

CET 2018 - 02
OFFICE CANTONAL DE L'ENERGIE
Rue du Puits-Saint-Pierre 4
Case postale 3920
1211 Genève 3
27/06/2019.

EXTENSION DU VILLAGE DE PRESINGE

Concept énergétique territorial

Auteur :

Michel Bonvin
Physicien
Rte du Poupet 19, CH – 3978 Flanthey
Tél. : +41 79 234 78 12
e-mail : bom@netplus.ch

TABLE DES MATIERES

1.	Résumé	4
2.	Introduction.....	5
3.	Mise en contexte	5
3.1.	Objectifs du concept énergétique territorial.....	5
3.2.	Résultats attendus.....	5
3.3.	Localisation géographique, caractérisation du site et de son environnement	6
3.4.	Contexte politique et institutionnel	10
3.5.	Cadre légal	10
3.6.	Concepts énergétiques territoriaux en lien avec le périmètre concerné.....	10
3.7.	Projets d'aménagement sur la zone à proximité	10
3.8.	Contexte environnemental.....	10
4.	Etat des lieux énergétique	11
4.1.	Besoins d'électricité.....	11
4.2.	Besoins de chaleur actuels et futurs.....	11
4.3.	Ressources pour la production d'électricité	14
4.4.	Ressources pour la production de chaleur	15
4.5.	Synthèse des besoins et des ressources.....	17
5.	Analyse et proposition de stratégies locales	18
5.1.	Variante « Extension du village de Presinge en solo »	18
5.1.1.	Production d'électricité photovoltaïque	18
5.1.2.	Panneaux solaires thermiques	18
5.1.3.	Pompes à chaleur délocalisées par bâtiment.....	18
5.1.4.	Pompes à chaleur centralisées	19
5.1.5.	Chaudière à bois centralisée et mini-réseau de chauffage à distance	19
5.2.	Variante « Extension du village en équipe avec le bâti existant »	19
5.2.1.	Production d'électricité	19
5.2.2.	Pompes à chaleur centralisées	19
5.2.3.	Chaudière à bois centralisée et réseau de chauffage à distance	19

6.	Synthèse et recommandations pour les acteurs concernés	24
6.1.	Les acteurs potentiellement concernés	24
6.2.	Extension du village : Production d'énergie renouvelable	25
6.3.	Production de chaleur (locaux et eau chaude sanitaire).....	25
6.3.1.	Production de chaleur uniquement pour l'extension du village de Presinge.	25
6.3.2.	Production de chaleur pour l'extension du village et d'autres acteurs.	26
7.	Annexe.....	30
7.1.	Variante photovoltaïque (toitures Sud-Ouest et Sud-Est) et pompes à chaleur (PAC). 30	
7.2.	Variante solaire thermique (30 % toiture Sud-Ouest) et photovoltaïque (restant de la toiture Sud-Ouest et toiture Sud-Est)	31
7.3.	Variante micro cogénération à bois dimensionnée pour assurer la couverture des besoins en eau chaude et photovoltaïque en toiture Sud-Ouest	32
7.4.	Variante chaudière à bois dimensionnée pour assurer la couverture des besoins en eau chaude et photovoltaïque en toiture Sud-Ouest et Sud-Est.....	33

1. RÉSUMÉ

Un projet de plan localisé de quartier (PLQ no 30147) prévoit la construction par les coopératives Codha, Quercus et Equilibre de 16'100 m² de logement sur une parcelle communale de 2.3 ha située au Nord-Est du village de Presinge. Le nouvel ensemble bâti est attenant au village se présente comme une extension de celui-ci.

Le programme de construction, situé dans une zone périphérique agricole, ne peut compter sur aucune infrastructure énergétique actuellement en place, telle que réseau de gaz ou réseau de chauffage à distance. Il bénéficie en revanche de ressources locales plutôt généreuses : solaire thermique ou photovoltaïque, géothermie de faible profondeur, nappe phréatique à une quarantaine de mètres de profondeur (à vérifier). Pour un standard de construction de type THPE, les besoins énergétiques annuels des nouvelles constructions sont d'environ 170'000 kWh/an pour le chauffage des locaux, 400'000 kWh/an pour l'eau chaude sanitaire et 500'000 kWh/an pour l'électricité des ménages. Pour ce qui est des ressources sur site, la parcelle présente par exemple un potentiel de géothermie de faible profondeur supérieur à 2'500'000 kWh/an ; d'autre part le site peut compter sur une production annuelle de 500'000 kWh/an d'électricité photovoltaïque pour le cas où toutes les surfaces de toiture bien orientées sont utilisées.

Deux stratégies énergétiques sont présentées pour le périmètre du PLQ :

1. Extension du village en solo : Aucune synergie énergétique entre le nouveau complexe et le bâti existant.

Deux grandes options peuvent être envisagées pour la production de chaleur : des pompes à chaleur décentralisées par bâtiment, qui sont avantageuses économiquement, mais peu flexibles quant à la migration vers d'autres formes d'approvisionnement, telle que, par exemple, la géothermie de moyenne profondeur ; un mini réseau de chauffage à distance desservant les différents bâtiments et alimenté par des pompes à chaleur (sur sondes géothermiques verticales ou sur nappe) ou par une chaudière à bois. La production d'électricité est assurée par des panneaux photovoltaïques.

2. Extension du village en synergie énergétique avec les autres bâtiments actuellement en place dans le périmètre du PLQ, voire d'autres bâtiments, communaux ou privés, situés hors périmètre du PLQ.

Du point de vue thermique, la mise en place d'un réseau de chauffage à distance est nécessaire ; la chaleur pourrait tout aussi bien être produite par chaudières à bois ou par pompes à chaleur si possible sur nappe phréatique ou au moins sur sondes géothermiques verticales. Les toitures bien orientées sont équipées de panneaux photovoltaïques qui assurent la production d'électricité.

L'option 2 offre l'important avantage de pouvoir éliminer des chaudières au mazout dans des bâtiments existants et de les remplacer par des productions énergétiques renouvelables. Elle présente toutefois des complications de réalisation, entre autres la nécessaire motivation de nombreux acteurs différents, la coordination entre ces derniers et des surinvestissements.

2. INTRODUCTION

Un plan localisé de quartier (PLQ no 30147), relatif à la commune de Presinge, est actuellement en cours d'élaboration. Le secteur concerné est l'actuel village de Presinge ainsi que son extension sur une partie du vignoble situé au Nord-Ouest du village (parcelle de 2.3 ha, 17'768 m² de surface de plancher, essentiellement dédiés à l'habitat). La typologie urbaine du nouveau quartier se présente sous la forme d'une dizaine de petits immeubles, chacun avec un, deux ou trois étages sur rez-de-chaussée.

Dans le cadre de la planification de l'extension prochaine du village, la commune de Presinge souhaite étudier toute forme de synergies entre le nouveau complexe et le bâti existant, principalement le bâti environnant dont la commune est propriétaire (salle communale, restaurant, immeubles d'habitation). C'est précisément l'objectif de ce concept énergétique territorial que d'identifier des collaborations possibles et de les qualifier grossièrement en matière d'avantages et d'inconvénients.

3. MISE EN CONTEXTE

3.1. Objectifs du concept énergétique territorial

L'objectif de ce concept énergétique territorial est de documenter et de structurer les éléments d'aide à la décision pour soutenir une politique énergétique communale en accord avec les objectifs de la société à 2000 W. Il s'agit, entre autres, de :

- Minimiser les besoins énergétiques des nouveaux bâtiments en visant des standards de haute performance énergétique et en leur associant des systèmes énergétiques efficaces pour ce qui est des conversions et de la distribution d'énergie ;
- Identifier des synergies énergétiques entre les nouveaux bâtiments et le bâti actuel du village de Presinge, particulièrement avec le parc de bâtiments dont la commune est propriétaire (Fig. 3) ;
- Maximiser la valorisation du potentiel énergétique renouvelable local.

3.2. Résultats attendus

Il s'agit de déterminer les besoins énergétiques de l'extension du village et des immeubles environnants et de quantifier les potentiels locaux d'énergies renouvelables. Sur cette base, seront identifiés les acteurs indispensables à la création des meilleures conditions possibles pour la mise en place et l'exploitation des infrastructures nécessaires à l'approvisionnement énergétique du périmètre étudié.

Les résultats attendus sont une palette de scénarios énergétiques visant à minimiser les besoins en énergie finale par la construction de bâtiments à Très Haute Qualité Énergétique (THQE), à maximiser l'utilisation des ressources renouvelables locales, à veiller à ce que les transformations énergétiques soient à haut rendement exergétique, à ce que les technologies utilisées puissent évoluer avec la venue future d'autres

formes de consommation ou de production d'énergie et à ce que les objectifs de protection de l'air¹, entre autres ceux qui concernent les valeurs limites d'émission de particules fines (PM10), soient respectés.

3.3. Localisation géographique, caractérisation du site et de son environnement

L'extension du village de Presinge prendra place immédiatement au Nord-Ouest du village actuel, sur une parcelle de 2.3 ha qui est actuellement occupée par un vignoble (Fig. 1).



Figure 1 : Périmètre de l'extension du village.

¹ Stratégie de protection de l'air 2030, 16 décembre 2015.

Cette implantation favorise des synergies énergétiques avec les constructions des zones B à H indiquées sur la figure 2 :

- A. Extension du village de Presinge ;
- B. Constructions qui appartiennent à la commune : Bâtiments de logements (Louvière 1 et 3, Cordonnières 5), Salle communale (Cordonnières 7), Auberge communale (Louvière 9) ;
- C. Constructions qui appartiennent à la commune : Bâtiments de logements (Cordonnières 2-10, Cordonnières 14-20 et Louvière 17-21) ;
- D. Eglise et EMS (Louvière 12 et Louvière 18) ;
- E. Restaurant (Rte de Presinge 121) ;
- F. Abbaye (Ch. du Pré-Roloux 23 et 25, Rte de Presinge 137 et 139) ;
- G. Centre horticole de Lullier ;
- H. Zone Nord-Est du village.

Dans l'éventualité de la mise en place de réseaux de chaleur entre les différents groupes de constructions mentionnés ci-dessus, les distances les séparant sont déterminantes. Les valeurs approximatives de ces dernières sont présentées dans le tableau 1.

DISTANCE APPROXIMATIVE [m]	
B -> C	118
B -> D	158
A -> E	35
E -> F	350
F -> G	470
C -> H	335

Tableau 1 : Distances indicatives entre différents groupes de constructions

On notera que la mairie, l'école et d'autres immeubles voisins, qui se sont récemment débarrassés du mazout et tournés vers des vecteurs énergétiques plus durables (pellets, pompe à chaleur), ne font pas l'objet de la présente étude.

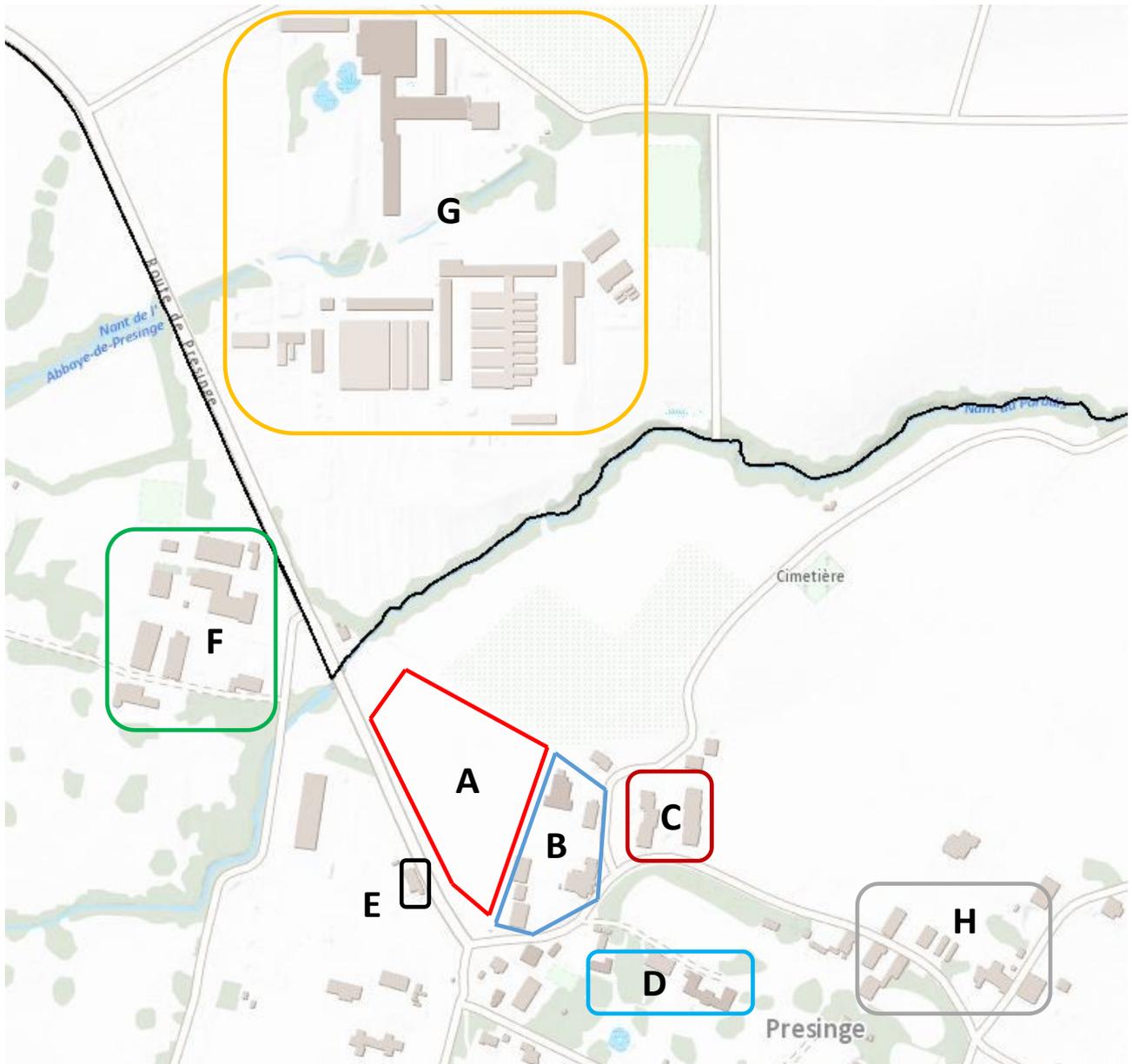


Figure 2 : Localisation des acteurs de possibles synergies : A : Extension du village de Presinge. B : Bâtiments dont la commune est propriétaire (Louvière 1 et 3, Auberge communale, Salle communale, Cordonniers 5. C : Bâtiments dont la commune est propriétaire (Cordonnières 2 à 10, Louvière 17 à 21). D : Eglise et EMS. E : Restaurant. F : Abbaye. G : Centre horticole de Lullier. H : Zone Est du village.



Figure 3 : Implantation de l'extension du village et emplacement des immeubles dont la commune est propriétaire.

Dans la suite de cette étude, on va éclairer les synergies possibles entre les acteurs A à E mentionnés ci-dessus. On ne considère pas ici le Centre horticole de Lullier, très grand consommateur de chaleur à haute température en hiver en raison de cultures sous serre et déjà équipé d'une chaudière à bois avec un appoint mazout important. D'autre part, le centre horticole est situé à plus de 700 m de l'extension du village de Presinge². De même, on ne s'attardera pas sur la zone Est du village, éloignée de 335 m des bâtiments Louvière 17 – 21, non documentée dans le cadastre énergétique du canton probablement en raison de faibles besoins énergétiques.

² Le centre horticole pourrait en revanche devenir un acteur intéressant à moyen terme, dans le cadre par exemple de la mise en place d'un réseau de distribution de la chaleur de la nappe phréatique, possiblement disponible à une cinquantaine de mètre de profondeur ; le programme GEothermie 2020 devrait prochainement vérifier la présence ou non de cette nappe.

3.4. Contexte politique et institutionnel

Ce concept énergétique territorial est établi dans le cadre du PLQ demandé par la commune de Presinge sur le périmètre de son territoire. Les trois coopératives engagées dans le projet d'extension du village (CODHA, Quercus et Equilibre) sont impliquées dans l'élaboration du concept énergétique territorial.

3.5. Cadre légal

La commune de Presinge, dont la population est inférieure à 1000 habitants, n'est légalement pas tenue à élaborer un Plan Directeur Communal (PDCOM).

3.6. Concepts énergétiques territoriaux en lien avec le périmètre concerné

Ce concept énergétique territorial n'a pas été précédé d'études antérieures effectuées sur le même périmètre ou dans le voisinage immédiat de celui-ci.

3.7. Projets d'aménagement sur la zone à proximité

Il n'existe actuellement aucun projet d'aménagement dans une zone située à proximité du village de Presinge.

3.8. Contexte environnemental

Il ressort des mesures de pollution atmosphérique effectuées par le canton que le périmètre de la présente étude ne signale aucune charge excessive d'un quelconque polluant. Quant aux aspects environnementaux liés aux eaux et aux sols, ils sont traités dans une étude spécifique en relation avec le PLQ.

4. ETAT DES LIEUX ÉNERGÉTIQUE

4.1. Besoins d'électricité

Les besoins d'électricité, déterminés à partir des valeurs indicatives de la norme SIA 380/1, sont présentés dans la figure 4. On doit s'attendre à ce qu'ils restent à peu près inchangés sur plusieurs décennies, l'électrification croissante des activités des habitants (par exemple développement de la mobilité électrique) étant compensée par les mesures d'efficacité qui ne manqueront pas de se mettre en place. Ces besoins sont quasiment insensibles à la qualité énergétique des immeubles bâtis ou à construire, si ce n'est au travers de l'éclairage naturel, qui ne représente qu'un faible pourcentage de la consommation électrique des ménages.

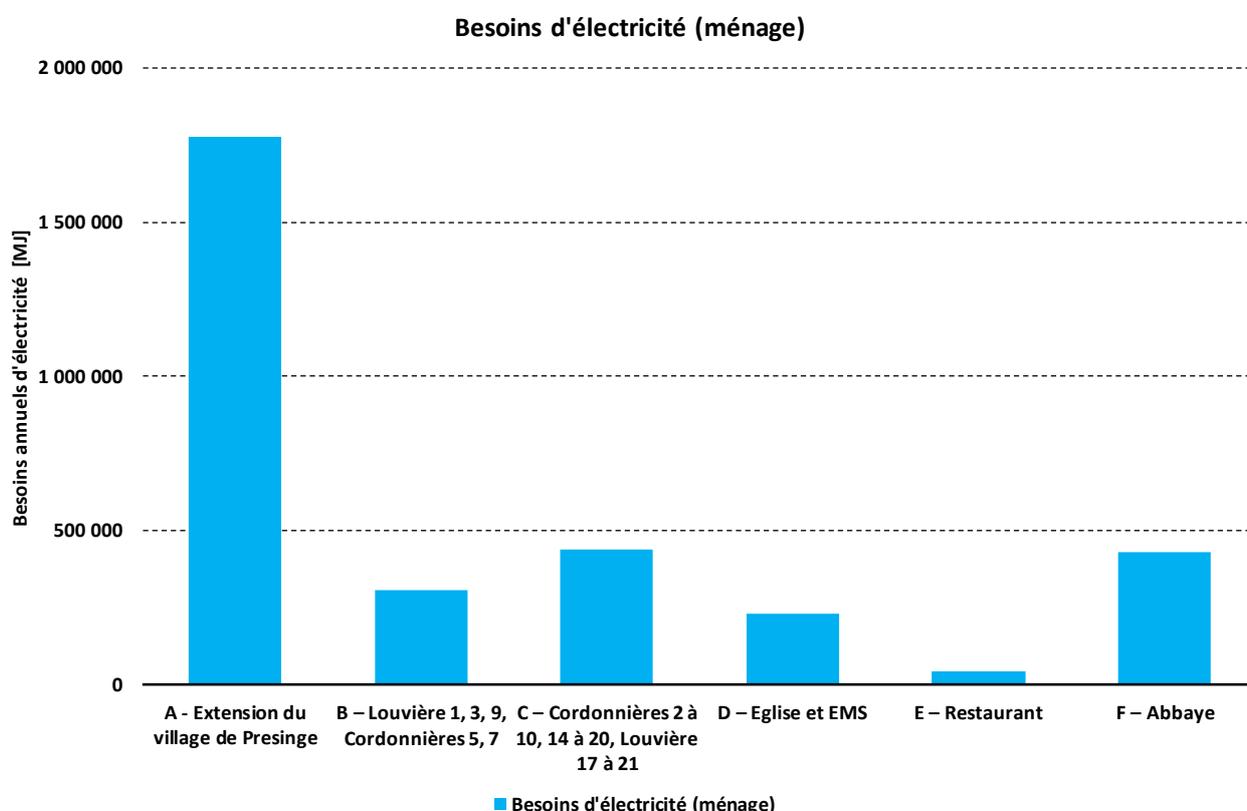


Figure 4 : Besoins annuels d'électricité pour les différentes zones A à F.

4.2. Besoins de chaleur actuels et futurs

Les besoins de chaleur actuels pour les acteurs de possibles synergies sont présentés dans la figure 5. Les besoins de la zone A, qui sera occupée exclusivement par des bâtiments à très haute performance énergétique (THPE), caractérisés par la compacité de l'enveloppe, la qualité de la protection thermique de

cette dernière ainsi qu'une ventilation mécanique double flux avec récupération de chaleur, ont été déterminés par simulation de chacun des 10 bâtiments à construire³. Pour les autres zones, ce sont les données présentées dans le Système d'information géographique du territoire genevois (SITG) qui ont été utilisées. On y trouve aussi les besoins futurs à l'horizon 2070. Ces derniers sont estimés grossièrement en considérant que, à la lumière de la réglementation communale actuelle, les zones en question ne seront pas sensiblement densifiées et que, d'autre part, les constructions d'aujourd'hui seront rénovées ou reconstruites au point d'atteindre un standard de haute performance énergétique (HPE). Ceci conduit à une diminution sensible des besoins de chaleur dans les zones aujourd'hui construites.

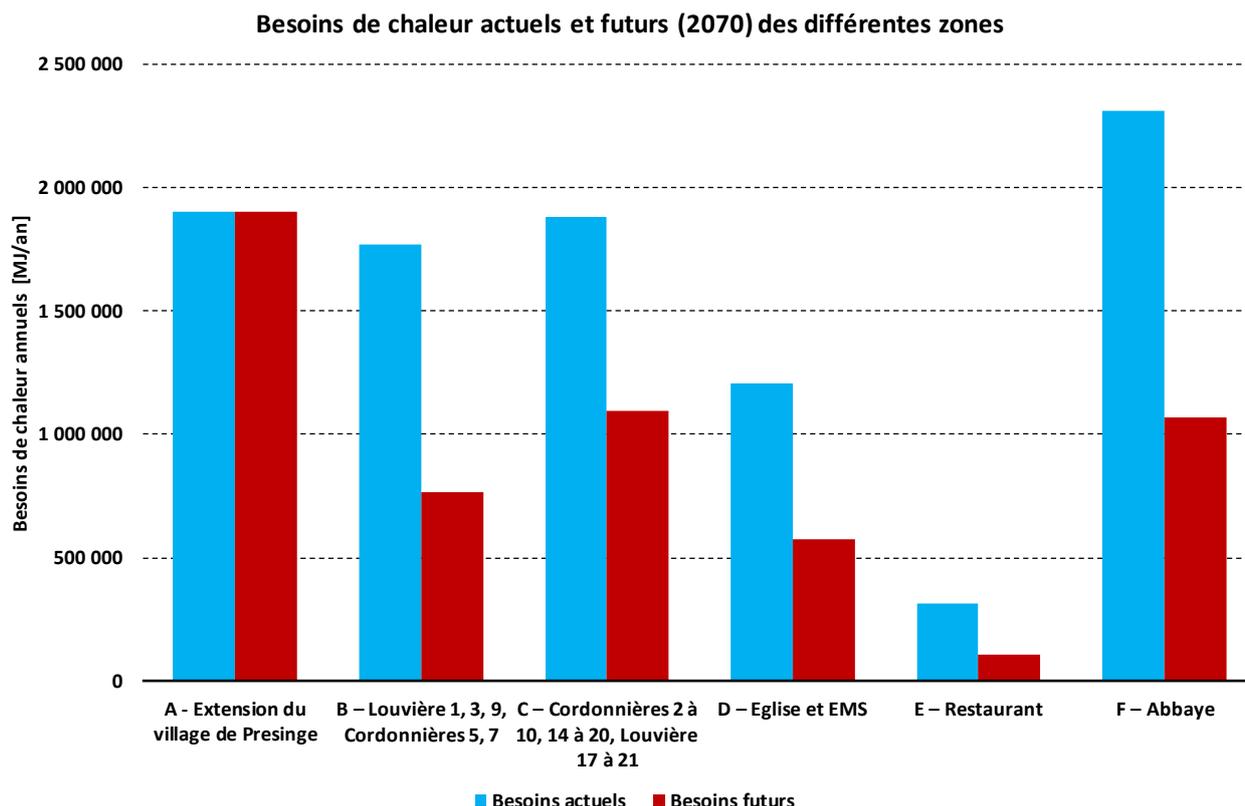


Figure 5 : Evolution des besoins de chaleur dans l'hypothèse où les enveloppes des bâtiments des zones B à F seront améliorées à un niveau correspondant à un standard HPE sans que ces zones ne soient sensiblement densifiées par rapport aux valeurs actuelles des indices d'utilisation du sol.

Pour éclairer le choix des technologies de production de la chaleur nécessaires au chauffage des locaux et à la préparation de l'eau chaude sanitaire, il est indispensable d'éclairer séparément les parts du chauffage des locaux et de l'eau chaude. Ces dernières sont de 41 % et de 59 % pour les immeubles de l'extension du village de Presinge, alors qu'elles se montent à 87 % et à 13 % pour un habitat déjà construit, par exemple

³ Du point de vue de la ventilation, la variante de référence dans cette étude est équipée d'une ventilation double flux avec récupération de chaleur. Une variante de ventilation simple flux (uniquement avec extraction) est aussi discutée brièvement plus bas.

pour les immeubles de la zone B la plus proche (Fig. 6). En d'autres termes, les besoins de chaleur de l'extension du village sont dominés par la production d'eau chaude, uniformément répartie sur toute l'année, alors que ceux des zones construites sont eux dominés par le chauffage des locaux, concentré sur la saison froide. Ainsi, dans une perspective de production de chaleur en commun, la toute grande part des besoins devra être produite à une température élevée de l'ordre de 60 °C, compatible avec les exigences de l'eau chaude sanitaire et celle du chauffage dans des immeubles anciens dans lesquels la distribution de chaleur est souvent faite à l'aide de radiateurs. Cette constatation, pour ce qui est de la production de chaleur, ouvre la voie à une collaboration naturelle entre le bâti actuel et l'extension du village.

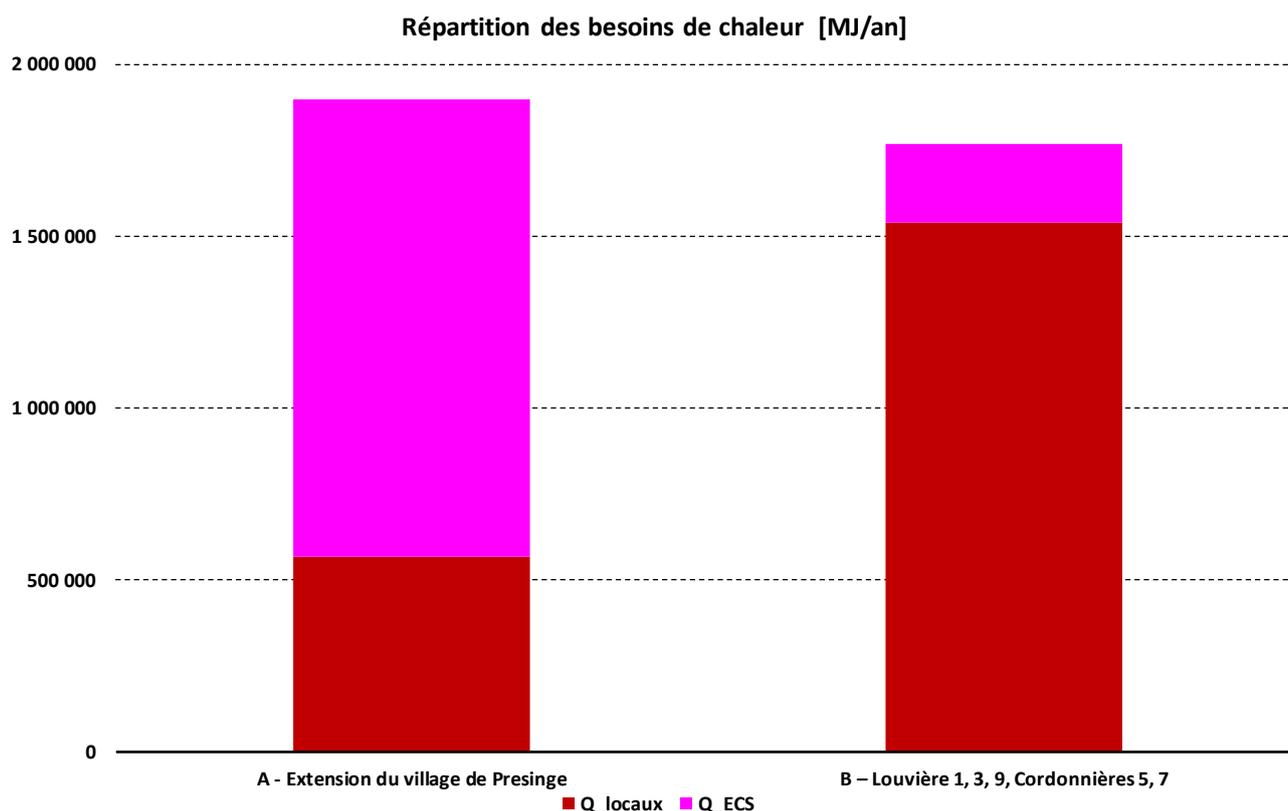


Figure 6 : Répartition des besoins de chaleur entre chauffage des locaux et eau chaude sanitaire pour les bâtiments de l'extension du village et pour les bâtiments communaux de la zone B (Habitations, Auberge communale et Salle communale).

Pour le cas où les bâtiments de l'extension du village sont construits avec une ventilation mécanique simple flux, l'air extrait peut servir à alimenter des pompes à chaleur pour la production de l'eau chaude sanitaire. Ceci a comme incidence que l'énergie de chauffage de l'extension du village s'en trouve quasiment doublée, que l'eau chaude sanitaire peut être produite dans des conditions légèrement améliorées et que le renouvellement d'air n'utilise que la moitié de l'énergie électrique nécessaire aux ventilateurs. La table 2 montre que les besoins électriques globaux pour la variante à double flux sont plus de 20 % inférieurs à ceux de la variante simple flux. La table 3 montre que, qualitativement, les deux variantes se tiennent du point de vue de la simplicité des installations, la légèreté de l'installation de ventilation de la variante

simple flux étant compensée par la nécessité de disposer d'un chauffage des locaux légèrement plus cossu ; du point de vue du confort thermique en revanche, la variante double flux présente l'avantage de pulser l'air neuf à une température proche de la température intérieure.

En résumé, la variante d'une ventilation à simple flux est légèrement moins performante pour ce qui est des ressources énergétiques nécessaires et n'assure pas un confort thermique optimal. D'autre part, cette variante impose quasiment que chaque bâtiment soit équipé de sa propre production d'eau chaude sanitaire, c'est-à-dire, puisque l'eau chaude sanitaire représente l'essentiel des besoins de chaleur, de sa propre production de chaleur : une production de chaleur centralisée et une distribution par le biais d'un réseau de chauffage à distance de perdent tout leur attrait.

	Double flux		Simple flux	
	Chaleur	Electricité	Chaleur	Electricité
Chauffage des locaux	32	8.9	70	19.4
ECS	75	27	75	25
Renouvellement d'air		5.4		2.7
Total		41.3		47.1

Table 2. Comparaison de l'électricité nécessaire (MJ/m²an) pour les deux variantes Double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait et Simple flux avec récupération de chaleur pour pompe à chaleur de production d'eau chaude sanitaire. Les valeurs suivantes ont été considérées pour les coefficients de performance annuels pour les différentes pompes à chaleur : 3.6 pour le chauffage des locaux, 2.8 pour la production d'ECS dans la variante Double flux et 3.0 pour la variante Simple flux. Les installations de ventilation ont été considérées comme de la meilleure qualité énergétique selon la norme SIA 382/1 : SPI 1, c'est-à-dire 0.25 W/(m³/h).

	Double flux		Simple flux	
	Simplicité	Confort	Simplicité	Confort
Chauffage des locaux	++	++	+	++
ECS	+	++	+	++
Renouvellement d'air	+	++	++	+

Table 3. Comparaison qualitative des deux variantes pour ce qui est de la Simplicité des installations et du Confort thermique réalisé. Les différentes rubriques sont évaluées selon les notes suivantes : ++ : Très bien ; + : Bien ; 0 : Passable ; - : Mal ; -- : Très mal.

4.3. Ressources pour la production d'électricité

Le *solaire photovoltaïque* représente la filière de production d'électricité renouvelable la plus prometteuse : en effet, chacun des bâtiments de l'extension du village de Presinge possède un pan de toit favorable à la mise en place de panneaux solaires : inclinaison de 30° par rapport à l'horizontale, orientation Sud-Ouest (azimut de 30°) ou Sud-Est (azimut de - 60°). Les productions annuelles attendues sont présentées dans la figure 7.

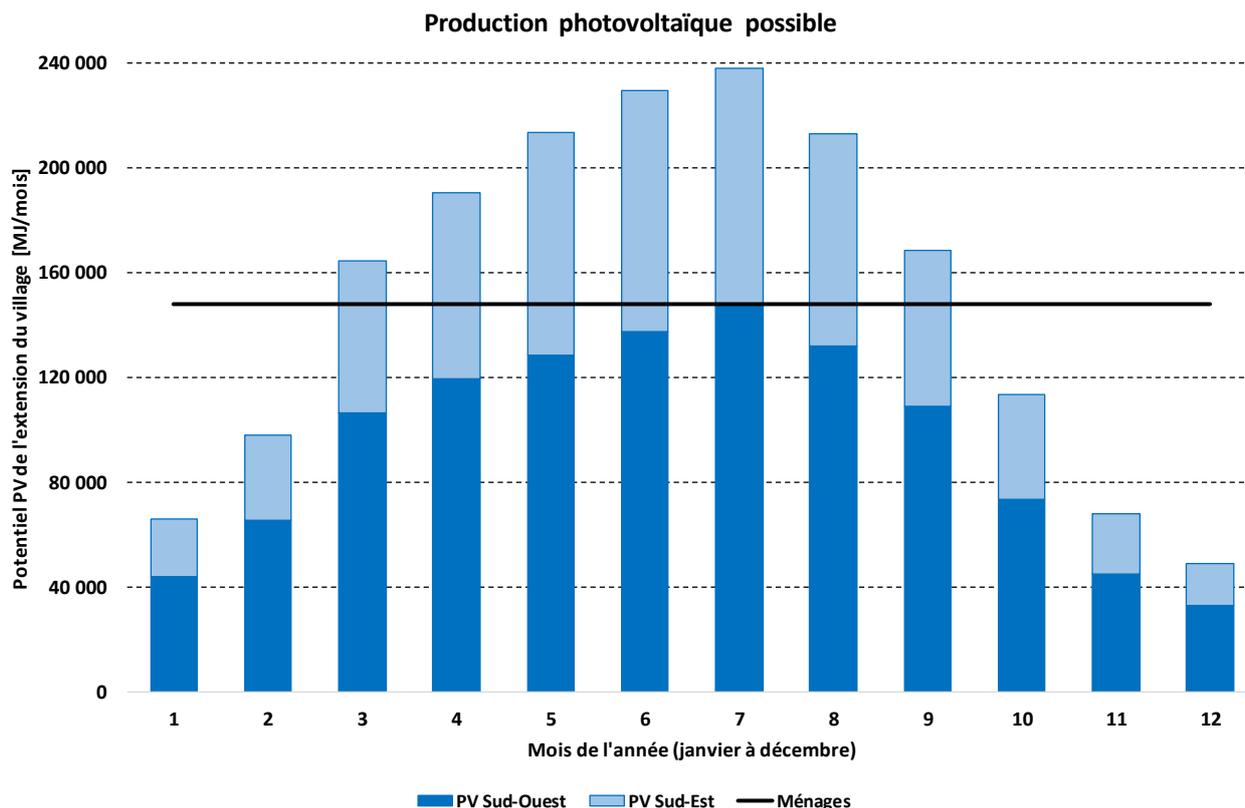


Figure 7 : Potentiel de production photovoltaïque (PV) sur les toits des bâtiments de l'extension du village comparé à la consommation électrique des ménages de cette même extension.

Le *potentiel éolien* dans la campagne genevoise est faible et ne suscite pas d'intérêt particulier, en raison de vitesses moyennes de vent de l'ordre de 4 m/s, voire inférieures.⁴

La production d'énergie électrique pour l'extension du village de Presinge ainsi que pour son environnement immédiat à l'aide d'une *micro-cogénération à bois* n'est que peu réaliste pour deux raisons : la première est que, pour de petites installations de l'ordre de quelques centaines de kW, le rendement électrique attendu est faible et ne dépasse pas 20 %. La seconde est que de telles installations sont compliquées, donc coûteuses et techniquement délicates à exploiter.

4.4. Ressources pour la production de chaleur

Sur le périmètre concerné par ce concept énergétique territorial, de la chaleur peut être produite à l'aide de *panneaux solaires thermiques*. On notera toutefois que le solaire thermique, généreux en été et discret en hiver, est bien plus adéquat pour contribuer à la couverture de la production de l'eau chaude sanitaire

⁴ Base de données WindData : www.winddata.ch.

que de celle du chauffage des locaux. D'autre part, cette dernière technologie nécessite dans tous les cas un appoint en hiver.

La zone géographique étudiée est favorable à l'utilisation de *sondes géothermiques verticales* puisqu'elle n'est pas située dans une zone où des mesures particulières doivent être prises pour assurer la protection des eaux souterraines potables. Cette utilisation pourrait tout à fait être envisagée pour alimenter des pompes à chaleur dédiées au chauffage des locaux et à la production d'eau chaude sanitaire. Il est à noter que, pour ce qui est de l'extension du village, une production de chaleur solaire judicieusement dimensionnée serait tout à fait bienvenue dans l'hypothèse de l'utilisation de pompes à chaleur sur sondes géothermiques verticales : on pourrait recharger les sondes en été et augmenter ainsi le coefficient de performance annuel des pompes à chaleur.

Mais, en marge de cette utilisation de géothermie de faible profondeur, il est judicieux de suivre avec attention les recherches d'autres alternatives géothermiques plus efficaces encore. En effet, un *système sur nappe ou alors hydrothermal de moyenne profondeur* pourraient apporter des solutions intéressantes, vraisemblablement dans un meilleur rapport coût/efficacité énergétique. Selon Michel Meyer, responsable Géothermie aux SIG, quelques constats sont déjà disponibles pour le secteur de Presinge :

- La présence d'une nappe d'eau souterraine dans les graviers dits de « l'alluvion ancienne », inconnue jusqu'alors, n'est pas à exclure complètement. Une telle nappe d'eau froide (14°C) située à une quarantaine de mètres de profondeur pourrait offrir une alternative sur pompe à chaleur solide pour la densité énergétique dont fait l'objet ce secteur et potentiellement plus intéressante que des champs de sondes. Toutefois, la présence de cette nappe est vraiment incertaine à l'heure actuelle car la quantité de forages de cette profondeur est très faible sur cette zone mais des indices laissent penser que cela n'est pas impossible.
- A grande profondeur, des failles géologiques traversant les calcaires ont été repérées. Cependant les couches géologiques concernées dans le sous-sol de Presinge sont situées dans le secteur cantonal le plus profond, ce qui a deux incidences :
 - Un éventuel projet de forage d'exploration ne pourra pas se faire avant mi 2019, la priorité cantonale étant accordée jusque-là aux secteurs les moins profonds ;
 - Un éventuel projet à ces profondeurs pourrait être surdimensionné par rapport aux enjeux thermiques de ce secteur, ce qu'une analyse plus fine de toute la zone, bien au-delà du périmètre visé par ce concept énergétique territorial, devrait prochainement éclairer.

L'utilisation du *bois-énergie* pour produire la chaleur nécessaire à alimenter les bâtiments du périmètre d'étude est en soi possible et favorable d'un point de vue environnemental, pour autant qu'elle passe par l'utilisation d'une production de chaleur centralisée, la forme de production la plus appropriée pour garantir une combustion efficace à émission de particules fines compatible avec la Stratégie de protection de l'air 2030 et qu'elle puisse s'appuyer sur un bois de provenance locale et assurée à long terme.

4.5. Synthèse des besoins et des ressources

Pour l'extension du village (zone A) et pour les immeubles voisins de la zone B, dont la commune est propriétaire, la structure des besoins et des ressources apparaît comme donc ainsi :

- *Electricité* : Les besoins sont dominés par l'extension du village dans une proportion de 5 contre 1. Pour ce qui est des ressources, l'extension du village pourrait produire en moyenne annuelle l'équivalent de la consommation de ses ménages, avec une production déficitaire en hiver et excédentaire en été. L'installation éventuelle de panneaux photovoltaïques sur les toits des immeubles de la zone B permettrait de couvrir plus que les besoins de la consommation électrique courante (consommation des ménages pour les immeubles d'habitation). Pour les autres zones bâties considérées (zone C à F), la constatation est semblable à celle pour la zone B.
- *Chaleur* : Pour l'extension du village, les besoins de chaleur sont dominés, pour le cas où les bâtiments sont équipés d'un système de renouvellement d'air avec récupération de chaleur, par la production d'eau chaude sanitaire, ce qui est favorable à une couverture des besoins à l'aide de pompes à chaleur, particulièrement dans la configuration d'une production centralisée où les pompes à chaleur peuvent être utilisées en cascade. Pour le bâti existant (p. ex. zone B), les besoins sont dominés par le chauffage des locaux, ce qui est favorable à une production de chaleur à l'aide d'une chaudière à bois, sans toutefois exclure les pompes à chaleur, surtout celles fonctionnant sur nappe phréatique ou utilisant la géothermie de moyenne profondeur.

	<i>Photovoltaïque</i>	<i>Cogénération à bois</i>	<i>Eolien</i>
Extension du village	++	--	--
Bâti existant (zone B)	+	-	--

Tableau 2 : Pertinence de différentes filières de production d'électricité. Echelle qualitative s'étendant de ++ (très favorable) à -- (très défavorable).

	<i>PAC sur SGV</i>	<i>PAC sur nappe</i>	<i>Bois</i>
Extension du village	++	++	+
Bâti existant (zone B)	0	+	++

Tableau 3 : Pertinence de différentes filières de production de chaleur. Echelle qualitative s'étendant de ++ (très favorable) à -- (très défavorable). PAC pour pompe à chaleur, SGV pour sondes géothermiques verticales.

5. ANALYSE ET PROPOSITION DE STRATÉGIES LOCALES

5.1. Variante « Extension du village de Presinge en solo »

5.1.1. Production d'électricité photovoltaïque

Description : Toutes les surfaces de toiture bien orientées (Sud-Ouest et Sud-Est) sont équipées bord à bord de panneaux photovoltaïques : la production couvre en intégrale annuelle les besoins d'électricité des ménages. Les surplus estivaux pouvant servir à la production d'eau chaude sanitaire à l'aide de pompes à chaleur ou encore, à moyen terme, à l'alimentation de véhicules électriques.

5.1.2. Panneaux solaires thermiques

Cadre général : Le cadre législatif et réglementaire cantonal⁵ impose en principe des panneaux solaires thermiques pour assurer une couverture de 30 % des besoins annuels d'eau chaude sanitaire. Toutefois il est très ouvert à exception, particulièrement dans les situations où d'autres formes d'énergies renouvelables – chaleur de l'environnement, photovoltaïque - sont utilisées de manière exemplaire, ce qui sera le cas pour l'extension du village de Presinge. En effet, quelle que soit la variante de production de chaleur que l'on pourra envisager (voir ci-dessous), celle-ci s'appuiera sur une utilisation de chaleur renouvelable (pompe à chaleur ou bois). Il est donc raisonnable de privilégier en toiture la solution technologique la plus simple quant à son intégration architecturale, la plus économique pour ce qui est des coûts d'investissement et de fonctionnement. D'autre part l'utilisation d'électricité photovoltaïque pour entraîner des pompes à chaleur est, du point de vue exergétique, comparable voire supérieure à la production de chaleur à l'aide de panneaux solaires thermiques.

Les panneaux solaires thermiques sont toutefois les bienvenus dans une configuration de pompes à chaleur centralisées, avec comme objectif de procéder à la recharge d'un champ de sondes géothermiques. Avec une surface de 500 à 600 m², ils pourraient occuper l'entièreté de la toiture de quelques bâtiments et se présenter sous la configuration de panneaux solaires thermiques vitrés ou non vitrés.

5.1.3. Pompes à chaleur délocalisées par bâtiment

Description : Chaque bâtiment de l'extension du village possède sa propre pompe à chaleur équipée de sondes géothermiques verticales ou d'un accès à la nappe phréatique. Les toits favorablement orientés (Sud-Ouest et Sud-Est) sont recouverts de panneaux solaires photovoltaïques. Cette variante, qui implique la construction d'un local technique par bâtiment, est économique mais possède le désavantage de ne pas mutualiser les ressources et d'être compliquée quant à une migration vers la couverture des besoins à l'aide d'autres formes d'énergie, par exemple la géothermie de moyenne ou de grande profondeur.

⁵ Loi sur l'énergie (LEn, 18 septembre 1986), Ch.3, Art. 15, Alinéa 2 ; Règlement d'application de la loi sur l'énergie (REn, 31 août 1988), Ch. 4, Section 1, Art. 12P.

5.1.4. Pompes à chaleur centralisées

Description : Des pompes à chaleur sur sondes géothermiques ou sur nappe sont placées dans un local technique centralisé et alimentent par le biais d'un mini réseau de chauffage à distance les bâtiments de l'extension du village. Dans le cas de la variante avec sondes géothermiques verticales, une petite surface de panneaux solaires thermiques est utilisée pour recharger les sondes et améliorer ainsi le coefficient de performance des pompes à chaleur. Le reste de la surface de toiture utilisable est recouvert de panneaux solaires photovoltaïques. Cette variante offre une bonne flexibilité pour l'éventualité d'une migration ultérieure vers d'autres sources de production de chaleur, par exemple le bois ou la géothermie de moyenne profondeur.

5.1.5. Chaudière à bois centralisée et mini-réseau de chauffage à distance

Description : Une chaufferie à bois centralisée alimente par le biais d'un réseau de chauffage à distance les bâtiments de l'extension du village. Cette solution est justifiable par le fait que l'essentiel des besoins de chaleur est concentré sur la production de l'eau chaude sanitaire à 60 °C ; elle est favorable à une migration ultérieure vers d'autres formes d'approvisionnement, par exemple la géothermie de moyenne profondeur ; elle est d'autant plus raisonnable que les ressources en bois-énergie sont disponibles à proximité et assurées à long terme.

5.2. Variante « Extension du village en équipe avec le bâti existant »

5.2.1. Production d'électricité

Description : Toutes les surfaces de toiture bien orientées de l'extension du village sont utilisées pour recevoir des panneaux photovoltaïques. Il en sera de même pour le bâti existant, au fur et à mesure que les toitures seront rénovées.

5.2.2. Pompes à chaleur centralisées

Description : Identique à 5.1.4 ci-dessus avec, si possible, des pompes à chaleur utilisant la chaleur de la nappe phréatique.

5.2.3. Chaudière à bois centralisée et réseau de chauffage à distance

Description : Une chaufferie à bois centralisée alimente par le biais d'un réseau de chauffage à distance les bâtiments de l'extension du village ainsi que des bâtiments environnants, communaux ou privés. Une telle chaufferie sera optimale dans la mesure où les besoins de chaleur seront grands et le réseau de distribution court : en effet une grande puissance est, du point de vue de l'environnement, propice à assurer la qualité de la combustion et un réseau de distribution court limite les pertes de distribution. Cette variante de chauffage à bois permet à des bâtiments actuellement chauffés au mazout de migrer vers un approvisionnement renouvelable et est économiquement raisonnable si la densité des raccordements est suffisante. Une réglementation communale à élaborer pourrait assurer à terme un minimum de raccordements en obligeant la migration vers le chauffage à distance lors du remplacement d'une chaudière à mazout en fin de vie. Il est enfin à noter que la mise en place d'un réseau de distribution pour

desservir des immeubles existants avec d'importants besoins de chaleur pour le chauffage des locaux nécessite une production de chaleur à haute température et n'est donc pas favorable à l'utilisation de pompes à chaleur, sauf, peut-être, si la nappe phréatique est disponible en tant que source froide.

Dans l'évaluation présentée dans cette étude on distingue les réseaux de chaleur suivants (Fig. 8) :

- *Mini* : réseau de chaleur alimentant uniquement l'extension du village de Presinge ;
- *Petit* : réseau *Mini* étendu aux immeubles d'habitation Louvière 1 et 3 ;
- *Moyen* : réseau *Petit* étendu à la Salle communale et aux immeubles d'habitation Cordonnières 5, Cordonnières 9, Cordonnières 2 – 10 et Louvière 17 – 21 ;
- *Maxi* : réseau *Moyen* étendu à l'Auberge communale, à l'église, à l'EMS et au restaurant (rte de Presinge 121) ;
- *Super* : réseau *Maxi* étendu jusqu'à l'Abbaye.

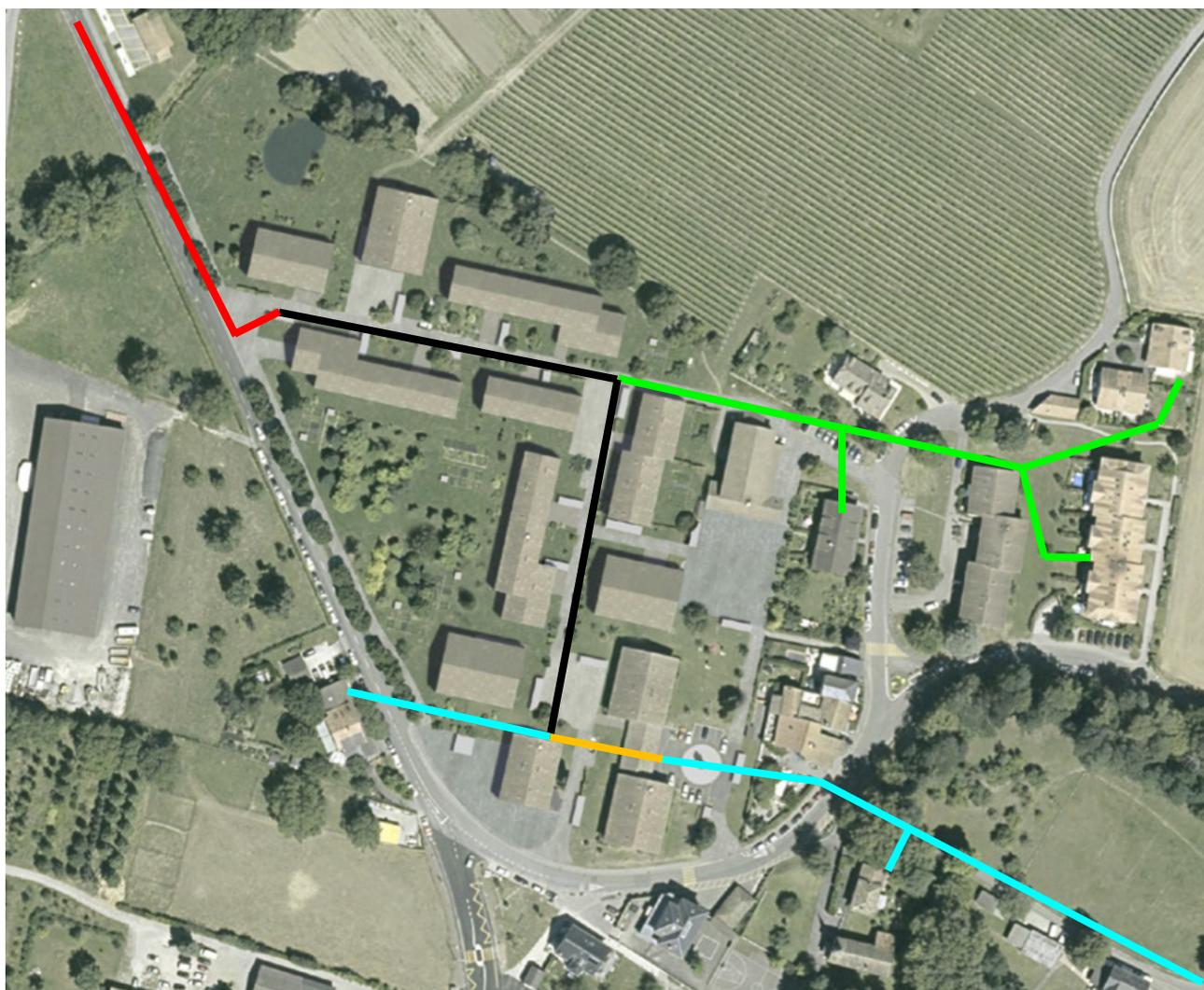


Figure 8 : Les différents réseaux de chauffage présentés dans cette étude. *Mini* : extension du village (noir) ; *Petit* : *Mini* avec liaison jaune vers Louvière 1 – 3 ; *Moyen* : *Petit* avec extension verte ; *Maxi* : *Moyen* avec extension bleue vers Auberge communale, église - EMS et vers le restaurant ; *Super* : *Maxi* avec extension rouge vers l'Abbaye.

Pour ce qui est de l'estimation des coûts, c'est l'ouvrage de synthèse récemment paru, *Planungshandbuch Fernwärme*⁶ qui servira de référence. On y considère que les conditions pour le déploiement d'un réseau de chauffage à distance sont favorables lorsque la densité de chaleur livrée annuellement est supérieure à 2'000 kWh/(m an) ; elles sont en revanche défavorables lorsque la chaleur livrée est inférieure à 1'200 kWh/(m an). La figure 9 montre que les configurations de réseau envisagées sont en général favorables. Pour le réseau Mini, la simplicité de sa mise en place, avant réalisation des aménagements extérieurs, devrait sans doute être un avantage décisif.

Partie de réseau	Longueur [m]
Extension du village de Presinge	250
Louvière 1 et 3	31
Salle communale, Cordonnières 5,	88
Cordonnières 2-10 et 14-20, Louvière 17-21	112 + 48
Auberge communale	52
Eglise et EMS	125 + 17
Restaurant route de Presinge 121	50
Abbaye	212

Tableau 4 : Longueurs approximatives des différentes branches de réseau.

⁶ Planungshandbuch Fernwärme, Thomas Nussbaumer et al., EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, 21. September 2017.

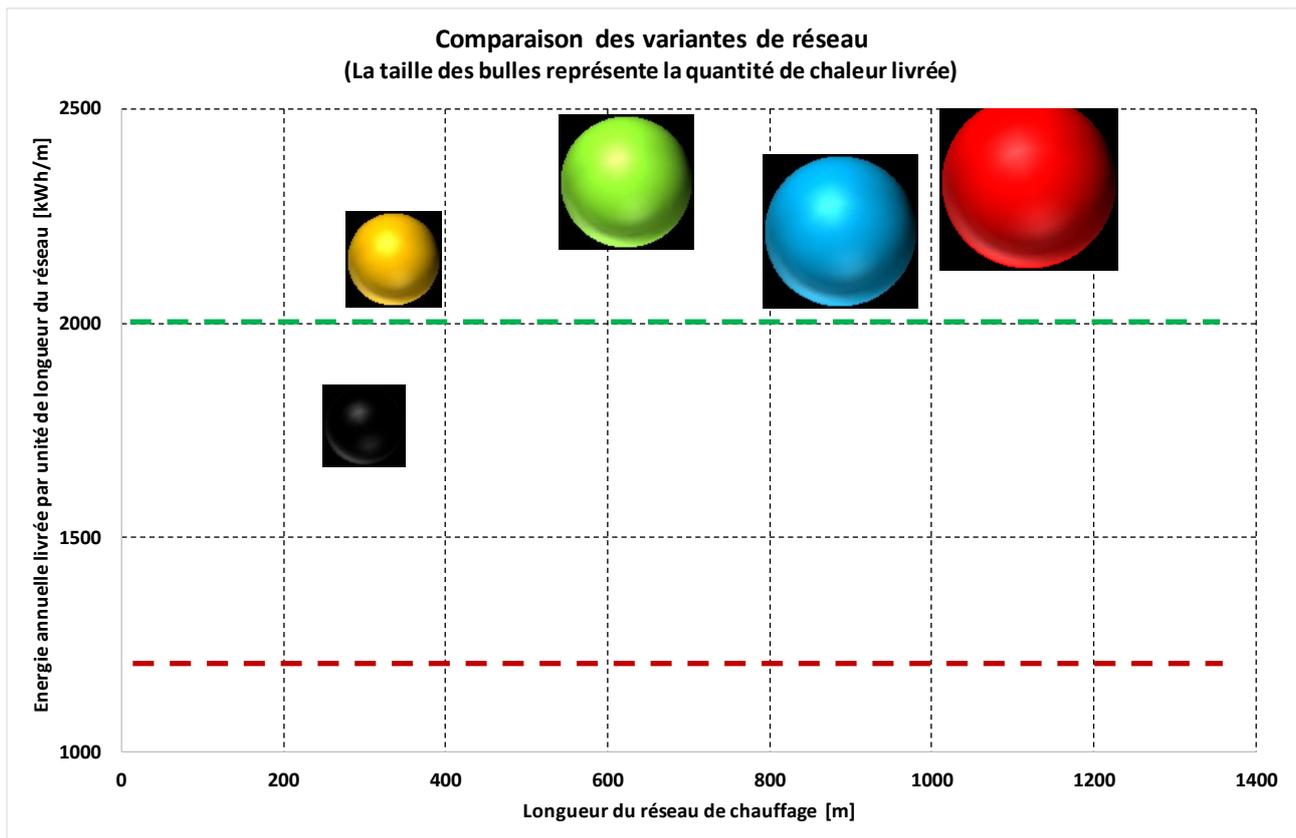


Figure 9 : Densité d'énergie pour les différentes configurations de réseau considérées.

Les ordres de grandeur des coûts par kWh livré à l'entrée du bâtiment sont présentés dans les figures 10 et 11. La figure 10 présente les coûts déterminés sur la base des consommations actuelles ; la figure 11 tient compte que, au fil du temps, tous les immeubles existants seront rénovés au point d'atteindre, en 2070, une qualité comparable aux immeubles HPE actuels sans que les différentes zones desservies ne subissent une augmentation de densité de surfaces habitables par rapport à la situation d'aujourd'hui. La diminution des besoins liée à l'amélioration des bâtiments aura comme effet de renchérir l'énergie livrée. Mais elle devrait permettre de desservir aussi d'autres immeubles demandeurs. Il est à noter que pour toutes les versions de réseau de chauffage à distance présentées, les coûts de l'énergie livrée sont inférieurs à 20 ct/kWh, frais de combustible, amortissement des infrastructures, pertes de distribution, énergie électrique auxiliaire pour la production et pour la distribution de chaleur compris. Ceci est tout à fait raisonnable dans un contexte de substitution du mazout.

**Coût du kWh livré pour les différentes variantes du réseau
(consommation actuelle constante)**

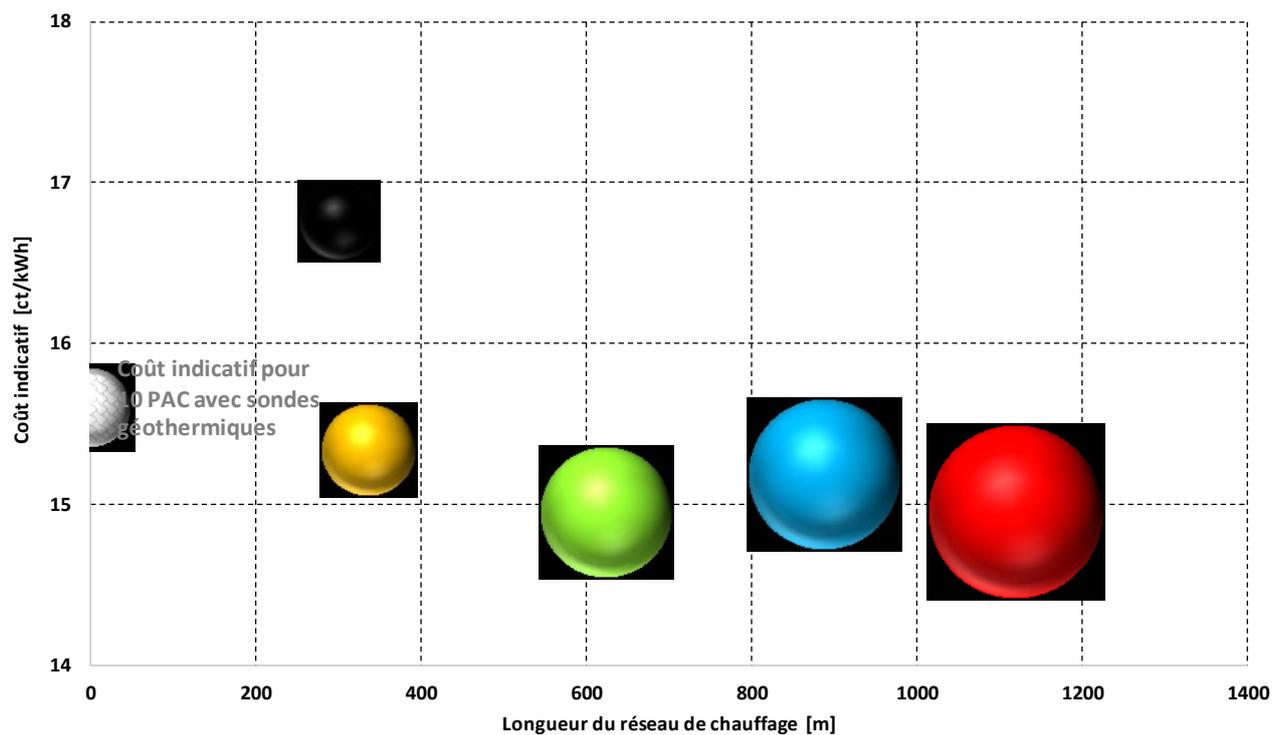


Figure 10 : Consommation actuelle. Coûts indicatifs des kWh de chaleur livrés à l'entrée des immeubles par des PAC décentralisées ainsi que par les différentes formes des réseaux alimentés par chaudière à bois étudiés ici : réseaux Mini, Petit, Moyen, Maxi et Super. La grandeur des bulles représente symboliquement la quantité de chaleur livrée.

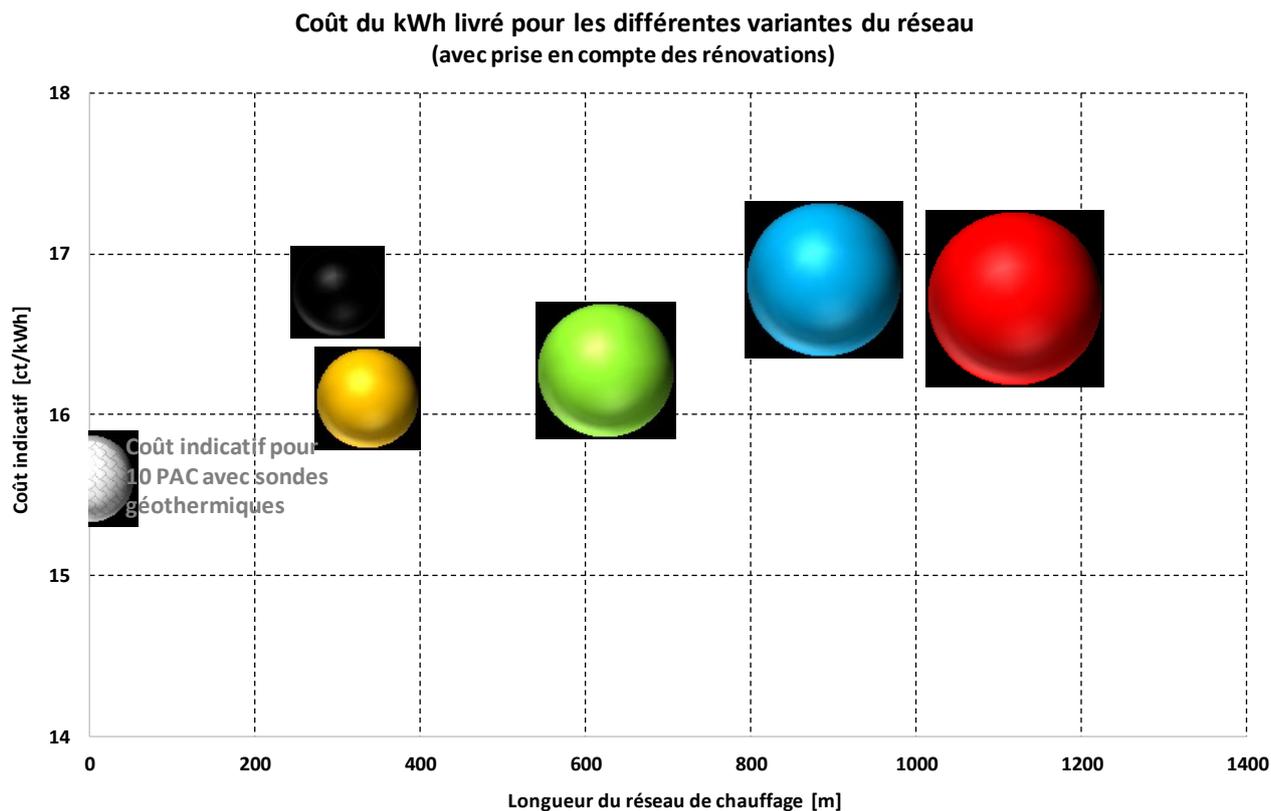


Figure 11 : Diminution progressive de la consommation jusqu'en 2070, selon les valeurs présentées en figure 5. Coûts indicatifs des kWh de chaleur livrés à l'entrée des immeubles par des PAC décentralisées ainsi que par les différentes formes réseaux alimentés par chaudière à bois étudiés ici : réseaux Mini, Petit, Moyen, Maxi et Super. L'hypothèse faite ici est que les zones conservent le même indice d'utilisation du sol qu'aujourd'hui et que les bâtiments seront peu à peu rénovés à un standard comparable HPE.

6. SYNTHÈSE ET RECOMMANDATIONS POUR LES ACTEURS CONCERNÉS

6.1. Les acteurs potentiellement concernés

Ce concept énergétique territorial ne doit pas rester figé sous sa forme actuelle mais doit être développé et précisé en parallèle avec l'avancement du projet. Parmi les acteurs naturellement concernés par cette réflexion et le rôle que chacun d'eux peut être amené à jouer, on peut citer, de manière non exhaustive :

- La commune de Presinge : assurer la cohérence dans l'intégration de l'extension du village dans le bâti actuel, moderniser et actualiser l'approvisionnement énergétique de son parc de bâtiments, favoriser l'accès de bâtiments privés à des sources d'énergie renouvelable, cofinancer la mise en œuvre ;
- Les coopératives Codha, Quercus et Equilibre : optimiser l'approvisionnement énergétique des bâtiments à construire, cofinancer la mise en œuvre ;

- L'OCEN : veiller à la cohérence tout au long des différentes phases de l'évolution de ce concept énergétique territorial ; favoriser la coordination des travaux exploratoires liés l'utilisation éventuelle de la nappe phréatique ou à la géothermie de moyenne profondeur ;
- Les SIG : si nécessaire, mettre à disposition leur expérience dans la planification, le déploiement, l'exploitation et le financement d'un réseau de chauffage à distance ;
- Le programme GEothermie 2020 : clarifier le potentiel énergétique de la nappe phréatique ainsi que, à moyen terme, celui de la géothermie de moyenne profondeur dans la région de Presinge.

6.2. Extension du village : Production d'énergie renouvelable

Pour les immeubles de l'extension du village de Presinge, équiper toute la surface de toiture favorablement orientée (1894 m² Sud-Ouest et 1181 m² Sud-Est) de panneaux solaires. Pour le cas d'une production de chaleur par le biais de pompes à chaleur centralisées à sondes géothermiques verticales et distribution aux bâtiments à l'aide d'un mini-réseau de chauffage à distance, réserver une part (environ 600 m²) pour du solaire thermique utilisé pour la préparation d'eau chaude sanitaire et pour recharger les sondes géothermiques verticales. Pour tous les autres cas de figure, recouvrir l'intégralité des surfaces de toiture mentionnées de panneaux solaires photovoltaïques. Les excédents ou déficits de production sont repris ou fournis par les SIG. Il serait judicieux de prévoir en ensemble de batteries de stockage d'énergie électrique (500 kWh) de façon que, pour une journée bien ensoleillée, l'essentiel de la consommation journalière de l'extension du village le soit sous la forme d'autoconsommation.

6.3. Production de chaleur (locaux et eau chaude sanitaire)

Pour la production de chaleur, deux configurations d'acteurs sont envisageables du point de vue des aspects environnementaux, de la simplicité des systèmes nécessaires et des coûts de production de chaleur (Tab. 5) :

6.3.1. Production de chaleur uniquement pour l'extension du village de Presinge.

- a. Production de chaleur à l'aide de pompes à chaleur décentralisées à sondes géothermiques verticales. C'est une solution qui fonctionne sans émission de particules fines ni de CO₂, pour autant que l'électricité nécessaire soit renouvelable, et qui est avantageuse tant au niveau des coûts d'investissement que de fonctionnement (voir Fig. 10 et 11). Mais c'est une solution qui est délicate si l'on pense à faire évoluer le système énergétique vers l'utilisation d'autres formes d'énergies renouvelables, par exemple la géothermie de moyenne profondeur : la raison en est que l'onéreuse infrastructure nécessaire à la distribution de la chaleur devrait être rajoutée par la suite, dans une voirie existante.
- b. Production de chaleur à l'aide de pompes à chaleur centralisées à sondes géothermiques verticales. Idéalement cette variante doit être accompagnée d'un mini-réseau de distribution de chaleur à quatre tubes, deux pour la distribution de chaleur à un niveau compatible avec les exigences de l'eau chaude sanitaire (60 °C) et les deux autres à un niveau de température

nettement plus bas, juste suffisant pour assurer le chauffage des locaux. La mise en cascade de plusieurs pompes à chaleur pour la production de l'eau chaude sanitaire (plus de la moitié des besoins de chaleur de l'extension du village) assure un excellent coefficient de performance.

- c. Production de chaleur à l'aide de pompes à chaleur centralisées sur nappe⁷. Cette variante présente les mêmes caractéristiques que celles listées sous point b ci-dessus, avec toutefois l'avantage supplémentaire de présenter un coefficient de performance amélioré.
- d. Production de chaleur pour l'eau chaude sanitaire par le biais d'une chaufferie à bois et distribution à l'aide d'un mini réseau de chauffage à distance. La production de la chaleur nécessaire au chauffage des locaux pourrait être assurée par des pompes à chaleur.

6.3.2. Production de chaleur pour l'extension du village et d'autres acteurs.

La mise en place de synergies entre le nouveau complexe et le bâti existant permet une substitution bienvenue du mazout. Elle doit en principe incorporer de nouveaux acteurs à mesure que les consommations des immeubles existants vont diminuer au fil des décennies, sous peine de surdimensionnement des installations de production et de distribution de chaleur. D'autre part la migration vers d'autres formes d'énergie est possible, par exemple la géothermie de moyenne profondeur. Le prix de la chaleur produite reste tout à fait raisonnable, bien que l'investissement initial soit important.

Les coûts de la chaleur produite varient en fonction de la longueur du réseau de distribution et de la densité énergétique des raccordements (voir Fig. 10 et 11). Une variante rationnelle se présente sous la forme d'une chaufferie à bois ou à pompes à chaleur sur nappe située quelque part dans le périmètre de l'extension du village. Cette chaufferie alimente un réseau de chauffage à distance desservant, en plus de l'extension du village, des bâtiments communaux environnants (Louvière 1 -3, Salle communale et Cordonnières 5) ainsi que les immeubles d'habitation Cordonnières 2 – 10, Cordonnières 14 à 20 et Louvière 17 – 21 (réseau mentionné plus haut dans le texte sous le qualificatif de *Moyen*. Cette chaufferie peut par exemple être équipée de deux modules de puissances différentes pouvant fournir l'un 1/3 et l'autre 2/3 de la puissance maximale nécessaire, ce qui correspond en gros à 125 kW et à 250 kW. Etendre ce réseau et l'amener à la taille des réseaux *Maxi* ou *Super* produirait des coûts de l'énergie thermique produite à peu près identiques et serait donc tout à fait bienvenu.

- a. Chaudières centralisées à bois et réseau de chauffage à distance à 60 °C. Cette variante, soumise aux exigences de qualité de combustion requises par la Stratégie de protection de l'air 2030, sera viable dans la mesure où la sécurité en approvisionnement local en bois sera vérifiée.
- b. Pompes à chaleur centralisées sur nappe et réseau de chauffage à distance à 60 °C. L'utilisation de la nappe comme source froide des pompes à chaleur assure d'excellents coefficients de performance. Toutefois, le potentiel d'utilisation de la nappe phréatique environnante doit d'abord être vérifié : les résultats du programme GEothermie 2020 à ce sujet sont attendus pour fin 2019.

⁷ La présence de la nappe phréatique et l'accessibilité à cette dernière doivent encore être vérifiées.

<p>1. Extension du village en solo Conditions optimales pour l'extension du village Economiquement très favorable</p>	<p>Pompes à chaleur a. décentralisées par bâtiment</p>	<p>Peu propice à une migration vers d'autres formes d'énergie Fermé quant à la mise en place de synergies avec d'autres acteurs Variante la plus avantageuse économiquement pour l'extension du village Investissement initial modeste</p>	0
	<p>Pompes à chaleur b. centralisées sur SGV et CAD (60 oC)</p>	<p>Propice à une migration vers d'autres formes d'énergie Synergies avec d'autres acteurs possibles Investissement initial important</p>	++
	<p>Pompes à chaleur c. centralisées sur nappe et CAD (60 oC)</p>	<p>Variante dépendant de l'existence d'une nappe phréatique à proximité Excellent coefficient de performance pour le chauffage des locaux et l'ECS Propice à une migration vers d'autres formes d'énergie Synergies avec d'autres acteurs possibles Investissement initial important</p>	++
	<p>d. Bois et CAD (60 oC)</p>	<p>Propice à une migration vers d'autres formes d'énergie Synergies avec d'autres acteurs possibles Investissement initial important Exigences en matière d'émission de particules (PM10)</p>	+
<p>2. Synergie avec d'autres acteurs Substitution du mazout pour certains acteurs Propice à la venue à moyen terme d'autres acteurs Propice à une migration vers d'autres formes d'énergie Investissement initial important Economiquement globalement raisonnable</p>	<p>a. Chaudières centralisées à bois et CAD (60 oC)</p>	<p>Dépendance de la sécurité d'approvisionnement en bois local Exigences en matière d'émission de particules (PM10)</p>	++
	<p>b. Pompes à chaleur centralisées sur nappe et CAD (60 oC)</p>	<p>Variante dépendant de l'existence d'une nappe phréatique à proximité Excellent coefficient de performance pour le chauffage des locaux et l'ECS</p>	++

Tableau 5. Représentation schématique de différentes stratégies de production de la chaleur nécessaire au chauffage des locaux et de l'eau chaude sanitaire, avec appréciation qualitative allant de ++ (très favorable) à - - (très

défavorable). CAD pour chauffage à distance, SGV pour sondes géothermiques verticales, ECS pour eau chaude sanitaire.

7. ANNEXE

Cette annexe se concentre sur les bâtiments de l'extension du village de Presinge et présente les détails mensuels de différentes productions renouvelables (solaire photovoltaïque, solaire thermique, bois) et des différents besoins : Pour l'électricité du ménage, c'est la valeur de la norme SIA 380/1, pour l'eau chaude sanitaire, la valeur de la norme SIA 380/1 augmentée de 50 % pour tenir compte des pertes de distribution, pour le chauffage des locaux, les valeurs obtenues par simulation de chacun des bâtiments ont été augmentées à 32 MJ/m²an pour prendre en compte le fait que la grande majorité des bâtiments à très haute performance énergétiques consomment sensiblement davantage que ce qu'une simulation dans des conditions idéales d'utilisation prévoit.

7.1. Variante photovoltaïque (toitures Sud-Ouest et Sud-Est) et pompes à chaleur (PAC)

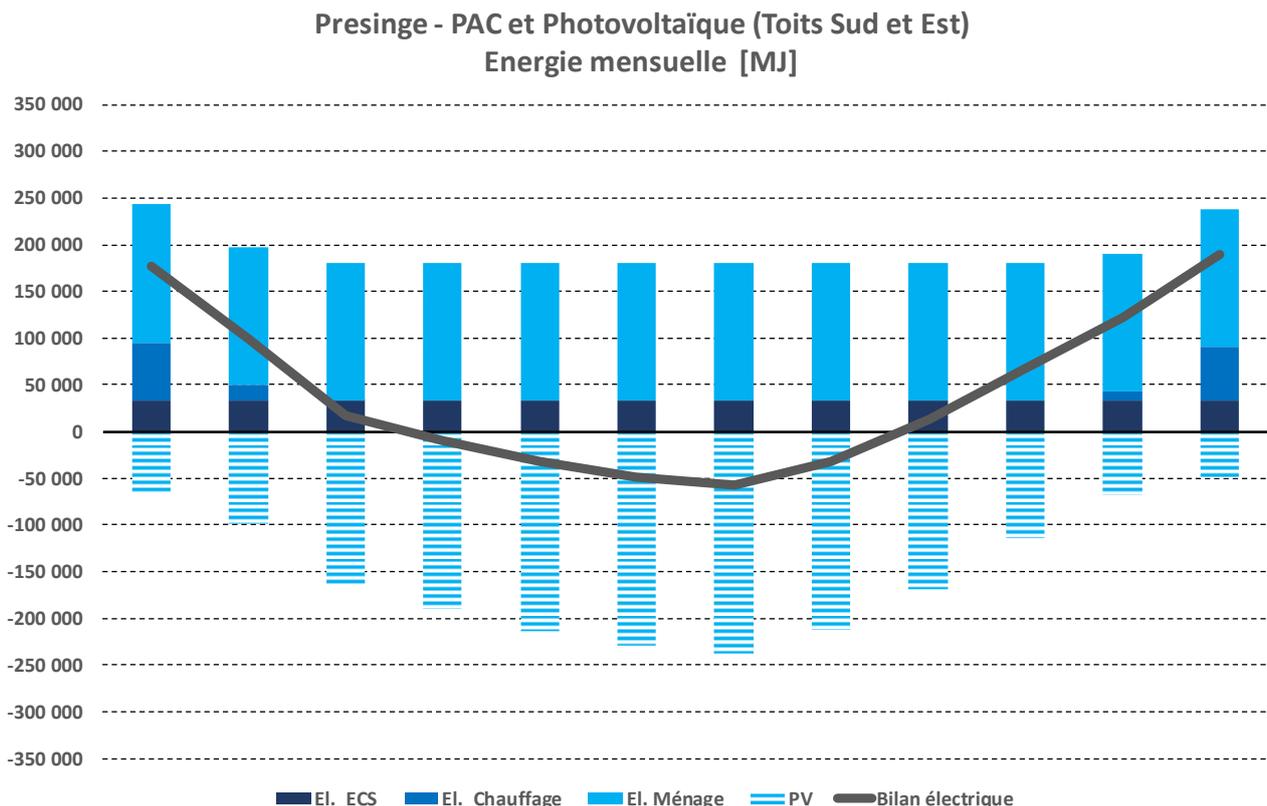


Figure 12 : Consommations mensuelles d'énergie électrique pour l'eau chaude sanitaire (ECS), le chauffage des locaux et les besoins du ménage (partie positive de l'échelle), production photovoltaïque (PV). La chaleur est produite par le biais de PAC sur sondes géothermiques verticales. Bilan mensuel de l'électricité (courbe grise).

7.2. Variante solaire thermique (30 % toiture Sud-Ouest) et photovoltaïque (restant de la toiture Sud-Ouest et toiture Sud-Est)

Presinge - Solaire thermique (30 % Sud), PAC et Photovoltaïque (Sud et Est)
Energie mensuelle [MJ]

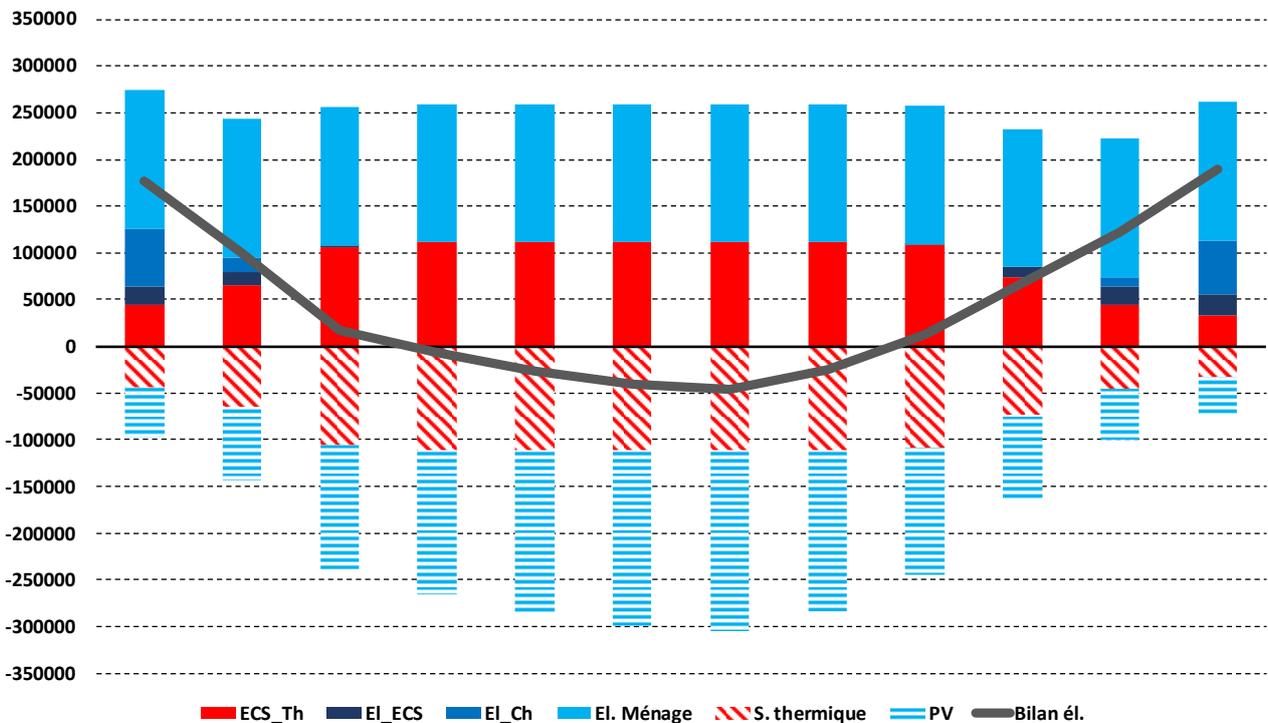


Figure 13 : Consommations mensuelles d'énergie pour le l'eau chaude sanitaire (ECS – Solaire thermique et complément à l'aide de pompes à chaleur), le chauffage des locaux (pompes à chaleur) et les besoins du ménage (partie positive de l'échelle). Productions solaire thermique et photovoltaïque (PV) (partie négative de l'échelle). Bilan mensuel de l'électricité (courbe grise).

7.3. Variante micro cogénération à bois dimensionnée pour assurer la couverture des besoins en eau chaude et photovoltaïque en toiture Sud-Ouest

Presinge - CCF, PV (100% Sud) et PAC pour le chauffage des locaux

Energie mensuelle [MJ]

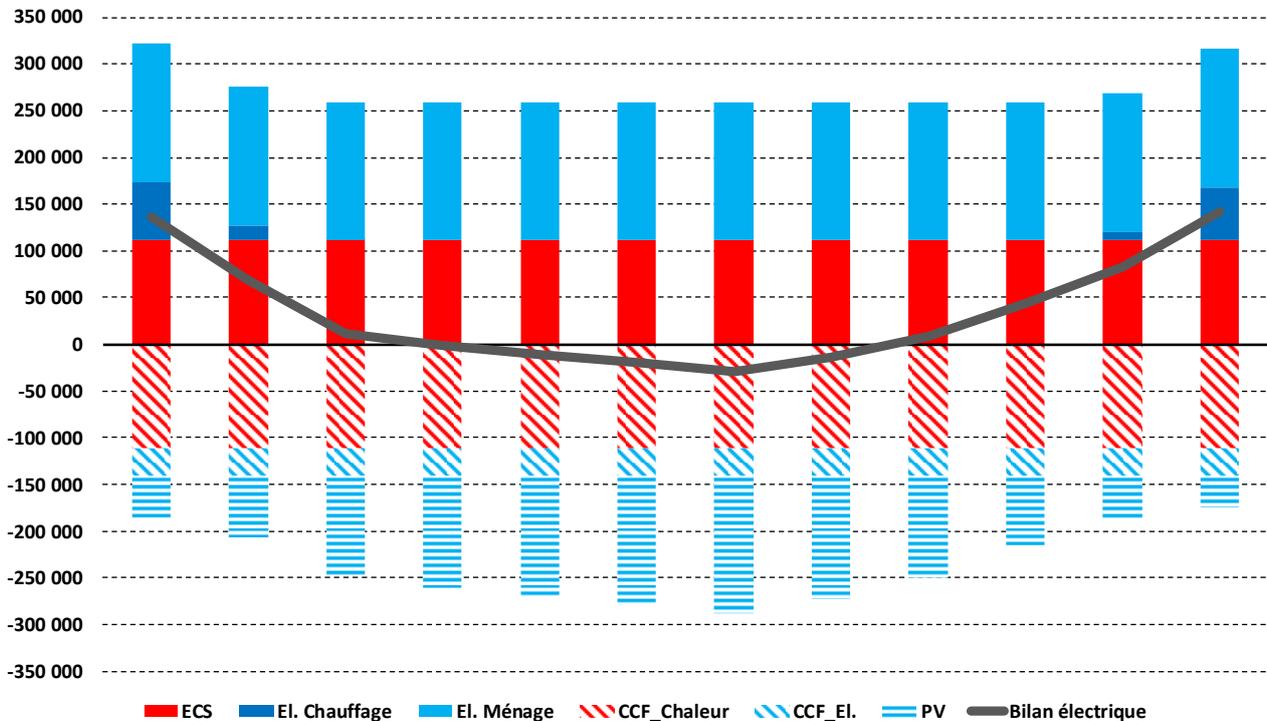


Figure 14 : Consommations mensuelles d'énergie pour le l'eau chaude sanitaire (ECS – Energie thermique produite par la cogénération), le chauffage des locaux (pompes à chaleur) et les besoins du ménage (partie positive de l'échelle). Productions thermique et électrique de la cogénération (CCF), et photovoltaïque (PV) (partie négative de l'échelle). Bilan mensuel de l'électricité (courbe grise).

7.4. Variante chaudière à bois dimensionnée pour assurer la couverture des besoins en eau chaude et photovoltaïque en toiture Sud-Ouest et Sud-Est

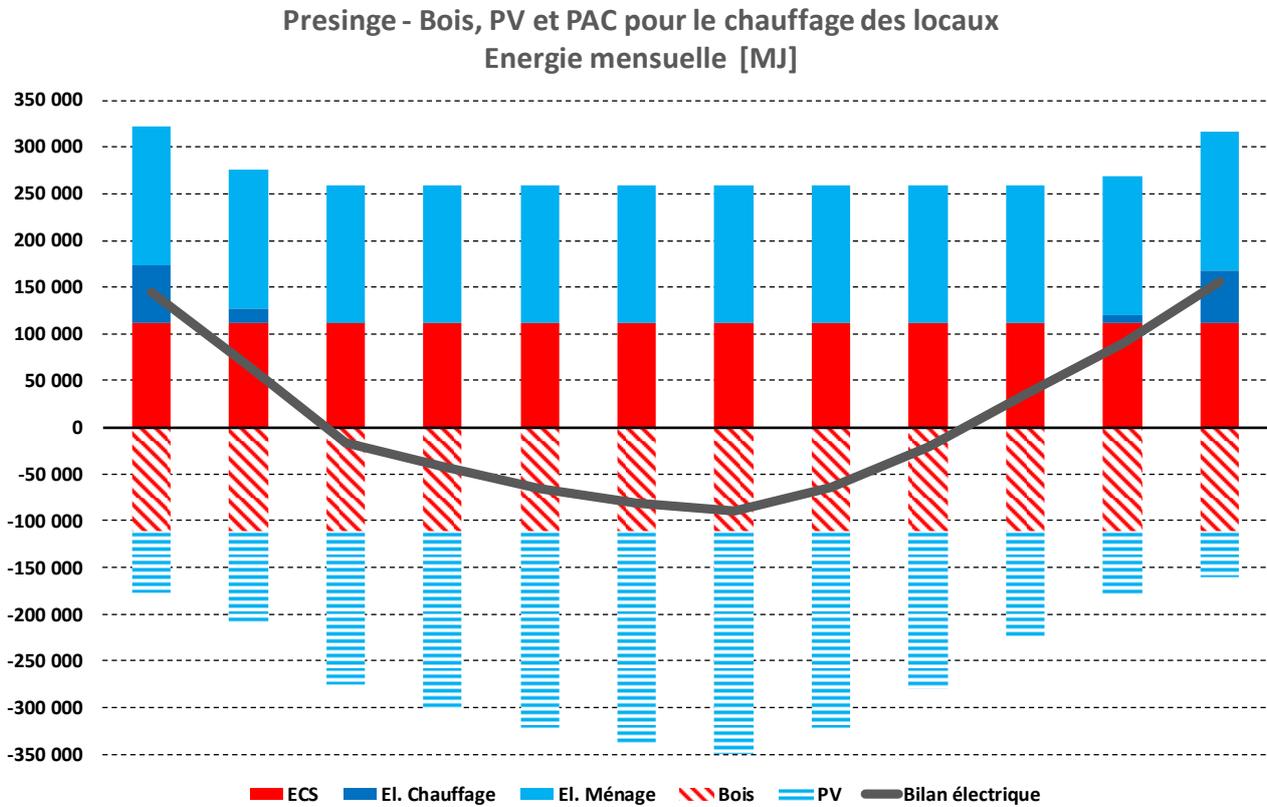


Figure 15 : Consommations mensuelles d'énergie pour le l'eau chaude sanitaire (ECS – Energie thermique produite par la chaudière à bois), le chauffage des locaux (pompes à chaleur) et les besoins du ménage (partie positive de l'échelle). Production thermique de la chaudière et production photovoltaïque (PV) (partie négative de l'échelle). Bilan mensuel de l'électricité (courbe grise).