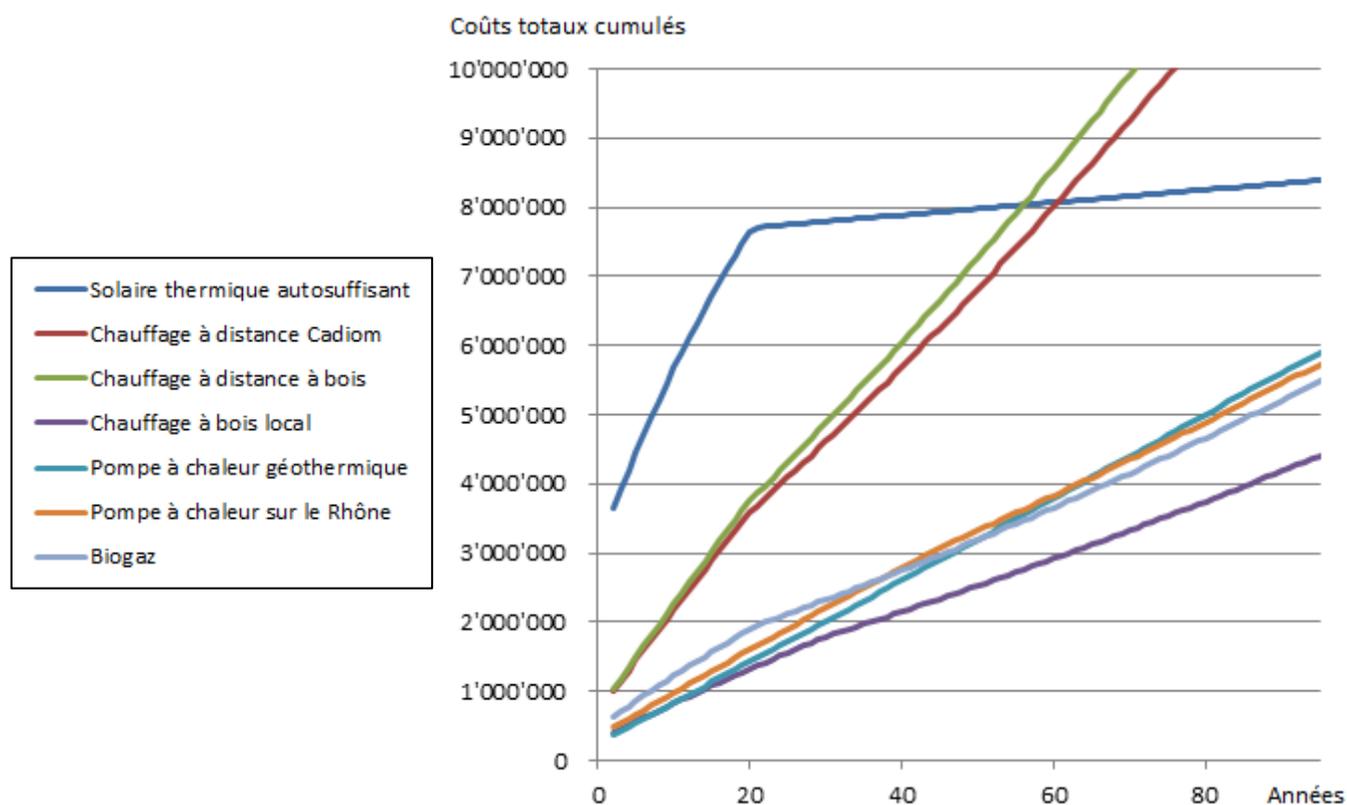


Figure 12 – Évolution des couts cumulés des types de chauffage

On constate aussi que c'est l'amortissement (et le paiement des intérêts de l'emprunt) qui péjore l'installation solaire thermique autosuffisante. Avec un financement alternatif (prêt à taux zéro par exemple), elle deviendrait beaucoup plus vite moins chère que les options utilisant un chauffage à distance.

### Considérations au regard des dépendances

Le Tableau 7 ci-dessous résume les dépendances de chaque scénario proposé :

Scénario	Dépendances majeures
<b>Solaire thermique autosuffisant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subventions ou main d'œuvre gratuite pour l'autoconstruction.</li> </ul>
<b>Chauffage à distance Cadiom</b> et <b>Chauffage à distance à bois</b> et <b>Chauffage à bois local</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Quantité de combustible à disposition, et qualité de celui-ci ;</li> <li>• Coûts d'exploitation de la centrale (énergie, salaires) ;</li> <li>• Considérations environnementales (pollution).</li> </ul>



Scénario	Dépendances majeures
<p><b>Pompe à chaleur géothermique</b></p> <p>et</p> <p><b>Pompe à chaleur sur le Rhône</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Subventions ;</li> <li>• Une part non négligeable d'électricité pour le fonctionnement du régulateur et des pompes.</li> </ul>

**Tableau 7 – Dépendances majeures des modes de chauffage**

Une installation solaire thermique autosuffisante ne dépend d'aucun prix du marché lors de son exploitation, alors que tous les autres scénarios dépendent directement ou indirectement du prix du bois ou de l'électricité, notamment. Une forte augmentation du prix de l'énergie ou une diminution du pouvoir d'achat remettrait en question le confort de tous les utilisateurs n'ayant pas adopté un scénario utilisant une installation solaire thermique autosuffisante.

### **Autres considérations**

D'autres considérations peuvent participer à l'élaboration d'un choix de mode de chauffage. Par exemple, certaines installations peuvent produire des nuisances (bruit, odeur, fonctionnement intermittent) qui réduisent d'autant le confort des utilisateurs.

Il s'agit bien sûr d'adapter le choix du mode de chauffage aux attentes des futurs habitants du quartier.



## Propositions de variantes

Comme nous l'avons vu dans les chapitres précédents, de multiples possibilités de mode de chauffage existent, et peuvent être comparées entre elles par de nombreux critères.



On notera qu'il existe un problème récurrent dans le paysage immobilier suisse qui pèjore dans bien des cas la qualité écologique des bâtiments.

Si un bâtiment est construit par un promoteur dans le but d'être loué, ce dernier aura tout intérêt à diminuer les coûts d'investissement qui sont à sa charge, au détriment des coûts d'exploitation qui seront à la charge des locataires.

A l'inverse, une construction émanant d'une coopérative ou destinée à devenir un PPE aura tout intérêt à être définie sur la base de calculs couvrant une période de plusieurs dizaines d'années.

On doit donc considérer dans ce raisonnement les intérêts des autorités, des exploitants de réseau de chauffage à distance, de la place économique, etc.

Au final, on se rend compte qu'il n'est pas possible d'établir un classement absolu des scénarios présentés dans ce document. Au contraire, il s'agit de personnaliser ce classement en fonction de chaque acteur concerné.

Ne sachant pas qui pourrait initier un tel projet, nous proposons ci-dessous plusieurs variantes en fonction des intérêts du maître d'ouvrage :

Légende	
++	Maximiser
+	Augmenter
-	Diminuer
--	Minimiser

Variante	Maître d'ouvrage (type d'habitants)	Rentabilité	Investissement	Charges	Confort	Écologie
Variante 1	<b>Promoteur immobilier</b> (locataires)	++	--			
Variante 2	<b>Caisse de pension</b> (locataires)	++	-			+
Variante 3	<b>PPE</b> (propriétaires)		-	-	++	
Variante 4	<b>Coopérative</b> (propriétaires)			--	+	++

**Tableau 8 – Intérêts de différents maîtres d'ouvrage**

Un promoteur immobilier cherchera avant tout à investir un minimum de fonds pour obtenir la rentabilité la plus élevée possible. Il n'a en général guère d'intérêt pour d'autres facteurs.



Une caisse de pension aura une approche similaire, à la différence près qu'elle a une image à défendre. Elle acceptera dès lors d'investir un peu plus, pour autant que son image en bénéficie par exemple au travers d'options écologiques.

Une PPE cherchera avant tout le confort, tout en visant un investissement et des charges modérées.

Une coopérative quant à elle aspirera plutôt à maximiser la qualité écologique du quartier tout en diminuant les charges autant que possible.

#### **Variante 1 – Promoteur immobilier**

Pour atteindre une rentabilité maximale, le promoteur immobilier va préférer faire payer à ses locataires des charges moyennes à élevées plutôt que d'investir dans des installations moins chères à l'exploitation. Nous pensons qu'un tel maître d'ouvrage va certainement opter pour une installation utilisant une pompe à chaleur géothermique, étant donné le peu d'investissement requis et le niveau intéressant de subvention.

#### **Variante 2 – Caisse de pension**

Une caisse de pension pourrait choisir une combinaison de panneaux solaires thermiques complétés par un chauffage à bois local. Cela lui permet d'éviter un investissement trop lourd, tout en montrant une certaine volonté écologique. De plus, une éventuelle hausse du combustible ne sera pas à sa charge mais à celle des locataires.

#### **Variante 3 – PPE**

Lors de la constitution d'une PPE, les futurs propriétaires sont invités à apporter leurs suggestions, dans le cadre d'un règlement relativement restrictif. Les diverses délibérations pourraient découler sur une solution utilisant une pompe à chaleur sur l'eau du Rhône, additionnée de panneaux solaires thermiques.

#### **Variante 4 – Coopérative**

Les coopératives participatives visant des buts écologiques et sociaux connaissent un vif succès à Genève (il en existe une centaine<sup>70</sup>, dont Codha<sup>71</sup>, Ciguë<sup>72</sup> ou Polygones<sup>73</sup> par exemple). Plusieurs de ces coopératives ont montré qu'il est possible de créer des bâtiments sains, confortables, durables et économiques. Dans le cas du quartier de la Touvière, une coopérative pourrait choisir d'opter pour une installation solaire thermique autosuffisante.

---

<sup>70</sup> Voir [http://www.polygones.ch/~polygones/images/stories/users/polygones\\_dans\\_lecourrier\\_2011-08-19.pdf](http://www.polygones.ch/~polygones/images/stories/users/polygones_dans_lecourrier_2011-08-19.pdf)

<sup>71</sup> Voir <http://www.codha.ch/>

<sup>72</sup> Voir <http://www.cique.ch/>

<sup>73</sup> Voir <http://www.polygones.ch/>





Les coopératives disposant souvent d'une main d'œuvre qualifiée et bon marché (les futurs propriétaires), on pourrait imaginer qu'ils autoconstruisent leur installation solaire, par exemple avec l'association Sebasol<sup>74</sup>. Les coûts seraient ainsi divisés par deux par rapport à une installation solaire du commerce et la maintenance serait assurée par les utilisateurs de l'installation.

Ce modèle dans lequel les utilisateurs sont impliqués dans la maintenance de leur installation a su démontrer non seulement que les coûts totaux étaient réduits, mais aussi que les installations fonctionnent avec un meilleur rendement et moins de pannes.

## Analyse écologique des variantes

Le Tableau 9 ci-dessous résume les besoins en énergie renouvelable des différentes variantes, ainsi que la disponibilité de l'énergie :

Variante	Maitre d'ouvrage Type d'installation (part)	Besoins en énergie renouvelable [MWh/an]	Énergie renouvelable disponible [MWh/an]
Variante 1	<b>Promoteur immobilier</b> Pompe à chaleur (100%)	<b>585</b> 585	<b>1'700</b> 1'700
Variante 2	<b>Caisse de pension</b> Chauffage à bois (90%) Installation solaire (10%)	<b>782</b> 711 71	<b>10'695</b> 4'500 6'195
Variante 3	<b>PPE</b> Pompe à chaleur (60%) Installation solaire (40%)	<b>879</b> 595 284	<b>8'075</b> 1'880 6'195
Variante 4	<b>Coopérative</b> Installation solaire autosuffisante (100%)	<b>1'064</b> 1'064	<b>6'195</b> 6'195

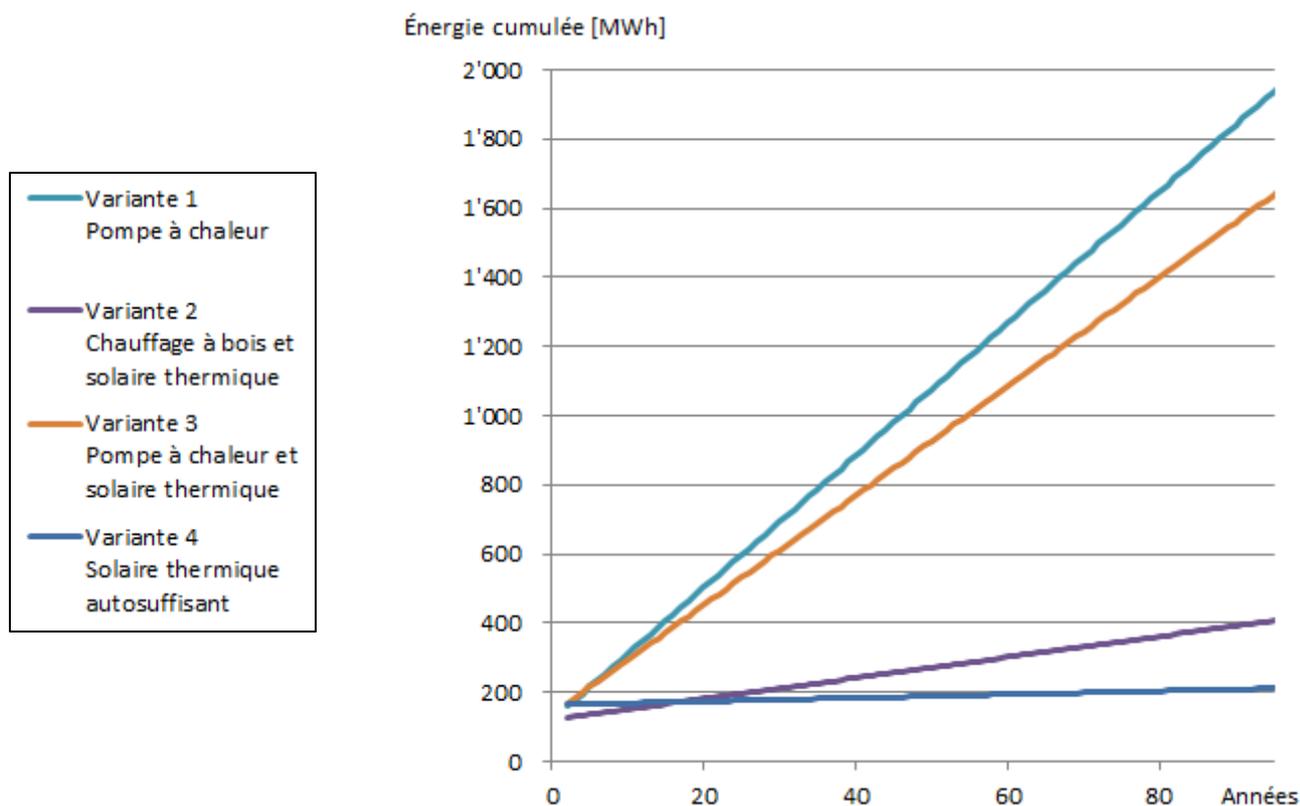
**Tableau 9 – Énergie renouvelable nécessaire et disponible dans les différentes variantes**

On peut constater que l'énergie disponible est suffisante dans toutes les variantes. La quantité d'énergie renouvelable nécessaire est relativement modérée et varie peu d'une variante à l'autre.

<sup>74</sup> Voir <http://www.sebasol.ch/>



Ce n'est toutefois pas le cas de l'énergie non renouvelable, qui varie grandement d'un type d'installation à l'autre. La Figure 13 ci-dessous montre le cumul de la quantité d'énergie non renouvelable de chacune des variantes :



**Figure 13 – Cumul de l'énergie non renouvelable des variantes proposées**

On note sans équivoque que les installations à pompe à chaleur cumulent une quantité non négligeable d'énergie non renouvelable (part non renouvelable de l'électricité nécessaire à l'installation).

A l'opposé, les installations à bois ou solaire n'utilisent que peu d'énergie non renouvelable (diésel pour le transport du bois, électricité pour les pompes de l'installation solaire).



Plus le besoin en énergie non renouvelable est élevé, plus la dépendance envers ces énergies est grande. Cette dépendance peut se traduire notamment – mais pas seulement – par des pressions sur les prix.



## Analyse économique des variantes

Les couts des différentes variantes présentées ci-dessus sont résumés dans le Tableau 10 ci-dessous :

<b>Variante</b>	<b>Maitre d'ouvrage</b> Type d'installation (part)	<b>Investissement net [Francs]</b>	<b>Charges nettes [Francs/an]</b>
Variante 1	<b>Promoteur immobilier</b> Pompe à chaleur (100%)	<b>260'000.-</b> 260'000.-	<b>25'000.-</b> 25'000.-
Variante 2	<b>Caisse de pension</b> Chauffage à bois (90%) Installation solaire (10%)	<b>520'000.-</b> 300'000.- 220'000.-	<b>18'500.-</b> 17'500.- 1'000.-
Variante 3	<b>PPE</b> Pompe à chaleur (60%) Installation solaire (40%)	<b>1'100'000.-</b> 230'000.- 870'000.-	<b>15'800.-</b> 13'800.- 2'000.-
Variante 4	<b>Coopérative</b> Installation solaire autosuffisante (100%)	<b>1'500'000.-</b> 1'500'000.-	<b>3'000.-</b> 3'000.-

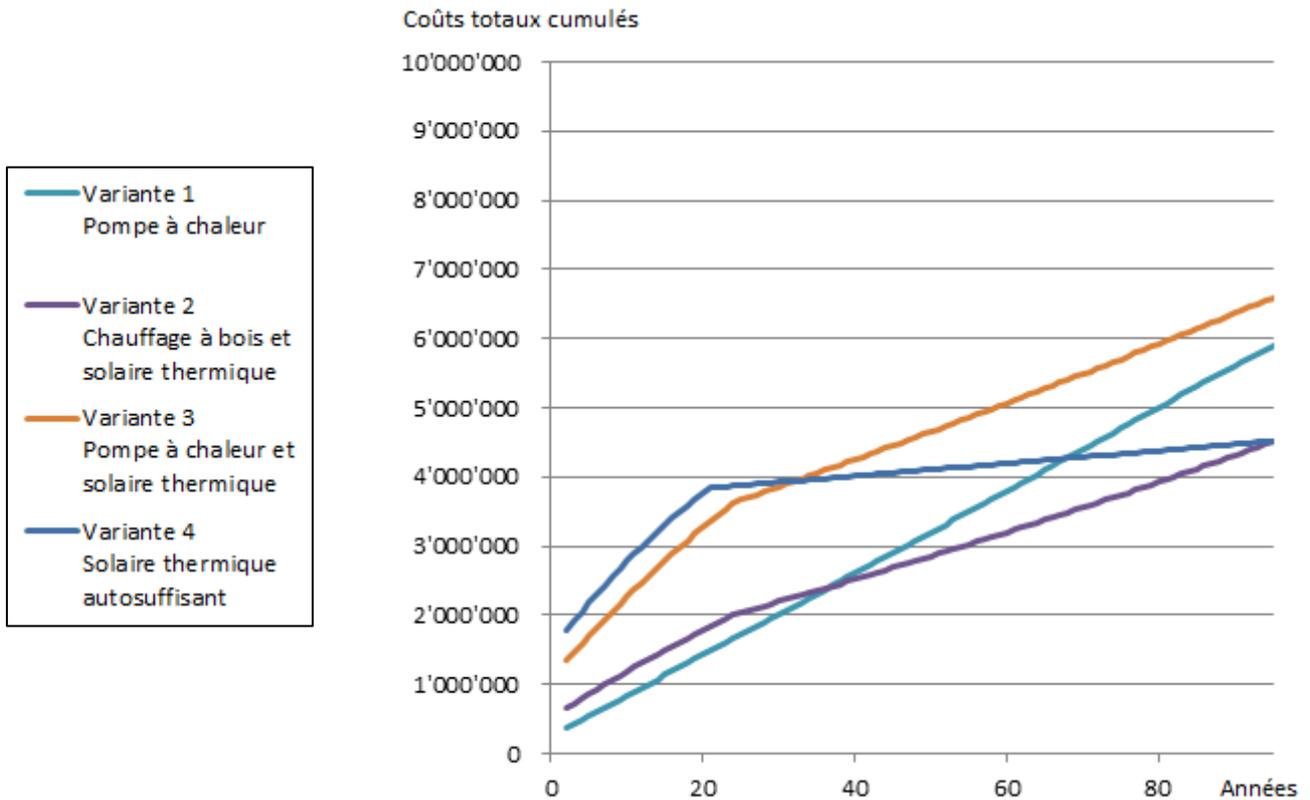
**Tableau 10 – Couts des différentes variantes**



Les investissements indiqués ci-dessus prennent en compte les subventions cantonales nécessaires à la politique générale de développement durable.



La Figure 14 ci-dessous montre le cumul des coûts de chacune des variantes sur une période relativement longue :



**Figure 14 – Cumul des coûts des variantes proposées**

On note qu’une pompe à chaleur telle que celle proposée dans la variante 1 est l’option la plus économique sur une période de trente-cinq ans mais devient la plus chère après une centaine d’années.

La variante 2 est relativement économique sur toute la période présentée. Elle toutefois sujette au renchérissement du bois.

La pompe à chaleur associée à une installation solaire thermique suggérée par la variante 3 est par contre la plus couteuse après une période de trente-cinq ans.

A l’opposé, l’installation solaire autosuffisante suggérée dans la variante 4 est la plus couteuse à l’investissement mais sera la moins chère à long terme. Elle n’est pas sujette au renchérissement de l’énergie.



Outre le calcul des intérêts et des amortissements, ce graphique prend en compte la rénovation des installations. Il intègre aussi le renchérissement du prix de l’énergie, mais pas l’inflation au sens économique.

De plus, il ne considère pas les développements techniques futurs qui pourraient par exemple rendre obsolète une technologie ou diminuer les coûts d’une autre.



## Conclusion

Les chapitres précédents ont clairement montrés qu' « il ne suffit pas de faire des calculs pour obtenir des résultats »<sup>75</sup>. Au contraire, ces calculs doivent être incorporés dans une réflexion globale intégrant notamment des facteurs économiques, politiques, écologiques et éthiques.

Nous avons pu constater qu'il n'existe pas une solution idéale pouvant convenir à tous les acteurs d'une région telle que l'agglomération franco-valdo-genevoise. Différents maître d'ouvrages ont des besoins parfois très divergents, qui nécessitent une analyse détaillée des ressources et options disponibles.

Des possibilités à la fois économiques et écologiques existent mais demandent que les acteurs s'investissent et coopèrent, ou que des décisions politiques contraignantes soient prises.

---

<sup>75</sup> Phrase prononcée par Mme Catherine Lavalley lors de son cours du 14 octobre 2011



# **Annexes**

## Rapport MeteoNorm de rayonnement solaire mensuel

Nom du site = Edd-Bat Avully

Latitude [°] = 46.176, Longitude [°] = 5.994, Altitude [m] = 354

Zone climatique = III, 3

Toutes les valeurs du rayonnement sont affectées par l'horizon élevé!

La terminaison "hor" signifie "avec horizon élevé"

Modèle rayonnement = Standard (heure); Modèle température = Standard (heure)

Modèle rayonn. incl. = Perez

Température: Période vieille = 1961-1990

Rayonnement: Période nouvelle = 1981-2000

Mois	H_Gh	H_Dh	H_Ghhor	H_Dhhor	H_Bnhor	Ta
Janv.	30	20	30	20	32	1.0
Fév.	51	28	51	28	56	2.4
Mars	100	53	100	53	92	5.2
Avr.	125	69	125	69	93	9.0
Mai	163	79	163	78	136	13.1
Juin	175	76	175	76	154	16.7
Juil.	181	79	180	78	158	19.3
Août	155	64	155	64	149	18.5
Sept.	108	59	108	59	87	15.2
Oct.	66	38	66	38	62	10.5
Nov.	33	23	33	23	29	5.2
Déc.	24	16	24	16	29	2.0
Année	1210	605	1210	604	1078	9.8

Légende:

H\_Gh: Irradiation du rayonnement global horizontal

H\_Dh: Irradiation du rayonnement diffus horizontal

H\_Ghhor: Irradiation du rayonn. global horiz. avec horizon élevé

H\_Dhhor: Irradiation du rayonn. diffus horiz., avec horizon élevé

H\_Bnhor: Irradiation du rayonn. dir. normal, avec horizon élevé

Ta: Temp. de l'air

Rayonnement en [kWh/m<sup>2</sup>]

Température en [°C]

3 stations les plus proches: Gh: Geneve-Cointrin (13 km), Changins (31 km), Pully (64 km)

3 stations les plus proches: Ta: Geneve-Cointrin (13 km), Changins (31 km), Aigle (73 km)

# Scénario solaire thermique autosuffisant

Calcul du taux de couverture pour des maisons solaires avec un grand accumulateur au centre de la maison:

## Système solaire Jenni

Energies renouvelables  
Soleil, bois, chauffage à distance et proximité



Lochbachstrasse 22 / Case postale  
CH-3414 Oberburg bei Burgdorf  
T 034 420 30 00 / F 034 420 30 01  
info@jenni.ch / www.jenni.ch

Projet:

Accum. Swiss Solartank®	BE+05	Volume minimal de l'accumulateur en ordre	0 kWh
Capacité accumulateur	44936 kWh	Excédent:	0 kWh
Surface capteurs	3481,5 m <sup>2</sup>	Taux de couverture solaire	100,0 %
Inclinaison	50°	Rendement capteur	204 kWh/m <sup>2</sup>
Besoins en chaleur Q <sub>H</sub>	455,7 kW		
Heures plein régime	8 h		
Besoins eau chaude	14606 l/pour 60°C	ΔT = 50K	

Jours	Temp capt. °C	Capteur kWh/m <sup>2</sup>	Surfcapteur kWh	Besoins chaleur kWh	Eau chaude kWh	Total kWh	Déficit kWh	fin de mois	
								Soide acc kWh	Temp acc °C
Janvier	31	30	109663	76953	26329	103282	2319	2855	33,8
Février	28	50	83556	62630	23781	86411	2855	0	30,0
Mars	31	70	113149	58724	26329	85053	-28096	28096	67,5
Avril	30	90	76523	32562	26479	58032	-18492	44936	90,0
Mai	31	90	95045	11068	26329	37396	-57648	44936	90,0
Juin	30	100	79378	1432	26479	26912	-52466	44936	90,0
Juillet	31	100	107300	0	26329	26329	-80971	44936	90,0
Août	31	100	105698	0	26329	26329	-79369	44936	90,0
Septembre	30	90	100894	3125	26479	28604	-72289	44936	90,0
Octobre	31	80	62667	26302	26329	52631	-10036	44936	90,0
Novembre	30	50	69630	53265	26479	78735	9105	35831	77,8
Décembre	31	30	69630	73958	26329	100287	30657	5174	36,9
<b>Total</b>			<b>1064432</b>	<b>400000</b>	<b>310000</b>	<b>710000</b>	<b>0</b>		

Indication nom du projet/degrés jours chauffage/données de base, température de service, etc.  
Formule calculée/enregistrée  
Résultat final

©Jenni Energietechnik AG, www.jenni.ch

Rendement du capteur en kWh au m<sup>2</sup> et par mois

Type capteur:

Inclinaison:  °  
Orientation:

\* Ecart par rap. sud (+ direct est / - direct ouest\*)

\*c'est juste pour le SPF-catalogue de capteurs 2008 ou plus neuf

T [°C] Jan. Fév. Mars Avril Mai Juin Juil. Août Sept. Oct. Nov. Déc.

30	29	34	59	64	79	82	94	93	75	44	28	20
40	25	29	41	55	68	71	82	82	66	37	24	17
50	21	24	44	47	58	61	72	72	58	32	20	14
60	17	20	38	40	49	52	62	63	50	26	17	11
80	11	13	27	28	35	38	46	46	36	18	11	7
100	5	7	14	16	20	23	31	30	22	9	5	3

Jan. Fév. Mars Avril Mai Juin Juil. Août Sept. Oct. Nov. Déc.

Degrés jours

Genève	591	481	451	250	85	11	0	0	24	202	409	568
--------	-----	-----	-----	-----	----	----	---	---	----	-----	-----	-----

HGT 1220. Sources -> voyez les autres fiches de cet excel-tool

Les présentes informations reflètent l'état momentané de nos connaissances. Les résultats sont des valeurs indicatives. Les hypothèses/données doivent faire l'objet d'une remise en question et d'un ajustement. Aucun droit ne peut en être déduit.

# Scénario solaire thermique économique

Calcul du taux de couverture pour des maisons solaires avec un grand accumulateur au centre de la maison:

Energies renouvelables  
Soleil, bois, chauffage à distance et proximité

**Jenni Energietechnik SA**

Lochbachstrasse 22 / Case postale  
CH-3414 Oberburg bei Burgdorf  
T 034.420 30 00 / F 034.420 30 01  
info@jenni.ch / www.jenni.ch

## Système solaire Jenni

Projet : MAS EDD-BAT\_CAS5\_Avully

Accum. Swiss Solartank®	Volume minimal de l'accumulateur en ordre	426000 kWh
Capacité accumulateur	Excédent:	0 kWh
Surface capteurs	LTS type capteur	C172
Inclinaison	Ecart sud (+ OE)	0°
Besoins en chaleur Q <sub>H</sub>	à	-3°C
Heures plein régime	Rendement capteur	306 kWh/m <sup>2</sup>
Besoins eau chaude		

Jours	Temp capt. °C	Capteur kWh/m <sup>2</sup>	Surf.capt. kWh	Besoins chaleur kWh	Eau chaude kWh	Total kWh	Déficit kWh	fin de mois Solde acc kWh	Temp acc °C	
Janvier	31	30	26938	76953	26329	103282	76344	0	30.0	
Février	28	50	22293	62630	23781	86411	64118	0	30.0	
Mars	31	70	30189	58724	26329	85053	54864	0	30.0	
Avril	30	90	20417	32552	25479	58032	37614	0	30.0	
Mai	31	90	273	25359	11068	26329	37396	12038	0	30.0
Juin	30	100	228	21179	1432	25479	26912	5733	0	30.0
Juillet	31	100	308	28629	0	26329	26329	-2300	2300	41.5
Août	31	100	30.4	28201	0	26329	26329	-1872	4172	50.9
Septembre	30	90	29.0	26919	3125	25479	28604	1685	2487	42.4
Octobre	31	80	18.0	16720	26302	26329	52631	35911	0	30.0
Novembre	30	50	18578	53255	25479	78735	60157	0	30.0	
Décembre	31	30	20.0	18578	73958	26329	100287	87709	0	30.0
<b>Total</b>			<b>284000</b>	<b>400000</b>	<b>310000</b>	<b>710000</b>	<b>426000</b>			

Indication nom du projet/degrés jours chauffage/données de base, température de service, etc.  
Formule calculée/enregistrée  
Résultat final

© Jenni Energietechnik AG, www.jenni.ch

Rendement du capteur en kWh au m<sup>2</sup> et par mois

Type capteur SPF 172 C172 LTS

Inclinaison 50 °  
Orientation 0

T [°C] Jan. Fév. Mars Avril Mai Juin Juil. Août Sept. Oct. Nov. Déc.  
30 29 34 59 64 79 82 94 93 75 44 28 20  
40 25 29 41 55 68 71 82 82 66 37 24 17  
50 21 24 44 47 58 61 72 72 58 32 20 14  
60 17 20 38 40 49 52 62 63 50 26 17 11  
80 11 13 27 28 35 38 46 46 36 18 11 7  
100 5 7 14 16 20 23 31 30 22 9 5 3

Degrés-jours  
Genève 591 481 451 250 85 11 0 0 24 202 409 568

HGT 12/20 Source -> voyez les autres fiches de cet excel-tool

Les présentes informations reflètent l'état momentané de nos connaissances. Les résultats sont des valeurs indicatives. Les hypothèses/données doivent faire l'objet d'une remise en question et d'un ajustement. Aucun droit ne peut en être déduit.

**Extrait du plan directeur cantonal Genevois (édition 2015)**

Légende	
	Zone agricole
	Sites naturels et paysagers (Lois générales de protection, plans et sites)
	Villages hors agglomération
	Inventaire fédérale des paysages, sites et monuments naturels d'importance nationale (IFP)
	Surfaces d'assolement (SDA)
	Réseaux agroenvironnementaux
	Cadastre forestier
	Extension urbaine sur la zone agricole (sites possibles)
	Réaffectation de zones à vocation industrielle
	Parcs et aires de délaissement
	Parcs-relais (100 places et plus)
	Haltes
	Sites construits d'importance nationale
	Corridors pour la grande faune
	Quartier étudié
	Quartier le plan du Rhône



## Détermination des besoins de chaleur pour le chauffage

Selon équation (3) SIA 380/1 édition 2009

$$Q_{h,li} = Q_{h,li0} + \Delta Q_{h,li} \cdot (A_{th} / A_E)$$

$$Q_{h,li,habitat} = (55 + 65 \cdot 1.1) = 126.5 MJ / m^2 an$$

$$Q_{h,li,commerces} = (50 + 65 \cdot 1.1) = 121.5 MJ / m^2 an$$

$$Q_{h,li,restaurant} = (95 + 75 \cdot 1.1) = 177.5 MJ / m^2 an$$

$$Q_{h,li,totale\ pondérée} = 125.5 \frac{12300}{14000} + 121.5 \frac{850}{14000} + 177.5 \frac{850}{14000} = 128 MJ / m^2 an$$

Besoins en chaleur pour le chauffage:

$$Q_h \cdot SRE = 128 \cdot 14000 = 1792000 MJ / an \quad \text{soit} \quad 498 MWh / an$$

Pour remplir les exigences HPE imposées par la La loi sur l'énergie genevoise, les besoins en chauffage doivent être réduits à 80% de la valeur SIA soit:

$$0.8 \cdot 498 MWh / an = 398 MWh / an$$

Le standard THPE est identique mais réduit à 60%, soit:

$$0.6 \cdot 498 MWh / an = 298 MWh / an$$

## Détermination des besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire

Selon tableau 23 SIA 380/1 édition 2009

$$Q_{ww,habitat\ collectif} = 75 MJ / m^2 an$$

$$Q_{ww,commerce} = 25 MJ / m^2 an$$

$$Q_{ww,restauration} = 200 MJ / m^2 an$$

$$Q_{ww,totale\ pondérée} = 75 \frac{12300}{14000} + 25 \frac{850}{14000} + 200 \frac{850}{14000} = 79.5 MJ / m^2 an$$

Besoins en chaleur pour le chauffage:

$$Q_h \cdot SRE = 80 \cdot 14000 = 1113000 MJ / an \quad \text{soit} \quad 310 MWh / an$$

## Détermination des besoins de la pompe à chaleur eau/eau

Hypothèses

$\Delta T = 3K$  (Différence de température entre le pompage et le rejet)

$C_{eau} = 4180 J / kg^{\circ}C$

$\rho_{eau} = 1000 kg / m^3$

$COP = 5.2$  (admis B5W35 DT5K n. EN 14511)

Standard HPE

$$Q_{pompage} = \frac{P_{chauffage+ecs}}{C_{eau} \cdot \Delta T \cdot \rho_{eau}} = \frac{130000}{4180 \cdot 3 \cdot 1000} = 622 l/min$$

$$\text{Energie annuelle soustrée au Rhône} = \frac{\text{Besoins annuels en énergie non renouvelable} \cdot COP}{1 + COP}$$

$$= \frac{710 \cdot 5.2}{1 + 5.2} = 595 MWh / an$$

$$\text{Energie électrique annuelle nécessaire} = \frac{\text{Besoins annuels en énergie non renouvelable}}{1 + COP}$$

$$= \frac{710}{1 + 5.2} = 115 MWh / an$$

Standard THPE

$$Q_{pompage} = \frac{P_{chauffage+ecs}}{C_{eau} \cdot \Delta T \cdot \rho_{eau}} = \frac{113000}{4180 \cdot 3 \cdot 1000} = 540 l/min$$

$$\text{Energie annuelle soustrée au Rhône} = \frac{\text{Besoins annuels en énergie non renouvelable} \cdot COP}{1 + COP}$$

$$= \frac{610 \cdot 5.2}{1 + 5.2} = 512 MWh / an$$

$$\text{Energie électrique annuelle nécessaire} = \frac{\text{Besoins annuels en énergie non renouvelable}}{1 + COP}$$

$$= \frac{610}{1 + 5.2} = 98 MWh / an$$

## Autorisation de prélèvement d'eau dans le Rhône<sup>76</sup>



REPUBLIQUE ET CANTON DE GENEVE  
Département de l'intérieur et de la mobilité  
DGEau - Service de la planification de l'eau

### Autorisation / Concession de prélèvement dans les eaux superficielles

N° d'autorisation: 30  
Autorisation émise par: SPDE Date: 17.12.2003

Débit autorisé: 3340 [l/min]

Usage: Industrie

Bénéficiaire:  
Techform Fine Chemicals Sa

#### Situation du pompage:

Coordonnées (X;Y;Z):  
488 483.;114 927;  
Commune: Avully  
N° de parcelle(s):  
DP 2657  
Cours d'eau: Rhône  
Rive: R.G. Kilométrage: 20.7

Installation: Fixe

#### Situation du rejet:

Coordonnées (X;Y;Z):  
488 466.;114 929.;  
Commune:  
N° de parcelle(s):  
Condition du rejet:  
Temp. max. de rejet 30 o C  
Élévation max. de la température du Rhône 1,5 o C

#### Biens fonds bénéficiaire:

Commune: Avully  
Parcelle(s):  
2335, 2336

Adresse(s):  
Ch. du Chalet-du-Bac 4



SPDE • Rue David-Outour 1 • 1205 Genève  
Tél. +41 (22) 546 74 03 • Fax +41 (22) 546 74 01 • www.ge.ch/leau

<sup>76</sup> Disponible sur <http://etat.geneve.ch/geoportail/monsitg/>

## Détermination des besoins de la pompe à chaleur sur sondes géothermiques

Hypothèses

Puissance extractible du sol=30<sub>w/m'</sub> (mètres de sonde géothermique)

COP = 4.7 (admis B0W35 DT5K n. EN 14511)

$$\text{Puissance froide de la pompe à chaleur} = \frac{\text{Puissance chaude} \cdot \text{COP}}{1 + \text{COP}} = \frac{158 \cdot 4.7}{1 + 4.7} = 130_{kW}$$

Standard HPE

$$\text{Longueur de forage nécessaire} = \frac{\text{Puissance froide de la pompe à chaleur}}{\text{Puissance extractible du sol}}$$

$$= \frac{130000}{30} = 4333_{m'} \text{ (mètres de sonde géothermique)}$$

$$\text{Energie tirée du sol} = \frac{\text{Besoins annuels en énergie} \cdot \text{COP}}{1 + \text{COP}} = \frac{710 \cdot 4.7}{1 + 4.7} = 585_{MWh / an}$$

$$\text{Energie électrique annuelle nécessaire} = \frac{\text{Besoins annuels en énergie}}{1 + \text{COP}}$$

$$= \frac{710}{1 + 4.7} = 125_{MWh / an}$$

Standard THPE

$$\text{Longueur de forage nécessaire} = \frac{\text{Puissance froide de la pompe à chaleur}}{\text{Puissance extractible du sol}}$$

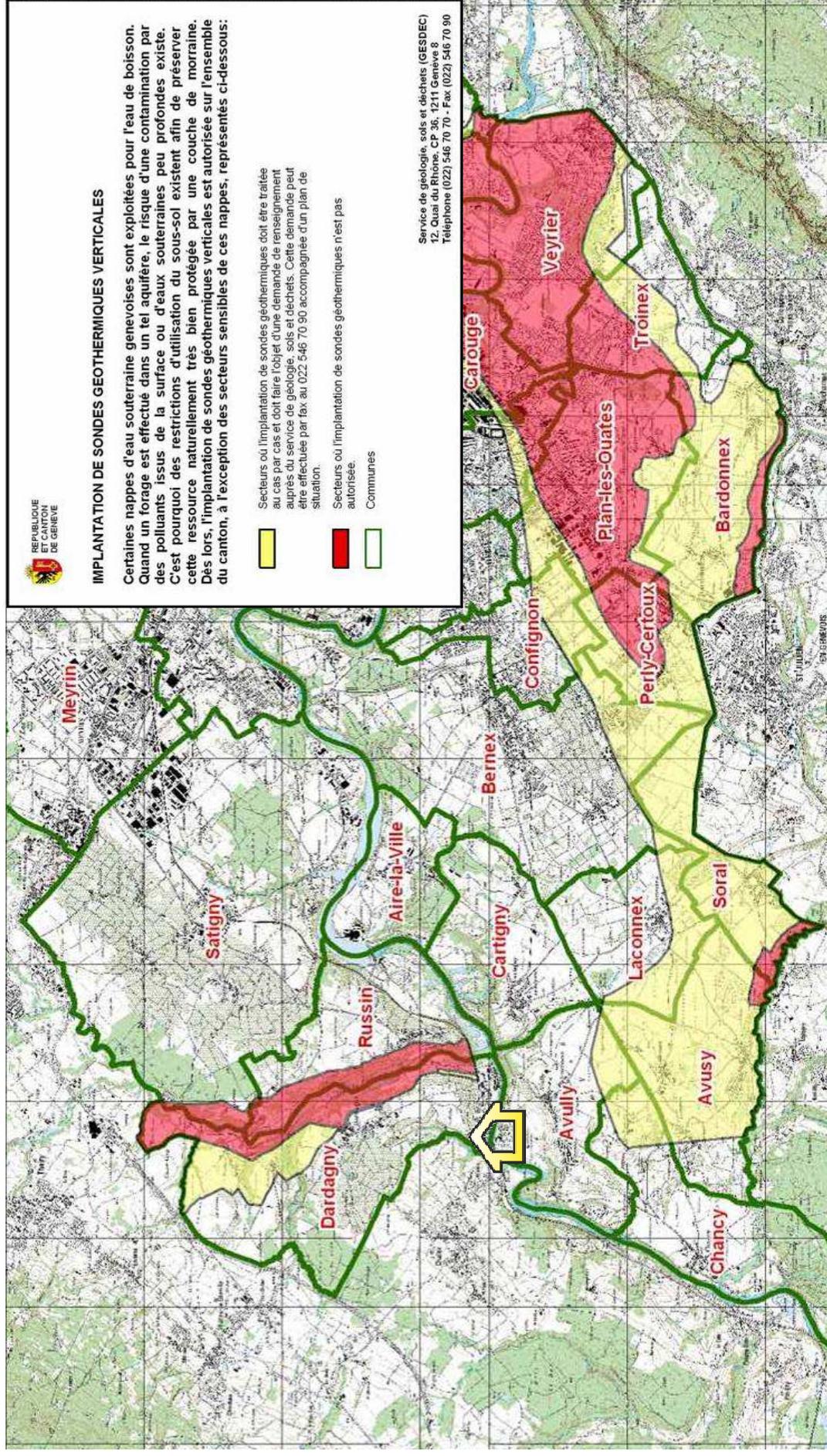
$$= \frac{113000}{30} = 3767_{m'} \text{ (mètres de sonde géothermique)}$$

$$\text{Energie tirée du sol} = \frac{\text{Besoins annuels en énergie} \cdot \text{COP}}{1 + \text{COP}} = \frac{610 \cdot 4.7}{1 + 4.7} = 503_{MWh / an}$$

$$\text{Energie électrique annuelle nécessaire} = \frac{\text{Besoins annuels en énergie}}{1 + \text{COP}}$$

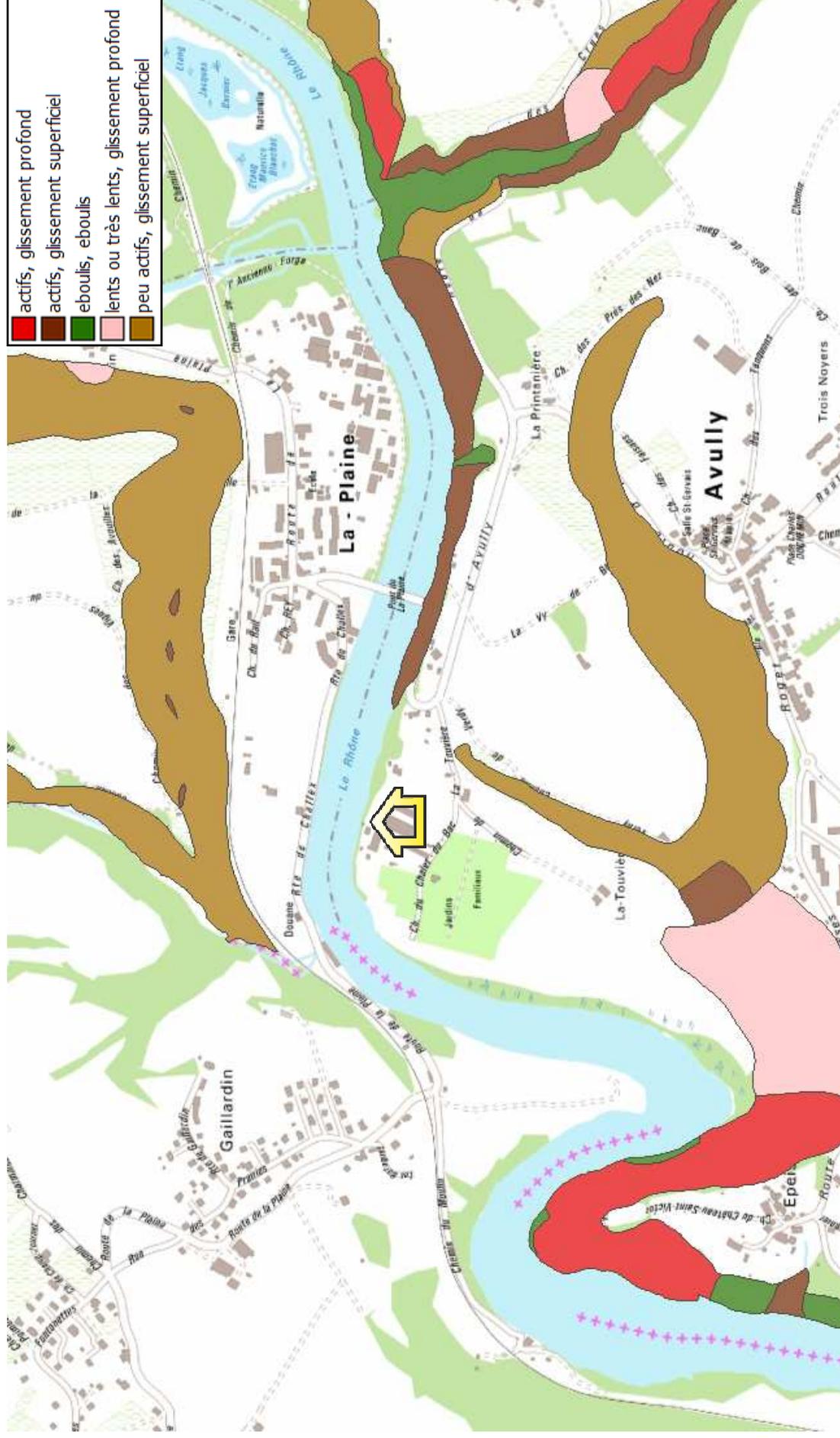
$$= \frac{610}{1 + 4.7} = 107_{MWh / an}$$

## Extrait de la carte des zones d'autorisation des forages géothermiques<sup>77</sup>



<sup>77</sup> Disponible sur <http://etat.geneve.ch/dt/geologie/geothermie-269-2804.html>

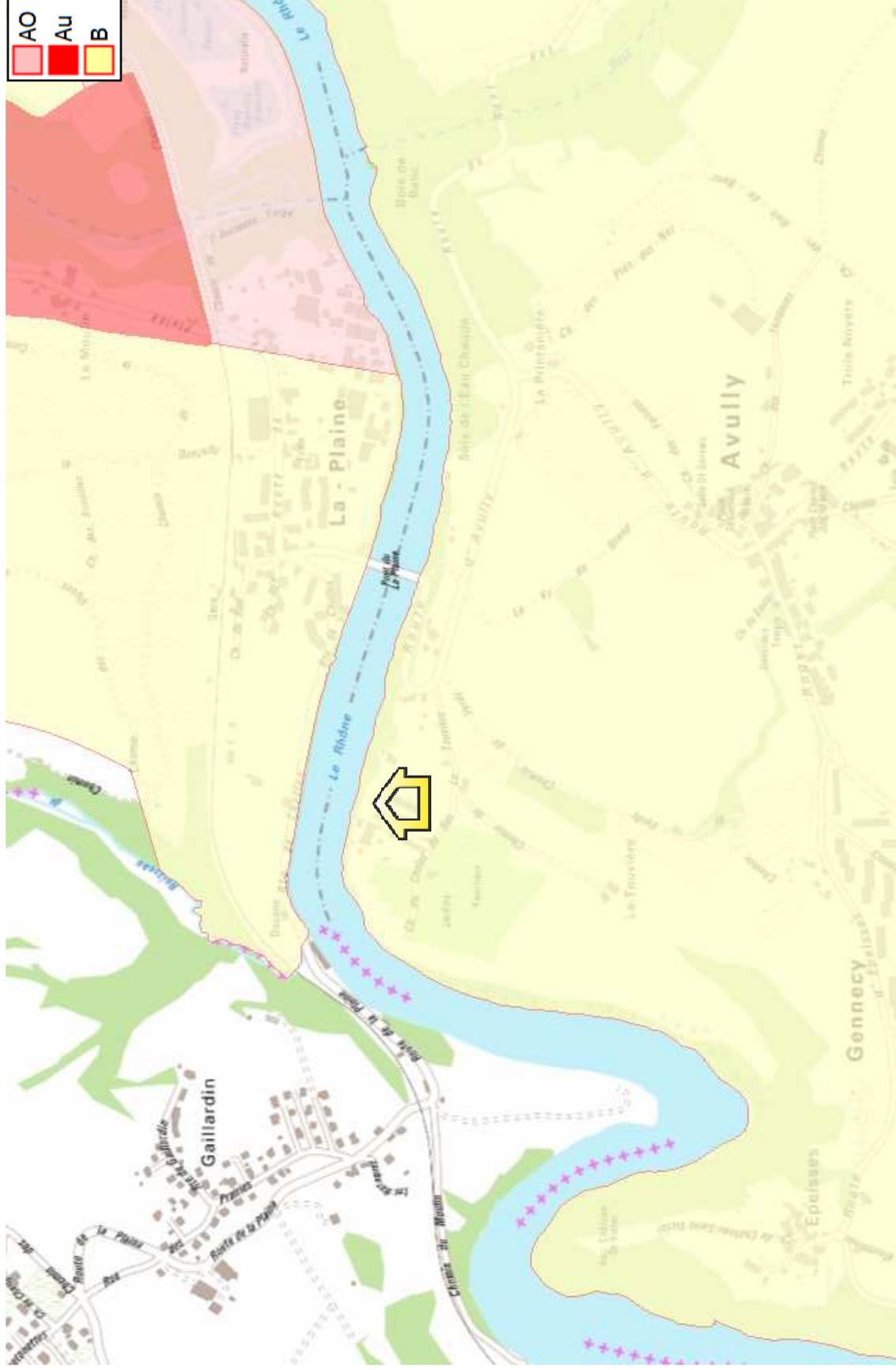
Extrait de la carte des zones en glissement<sup>78</sup>



<sup>78</sup> Disponible sur <http://etat.geneve.ch/geoportal/monsitg/>



Extrait de la carte des zones de protection des eaux<sup>80</sup>



<sup>80</sup> Disponible sur <http://etat.geneve.ch/geoportail/monsita/>

## Carte comparative des ressources mobilisables

