

Planification Energétique Territoriale Bourg-en-Lavaux



Commune de Bourg-en-Lavaux

Version 02, Octobre 2020

Donneur d'ordre :

Commune de Bourg-en-Lavaux
Mme Evelyne Marendaz Guignet
Route de Lausanne 2
1096 Cully

Mandataire :

focus-E Sàrl
Céline Weber
Route de la Scie 48
1278 La Rippe
cweber@focus-e.ch

Projet :

201909

Version :

02

Date :

09 octobbre 2020

Table des matières

Abbréviations	3
Explication des notions utilisées dans cette étude	4
Résumé.....	5
1 Introduction.....	10
2 Analyse du contexte légal.....	12
2.1 Niveau fédéral	12
2.2 Niveau cantonal.....	12
2.2.1 Législation.....	12
2.2.2 Documents stratégiques et outils	14
2.3 Niveau communal.....	16
2.4 Protection du patrimoine	16
3 Etat des lieux	23
3.1 Qualité de l'air	23
3.2 Enjeux spécifiques au territoire communal	23
3.2.1 Topologie.....	23
3.2.2 Zones avec glissements de terrain	24
3.3 Infrastructures existantes.....	26
3.3.1 Réseau d'eaux usées	26
3.3.2 Réseau de gaz	26
3.3.3 Réseaux thermiques	27
3.4 Etudes énergétiques déjà réalisées.....	27
3.5 Projets d'aménagement du territoire	27
4 Evaluation des besoins énergétiques annuels actuels	29
4.1 Evaluation des besoins annuels de chaleur.....	32
4.2 Evaluation des besoins annuels de froid	43
4.3 Evaluation des besoins annuels d'électricité	44
5 Evaluation des besoins énergétiques annuels futurs.....	47
6 Analyse des acteurs clés.....	48
7 Analyse des ressources énergétiques disponibles	49
7.1 Energie solaire	49
7.2 Géothermie	55
7.3 Energie hydraulique	60
7.4 Bois	61
7.5 Air	63

7.6	Rejets thermiques	65
7.7	Lac Léman	65
7.8	Energie éolienne.....	67
7.9	Biomasse et biogaz	68
7.10	Synthèse des ressources	69
8	Comparaison entre les ressources et les besoins	70
8.1	Approvisionnement centralisé/décentralisé.....	70
8.2	Rénovations.....	74
8.3	Scénarios d’approvisionnement.....	74
8.3.1	Signal	75
8.3.2	Autoroute Sud	78
8.3.3	CFF Sud	81
8.3.4	Aran	83
8.3.5	Grandvaux Bourg.....	86
8.3.6	Cully villas	89
8.3.7	La Corniche	91
8.3.8	Rieux Bourg.....	93
8.3.9	Epresses Bourg.....	96
8.3.10	Villette	98
8.3.11	Bord de Lac Ouest.....	101
8.3.12	Cully Bourg.....	103
8.3.13	Bord de Lac Est	105
8.3.14	Reste	107
8.3.15	Synthèse de la comparaison ressources/besoins.....	109
9	Scénarios d’approvisionnement.....	113
10	Analyse environnementale.....	117
11	Analyse économique	121
12	Recommandations.....	124
13	Annexes	126
13.1	Estimation des besoins de chaleur pour le chauffage.....	126
13.2	Affectations SIA	127

Abbreviations

CAD :	Chauffage à distance
CO :	Monoxyde de carbone (toxique par inhalation pour l'homme et les animaux à sang chaud participe à la formation d'ozone)
CO ₂ :	Dioxyde de carbone (responsable de l'effet de serre)
CoCEn :	Conception cantonale de l'énergie
COP :	Coefficient de performance (= rendement d'une pompe à chaleur)
CT :	Cahier technique (s'agissant de publications de la Société Suisse des Ingénieurs et Architectes)
DISOS :	Directive concernant l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse
ECS :	Eau chaude sanitaire
IDC :	Indice de dépense de chaleur
IFP :	l'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels
ISOS :	Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse
IVS :	Bundesinventar der historischen Verkehrswege der Schweiz (Inventaire fédéral des voies de communication historiques de la Suisse)
kW :	Kilowatt (unité de puissance)
kWh :	Kilowattheure (unité d'énergie)
kWp :	kW « peak » d'un panneau photovoltaïque (puissance de pointe d'un panneau photovoltaïque, mesurée dans des conditions de laboratoire)
LAT :	Loi sur l'aménagement du territoire
LLavaux :	Loi Lavaux
LVLEn :	Loi vaudoise sur l'énergie
MoPEC :	Modèle de prescriptions énergétiques des cantons
MW :	Mégawatt (unité de puissance, 1 MW=1'000 kW)
MWh :	Mégawattheure (unité d'énergie, 1 MWh=1'000 kWh)
NOx :	Oxydes d'azote (responsable d'irritations et maladies respiratoires, ainsi que des pluies acides)
PAC :	Pompe à chaleur
PET :	Planification énergétique territoriale
p.r. :	par rapport
PV :	Photovoltaïque
RCB :	Registre cantonal des bâtiments
SIA :	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (Société Suisse des Ingénieurs et Architectes)
SO ₂ :	Dioxyde de soufre (responsable d'irritations pour les yeux, les voies respiratoires et la peau)
STEP :	Station d'épuration (des eaux usées)
SRE :	Surface de référence énergétique
T :	Température
W :	Watt (unité de puissance, 1'000 W=1 kW)

Explication des notions utilisées dans cette étude

Energie : Quantité de chaleur ou d'électricité consommée ou produite durant un laps de temps donné, unité : kWh (on parle également d'énergie pour désigner le rayonnement solaire sur un panneau). 1 kWh correspond à l'énergie fournie par une installation de 1 kW (cf. ci-dessous) durant une heure.

Puissance : Taille d'une installation, par exemple une chaudière, unité : W, kW (=1'000 W), MW (=1'000 kW).

Résumé

La Commune de Bourg-en-Lavaux est issue de la fusion des cinq entités que sont Cully, Grandvaux, Epesses, Riex et Villette, et totalise aujourd'hui plus de 5'300 habitants, répartis sur une surface de 964 hectares. Au niveau urbanistique, la fusion de la Commune a pour conséquence que cette dernière est caractérisée par plusieurs centralités, certaines à caractère très pittoresque et dense, comme les bourgs, et d'autres à caractère plus moderne et hétérogène, telles que les vastes zones de villas notamment au Nord de la Commune, mais également en bordure de Lac. Ces différentes centralités militent pour le développement d'une planification énergétique territoriale (PET) par secteurs. Concernant les autres spécificités de la Commune qui influent sur l'élaboration d'une PET, il faut notamment mentionner les éléments suivants :

- La Commune de Bourg-en-Lavaux fait partie intégrante du site protégé de Lavaux, ce qui est important au niveau de l'énergie dans la mesure où les différentes technologies (par exemple les panneaux solaires ou les chaufferies à bois) doivent répondre à des critères d'intégration particulièrement exigeants.
- Le Canton de Vaud, dans lequel est située la Commune, s'est doté d'instruments devant permettre au Canton d'atteindre des objectifs ambitieux en matière énergétique et environnemental (ambitieux mais cohérents avec la Stratégie Énergétique 2050 de la Confédération et l'accord de Paris). Ces instruments sont, d'une part, la Conception Cantonale de l'Énergie (CoCEn), et, d'autre part, le Plan Climat nouvellement adopté. Ces instruments représentent un cadre que la Commune de Bourg-en-Lavaux, en tant que collectivité publique, se doit de respecter.
- La Commune bénéficie d'une bonne qualité de l'air, lui permettant d'installer des chaufferies alimentées au bois. Sachant que la Commune dépend à plus de 80% des énergies fossiles pour couvrir ses besoins de chaleur, le fait de pouvoir recourir au bois est un bon point.
- La topologie de la Commune, avec une pente moyenne de 25%, des zones de glissement de terrain, ainsi que l'espacement entre les différentes centralités, représentent autant de caractéristiques importantes qui jouent un rôle dans l'élaboration d'un concept énergétique territorial.

En premier lieu, il convient d'estimer les besoins énergétiques de la Commune. Actuellement, la Commune a essentiellement des besoins de chaleur (pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire) et d'électricité. A l'avenir, on ne peut pas exclure que des besoins de froid (notamment de rafraîchissement estival) se feront également ressentir. Ces besoins sont cependant difficiles à estimer, en l'état, dans le cadre d'une PET. En effet, la PET est un document à granulométrie relativement grossière, et il n'existe pas de normes ou de statistiques actuellement disponibles, permettant d'évaluer des besoins de froid à cette échelle et pour les années à venir. Ceci dit, les scénarios d'approvisionnement proposés dans le cadre de cette PET pourront sans problème intégrer le froid, de façon renouvelable, le cas échéant. Les besoins sont indiqués dans le tableau ci-dessous, pour l'ensemble de la Commune. Ces besoins comprennent également le futur développement comprenant la Plateau de la Gare de Cully et l'extension de l'hôpital, pour lesquels les besoins de froid, en l'occurrence, ont pu être estimés de façon précise. Remarque : la surface de référence énergétique, ou SRE, est une donnée souvent utilisée pour estimer les besoins énergétiques, raison pour laquelle elle est également indiquée dans le tableau (dernière ligne du tableau).

		Total	
Chaleur	Energie (chauf.)	40 453	MWh/an
	Energie (eau chaude sanitaire, ECS)	8 502	MWh/an
	Puissance	34 507	kW
Froid	Energie	660	MWh/an
	Puissance	625	kW
Electricité	Energie	16 347	MWh/an
Surface de référence énergétique (SRE)		506 094	m ²

Besoins énergétiques de la Commune

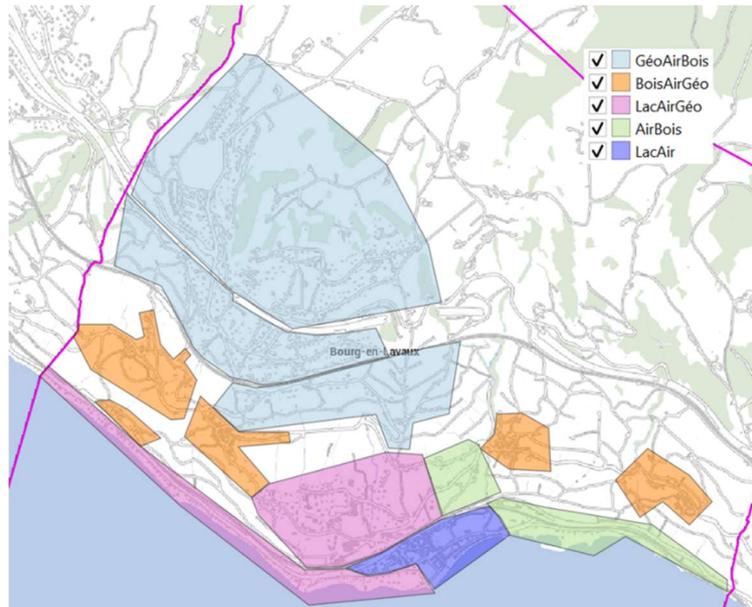
Avec des besoins en chaleur moyens (chauffage et eau chaude sanitaire) de 99 kWh/m²/an, la Commune se situe légèrement en dessus de la moyenne nationale, ce qui n'est pas surprenant étant donné l'âge moyen des bâtiments.

La deuxième étape d'une PET consiste à évaluer le potentiel des ressources renouvelable locales, permettant de satisfaire les besoins énergétiques de la Commune. Les différentes ressources disponibles dans la Commune sont listées ci-dessous avec une indication sur la pertinence de la ressource en question :

1. Energie solaire : fort potentiel,
2. Géothermie : potentiel intéressant, mais pour des applications décentralisées (ponctuelles),
3. Bois : potentiel intéressant mais pas prioritaire, étant donné qu'il devrait être importé depuis l'extérieur de la Commune,
4. Air : potentiel intéressant, mais pour des applications décentralisées (ponctuelles),
5. Lac : fort potentiel.

En ce qui concerne le soleil, si la Commune bénéficie d'un bon ensoleillement, l'intégration des éléments de toitures dans les bourgs protégés, notamment, représentent un réel défi. Dans cette étude on privilégie les tuiles solaires dans le cas des bourgs. D'autre part il faut noter, pour le bois, que si a priori il n'est pas une ressource prioritaire étant donné qu'il devrait être largement importé (et n'est donc pas local), il n'en demeure pas moins qu'il est une des rares ressources qui permettrait de s'affranchir des énergies fossiles à terme (2050 si on suit le Plan Climat) dans les bourgs, sans nuire à la qualité patrimoniale du site de Lavaux. De plus, le Canton de Vaud disposant encore de ressources de bois, ce dernier ne serait pas importé de loin.

En comparant les besoins et les ressources, on peut établir la carte ci-dessous, indiquant quelles ressources permettent de satisfaire au mieux les besoins de la Commune. Comme expliqué ci-dessus, dans le cas de la Commune de Bourg-en-Lavaux, la Commune a été subdivisée en secteurs.



Représentation sectorielle des principales ressources énergétiques (soleil non inclus car omniprésent)

Dans la dernière étape de la PET, il convient enfin d'établir des scénarios d'approvisionnement permettant de valoriser au mieux les ressources énergétiques locales pour satisfaire les besoins de chaleur et d'électricité. Il faut en outre également vérifier dans quelle mesure ces scénarios permettent de satisfaire non seulement aux exigences légales, mais aussi à la volonté de la Commune et du Canton de tendre vers un approvisionnement durable. Les deux scénarios ci-dessous ont été définis :

Scénario 2030 (l'année est choisie de sorte à correspondre à l'année de référence cible du Plan Climat) :

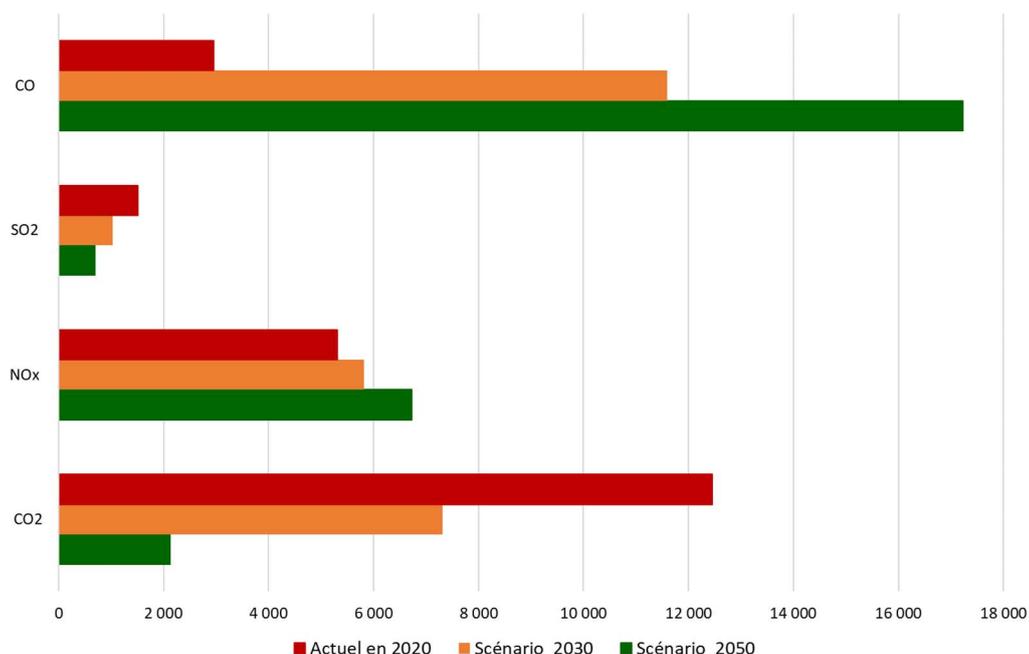
- Taux de rénovation des bâtiments : 0,9% par an (rapporté à la SRE), en ne rénovant que des bâtiments alimentés jusqu'ici au mazout,
- Réduction des besoins de chaleur dans les bâtiments rénovés : 50%,
- Production de chaleur :
 - Augmentation de la part de renouvelable (chauffage et eau chaude sanitaire) comme suit :
 - a. Mise en place de pompes à chaleur air/eau dans les bâtiments rénovés,
 - b. Remplacement de 60% des chaudières mazout, dans les bâtiments qui n'ont pas été rénovés, par :
 - Du bois (centralisé ou décentralisé), dans les secteurs qui ne sont pas au bord du lac et/ou pour lesquels un CAD n'est pas rentable,
 - Une PAC sur l'eau du Lac dans les secteurs situés au bord du lac et pour lesquels un chauffage à distance (CAD) est existant ou potentiellement rentable (soit les secteurs de Cully Bourg et Cully Villas)
 - c. Pas de changement pour les chaudières à gaz,
 - d. Obligation d'acheter du courant "Terre d'Ici" pour les chauffages électriques directs.
- Froid :
 - Hormis pour le nouveau développement (extension de l'hôpital et nouvelles constructions du Plateau de la Gare de Cully), on ne tient pas compte des besoins de froid.
- Electricité :
 - Taux de pénétration des éléments photovoltaïques : 5% (rapporté à la surface des toitures favorables) dans les bourgs et 20% ailleurs.

Scénario 2050 :

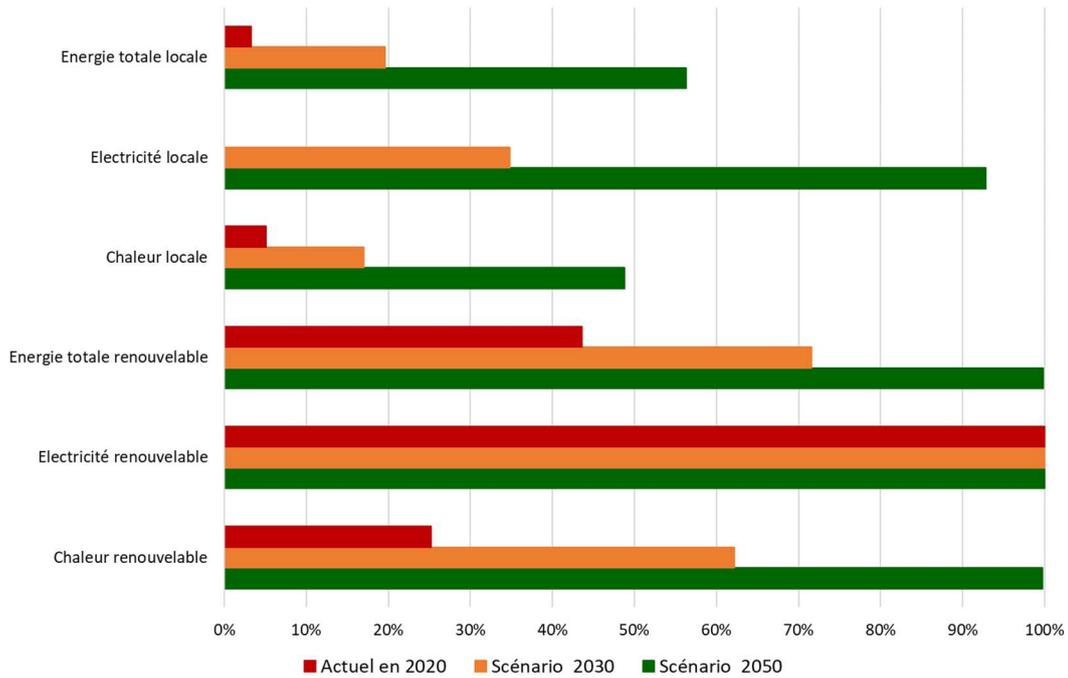
- Taux de rénovation des bâtiments : 1,5% par an (rapporté à la SRE),
- Réduction des besoins de chaleur dans les bâtiments rénovés : 50%,
- Production de chaleur :
Remplacement de 100% des chaudières à mazout, chaudières à gaz et chauffages électriques directs de la manière suivante :
 - a. Secteurs « Bourg » : 100% bois centralisé,
 - b. Secteurs « Villas » : valorisation à 100% du potentiel géothermique identifié, puis mise en place de pompes à chaleur air/eau pour satisfaire 30% des besoins restant, et enfin mise en place de pompes à chaleur sur l'eau du Lac (pour les secteurs Cully Villas, Cully Bourg et Bord de Lac Ouest) ou de chaufferies bois (pour les secteurs restant) pour satisfaire les besoins restant (après les pompes à chaleur sol/eau et air/eau).
- Froid :
Idem Scénario 2030.
- Electricité :
Taux de pénétration des éléments photovoltaïques : 10% (rapporté à la surface des toitures favorables) dans les bourgs et 50% ailleurs, et achat d'électricité « Terre d'Ici » pour satisfaire les besoins qui ne sont pas couverts par les éléments photovoltaïques.

Il convient de préciser que le Scénario 2030 n'est pas une étape intermédiaire vers le Scénario 2050. Il s'agit bien de deux scénarios distincts (certes pas totalement incompatibles entre eux, mais néanmoins distincts), dont le but est de montrer quel approvisionnement permet de satisfaire aux exigences, d'une part, du Plan Climat (qui a des visions pour les horizons 2030 et 2050), et d'autre part de la CoCEn (avec des visions à 2035 et 2050).

Avec les scénarios ci-dessus on obtient les émissions de CO₂, les émissions de polluants atmosphériques, ainsi que la fraction d'énergie renouvelable et locale indiqués dans les figures ci-dessous (la situation actuelle a également été indiquée à titre de référence) :



Résultats de l'analyse environnementale pour les émissions de polluants et de CO₂, pour l'ensemble de la Commune



Résultats de l'analyse environnementale pour les pourcentages d'énergie locale et d'énergie renouvelables, pour l'ensemble de la Commune

Avec plus de 40% d'émissions de CO₂ en moins en 2030, le Scénario 2030 est tout juste dans la fourchette cible du Plan Climat (qui est plus exigeante que celle de la CoCEn). Quant au scénario 2050, il répond aussi bien aux exigences du Plan Climat qui visent à s'affranchir des énergies fossiles en 2050, qu'aux exigences de la CoCEn qui visent 50% d'énergie renouvelable locales en 2050. Il convient en outre de préciser que si, dans la situation actuelle (« Actuel 2020 »), l'immense majorité des émissions de CO₂ sont liées aux énergies fossiles (mazout et gaz), dans le « Scénario 2050 » ces émissions ne sont en fait liées plus qu'à la combustion du bois.

1 Introduction

La présente étude concerne l'élaboration d'une planification énergétique territorial (PET) pour la Commune de Bourg-en-Lavaux (Figure 1). Cette commune, issue de la fusion des cinq entités que sont Cully, Grandvaux, Epesses, Rieux et Villette, totalise aujourd'hui plus de 5'300 habitants, répartis sur une surface de 964 hectares.

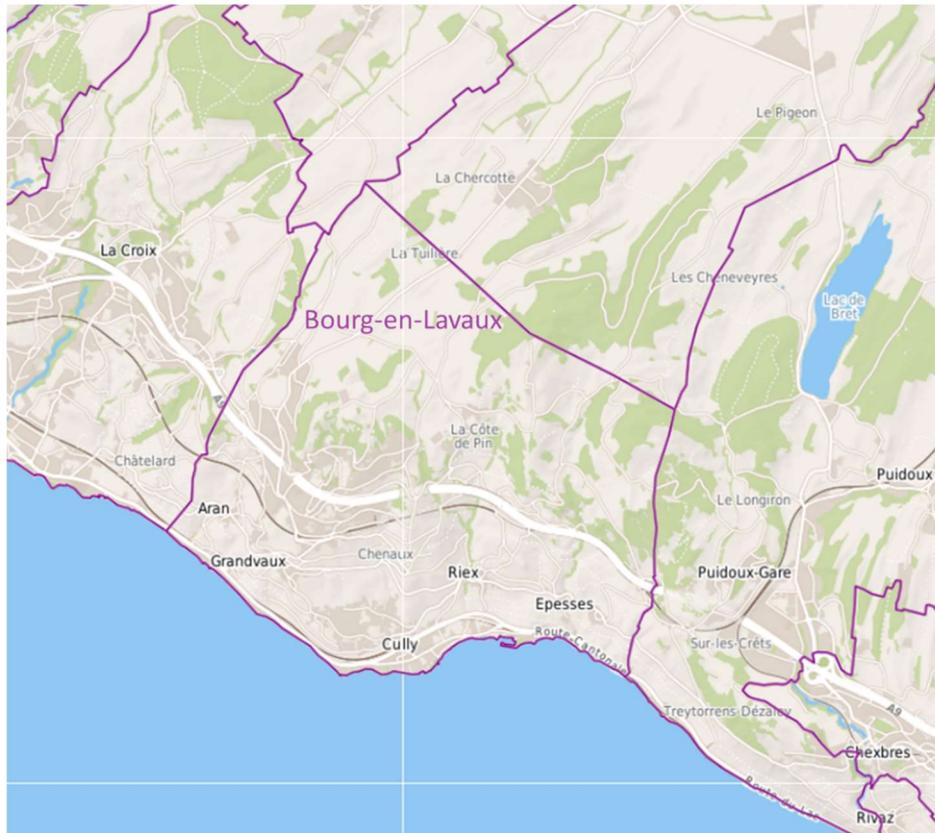


Figure 1 : Périmètre d'étude [1]

Le but de la PET (aussi appelée *concept énergétique communal*), tel que défini par les articles 45 et 46 du RLVE n, est de proposer des scénarios (stratégies) d'approvisionnement énergétique permettant de satisfaire les besoins énergétiques actuels et futurs de la Commune, en valorisant au mieux les ressources énergétiques renouvelables et locales.

Article 45 Concepts énergétiques communaux

- 1 Les concepts énergétiques communaux permettent de déterminer l'évolution souhaitable de l'approvisionnement et de la consommation énergétique et décrivent les moyens et mesures requis pour y parvenir.
- 2 Ils tiennent compte des lois et règlements fédéraux et cantonaux, des plans d'aménagement, ainsi que des conditions prévalant dans les communes, cantons et pays limitrophes.
- 3 Ils sont actualisés périodiquement et sont transmis au service pour information.
- 4 Les citoyens des communes concernées sont informés des objectifs et du contenu des concepts énergétiques.

Article 46 Réalisation des concepts énergétiques communaux

- 1 Le service aide les communes pour la réalisation de leur concept énergétique par la mise à disposition de documentation, d'informations et de conseils. Il peut publier une directive fixant le cadre de la réalisation d'un concept énergétique communal.
- 2 Chaque fois que cela est pertinent sur le plan énergétique (situations semblables, ressources communes, etc.), les communes sont encouragées à se regrouper pour l'établissement de leur concept énergétique.

Suivant les articles ci-dessus et le Guide pour une Planification Energétique Territoriale publié par le Canton de Vaud [2], la présente planification énergétique territoriale comprendra les sections suivantes :

1. Analyse du contexte légal, section 2 ;
2. Etat des lieux (qualité de l'air, enjeux spécifiques au territoire communal, infrastructures existantes, études énergétiques déjà réalisées et projets d'aménagement du territoire), section 3 ;
3. Evaluation des besoins énergétiques annuels actuels, section 4 ;
4. Evaluation des besoins énergétiques annuels futurs, section 5 ;
5. Analyse des acteurs clés, section 6 ;
6. Analyse des ressources énergétiques disponibles, section 7 ;
7. Comparaison entre les besoins et les ressources, section 8 ;
8. Détermination de scénarios d'approvisionnement, section 9 ;
9. Evaluation environnementale des scénarios d'approvisionnement, section 10 ;
10. Evaluation économique des scénarios d'approvisionnement, section 11 ;
11. Recommandations, section 12.

2 Analyse du contexte légal

Le cadre légal comprend l'analyse des lois en vigueur au niveaux fédéral, cantonal et communal.

2.1 Niveau fédéral

La politique énergétique au niveau fédéral est basée, d'une part, sur diverses lois (loi sur l'énergie, loi sur l'approvisionnement électrique et loi sur le CO₂), et, d'autre part, sur des accords internationaux.

Au niveau des lois, ces dernières reposent sur la Stratégie Energétique 2050 de la Confédération, adoptée par le peuple le 21 mai 2017, et entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2018. Dans les grandes lignes, cette stratégie comprend les points suivants :

1. Le renforcement de l'efficacité énergétique (notamment à l'aide du programme *Bâtiments* qui est renforcé, des incitations fiscales pour les rénovations, ou encore des prescriptions sur les appareils électriques),
2. Le développement des énergies renouvelables (notamment à l'aide de la rétribution à prix coûtant ou de contributions à l'investissement),
3. L'accélération de l'optimisation et de l'extension du réseau électrique (en limitant les possibilités de recours au Tribunal Fédéral),
4. L'intensification de la recherche énergétique,
5. L'interdiction de construire des nouvelles centrales nucléaires et l'encouragement de la collaboration internationale en matière énergétique.

Au niveau des accords internationaux, il faut citer bien entendu l'Accord de Paris, signé en 2015 et ratifié par la Suisse en 2017. Ce texte prévoit, notamment, une baisse de 50% des émissions de gaz à effet de serre d'ici 2030, par rapport au niveau de 1990.

S'agissant de Bourg-en-Lavaux, une commune bénéficiant d'une protection accrue en matière patrimoniale (cf. section 2.4), il convient également de citer la LAT et sa révision du 22 septembre 2013 qui stipule :

Article 18a, alinéas 1 et 3 – Installations solaires :

¹ Dans les zones à bâtir et les zones agricoles, les installations solaires soigneusement intégrées aux toits et aux façades sont autorisées dès lors qu'elles ne portent atteinte à aucun bien culturel ni à aucun site naturel d'importance cantonale ou nationale.

³ Les installations solaires sur des biens culturels ou dans des sites naturels d'importance cantonale ou nationale sont toujours soumises à une autorisation de construire. Elles ne doivent pas porter d'atteinte majeure à ces biens ou sites.

2.2 Niveau cantonal

2.2.1 Législation

La législation cantonale en matière d'énergie s'inscrit dans la suite logique de la législation fédérale, en renforçant les notions d'efficacité énergétique et de valorisation des énergies locales renouvelables. Parmi les principaux articles qui sont importants dans le cadre d'une PET, il faut notamment citer :

A l'échelle de la commune :

1. Article 10, alinéa 1, de la LVLEn : « Dans leurs activités, l'Etat et les communes exploitent l'énergie de façon rationnelle, économe et respectueuse de l'environnement. Ils y veillent

notamment dans leurs opérations immobilières, de subventionnement, de participation et d'appels d'offres.

2. Article 10, alinéa 2, de la LVLEn : « Ils [l'Etat et les communes] mettent en œuvre des démarches adéquates pour contribuer à la diminution des émissions de CO₂ et autres émissions. »
3. Article 17, alinéa 1, de la LVLEn : « L'Etat et les communes encouragent la production des énergies ayant recours aux agents indigènes et renouvelables. »
4. Article 24, alinéa 1, de la LVLEn : « L'Etat et les communes encouragent les installations de chauffage à distance, notamment lors de l'élaboration de leurs plans en matière d'aménagement du territoire. »
5. Article 29, alinéa 1, de la LVLEn : « Les communes encouragent l'utilisation des énergies renouvelables. Elles créent des conditions favorables à leur exploitation et peuvent accorder des dérogations aux règles communales à cette fin. »

A l'échelle du quartier :

1. Article 15 du RLVLene : « Lors de l'élaboration de plans directeur et d'affectation, une étude sur les possibilités de productions centralisées d'énergie et de création de réseaux de distribution est réalisée ».

A l'échelle du bâtiment :

Remarque : Les articles ci-dessous concernent principalement la construction de nouveaux bâtiments, et ne sont que partiellement pertinents à l'échelle d'une PET. Ils sont cependant mentionnés ici à titre indicatif, dans un souci d'exhaustivité.

1. Article 28a, alinéa 1, de la LVLEne : « Les constructions nouvelles sont équipées de sorte que la production d'eau chaude sanitaire, dans des conditions normales d'utilisation, soit couverte pour au moins 30% par l'une des ressources d'énergie suivantes :
 - a. Des capteurs solaires ;
 - b. Un réseau de chauffage à distance alimenté majoritairement par des énergies renouvelables ou des rejets de chaleur ;
 - c. Du bois, à condition que la puissance nominale de la chaudière excède 70 kW, hors des zones soumises à immissions excessives. »

Le règlement d'application prévoit cependant des exceptions lorsque les consommations d'eau chaude sanitaire sont faibles.

2. Article 28b, alinéa 1, de la LVLEne : « Les constructions nouvelles sont équipées de sorte que les besoins d'électricité, dans des conditions normales d'utilisation, soient couverts pour au moins 20% par une source renouvelable. » Par besoins d'électricité, il faut comprendre ici les besoins définis selon le tableau 10 de la norme SIA 380/1 de 2009 (Article 27 du RLVLene).
3. Article 28b, alinéa 2, de la LVLEne : « La consommation d'électricité pour alimenter une nouvelle installation de confort, pour des besoins de refroidissement et/ou d'humidification, respectivement de déshumidification, devra être couverte au moins pour moitié par une énergie renouvelable. »
4. Article 30b, alinéas 1 et 2, de la LVLEne : Les installations de chauffage au gaz des constructions nouvelles ne peuvent pas satisfaire plus de 80% des besoins admissibles pour le chauffage, au

sens de la norme SIA 380/1, édition 2009. Cette proportion descend à 60% pour les chauffages au mazout.

- Article 30b, alinéa 6, de la LVLEne : « Lors du remplacement d'une installation de chauffage par une nouvelle installation fonctionnant au gaz, au mazout ou au charbon, le propriétaire de l'installation doit faire établir à ses frais un certificat énergétique du bâtiment, tel que défini à l'article 39a. »

2.2.2 Documents stratégiques et outils

Conception Cantonale de l'Énergie (CoCEn)

En plus de sa législation cantonale, le Canton de Vaud a élaboré, en 2019 sa **Conception Cantonale de l'Énergie (CoCEn 2019)**¹. La CoCEn 2019 est un document stratégique par lequel le Conseil d'Etat pose les bases de la politique énergétique qu'il entend développer, en tenant compte des orientations découlant de la politique énergétique fédérale. Elle vise à définir, pour le Canton de Vaud, la vision à long terme, les objectifs et les champs d'actions prioritaires à engager pour répondre aux défis posés par la transition énergétique et la sécurité d'approvisionnement énergétique [4]. La vision énergétique à long terme du Canton de Vaud prévoit de [5] :

- Réduire la consommation d'énergie finale dans l'habitat de 7% en 2035 par rapport à l'année 2000 et de 14% en 2050, cf. Figure 3 (par extrapolation, cela correspond à une réduction de 3% par rapport à 2020 pour l'année 2035, et une réduction de 10% par rapport à 2020 pour 2050) ;
- Couvrir 35% de la consommation d'énergie finale vaudoise par une production d'énergie renouvelable vaudoise en 2035, puis 50% en 2050.

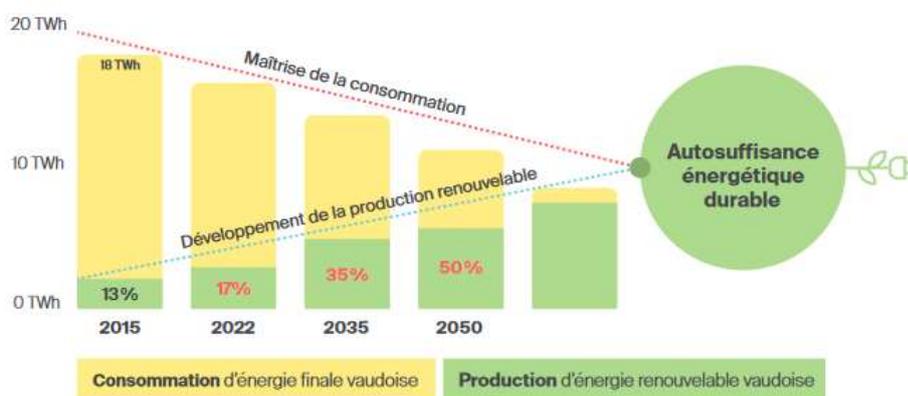


Figure 2 : Vision énergétique à long terme du Canton de Vaud, selon la CoCEn [5]

¹ La CoCEn est revue une fois par législature. L'article 14 de la loi cantonale sur l'énergie du 16 mai 2006 demande au Conseil d'Etat de « définir la politique énergétique cantonale par le biais de l'adoption d'une Conception cantonale de l'énergie et de l'adapter périodiquement, en principe une fois par législature », ainsi que « d'analyser périodiquement l'efficacité des mesures prises en matière énergétique dans l'optique des objectifs de la présente loi et, cas échéant, d'engager des mesures correctrices. »



Figure 3 : Objectif de réduction de la Consommation d'énergie finale par habitant, selon la CoCEn [5]

La CoCEn n'a pas de portée contraignante, mais constitue un document de référence et de coordination pour les différentes autorités et administrations.

Plan Climat

Très récemment, en juin 2020, le gouvernement vaudois a lancé le premier volet d'un tout nouveau **Plan Climat**, un outil devant aider la Canton à faire face à l'urgence climatique et à répondre aux accords de Paris. Le Canton vise ainsi une réduction entre 50% et 60% des gaz à effet de serre d'ici à 2030 (par rapport à 1990), soit environ entre 40% et 50% par rapport à 2020, et la neutralité carbone territoriale d'ici à 2050. Le Tableau 1 indique l'évolution des émissions de CO₂ pour le Canton de Vaud. En plus de politiques publiques déjà engagées dans des domaines tels l'assainissement énergétique des bâtiments, le développement des transports publics ou la protection de la biodiversité, le Conseil d'Etat prévoit, comme première impulsion, un investissement de 173 millions de francs dès 2021. Ajoutés aux montants déjà acquis et à l'effet multiplicateur sur l'économie vaudoise, l'effort cantonal pour le climat s'élève à plus de 1,3 milliard de francs [56]. Le Plan Climat est un outil transversal, qui ne comprend pas que l'énergie (qui est largement traitée dans le cadre de la COCEn), mais neuf autres domaines tels que, par exemple, l'agriculture, la mobilité, la santé, l'environnement, ou encore l'aménagement du territoire.

Cette vision peut être résumée par le tableau et le graphique ci-dessous (Remarque : Le tableau ci-dessous, indique les émissions de CO₂ liées aux combustibles pétroliers, aux carburants, au gaz et au charbon) :

Année	1990	2003	2015	2016	2022	2035	2050
Emissions de CO ₂ [mio-ton/an]	3,25	3,5	3,0	3,1	2,6	2,3	1,5
Réduction par rapport à 1990			8%	5%	20%	30%	54%

Tableau 1 : Émissions de CO₂ effectives (1990, 2003, 2015 et 2016) et valeurs cibles (2022, 2035 et 2050) selon la CoCEn [5] (Remarque : La valeur pour l'année 1990, qui est souvent considérée comme année de référence, ainsi que la valeur pour 2003, qui constitue un pic, ont été rajoutées par l'auteur de la présente étude et ne figurent pas dans la COCEn)

2.3 Niveau communal

La Commune n'a pas de loi en tant que tel, qui lui serait propre, concernant l'énergie. Ceci étant, la Commune n'en est pas moins très active dans le développement durable, et mène de nombreuses actions visant à sensibiliser la population ou à agir concrètement dans le sens d'une utilisation plus efficace et plus respectueuse des ressources naturelles. A titre d'exemple, on mentionnera notamment la création, en 2012, d'une « Commission développement durable ». Cette commission a pour but :

- D'appuyer la Municipalité dans la mise en place d'une stratégie durable au niveau communal ;
- D'initier, de coordonner et/ou de réaliser des actions en faveur du développement durable dans la commune ;
- D'informer et de favoriser la participation de la population et des associations aux actions durables communales ;
- D'initier les actions et les faire vivre dans la population, faire vivre les villages ;
- D'assurer la coordination, le suivi et l'évaluation de la stratégie de développement durable de la commune.

La Commune de Bourg-en-Lavaux est également membre de l'association Coord21. Coord21 est une association des collectivités et institutions de droit public de Suisse romande et du Tessin qui sont engagées dans une démarche de développement durable. Le but est de l'association est de [7] :

- Valoriser les démarches et les projets intégrant les principes du développement durable, au niveau des collectivités locales latines, des cantons et des communes ;
- Favoriser les échanges ;
- Développer les synergies entre ses membres et d'autres acteurs du développement durable ;
- Renforcer la collaboration et la coordination des activités afin d'augmenter l'efficacité des démarches entreprises ;
- Créer, diffuser et actualiser des outils ;
- Lancer des projets communs à ses membres, sur la base des expériences de ceux-ci et en fonction de leurs besoins.

L'association a tout récemment publié un guide donnant des outils et des exemples de bonnes pratiques permettant d'atteindre les objectifs de « l'Agenda 2030 » des Nations Unies en matière de développement durable, avec notamment un chapitre consacré à l'énergie [8].

2.4 Protection du patrimoine

Au niveau du contexte légal, il convient encore de faire une mention particulière relative à la protection du patrimoine. La Commune de Bourg-en-Lavaux est en effet protégée à plusieurs titres :

1. Les différents bourgs de la Commune sont protégés au sens des *Directives concernant l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse ISOS (DISOS)* [10], cf. Figure 4 ci-dessous. Sur cette figure on voit que les bourgs sont classés « A », ce qui est la plus haute note possible en matière de protection du patrimoine (cf. Tableau 2).

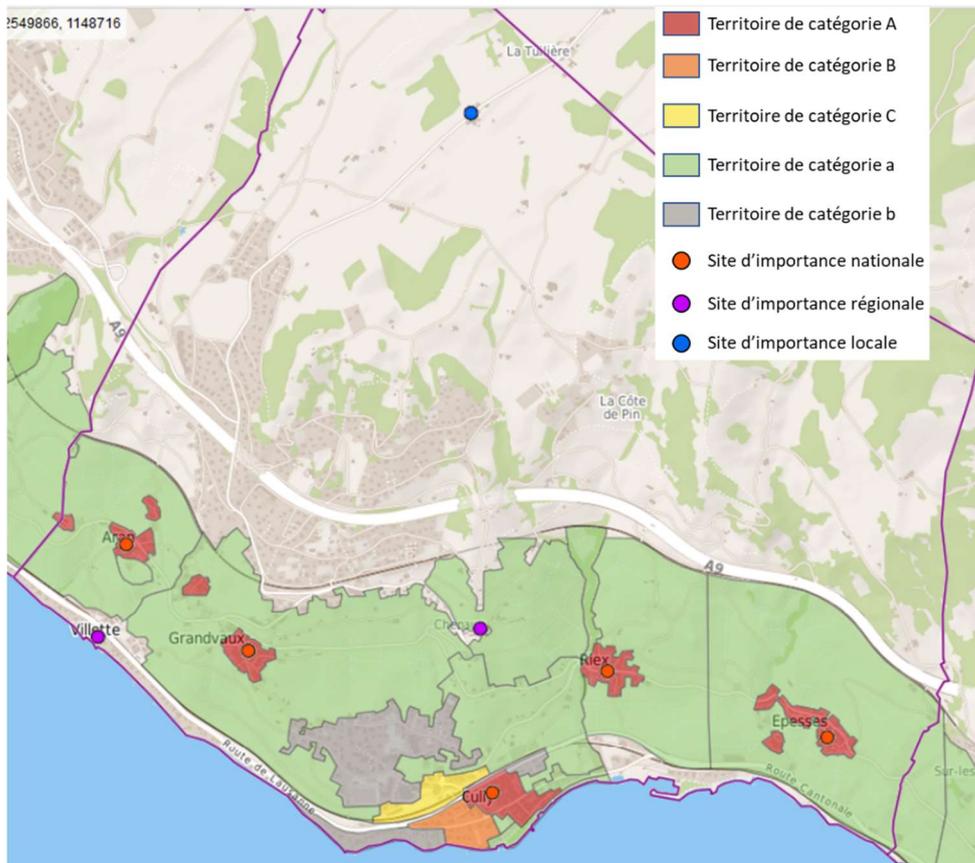


Figure 4 : Sites inscrits à l’Inventaire Fédéral ISOS

Le tableau ci-dessous indique la signification des différentes lettres catégorisant les territoires [11]:

Catégorie	Signification
A	L’objectif de sauvegarde «A» préconise la sauvegarde de substance : conservation intégrale de toutes les constructions et composantes du site, de tous les espaces libres; suppression des interventions parasites.
B	L’objectif de sauvegarde «B» préconise la sauvegarde de la structure : conservation de la disposition et de l’aspect des constructions et des espaces libres; sauvegarde intégrale des éléments et des caractéristiques essentiels à la conservation de la structure.
C	L’objectif de sauvegarde «C» préconise la sauvegarde du caractère : conservation de l’équilibre entre les constructions anciennes et nouvelles; sauvegarde intégrale des éléments essentiels à la conservation du caractère.
a	L’objectif de sauvegarde «a» préconise la sauvegarde de l’état existant en tant qu’espace agricole ou espace libre : conservation de la végétation ou des constructions anciennes essentielles pour l’image du site; suppression des altérations.
b	L’objectif de sauvegarde «b» préconise la sauvegarde des caractéristiques essentielles pour les composantes attenantes du site

Tableau 2 : Signification des lettres liées au niveau de classification des sites inscrits à l’ISOS [11]

- La Commune a fait l’objet d’une loi particulière pour sa protection patrimoniale (la loi sur le plan de protection de Lavaux (LLAvaux²), loi qui englobe une grande partie de la Commune de Bourg-en-Lavaux (cf. Figure 5), à l’exception d’une petite portion de territoire au Nord-Ouest de la Commune [9]. Même si cette loi concerne avant tout l’aménagement du territoire,

² Précisons encore que cette loi, dans sa version actuelle, est entrée en vigueur le 1^{er} septembre 2014. Ceci dit, le plan d’affectation cantonal (PAC) qui l’accompagne, a été mis à l’enquête publique du 28 août au 26 septembre 2019, et n’entrera en vigueur qu’en 2021 [9].

certaines articles doivent être considérés lors de l'installation de certains types de systèmes énergétiques. On citera ici, à titre d'exemple, notamment à l'article 32 qui stipule que :

1 Les teintes mettant en évidence les volumes et les surfaces, de nature à nuire à l'harmonie du site, sont interdites.

Cet article doit être respecté lors de la mise en place de panneaux solaires en toitures par exemple.

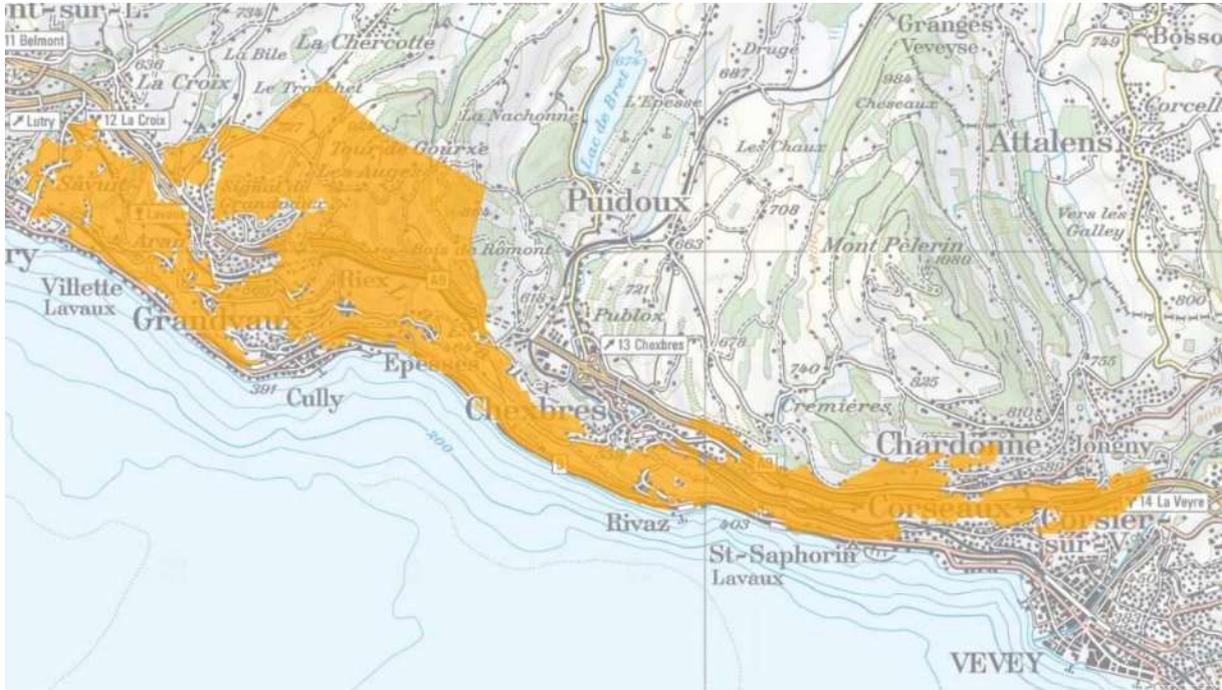


Figure 5 : Périmètre du plan de protection de la Lavaux (en orange) [9]

3. Une part importante du territoire communal est inscrit à l'Inventaire fédéral des paysages, sites et monuments naturels (IFP), comme on peut le voir sur la figure ci-dessous (périmètre en rouge) [68] :

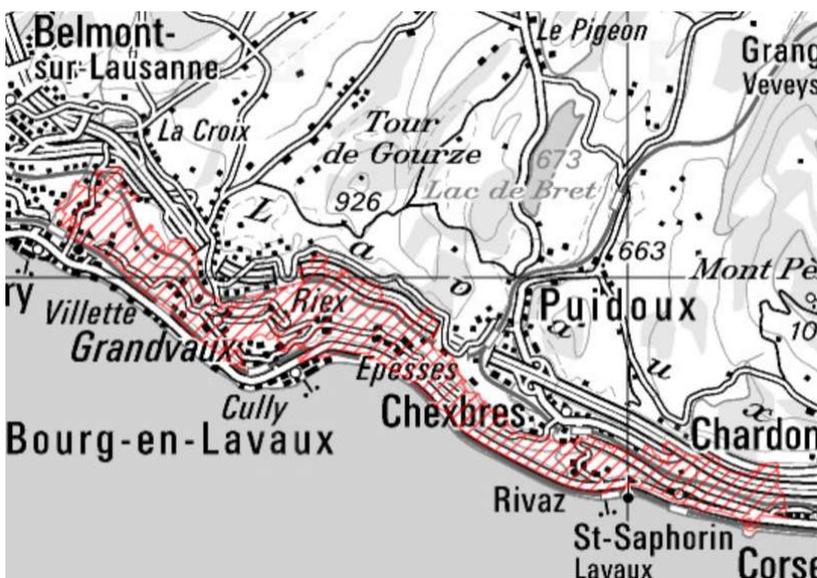


Figure 6 : Portion du territoire inscrit à l'IFP [68]

4. La Commune fait partie des dix communes de Lavaux classées au patrimoine mondial de l'UNESCO. Ceci implique le respect de recommandations d'intégration paysagère pour toute altération du patrimoine bâti. Trois exemples particulièrement importants en ce qui concerne l'énergie, extrait du Guide Paysage de Lavaux [44], sont indiqués ci-dessous :
 - a. Sol : « Eviter les pavés préfabriqués en béton, préférer les pavés granit, le grès, les galets ». Cette recommandation est illustrée par la Figure 7 ci-dessous. En cas de mise en place de réseau thermique dans une zone qui comprend déjà des pavés (qu'il faudra, le cas échéant enlever un à un et remettre en place tout aussi précautionneusement), la rentabilité du réseau s'en trouverait fortement entravée.
 - b. Panneaux solaires : « Dans le site Lavaux, il convient d'éviter les installations solaires visibles ». Cette recommandation est illustrée par la Figure 8 ci-dessous.
 - c. Isolation : « Observer et comprendre les façades et leurs revêtements depuis l'origine sont indispensables à la réussite d'une intervention », ou encore : « Maintenir en place et restaurer les encadrements de portes et fenêtres, les chaînes d'angle, les bandeaux, etc. réalisés en pierre ou en molasse ». Ces recommandations sont illustrées par la Figure 9 ci-dessous.



Éviter :

- les pavés préfabriqués en béton
- les pavés en porphyre



Préférer :

- les pavés granit, le grès
- les galets
- l'enrobé bitumineux, le grenailé

Figure 7 : Extrait du Guide Paysage concernant le revêtement de sol [44]



Éviter :

- les installations solaires en toiture sur des biens culturels ou dans des sites naturels d'importance cantonale ou nationale



Préférer :

- l'implantation des installations solaires au sol ou sur les annexes des bâtiments (garage, appentis, bûcher, etc.)



Figure 8 : Extrait du Guide Paysage concernant les panneaux solaires [44]



Eviter :

- l'emballage des façades lors de l'isolation du bâtiment (isolation périphérique)

Pourquoi ?

- cela modifie l'image et la modénature de la façade, en particulier en cachant les éléments architecturaux importants



Préférer :

- des modes d'isolation respectueux des caractéristiques architecturales du bâtiment (isolation intérieure, en toiture, entre planchers, etc.). Le crépi isolant doit être limité aux façades où la modénature le permet, dans le cas d'encadrements de baies fortement saillantes ou d'une façade sans ouverture par exemple

Pourquoi ?

- pour éviter la dénaturation du bâti patrimonial et maintenir la trace des ouvertures

Figure 9 : Extrait du Guide Paysage concernant l'isolation [44]

En clair, la protection du patrimoine, dans un contexte tel que celui de la Commune de Bourg-en-Lavaux, revêt une importance considérable (rappelons également la LAT citée plus haut, section 2.1). A titre d'exemple, selon la toiture sur laquelle on souhaite poser des panneaux solaires, la demande peut devoir passer par les 4 organes suivants [52] :

1. La Commune
2. La Commission Consultative Lavaux
3. Le Canton
4. La Confédération (via la Commission suisse UNESCO)

Ces quatre organes doivent veiller à ce que les diverses exigences patrimoniales (Loi Lavaux, ISOS, IFP, UNESCO) soient respectées. A noter que malgré une procédure plus contraignante que dans d'autres communes vaudoises, et un respect plus prononcé de l'aspect strictement esthétique, il n'en demeure pas moins que les demandes de pose de panneaux solaires à Bourg-en-Lavaux, en dehors des bourgs historiques, sont rarement refusées.

3 Etat des lieux

Le but de l'état des lieux est de préciser le contexte dans lequel se situe la Commune, afin de déterminer si des éléments particuliers, tels que la qualité de l'air (section 3.1), les infrastructures existantes (section 3.2), ou la présence d'importants projets d'aménagement du territoire (section 3.4), sont susceptibles d'influencer les scénarios d'approvisionnement énergétique.

3.1 Qualité de l'air

La qualité de l'air est un élément important, notamment dans le cadre de la mise en place d'une chaudière à bois (qu'elle soit centralisée ou non). Le Canton de Vaud distingue 3 catégories de zones [6] :

1. Zones à immission excessives de type 1 : zone à immissions se situant dans un périmètre faisant l'objet d'un Plan de mesures au sens de l'article 31 OPair,
2. Zones à immissions excessives de type 2 : zone à immissions excessives se situant hors d'un périmètre faisant l'objet d'un Plan de mesures,
3. Zones se situant à l'extérieur d'une zone à immissions excessives.

L'entier de la Commune de Bourg-en-Lavaux se situe à l'extérieur d'une zone à immissions excessives [12]. Ceci signifie, en outre, que la mise en place de chaudières à bois (centralisées ou individuelles) est autorisée. Il convient cependant de respecter la Directive Cantonale pour l'implantation de chauffage à bois du 1^{er} juillet 2014, qui exige notamment qu'un filtre à particules soit installé pour toute chaudière à partir de 500 kW [13] (cf. section 7.4).

3.2 Enjeux spécifiques au territoire communal

Les enjeux spécifiques au territoire communal concernent, dans le cas de Bourg-en-Lavaux, avant tout :

1. La protection du patrimoine,
2. La topologie, et
3. Les zones avec glissement de terrain.

Les enjeux liés à la protection du patrimoine ayant déjà été traités (section 2.4), on ne reviendra pas sur ces points dans la présente section.

3.2.1 Topologie

La Commune de Bourg-en-Lavaux est relativement escarpée. Elle s'étend du bord du lac, à 375 m, jusqu'à un point culminant de 925 m (La Tour de Gourze), les dernières habitations se situant autour de 700m d'altitude. A titre d'exemple, la pente moyenne entre le lieu-dit Signal de Grandvaux et le bord du Lac, est de 25%. Une telle pente, surtout lorsqu'elle se situe à travers des vignes et ne peut être franchie que par des petites routes agricoles, peut p.ex. considérablement compliquer et donc renchérir la mise en place d'un chauffage à distance ou de sondes géothermiques (l'accès des camions ou l'évacuation des boues de forage étant par exemple plus difficile). Il conviendra de tenir compte de ces éléments lors du développement des scénarios d'approvisionnement.

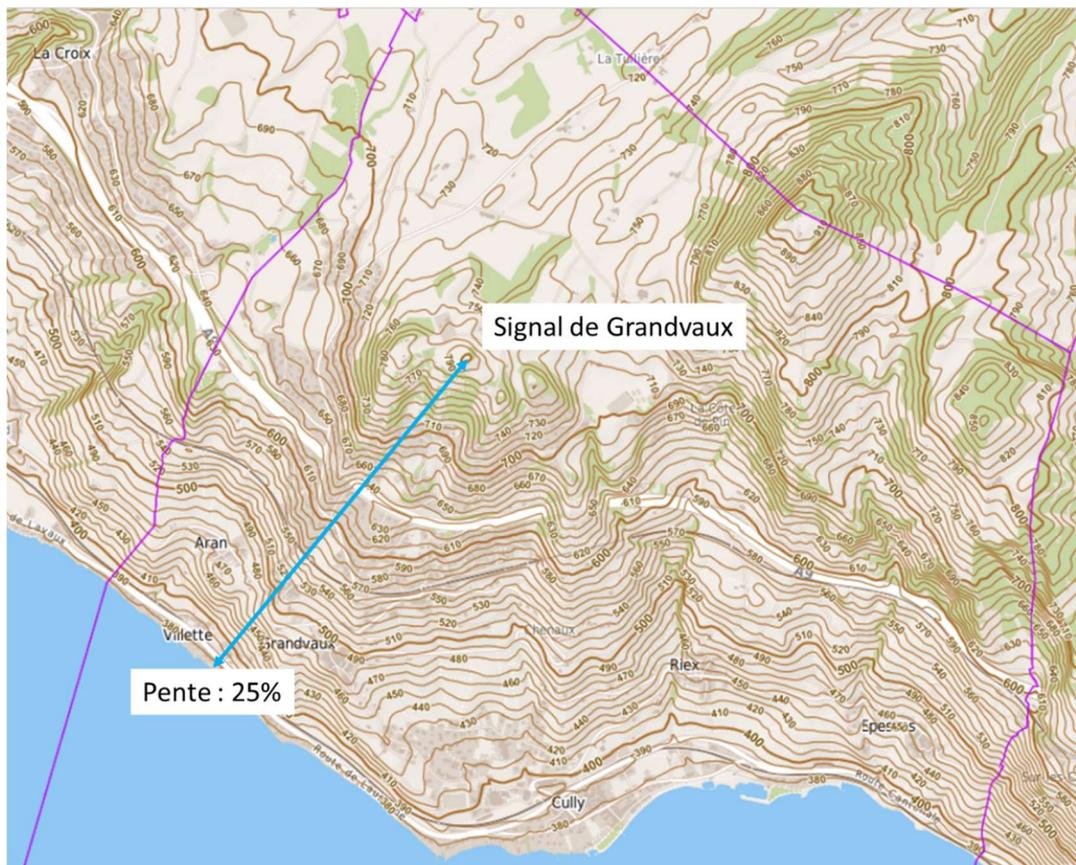


Figure 10 : Altimétrie de la Commune de Bourg-en-Lavaux [14]

3.2.2 Zones avec glissements de terrain

La Commune de Bourg-en-Lavaux est pour ainsi dire entièrement située dans une zone de glissements de terrains permanents, comme en témoigne la figure ci-dessous (zones en rose sur la carte) :

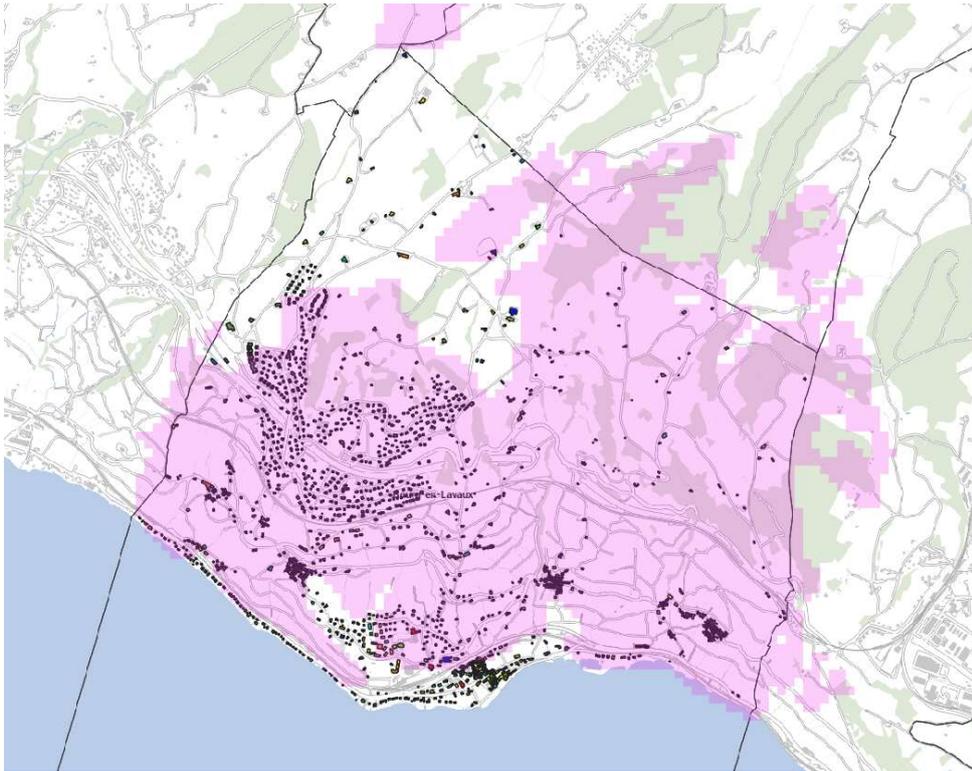


Figure 11 : Zones de glissements de terrain permanents (en rose) [15]

Si les glissements de terrain peuvent poser problème pour des sondes géothermiques, ce ne doit pas toujours forcément être le cas. De nombreuses sondes ont du reste déjà été posées, comme on peut le voir sur la Figure 12 ci-dessous. Il convient cependant de tenir compte du problème lorsqu'on souhaite en installer.

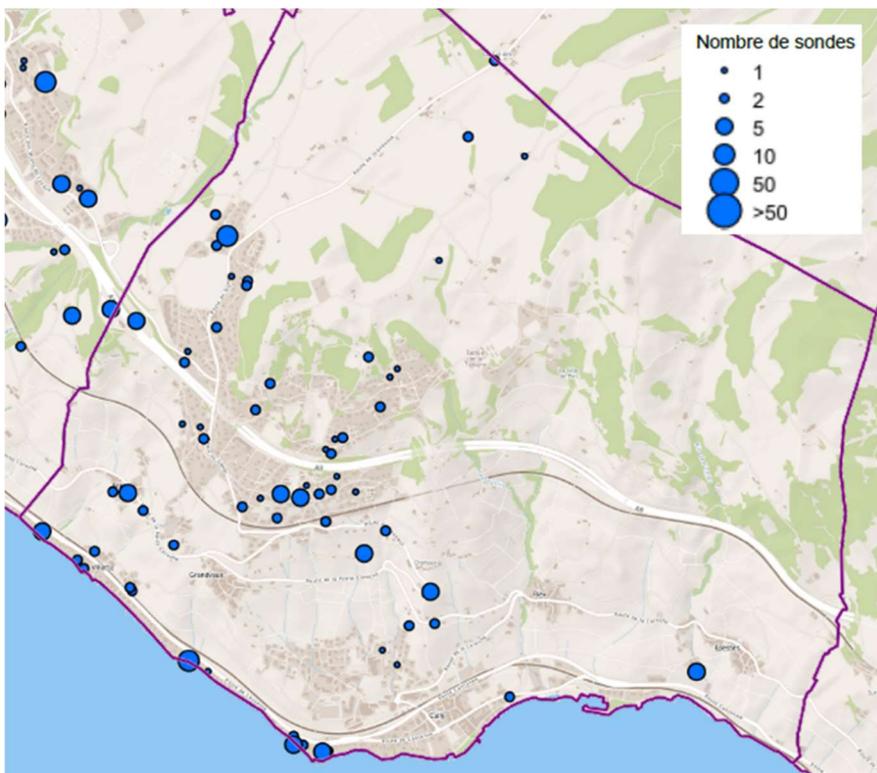


Figure 12 : Sondes existantes [37]

3.3 Infrastructures existantes

3.3.1 Réseau d'eaux usées

Le réseau des eaux usées est indiqué dans la figure ci-dessous. A l'heure actuelle, il n'y a aucun projet de valorisation de la chaleur en sortie de STEP.

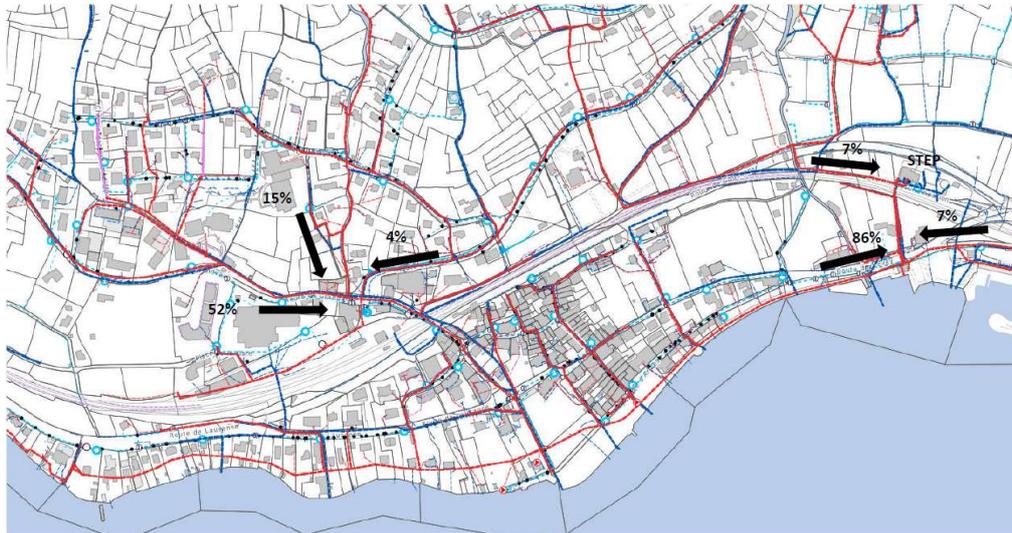


Figure 13 : Réseau d'eaux usées de la Commune [16]

3.3.2 Réseau de gaz

Le réseau de gaz est présent sur la Commune, mais essentiellement sur les grands axes, comme en témoigne la figure ci-dessous [17]. A peine 22% des bâtiments de la Commune sont desservis par le gaz (351 installations pour un total d'environ 1'600 bâtiments).



Figure 14 : Réseau de gaz [17] Différence (bleu : conduites haute pression, brun : conduites basse pression)

3.3.3 Réseaux thermiques

La Commune ne possède actuellement pas de réseaux thermiques.

3.4 Etudes énergétiques déjà réalisées

En ce qui concerne les études énergétiques déjà réalisées, il convient d'en citer deux :

1. *STEP Cully - Analyse énergétique sommaire*, CSD, Mai 2018 : Cette étude se concentre avant tout sur le potentiel d'économie de la consommation d'électricité de la STEP ;
2. *Etude énergie place de la gare de Bourg-en-Lavaux (Cully) et Hôpital de Lavaux*, Ström SA, octobre 2019 : Cette étude concerne la mise en place d'un réseau thermique permettant de fournir de la chaleur et du froid à l'Hôpital de Lavaux (qui va être agrandi), ainsi qu'aux bâtiments, qui vont être rénovés ou nouvellement construits, sur le plateau de la Gare de Cully. Un réseau d'eau du lac alimentera des pompes à chaleur décentralisées, pour le chaud, et des échangeurs de chaleur, également décentralisés, pour le froid.

La première étude, concernant la STEP, ne sera que sommairement reprise dans le cadre de la présente PET, quant à la deuxième étude, elle sera reprise dans la section dédiée aux scénarios d'approvisionnement (section 8.3.6).

3.5 Projets d'aménagement du territoire

A part quelques extensions de villas ponctuelles (ou des demandes de démolition pour réaliser des villas plus grandes), il n'y a pas de grands projets d'aménagements prévus à l'heure actuelle [16]. Un seul projet doit être mentionné à ce stade, celui qui concerne l'Hôpital de Lavaux et le plateau de la gare de Cully (cf. Figure 15).

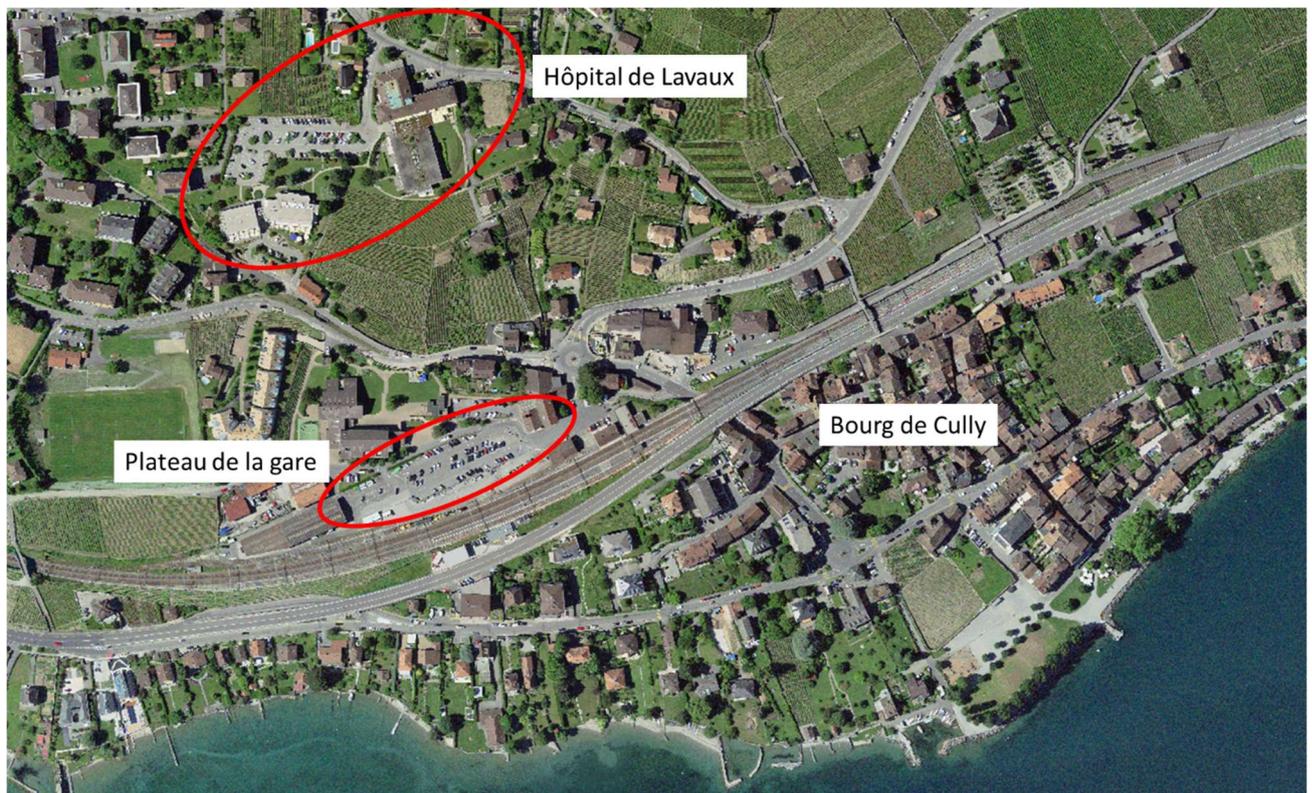


Figure 15 : Emplacements de l'Hôpital de Lavaux et du plateau de la Gare de Cully

Ce projet prévoit la construction de 22'319m² de surface de référence énergétique (SRE) nouvelle, pour une puissance de chauffage d'environ 1 MW [21]. Le détail des SRE est indiqué dans le tableau ci-dessous :

	Affectation	SRE [m ²]
Hôpital (EMS, H. Sud)	Hôpitaux	8 870
Contesse	Mixte	1 616
Commune P	Mixte	3 307
CFF U	Mixte	3 550
Bâtiment O1	Logement	1 592
Bâtiment O2	Logement	1 592
Rives de Lavaux N	Logement	1 792
TOTAL		22 319

Tableau 3 : Surface de référence énergétique (SRE) du nouveau projet de construction de l'extension de l'hôpital et de l'aménagement du Plateau de la Gare de Cully [21]

4 Evaluation des besoins énergétiques annuels actuels

L'évaluation des besoins énergétiques annuels est faite sur la base de plusieurs sources d'informations, sources qu'il convient d'essayer de croiser afin d'avoir une image la plus pertinente possible du paysage énergétique. Ces sources sont :

1. La base de données du Registre Cantonal des Bâtiments (RCB), qui fournit notamment des informations sur l'affectation des bâtiments, les surfaces de références énergétiques des bâtiments (SRE), les indices de dépense de chaleur (IDC) ou encore l'agent énergétique (mazout, gaz,...) par exemple.
2. Les consommations indiquées par les fournisseurs d'énergie, notamment pour le gaz et l'électricité. Le mazout, bien que très présent sur la commune, étant livré par des fournisseurs propres à chaque consommateur, il n'est malheureusement pas possible d'obtenir des informations par ce biais-là.
3. Les valeurs tirées de la littérature (statistiques cantonales et fédérales, normes SIA).
4. Les estimations faites sur la base de l'expérience du bureau focus-E.

L'évaluation des besoins énergétiques concerne les besoins liés au chauffage des bâtiments et à la production d'eau chaude sanitaire (ECS), les besoins de rafraîchissement, et enfin les besoins en électricité. Les besoins en énergie liés à la mobilité ne font pas partie de la présente étude.

Afin de pouvoir évaluer les besoins, la Commune a été divisée en plusieurs secteurs (ou sous-périmètres). Ceci permet de préciser les informations avec une granularité plus précise, que si on avait considéré la Commune comme un seul grand périmètre. Ces secteurs sont indiqués dans la figure ci-dessous :

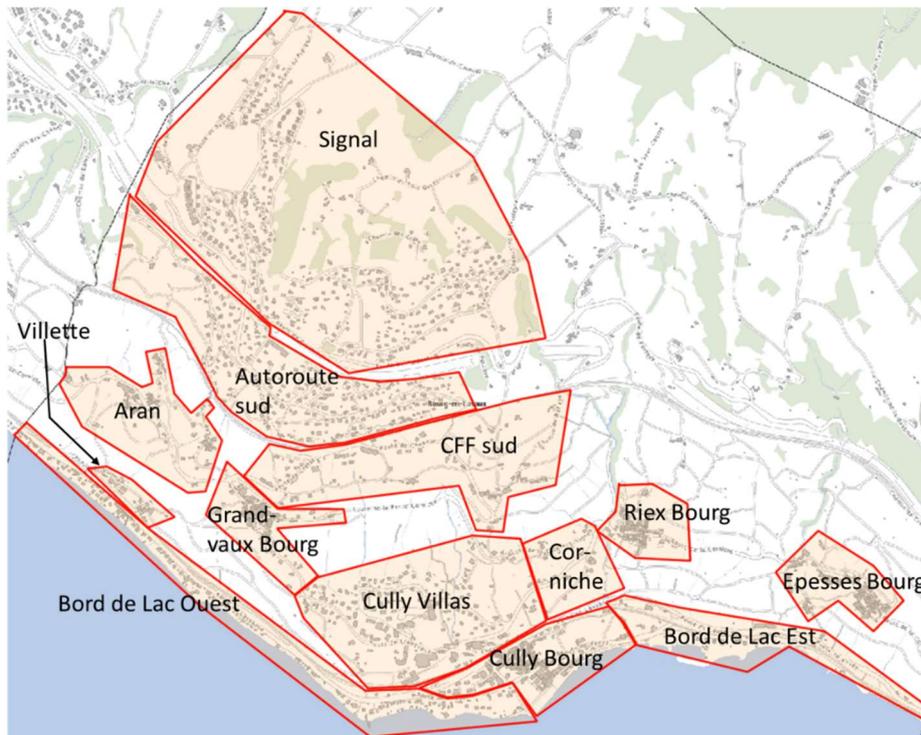


Figure 16 : Secteurs définis dans le cadre de la présente étude

Ces secteurs ont été définis en tenant compte des critères suivants :

- Homogénéité du secteur (zones villas, bourgs,...),
- Taille (il convient d'éviter d'avoir des secteurs qui sont 10 fois plus petits que d'autres, sauf s'il y a une bonne raison pour le faire),
- Types de solution d'approvisionnement énergétique qu'on peut proposer (Attention : Si un secteur se prête par exemple bien au chauffage à distance, ça ne veut pas dire qu'on va forcément proposer un chauffage à distance pour l'entier du secteur. Ça veut simplement dire que, au vu de sa localisation proche du lac par exemple, c'est un secteur qui se prête à ce genre de technologie).

D'autre part, afin de pouvoir déterminer les besoins de la manière la plus fiable possible, il est nécessaire de déterminer la SRE totale de la Commune. En effet, de nombreuses valeurs, notamment statistiques, sont données par m² de SRE. La SRE est donnée, pour chaque bâtiment, dans la base de données cantonales (RCB). Le total pour la Commune de Bourg-en-Lavaux se monte à 479'323m². Cette SRE totale est indiquée dans le tableau ci-dessous, suivant une répartition par secteurs et par affectations³ [19].

³ Dans le cadre du présent rapport on se réfère aux affectations telles que données dans les normes SIA, à savoir : habitat collectif (I), habitat individuel (II), administration (III), écoles (IV), commerce (V), restauration (VI), lieux de rassemblement (VII, exemples : théâtres, salles de concert, cinémas, églises, salles des fêtes, halles sportives avec tribunes ou encore salles funéraires), hôpitaux (VIII), industrie (IX), dépôts (X), installations sportives (XI), piscine couvertes (XII). Des exemples d'ouvrages pour chacune des catégories sont donnés dans l'annexe 13.2.

Secteur	Logement collectif [m ²]	Logement individuel [m ²]	Administration [m ²]	Ecole [m ²]	Commerce [m ²]	Lieu rassemblement [m ²]	Hôpitaux [m ²]	Artisanat [m ²]	Dépôts [m ²]	SRE TOTAL [m ²]	Surface du secteur [ha]
Signal	28 285	61 709	1 254	0	249	0	0	0	24	91 522	140
Autoroute Sud	16 400	30 228	324	6 616	560	0	0	0	0	54 127	44
CFF Sud	19 251	10 508	1 519	0	0	0	0	0	21	31 299	36
Aran	7 131	9 238	4 070	0	0	0	0	0	112	20 551	19
Grandvaux Bourg	13 266	8 249	1 669	403	0	0	0	0	0	23 588	11
Cully villas	32 828	16 549	778	15 476	0	0	4 656	0	29	70 315	41
Corniche	3 154	2 489	0	0	0	0	0	0	0	5 642	10
Riex Bourg	7 652	8 679	0	0	0	0	0	0	0	16 331	8
Epresses Bourg	12 835	10 547	2 112	0	502	0	0	0	179	26 175	11
Villette	5 022	1 162	476	0	0	0	0	0	0	6 660	3
Bord de Lac Ouest	6 274	18 628	597	0	0	0	0	0	0	25 499	29
Cully Bourg	37 153	14 722	3 442	0	2 224	0	0	722	498	58 760	16
Bord de Lac Est	5 573	3 589	0	0	0	0	0	0	0	9 162	18
Reste	18 627	18 232	692	0	0	362	0	0	1 780	39 692	N.A.
Bourg-en-Lavaux	213 450	214 528	16 933	22 495	3 535	362	9 108	722	2 642	479 323	385

Tableau 4 : Surface de Référence Energétique (SRE) par secteurs et par affectations [19]

Le graphique ci-dessous indique la part de chaque affectation dans la SRE totale de la Commune. Avec 88% de la SRE totale de la Commune, soit 44% pour le logement collectif et 44% pour le logement individuel, le logement est clairement prédominant.

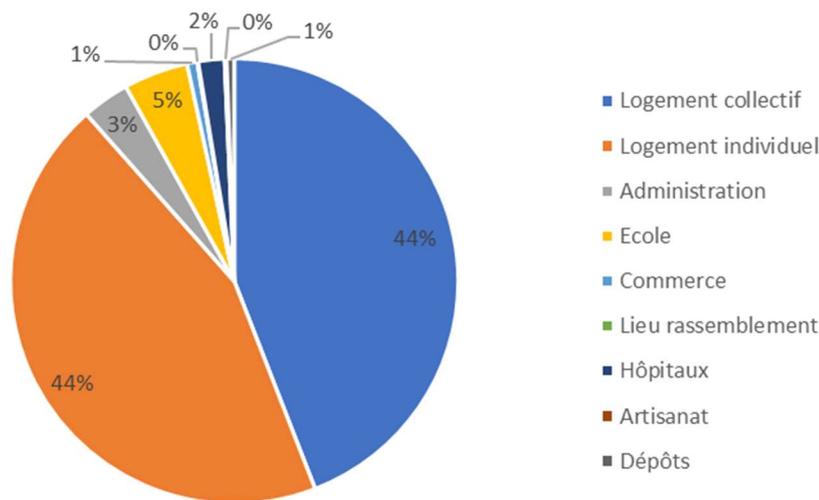


Figure 17 : Répartition de la SRE totale par type d'affectations, pour l'ensemble de la Commune

Le graphique ci-dessous indique la contribution de chaque secteur géographique, à la SRE totale de la Commune.

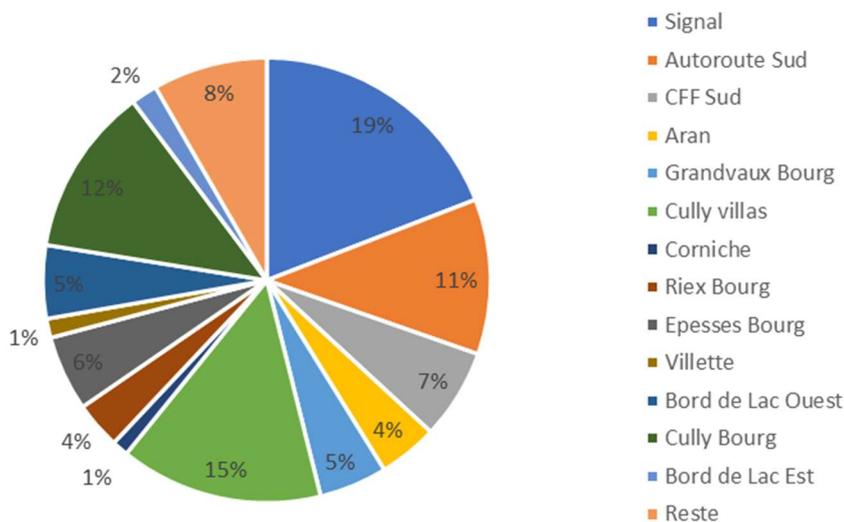


Figure 18 : Répartition de la SRE totale par secteur

Le Signal, avec 19% de la SRE totale, est le plus grand secteur, suivi des secteurs de Cully Villas (15%), Cully Bourg (12%) et Autoroute Sud (11%).

4.1 Evaluation des besoins annuels de chaleur

L'évaluation des besoins annuels de chaleur comprend les besoins liés aussi bien au chauffage qu'à la production d'eau chaude sanitaire (ECS). En revanche, les éventuels besoins liés à des processus industriels ne sont pas considérés (N.B. : Ces besoins sont de toute façon très faibles). Les besoins de

chaleur peuvent être estimés en s’aidant des références suivantes (cf. aussi Annexe page 126 pour la définition des différentes méthodologies) :

1. À la base de données RCB (Registre Cantonal des Bâtiments) du Canton [19],
2. Aux statistiques fédérales [18],
3. Aux valeurs de consommations indiquées par le fournisseur de gaz (Energiapro).

Les besoins de chaleur pour le chauffage sont donnés dans le tableau ci-dessous, pour l’ensemble de la Commune, en fonction de la référence (source d’information) :

Référence	Besoins de chaleur (chauffage seul)	Moyenne communale
Données RCB du Canton	18'782 MWh/an	39 kWh/m ² /an
Statistiques fédérales	36'500 MWh/an	76 kWh/m ² /an
Fournisseur de gaz	47'600 MWh/an	99 kWh/m ² /an

Tableau 5 : Besoins de chaleur pour le chauffage de l’ensemble de la Commune, par référence

Comme on peut le constater, les disparités sont grandes selon les sources d’informations utilisées, passant de 39 kWh/m²/an selon les données du RCB, à plus du double avec 99 kWh/m²/an selon les données de consommations de gaz.

Les raisons sont les suivantes :

1. En analysant attentivement les données du RCB, on constate qu’il manque des bâtiments. Même si ces bâtiments représentent moins de 5 % de l’ensemble des bâtiments, certains gros consommateurs, comme l’hôpital, ne sont pas répertoriés correctement.
2. Les besoins de chaleur indiqués dans les données du RCB sont des besoins standardisés (qui ne tiennent par exemple pas compte des conditions climatiques annuelles), qui peuvent présenter encore des erreurs [20]. A propos de cette base de données, il est important de préciser qu’elle est relativement nouvelle, et que le Canton réalise un travail permanent de réactualisation/amélioration en fonction des nouvelles informations à sa disposition, le but étant d’obtenir une base de données qui soit la plus fiable possible [20]. Ceci dit, avec 39 kWh/m²/an, les besoins de chauffage moyen de la Commune seraient inférieurs à la norme SIA (environ 47 kWh/m²/an, si on fait la moyenne entre les logements collectifs et individuels), et même inférieurs au MoPEC⁴ (qui s’appuie largement sur Minergie, et estime l’IDC à environ 40 kWh/m²/an). Or, avec ses vieux bourgs, et ses zones villas dont les constructions ne correspondent pas majoritairement aux derniers standards énergétiques, il ne semble pas raisonnable d’admettre que la Commune de Bourg-en-Lavaux ait des besoins moyens qui soient meilleurs que le MoPEC. Ainsi, s’il n’est pas possible de reprendre telles quelles les données du RCB en ce qui concerne les besoins de chauffage, cette base de données reste une précieuse source d’informations pour les SRE et les agents énergétiques employés (gaz, mazout, géothermie,...).
3. En analysant le réseau de gaz, on constate que celui-ci se déploie presque essentiellement dans les bourgs, là où se situent les anciens bâtiments. Or, on peut raisonnablement s’attendre à ce que les consommations de gaz soient plus élevées dans ces secteurs que dans le reste de la Commune. En effet, les anciennes constructions sont généralement moins bien isolées que les constructions modernes, ce qui se traduit par des besoins de chaleur

⁴ MoPEC : Modèle de Prescriptions Énergétiques des Cantons (Ensemble de prescriptions énergétiques élaborées conjointement par les cantons sur la base de leurs expériences en matière d’exécution dans le domaine du bâtiment.)

supérieurs. Des besoins de chauffage de 99 kWh/m²/an correspondent par exemple typiquement à des besoins pour des constructions datant du début du XX^{ème} siècle, et ne surprennent par conséquent pas pour les bourgs. Ceci dit, si ces consommations de gaz sont extrapolées à l'ensemble de la Commune (c'est-à-dire y compris pour les zones villas par exemple), le risque de surestimer les besoins de chaleur totaux est réel.

4. Les besoins de chauffage estimés à l'aide des statistiques fédérales sont typiques des besoins moyens de bâtiments des années 1960-1990. S'ils paraissent par conséquent cohérents pour estimer les besoins des zones villas, ils le sont en revanche nettement moins pour des bourgs anciens.

Au vu de ce qui précède, les hypothèses suivantes sont adoptées pour déterminer les besoins de chauffage par secteurs.

1. Pour les bourgs, on considère les consommations de gaz fournies par Energiapro, combinées avec les SRE et les répartitions d'agents énergétiques (gaz, mazout,...) fournies par le RCB.
2. Pour les zones à majorité de logements et de villas individuelles, on combine les besoins fournis par les statistiques fédérales, avec les SRE et les répartitions d'agents énergétiques (gaz, mazout,...) fournies par le RCB.
3. Quels que soient les secteurs, et au vu de la large prédominance des bâtiments de logements (88% de la SRE totale de la Commune), les bâtiments des catégories SIA 1 et 2 (logements individuel et collectif) seront assimilés à du logement, et tout le reste (école, administration, hangars,...) à de l'activité. La seule exception concerne l'hôpital, pour lequel les besoins sont connus précisément [21].

Avec les hypothèses ci-dessus et les différentes bases de données, on obtient les besoins indiqués dans le tableau et la figure ci-dessous pour chacun des secteurs :

Secteur	Type de secteur	Chauffage Logements [MWh/an]	Chauffage activités [MWh/an]	Chauffage hôpital [MWh/an]	TOTAL [MWh/an]	Moyenne [kWh/m ² /an]
Signal	Villas	6 696	167		6 862	75
Autoroute Sud	Villas	3 486	637		4 123	76
CFF Sud	Villas	2 225	131		2 356	75
Aran	Bourg	1 621	414		2 035	99
Grandvaux Bourg	Bourg	2 162	173		2 335	99
Cully villas	Villas	3 691	1 383	265	5 339	76
Corniche	Bourg	559	0		559	99
Riex Bourg	Bourg	1 617	0		1 617	99
Epresses Bourg	Bourg	2 315	277		2 591	99
Villette	Bourg	609	50		659	99
Bord de Lac Ouest	Villas	1 860	53		1 913	75
Cully Bourg	Bourg	5 136	682		5 817	99
Bord de Lac Est	Villas	685	0		685	75
Reste	Villas	2 756	241		2 996	75
Bourg-en-Lavaux	N.A.	35 416	4 206	265	39 887	N.A.

Tableau 6 : Besoins de chauffage par secteurs et pour l'ensemble de la Commune

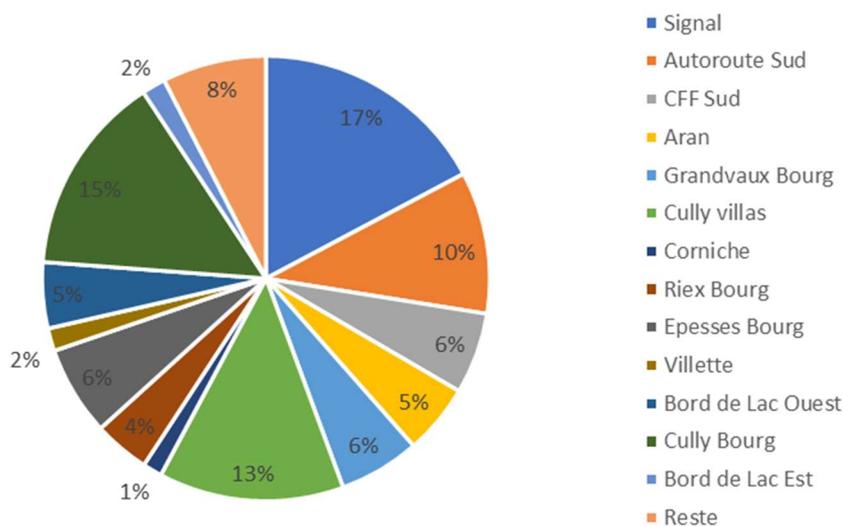


Figure 19 : Répartition des besoins de chauffage totaux par secteur

Sans surprise, on constate que ce sont les secteurs « Signal », « Cully Bourg » et « Cully villas » qui ont les plus forts besoins. « Signal » et « Cully villas » ont les plus grandes SRE, quant au secteur « Cully Bourg », il cumule une importante SRE avec des bâtiments anciens.

Pour estimer les besoins d'eau chaude sanitaire (ECS), ces derniers étant pour ainsi dire indépendant de l'âge du bâtiment, on se sert de la norme SIA qui prévoit les valeurs suivantes :

Affectation	Besoins de chaleur (ECS seul)
Logements (moyenne entre logements individuels et logements collectifs)	17,4 kWh/m ² /an
Activités	7 kWh/m ² /an
Hôpital	28 kWh/m ² /an

Tableau 7 : Besoins d'ECS moyens par type d'affectation [22]

Avec les valeurs du Tableau 7 ci-dessus on obtient les besoins de chaleur ci-dessous pour l'ECS :

Secteur	Type de secteur	ECS Logements [MWh/an]	ECS activités [MWh/an]	ECS hôpital [MWh/an]	TOTAL [MWh/an]	Moyenne [kWh/m ² /an]
Signal	Villas	1 558	14		1 572	17
Autoroute Sud	Villas	811	53		864	16
CFF Sud	Villas	518	11		529	17
Aran	Bourg	285	29		314	15
Grandvaux Bourg	Bourg	380	12		392	17
Cully villas	Villas	859	114	183	1 156	16
Corniche	Bourg	98	0		98	17
Riex Bourg	Bourg	284	0		284	17
Epeses Bourg	Bourg	407	20		426	16
Villette	Bourg	107	4		111	17
Bord de Lac Ouest	Villas	433	4		437	17
Cully Bourg	Bourg	903	48		951	16
Bord de Lac Est	Villas	159	0		159	17
Reste	Villas	641	20		661	17
Bourg-en-Lavaux	N.A.	7 444	328	183	7 955	N.A.

Tableau 8 : Besoins d'ECS par secteurs et pour l'ensemble de la Commune

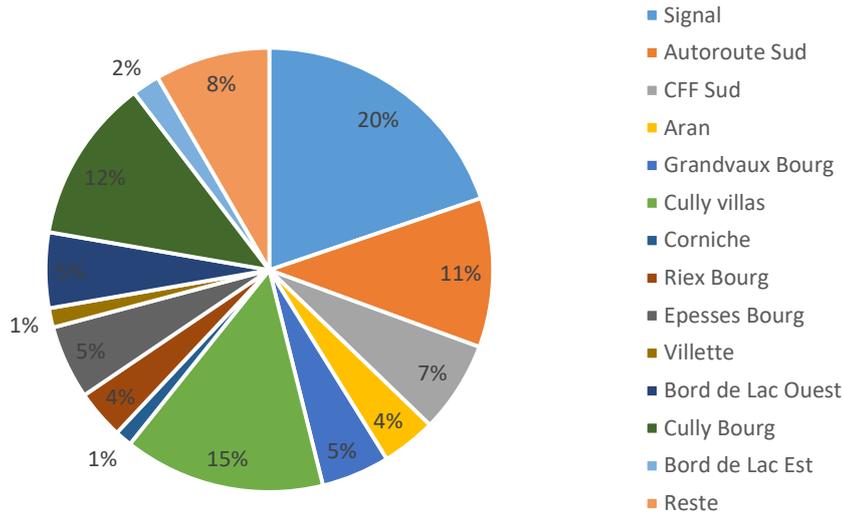


Figure 20 : Répartition des besoins de chauffage totaux par secteur

Une fois de plus, ce sont les secteurs « Signal », « Cully Bourg » et « Cully villas » qui ont les plus forts besoins.

Les besoins de chaleur totaux (chauffage et ECS) sont donnés dans le tableau ci-dessous, par affectation et secteur. Ce tableau comporte également une colonne intitulée « Densité de besoins ». Cette densité sera intéressante plus loin (section 8.3), lorsqu'il s'agira de définir des secteurs potentiellement intéressants pour la mise en place de chauffages à distance.

Secteur	Chaleur Logements [MWh/an]	Chaleur activités [MWh/an]	Chaleur hôpital [MWh/an]	TOTAL [MWh/an]	Densité [MWh/ha/an]
Signal	8 254	180	0	8 434	60
Autoroute Sud	4 297	690	0	4 987	114
CFF Sud	2 743	142	0	2 884	79
Aran	1 905	443	0	2 349	122
Grandvaux Bourg	2 542	185	0	2 727	249
Cully villas	4 551	1 497	447	6 495	159
Corniche	657	0	0	657	67
Riex Bourg	1 901	0	0	1 901	228
Epresses Bourg	2 722	296	0	3 018	283
Villette	716	54	0	770	258
Bord de Lac Ouest	2 293	57	0	2 350	81
Cully Bourg	6 038	730	0	6 768	426
Bord de Lac Est	844	0	0	844	47
Reste	3 397	261	0	3 657	N.A.
Bourg-en-Lavaux	42 860	4 534	447	47 842	N.A.

Tableau 9 : Besoins de chaleur totaux (chauffage et ECS) par secteurs et pour l'ensemble de la Commune

Enfin, le Tableau 10 et la Figure 21 ci-dessous indiquent les différents agents énergétiques consommés pour satisfaire les besoins de chaleur. La proportion des différents agents énergétiques est calculée à partir de la base de données RCB [19]⁵. La taille des graphiques de la Figure 21 est directement proportionnelle aux besoins en chaleur totaux de chaque secteur. Comme on peut le constater, avec 60% des besoins totaux de la Commune satisfaits à l'aide de mazout (cf. Tableau 10), ce combustible domine largement, devant l'électricité avec 17% (chauffages électriques directs), et le gaz avec 15%.

⁵ Le RCB indique pour chaque bâtiment, l'agent énergétique utilisé.

Les ressources renouvelables viennent loin derrière avec les pompes à chaleur (5%), le bois (3%) et le solaire (1%).

Mazout	60%
Gaz	15%
Electricité	17%
PAC	5%
Bois	3%
Solaire	1%
TOTAL	100%

Tableau 10 : Agents énergétiques servant à satisfaire les besoins en chaleur, pour l'ensemble de la Commune [19]

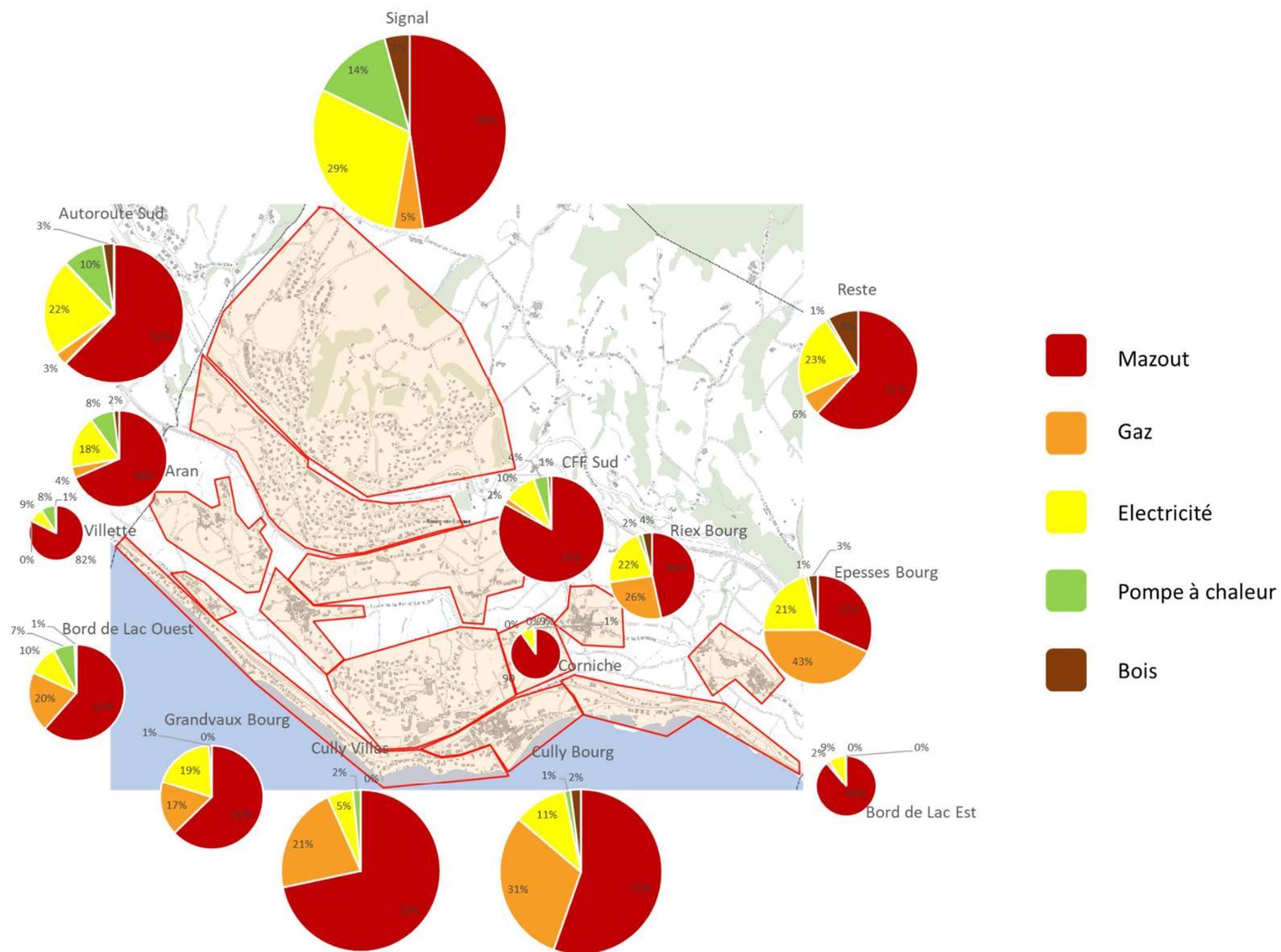


Figure 21 : Agents énergétiques utilisés pour satisfaire les besoins de chaleur

En termes de puissances, les données varient aussi considérablement selon les sources. Selon les données du RCB, la puissance totale de la Commune, pour la chaleur, serait de 33'907 kW, soit une puissance moyenne de 71 W/m² ($71 = [(33'907 * 1'000) / 479'323]$, où la multiplication par 1'000 correspond à la conversion entre kW et W, et les 479'323m² représentent la SRE totale). Cette valeur peut paraître un peu élevée pour une valeur moyenne, sachant qu'elle correspond à la puissance de dimensionnement d'une maison d'avant les années 1970, mais n'est sans doute pas complètement surprenante au vu de l'âge des bâtiments dans les différents bourgs. Ceci dit, selon d'autres sources d'informations (par exemple [26]), l'expérience montre qu'on peut estimer la puissance requise, en première approximation et pour des bâtiments existants, en divisant les besoins en énergie pour le chauffage (soit les besoins du Tableau 6 : 39'887 MWh/an) par 2'000 heures équivalent d'utilisation à pleine charge pour des habitations, et environ 1'200 heures pour des locaux administratifs. Selon cette règle, et avec les besoins estimés ci-dessus, on obtiendrait une puissance globale de 21'345 kW, soit une moyenne de 45 W/m², relativement basse vu l'âge des bâtiments (à titre de comparaison, une telle valeur correspond à un immeuble locatif bien isolé des années 1990 environ). Plusieurs raisons peuvent expliquer cette différence :

1. Le dimensionnement des chaudières peut être différent, selon que l'on choisit de produire l'ECS uniquement durant la nuit (lorsqu'il n'y a pas, ou moins, de besoins de chauffage), ou à mesure qu'elle est utilisée.
2. Aujourd'hui encore, il n'est pas rare que les chaudières sont sur-dimensionnées d'un facteur pouvant aller jusqu'à 2 voire même plus, étant donné que cela confère un argument de vente et une certaine assurance au cas, par exemple, où l'hiver devait être particulièrement rude ; et ceci, sans que l'investissement supplémentaire ne soit important (les pompes à chaleur sont par exemple nettement moins sur-dimensionnées, car cela péjore leur rendement et accroît considérablement l'investissement).

Comme déjà évoqué ci-dessus, l'année de construction ou de la dernière rénovation conséquente des bâtiments est un élément important qui peut aider à estimer les puissances de chauffage. Le graphique ci-dessous indique la répartition des bâtiments en fonction de l'âge de construction ou de rénovation

(en cas de rénovation⁶, c'est en effet l'année de rénovation qui est considérée pour évaluer la puissance, et non plus l'année de construction) [19] :

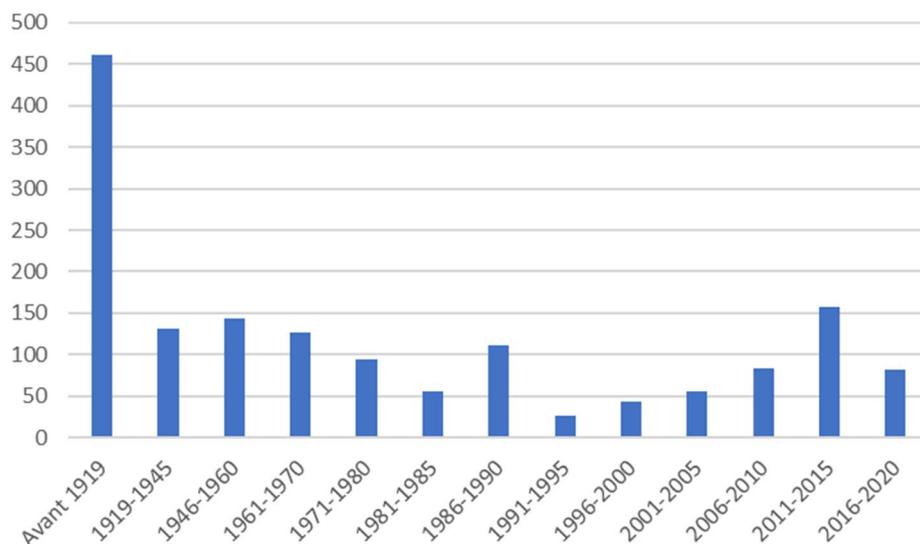


Figure 22 : Epoque de construction des bâtiments [19]

Au vu du graphique ci-dessus, il apparaît qu'une grande majorité des bâtiments ont été construits/rénovés avant 1990, et que, par conséquent, considérer une puissance de chauffage moyenne de 45 W/m² paraît largement sous-estimée. Dans la suite de cette étude, on considérera par

⁶ Il s'agit ici de rénovations ayant un impact sur la consommation énergétique, comme par exemple la mise en place d'une isolation.

conséquent les valeurs indiquées dans la banque de données du RCB, ce qui donne une puissance de 33'907 kW pour l'ensemble de la Commune.

Secteur	Puissance logements [kW]	Puissance activités [kW]	Puissance hôpital [kW]	TOTAL [kW]
Signal	5 315	117		5 432
Autoroute Sud	2 971	698		3 668
CFF Sud	2 114	142		2 257
Aran	1 092	303		1 395
Grandvaux Bourg	1 572	153		1 725
Cully villas	3 583	1 715	320	5 618
Corniche	471	0		471
Riex Bourg	1 206	0		1 206
Epresses Bourg	1 710	226		1 936
Villette	407	38		445
Bord de Lac Ouest	1 785	61		1 847
Cully Bourg	3 854	446		4 301
Bord de Lac Est	756	0		756
Reste	2 758	94		2 852
Bourg-en-Lavaux	29 594	3 993	320	33 907

Tableau 11 : Puissances de chaleur par secteurs et pour l'ensemble de la Commune [19]

4.2 Evaluation des besoins annuels de froid

Dans le cadre de la présente étude, l'évaluation des besoins de froid ne concerne que les besoins liés au froid de confort. Le froid de process (froid industriel) n'est pas compris. Ceci dit, la Commune ne compte pas d'industrie ayant des rejets thermiques importants, et qui pourraient laisser supposer qu'il y a des besoins de froid industriel conséquents.

Avec 88% de la SRE liée à des logements, et 5% de la SRE liée à l'école, les besoins de froid de confort (climatisation) de la Commune se limitent actuellement à l'hôpital, et sont indiqués dans l'étude relative à l'extension de l'hôpital [21]. A noter que pour ce qui est des bâtiments administratifs, il n'y a pas de bâtiment connu qui aurait, à l'heure actuelle, une installation de froid de confort. Les besoins actuels totaux de froid sont donc très faibles⁷.

Les valeurs en énergie et puissance sont résumées dans le tableau ci-dessous :

⁷ On ne peut pas exclure que les quelques villas qui sont alimentées en chaleur en hiver par une sonde géothermique, ne soient pas rafraichies en été à l'aide de géo-cooling. Ceci resterait cependant très marginal à l'échelle de la Commune, et ne peut pas être vérifié dans le cadre de cette étude.

Secteur	Type de secteur	Administration [MWh/an]	Hôpitaux [MWh/an]	Froid TOTAL [MWh/an]	Puissance activités [kW]	Puissance hôpital [kW]	TOTAL [kW]
Signal	Villas	0	0	0	0	0	0
Autoroute Sud	Villas	0	0	0	0	0	0
CFF Sud	Villas	0	0	0	0	0	0
Aran	Bourg	0	0	0	0	0	0
Grandvaux Bourg	Bourg	0	0	0	0	0	0
Cully villas	Villas	0	115	115	0	115	115
Corniche	Bourg	0	0	0	0	0	0
Rieux Bourg	Bourg	0	0	0	0	0	0
Epresses Bourg	Bourg	0	0	0	0	0	0
Villette	Bourg	0	0	0	0	0	0
Bord de Lac Ouest	Villas	0	0	0	0	0	0
Cully Bourg	Bourg	0	0	0	0	0	0
Bord de Lac Est	Villas	0	0	0	0	0	0
Reste	Villas	0	0	0	0	0	0
Bourg-en-Lavaux	N.A.	0	115	115	0	115	115

Tableau 12 : Energie et puissance de froid par secteurs et pour l'ensemble de la Commune

4.3 Evaluation des besoins annuels d'électricité

Selon les normes SIA (SIA380/1 [22] et SIA 2031 [23]), les besoins d'électricité sont divisés en deux catégories. Il y a d'une part les besoins liés à l'éclairage et aux installations techniques du bâtiment⁸, et, d'autre part, les besoins liés aux équipements⁹. Les valeurs de consommation annuelles, par m² de SRE, sont données dans les tableaux ci-dessous pour le logement et les locaux administratifs, selon les différentes sources d'informations disponibles, à savoir :

1. La norme SIA 380/1 et le CT 2031 [22]-[23],
2. Les statistiques fédérales [18],
3. Romande Energie.

⁸ Installations techniques : installations auxiliaires servant au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire (p.ex. pompes, brûleurs, radiateurs électriques d'appoint,...), au transport des personnes et des biens (p.ex. ascenseurs, monte-charge, escaliers roulant,...), à la domotique, ou encore aux systèmes de surveillance (systèmes d'alarme, vidéosurveillance,...). Attention : L'électricité servant au chauffage des locaux, lors d'une installation de chauffage électrique directe (radiateurs fixés aux murs), n'est pas comprise dans les besoins d'électricité liés aux techniques du bâtiment.

⁹ Equipements : télévisions, ordinateurs, lave-vaisselles, plaques de cuisson,...

A noter que pour les informations obtenues de la Romande Energie, il n'a pas été possible de faire la distinction entre les deux types d'utilisation.

Source d'information	Affectation	Éclairage et installations techniques	Equipements	Total
Normes SIA 380/1 et 2031	Logement	25 kWh/m ² /an	16 kWh/m ² /an	41 kWh/m ² /an
Statistiques fédérales	Logement	4 kWh/m ² /an	18 kWh/m ² /an	22 kWh/m ² /an
Normes SIA 380/1 et 2031	Administration	22 kWh/m ² /an	12 kWh/m ² /an	33 kWh/m ² /an
Statistiques fédérales	Administration	48 kWh/m ² /an	44 kWh/m ² /an	92 kWh/m ² /an
Consommation réelle indiquée par Romande Energie	Tout confondu	15'614'174 kWh/an en tout (moyenne sur les 5 dernières années, hors chauffage électrique direct, éclairage public, STEP et STREL)		32 kWh/m ² /an

Tableau 13 : Besoins d'électricité [18], [22] et [23]

Le tableau ci-dessus appelle les commentaires suivants :

1. Les consommations moyennes totales (dernière colonne du tableau ci-dessus), issues des statistiques fédérales sont une fois largement au-dessous des normes (pour les logements) et une fois largement au-dessus des normes (pour l'administration). Il est difficile à ce stade de comprendre d'où viennent ces différences, et ceci dépasserait le cadre de la présente étude.
2. Les valeurs données par les normes sont au-dessus des consommations indiquées par Romande Energie, ce qui est surprenant. Avec une consommation d'environ 32 kWh/m²/an, les consommations réelles se situent en effet au-dessous des normes aussi bien pour le logement (41 kWh/m²/an) que pour l'administratif (33 kWh/m²/an). En revanche, la consommation de 32 kWh/m²/an se situe au niveau des statistiques fédérales¹⁰.

L'analyse des raisons précises du décalage entre les différentes sources d'information (normes, statistiques et Romande Energie) dépasserait le cadre de cette étude. On peut cependant relever que :

1. Les normes elles-mêmes présentent des divergences. Par exemple la norme SIA 380/1 et le Cahier Technique SIA 2031 diffèrent entre eux sur les besoins d'électricité des logements pour l'éclairage et les techniques du bâtiment.
2. Concernant l'éclairage et les installations techniques des logements, la valeur donnée par les statistiques fédérales, soit 4 kWh/m²/an, est non seulement extrêmement basse, mais également largement inférieure à la valeur donnée pour les locaux administratifs (48 kWh/m²/an). Les normes quant à elles donnent une image totalement différente, puisque non seulement les consommations en tant que telles sont différentes, mais en plus elles sont plus élevées pour le logement que pour les locaux administratifs (25 kWh/m²/an pour le logement contre 22 kWh/m²/an pour les statistiques).

¹⁰ En utilisant les valeurs des statistiques fédérales, pour calculer la moyenne pondérée (c'est-à-dire la moyenne agrégeant les logements et le reste des bâtiments) en kWh/m²/an, au pro rata de la SRE, on obtient : (0,88*22)+(0,12*92)=30 kWh/m²/an Le chiffre 0,88 correspond aux 88% de SRE de logement, et le chiffre 0,12 correspond aux 12% restant, assimilé ici en première approximation à de l'administration (à défaut de pouvoir être plus précis à ce stade).

3. Pour calculer la consommation d'électricité moyenne de la Commune à partir des consommations fournies par Romande Energie, soit les 32 kWh/m²/an, il a fallu déduire les consommations liées à la production de chaleur (chauffage électrique direct et production d'ECS)¹¹. Ces consommations ne sont en effet pas liées à l'éclairage, aux techniques du bâtiment et aux équipements. Les consommations liées à la production de chaleur ont été calculées, connaissant les besoins de chaleur totaux (cf. Tableau 9) et la fraction d'électricité utilisée pour satisfaire ces besoins (cf. Tableau 10) : $0,17 * 47'842 = 8'133$ MWh/an. Or comme on l'a vu plus haut, la valeur de 17% a été calculée à partir de la base de données RCB, elle-même comportant des incertitudes. Il serait donc abusif de croire que la valeur de 32 kWh/m²/an indiquée dans le Tableau 13 ci-dessus est très précise.

Au vu de ce qui précède, et des nombreuses incertitudes liées à l'évaluation des consommations d'électricité, on s'en tiendra ici aux consommations indiquées par Romande Energie, étant donné qu'il s'agit de consommations réelles. De plus, ces consommations sont malgré tout relativement proches des consommations indiquées dans les statistiques fédérales. En revanche, pour ventiler ces consommations sur les différentes affectations (logement, administration, école, hôpital,...), on se servira des normes SIA, seules sources d'information donnant des indications à ce sujet. Les consommations électriques par secteur et affectation sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Secteur	Logement collectif [MWh/an]	Logement individuel [MWh/an]	Administration [MWh/an]	Ecole [MWh/an]	Commerce [MWh/an]	Lieu rassemblement [MWh/an]	Hôpitaux [MWh/an]	Artisanat [MWh/an]	Dépôts [MWh/an]	TOTAL [MWh/an]
Signal	958	2 089	31	0	6	0	0	0	0	3 084
Autoroute Sud	555	1 023	8	76	14	0	0	0	0	1 677
CFF Sud	652	356	38	0	0	0	0	0	0	1 045
Aran	241	313	101	0	0	0	0	0	0	655
Grandvaux Bourg	449	279	41	5	0	0	0	0	0	774
Cully villas	1 111	560	19	179	0	0	325	0	0	2 195
Corniche	107	84	0	0	0	0	0	0	0	191
Riex Bourg	259	294	0	0	0	0	0	0	0	553
Epresses Bourg	434	357	52	0	12	0	0	0	1	857
Villette	170	39	12	0	0	0	0	0	0	221
Bord de Lac Ouest	212	631	15	0	0	0	0	0	0	858
Cully Bourg	1 258	498	85	0	55	0	0	18	2	1 916
Bord de Lac Est	189	122	0	0	0	0	0	0	0	310
Reste	631	617	17	0	0	6	0	0	7	1 278
Bourg-en-Lavaux	7 226	7 262	419	260	87	6	325	18	11	15 614

Tableau 14 : Consommation d'électricité par secteurs et pour l'ensemble de la Commune

¹¹ La Romande Energie a pu fournir des valeurs de consommation globale, sans distinction de l'utilisation finale qui est faite de cette électricité. Il a donc fallu estimer les différentes parts dans le cadre de cette étude.

5 Evaluation des besoins énergétiques annuels futurs

Hormis pour la zone de l'hôpital et du plateau de la gare de Cully, la Commune ne comprend pas de développements majeurs pour ces prochaines années. Quant aux habitations, il faut savoir que la Commune doit actuellement redimensionner sa zone à bâtir, et, à part pour Cully, toute la commune va être limitée dans son développement. Ainsi, le terrain devient très cher, et les demandes de permis de construire qui parviennent à la Commune sont essentiellement des demandes de démolition pour reconstruire des villas de taille plus grande afin d'utiliser au maximum les surfaces autorisées [16]. Ainsi, si on peut espérer, d'un côté, une légère baisse des besoins énergétiques pour ces prochaines années, grâce à des rénovations et à des améliorations de l'enveloppe des bâtiments, ces baisses pourraient être contre-balançées par l'augmentation globale de SRE. De plus, il ne faut pas perdre de vue que, globalement, moins d'un pourcent des rénovations faites sur l'arc lémanique à l'heure actuelle, permettent de réduire de façon importante les besoins de chauffage (à savoir une réduction de besoins de chauffage entre 25% et 50%). Le reste des rénovations concerne principalement des travaux tels que des rafraîchissement de façade, ou d'autres travaux qui n'ont pas d'impact significatif sur les besoins de chaleur pour le chauffage. En conclusion, la consommation énergétique ne va ni augmenter, ni diminuer de façon conséquente dans le futur.

Les consommations prévues pour l'extension de l'hôpital et le développement du plateau de la Gare de Cully sont données dans le tableau ci-dessous (les besoins en électricité comprennent les besoins pour les techniques du bâtiment et les équipements) :

	Affectation	SRE [m ²]	Chaleur				Froid		Electricité Energie [MWh/an]
			Chauffage [MWh/an]	ECS [MWh/an]	TOTAL [MWh/an]	Puissance [kW]	Energie [MWh/an]	Puissance [kW]	
Hôpital (EMS, H. Sud)	Hôpitaux	8 870	224	284	508	210	236	160	316
Contesse	Mixte	1 616	38	38	75	60	32	60	47
Commune P	Mixte	3 307	101	59	160	70	66	60	97
CFF U	Mixte	3 550	87	58	145	80	71	50	104
Bâtiment O1	Logement	1 592	39	36	75	60	32	60	54
Bâtiment O2	Logement	1 592	39	36	75	60	32	60	54
Rives de Lavaux N	Logement	1 792	39	36	75	60	36	60	61
TOTAL		22 319	566	547	1 113	600	505	510	733

Tableau 15 : Futurs besoins dans le secteur de l'hôpital et du plateau de la Gare de Cully [21]-[23]

6 Analyse des acteurs clés

Dans le domaine de l'énergie, les acteurs clés sont soit la Commune de Bourg-en-Lavaux elle-même (autorités, administration communale et population), soit les fournisseurs d'énergie (gaz, électricité, mazout). Le tableau ci-dessous indique, pour chacun des acteurs, ce qui est en son pouvoir pour accompagner la Commune dans la transition énergétique.

Acteur	Rôle
Autorités	Développer une politique en lien avec la transition énergétique : <ul style="list-style-type: none"> • Participer à/promouvoir la réalisation de projets phares (p.ex. mise en place de chauffages à distance), • Jouer un rôle d'exemplarité, • Proposer un plan de mobilité douce, • Aider les particuliers à prendre des initiatives (mise en place de panneaux solaires p.ex.) en facilitant les procédures, • ...
Administration communale	Accompagner les autorités dans leurs démarches.
Population	Prendre conscience des opportunités et obligations liées à l'acceptation de la Stratégie Energétique 2050 (acceptée par la population de Bourg-en-Lavaux par plus de 76% des voix, soit un score parmi les plus élevés du Canton et même de la Confédération), et prendre les mesures nécessaires afin de pouvoir profiter au maximum des subventions ¹² .
Fournisseurs d'énergie électrique	Augmenter la part d'électricité d'origine renouvelable dans le mix électrique.
Fournisseurs de gaz	Augmenter considérablement la part de biogaz.
Fournisseur de mazout	La consommation de mazout va continuer à baisser ces prochaines années en Suisse et pourrait devenir marginale en 2050 [53]. A terme, les fournisseurs de mazout n'auront par conséquent pas d'autre choix que de se ré-orienter.

Tableau 16 : Acteurs clés et leur rôle dans la transition énergétique

¹² Actuellement le Programme Bâtiment par exemple, qui prévoit des subventions lors de travaux d'isolation, est prévu jusqu'en 2025. Quant à la rétribution unique pour les installations photovoltaïques de petite taille (moins de 100 kWp) elle court jusqu'en 2030. Il n'est pas clair pour le moment de ce qu'il adviendra de ces programmes au-delà de 2025 resp. 2030.

7 Analyse des ressources énergétiques disponibles

Dans cette section on synthétise les ressources énergétiques locales disponibles, aussi bien en termes d'énergie qu'en termes de puissance.

7.1 Energie solaire

L'énergie solaire peut être valorisée de deux manières différentes : pour générer de la chaleur (capteurs solaires thermiques), ou pour générer de l'électricité (panneaux photovoltaïques)¹³. Pour estimer le potentiel solaire, on considère la surface totale de toitures disponibles, et on calcule des potentiels à partir du rayonnement solaire atteignant ces toitures. A ce stade, le potentiel offert par les façades pour la pose de panneaux verticaux n'est pas pris en compte.

L'Office Fédéral de l'Energie (OFEN) a récemment développé un outil qui permet d'évaluer le rayonnement solaire pour des communes entières, ainsi que le potentiel électrique ou thermique [27]. La Figure 23 ci-dessous montre un extrait des données géo-référencées que cet outil permet d'obtenir, avec l'exemple du rayonnement solaire sur les toitures de Cully [MWh/m²/an] :

¹³ En réalité il existe encore les panneaux hybrides, mais ils ne sont volontairement pas pris en compte ici. En effet ils ne permettent pas de satisfaire des besoins d'ECS sans recours à une autre énergie (les panneaux hybrides ne permettent que de faire le pré-chauffage). En revanche, il convient de préciser qu'ils ont de très bons rendements électriques, et qu'ils pourraient éventuellement être considérés dans les phases plus avancées du projet (lors de la modélisation des bâtiments).

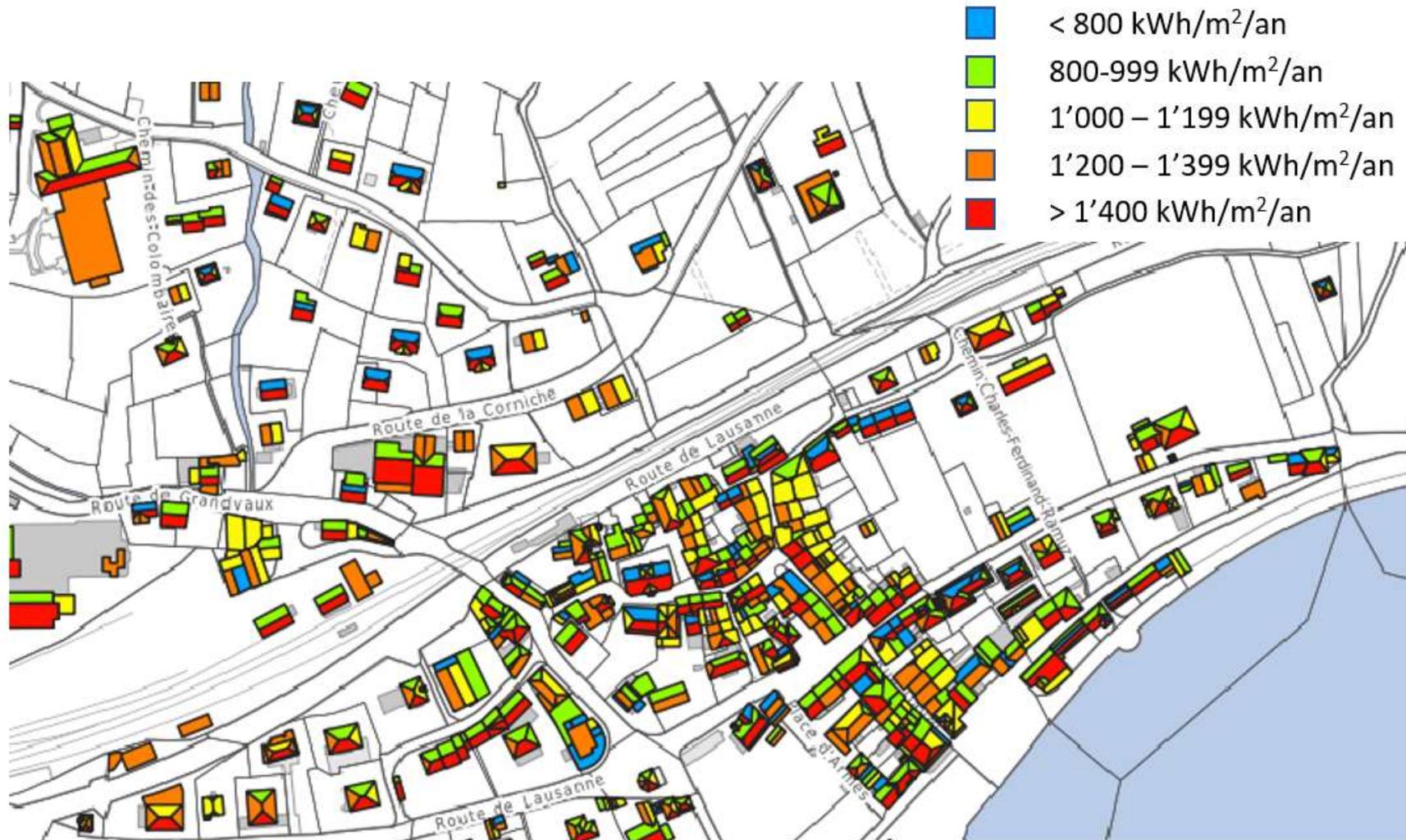


Figure 23 : Exemple du rayonnement solaire sur Cully [MWh/m²/an] [27]

Pour passer des valeurs de rayonnement solaire en kWh/m²/an au potentiel électrique ou thermique en MWh/an pour la Commune, les hypothèses suivantes ont été faites :

1. La surface disponible pour installer des éléments photovoltaïques¹⁴ ou des capteurs thermiques correspond à 90% de la surface de la toiture d'un bâtiment.
2. Seules les toitures pour lesquelles la pose d'éléments photovoltaïques ou de capteurs thermiques pourrait être rentable, sont considérées, c'est-à-dire les toitures bénéficiant d'un rayonnement solaire égal ou supérieur à 1'000 kWh/m²/an [27].
3. Pour les secteurs qui ne font pas partie des bourgs classés, aucune déduction de la surface disponible n'est faite pour des questions de protection du patrimoine. En revanche, pour les bourgs classés, qui figurent en catégorie A dans l'inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse [28] (cf. l'extrait de carte ci-dessous, Figure 24), on considère qu'il n'est pas possible de mettre des capteurs thermiques, et qu'il n'est possible de recouvrir que 10% des surfaces par des éléments photovoltaïques. Ce chiffre de 10% est justifié comme suit :
 - Le classement en catégorie A rend la pose d'éléments photovoltaïques très compliquée voire impossible (à titre de comparaison, le Château de Chillon est par exemple également classé A [46]).
 - La très haute valeur patrimoniale du périmètre rend difficile voire très coûteuse une intégration de qualité qui ne perturbe pas la lecture du paysage des toitures [45].

Il faut toutefois garder à l'esprit que, dans chacun des bourgs, la pose d'éléments photovoltaïques serait envisageable sur l'un ou l'autre bâtiment. Elle pourrait se faire, par exemple, en bandeau sur l'avant-toit, sur des annexes, ou encore des garages [46]. Ainsi, considérer qu'on ne peut poser aucun élément photovoltaïque serait tout aussi faux, que de penser qu'on peut recouvrir l'entier des toitures¹⁵. Le pourcentage exact ne pourra cependant être déterminé qu'en faisant une étude spécifique pour les bourgs. En revanche, pour ce qui est des capteurs solaires thermiques, on a considéré, en première approximation, qu'il n'était pas possible de les poser dans les bourgs, pour les deux raisons suivantes¹⁶ :

- La pose de capteurs solaires thermiques est plus compliquée que celle d'éléments photovoltaïques, à cause des raccordements hydrauliques (qu'il faudrait mettre en place par exemple entre le toit d'un garage, le cas échéant, et le chauffe-eau du bâtiment), et de la nécessité d'avoir une pompe pour la circulation de l'eau.
- Contrairement aux tuiles photovoltaïques, qui permettent de s'intégrer esthétiquement dans le paysage architectural, les capteurs solaires thermiques sont des éléments de taille conséquente, et restent en général bien visibles.

¹⁴ Dans la suite de ce rapport, le terme d' « éléments photovoltaïques » englobe aussi bien les panneaux photovoltaïques que les tuiles photovoltaïques.

¹⁵ Cf. à ce sujet aussi les études qui ont été faites et/ou sont en cours pour déterminer la surface exacte de panneaux qu'on peut poser dans des communes comme la Chau-de-Fonds (NE), Carouge (GE) ou Yverne (VD).

¹⁶ Il n'est pas impossible que dans l'un ou l'autre cas ce soit possible de poser des panneaux solaires thermiques, mais ceci devrait faire l'objet d'études détaillées au cas par cas.



Figure 24 : Extrait de la carte ISOS, avec les points marquant les sites protégés [11]

4. Surface des panneaux :

- Éléments photovoltaïques :
 - i. En première approximation, la surface totale des panneaux photovoltaïques correspond à environ 45% de la surface de toiture obtenue au point 1 ci-dessus pour des toitures plates (en tenant compte de l'inclinaison des panneaux), et 100% si on considère des toitures idéalement inclinées, ou recouvertes de tuiles solaires. Sachant que la majorité des toitures sont certes inclinées, mais comportent souvent des cheminées, velux ou autres éléments qui empêchent la pose de panneaux, on admet ici une moyenne de 60%.
 - ii. Pour une surface de panneau irradiée de 1m^2 , il faut un panneau de $1,15\text{m}^2$ environ, en tenant compte du cadre du panneau (valeur estimée à partir d'un panneau typique tel que le Sharp NUSOE3E).
- Panneaux solaires thermiques : Contrairement aux panneaux photovoltaïques, qui peuvent en théorie recouvrir l'entier de la place disponible sur un toit, pour les capteurs solaires thermiques la problématique est tout autre. En effet, pour des raisons techniques, on ne pourra pas, dans l'immense majorité des cas, dépasser un taux de couverture de 60-70% des besoins d'ECS annuels des occupants du bâtiment [29]-[30]. Aussi, recouvrir entièrement une toiture de capteurs solaires thermiques n'a généralement pas de sens, si la chaleur ne peut pas être valorisée dans une boucle d'énergie par exemple. Dans le cadre de la présente étude, on indiquera ainsi dans le Tableau 17 ci-dessous, pour chacun des secteurs, le potentiel thermique théorique, mais également la quantité de chaleur requise pour satisfaire 70% des besoins d'ECS. Et comme on le verra, c'est bien souvent cette dernière colonne qui sera déterminante pour estimer le potentiel valorisable.

5. Rendement des panneaux :

- Éléments photovoltaïques : Le rendement des panneaux est de 20% [31], alors que pour les tuiles on se situe plutôt autour de 10% à 12% en moyenne [47]-[48]. Dans le

cadre de cette étude, on considèrera un rendement de 20% pour les zones villas, et 11% pour les bourgs. Le rendement de l'onduleur de 90%.

- Panneaux solaires thermiques : Le rendement du système, pour un taux de couverture de l'ECS d'environ 60%, est de 40% (hypothèse : capteurs plans vitrés), incluant le rendement des panneaux, le rendement des conduites de raccordement au ballon d'ECS, et le rendement du ballon d'ECS lui-même¹⁷ [29].
6. En ce qui concerne l'arbitrage entre les éléments photovoltaïques et les panneaux thermiques, ce dernier doit se faire au niveau de chaque bâtiment pris individuellement, et ne peut se faire pour une commune dans son ensemble¹⁸. Aussi, les potentiels indiqués dans le tableau ci-dessous (colonnes *Potentiel électrique* et *Potentiel thermique théorique*) sont estimés en partant du principe que l'ensemble des toitures est recouvert d'un seul type de panneaux (photovoltaïques ou thermiques).

Les surfaces de toitures, le rayonnement solaire, ainsi que les potentiels électriques et thermiques sont indiqués dans le tableau ci-dessous :

¹⁷ Le rendement dépend grandement du taux de couverture d'ECS par les panneaux solaires. On a choisi ici un taux de couverture de 30%, qui correspond au minimum légal requis. En augmentant le taux de couverture, le rendement global augmente. Pour des raisons techniques, on ne pourra cependant pas dépasser un taux de couverture de 60% environ.

¹⁸ Cet arbitrage dépend d'éléments spécifiques à chaque bâtiment, comme la place en toiture, les besoins spécifiques, ou encore l'investissement consenti par exemple. Faire un tel arbitrage au niveau d'une commune dans son ensemble n'a par conséquent pas beaucoup de sens.

Secteur	Type de secteur	Surface totale toitures [m ²]	Surface toitures favorables [m ²]	Rayonnement solaire total [MWh/an]	Rayonnement solaire toitures favorables [MWh/an]	Potentiel électrique [MWh/an]	Potentiel thermique théorique [MWh/an]	70% d'ECS	Potentiel thermique effectif [MWh/an]	Rayonnement solaire restant pour PV après 70% ECS [MWh/an]	Potentiel électrique après 70% ECS [m2]
Signal	Villas	80 651	60 447	96 260	79 457	7 462	16 645	1 100	1 100	74 204	6 969
Autoroute Sud	Villas	42 899	32 352	52 452	43 589	4 094	9 131	605	605	40 703	3 823
CFF Sud	Villas	20 676	14 402	24 843	19 782	1 858	4 144	370	370	18 016	1 692
Aran	Bourg	13 216	8 606	15 534	11 591	100	0	220	0	100	1
Grandvaux Bourg	Bourg	16 619	11 407	19 503	15 052	130	0	275	0	130	1
Cully villas	Villas	44 688	33 788	54 147	44 715	4 199	9 367	809	809	40 854	3 837
Corniche	Bourg	4 638	3 592	5 604	4 709	41	0	69	0	41	0
Rieux Bourg	Bourg	14 740	11 103	17 623	14 602	126	0	199	0	126	1
Epresses Bourg	Bourg	18 295	10 861	20 743	14 573	125	0	298	0	125	1
Villette	Bourg	4 944	2 945	5 609	3 924	34	0	77	0	34	0
Bord de Lac Ouest	Villas	21 048	15 403	24 466	19 774	1 857	4 142	306	306	18 313	1 720
Cully Bourg	Bourg	35 463	22 443	40 526	29 454	254	0	666	0	254	2
Bord de Lac Est	Villas	7 458	5 917	9 109	7 862	738	1 647	112	112	7 329	688
Reste	Villas	48 684	34 673	58 993	46 799	4 395	9 804	463	463	44 589	4 188
Bourg-en-Lavaux	N.A.	374 020	267 939	445 411	355 882	25 412	54 880	5 568	3 765	244 816	22 922

Tableau 17 : Surfaces de toitures, rayonnement solaire, ainsi que potentiels électriques et thermiques (basé sur [27])

Comme on peut le voir dans le tableau ci-dessus, le potentiel solaire, sans surprise, est très intéressant. A l'exception des bourgs, où la pose de panneaux est plus limitée, l'énergie solaire permettrait de satisfaire largement 70% d'ECS ou près de 100% des besoins d'électricité en moyenne annuelle. Pour mémoire, les besoins d'électricité totaux se montent à près de 16'400 MWh/an (16'400=15'614+733, où les 15'614 MWh/an correspondent à la consommation du bâti existant, cf. Tableau 14, et les 733 MWh/an à la consommation des nouveaux bâtiments du Plateau de la Gare de Cully, cf. Tableau 15). Quant au potentiel de production d'électricité estimé pour l'ensemble de la Commune, en prenant en compte la totalité de la surface des toitures qui bénéficient d'un ensoleillement favorable (hormis pour les bourgs), il se monte à 25'412 MWh/an (cf. 7^{ème} colonne du tableau ci-dessus). Il faut cependant garder à l'esprit, que cette électricité ne peut pas encore être stockée sur plusieurs jours de manière efficace (hormis en utilisant le réseau comme moyen de stockage). Or elle n'est pas toujours produite au moment même où elle requise. Il s'agit donc d'un potentiel réjouissant, mais il serait cependant erroné de penser que la Commune pourrait s'affranchir totalement du réseau électrique.

Conclusion

Le potentiel solaire est très intéressant pour la Commune de Bourg-en-Lavaux.

7.2 Géothermie

La géothermie comprend essentiellement quatre options [25] :

1. Géothermie de très faible profondeur (jusqu'à 30m) : valorisation de l'énergie comprise dans le sous-sol à l'aide de corbeilles géothermiques, géostructures ou sondes horizontales, et pompes à chaleur (PAC) sol-eau, voire eau-eau en cas de présence de nappes souterraines.
2. Géothermie de faible profondeur (jusqu'à 400m environ) : valorisation de l'énergie comprise dans le sous-sol à l'aide de sondes verticales et de PAC sol-eau ou eau-eau (en cas de présence de nappes souterraines).
3. Géothermie de moyenne profondeur (jusqu'à 3'000m environ) : valorisation directe de la chaleur à des températures de l'ordre de 30 à 70°C.
4. Géothermie de grande profondeur (plus de 3'000m) : valorisation directe de températures de l'ordre de 100 à 150°C, production d'électricité possible.

Ces différents modes de valorisation de la géothermie sont illustrés dans la figure ci-après :

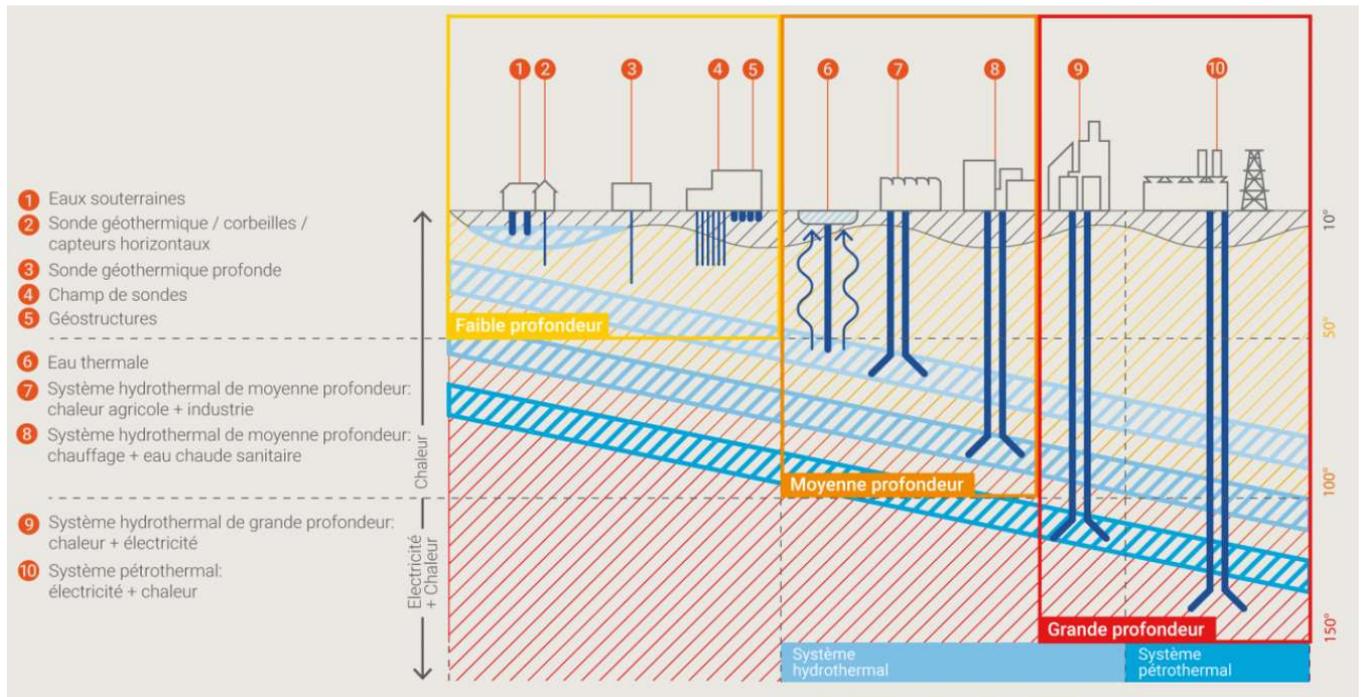


Figure 25 : Modes de valorisation de la géothermie [25]

Dans la suite de ce rapport, on s'intéressera essentiellement à la géothermie de faible profondeur (point 2 ci-dessus). La géothermie de très faible profondeur ne présente en effet qu'un intérêt ponctuel, et il n'est pas pertinent de l'analyser à l'échelle d'une commune (mais plutôt d'une villa individuelle). De plus, elle concurrencerait la géothermie de faible profondeur, dont le potentiel est plus élevé. Quant à la géothermie de moyenne et haute profondeur, elles sont en principe analysées à l'échelle du Canton.

Comme on l'a vu dans la section 3.2.2, la Commune de Bourg-en-Lavaux se situe essentiellement sur des zones de glissements de terrains. Selon les professionnels de la branche contactés dans le cadre de cette étude, cela ne veut pas dire qu'il est impossible de mettre des sondes. Plusieurs villas, du reste, situées en zones de glissement de terrains, sont chauffées grâce à des pompes à chaleur connectées à des sondes (cf. Figure 12 ou Figure 21). En revanche, cela peut compliquer la tâche. La Figure 26 ci-dessous indique les zones admissibles pour les sondes. Par « admissible », il faut comprendre les zones qui ne sont pas légalement interdites pour des raisons de protection des eaux par exemple. Le terme « admissible » ne concerne ici donc pas la faisabilité technique, qui seraient liée p.ex. aux glissements de terrain, ou à la possibilité pour des foreuses d'accéder aux parcelles s'il faut passer par des chemins agricoles.

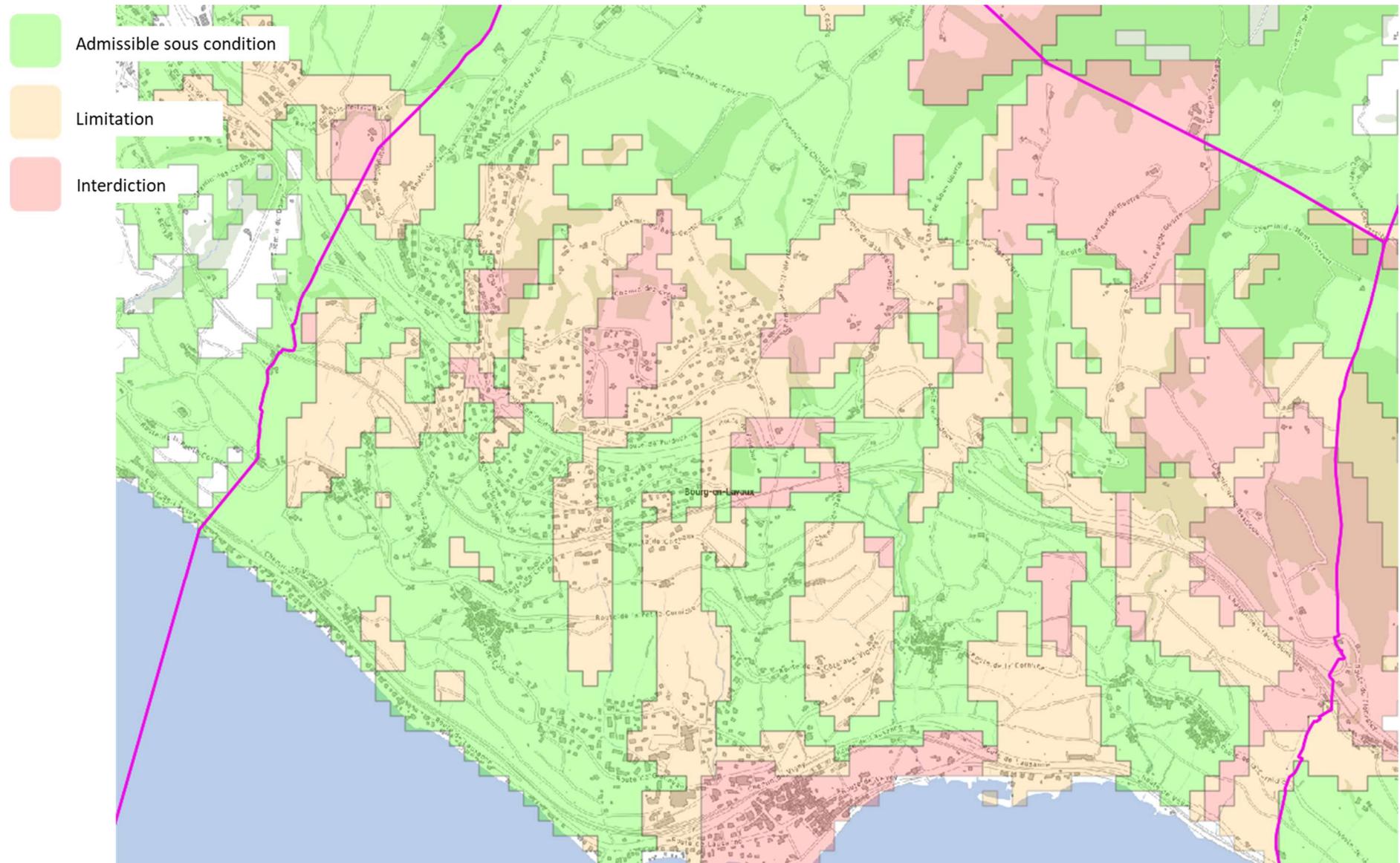


Figure 26 : Zones admissibles pour les sondes [37]

L'estimation du potentiel géothermique est délicate pour plusieurs raisons :

1. Le potentiel dépend de la distance entre les sondes (dans le cas d'un champ de sondes), et de l'énergie qui est, ou non, réinjectée dans le terrain en été (par exemple en faisant du free-cooling).
2. Dans le cas de sondes individuelles, par exemple pour une maison individuelle, le potentiel dépend de la présence, ou non, de sondes dans les jardins voisins, ainsi que de la distance entre ces sondes voisines et la sonde de la villa individuelle en question.

De nombreuses études en cours, ou publiées récemment [32], mettent en évidence les difficultés qu'il y a à estimer le potentiel géothermique à large échelle, et les différences notoires qui existent entre les valeurs simulées (même pour des projets apparemment simples de 4 sondes maximum) et la réalité du terrain, et ce, pour des raisons pas encore toujours comprises [33]. On remarque aussi que lorsqu'il n'y a qu'une seule sonde dans un quartier (notamment un quartier d'habitations), cette dernière tend à fonctionner correctement, par contre, passé un certain nombre de sondes dans ce même quartier, le sol tend à se refroidir et à devenir moins performant. En résumé, le potentiel géothermique pour un endroit donné, dépend de ce que fait le voisin.

Afin d'estimer néanmoins un potentiel aussi réaliste que possible, on opte pour un scénario dans lequel les sondes sont placées dans des zones :

1. qui n'hébergent ni vignes, ni cultures, ni dans des zones qui se situent loin de toute construction et donc de toute consommations énergétiques (au Nord de la Commune par exemple),
2. accessibles pour des camions de forage (on exclut donc les centres des bourgs ou les abords des ruelles étroites),
3. admissibles pour les sondes (les zones « sous condition » ont volontairement été écartées à ce stade de l'étude),
4. qui ne se situent pas dans le secteur « Reste » (c'est-à-dire à l'extérieur des secteurs tels que définis à la Figure 16), étant donné que ça n'aurait aucun sens de considérer la surface admissible pour ce secteur « éclaté », et estimer un potentiel à partir de cette surface.

La Figure 27 ci-dessous indique les zones retenues (carrés verts) :

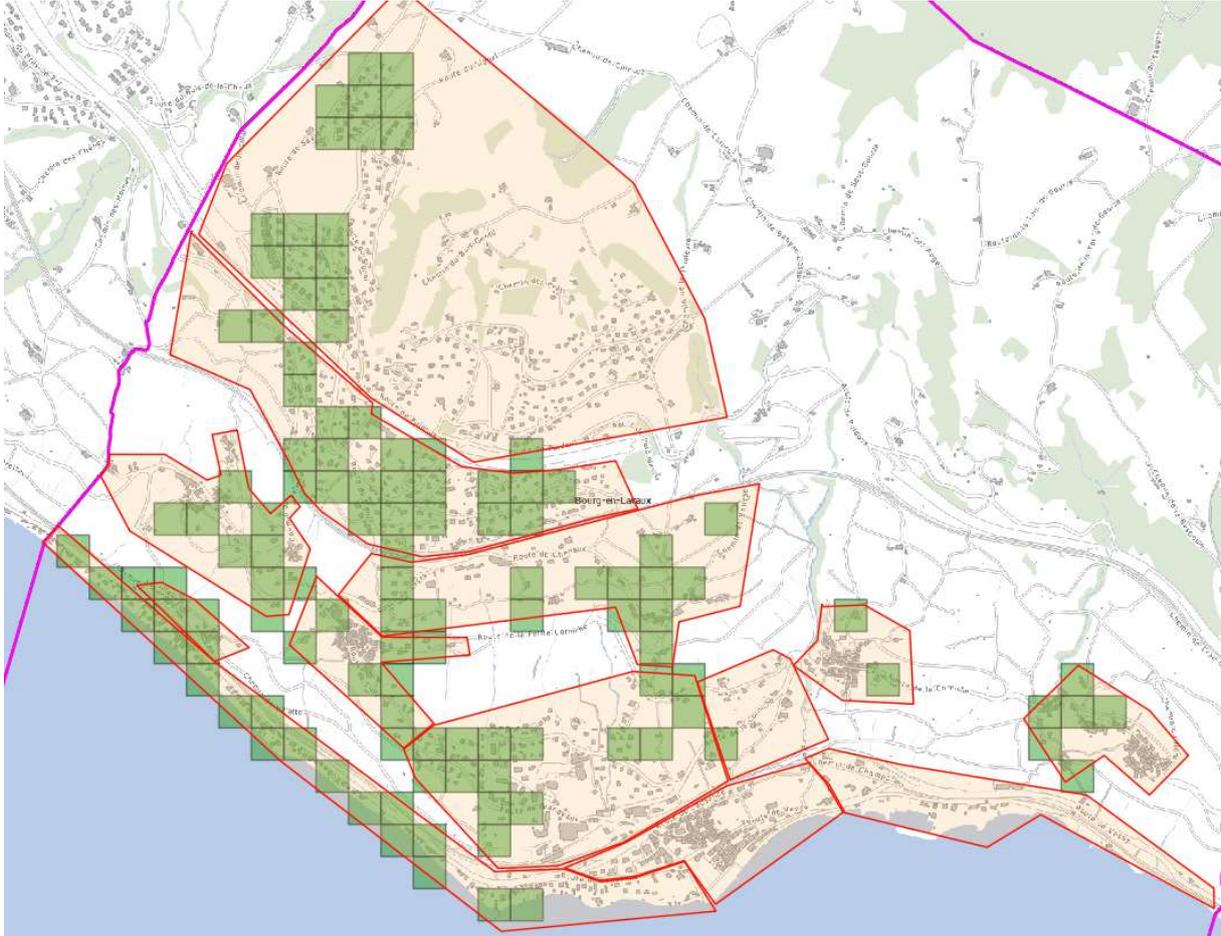


Figure 27 : Zones retenues pour les sondes : carrés verts (carrés de 100m x 100m)

De plus, les hypothèses suivantes sont considérées :

1. L'espacement entre les sondes est de 50 m, ce qui signifie qu'en première approximation, une sonde se situe dans un carré de 50m x 50m soit 2'500m².
2. La longueur d'une sonde est de 250m [51].
3. La puissance et l'énergie d'extraction (pour la chaleur) sont de 20 W/m et 40 kWh/m/an [36].
4. Le COP de la pompe à chaleur valorisant l'énergie géothermique est de 3,6. Ce COP est estimé à l'aide d'un rendement exergetique de 55%, une température moyenne à l'évaporateur de 0°C, et une température moyenne côté condenseur de 55°C.
5. La puissance et l'énergie d'injection, si on veut faire du geo-cooling, sont de 20 W/m et 40 kWh/m/an [36].

Avec les hypothèses ci-dessus, on obtient les puissances et les énergies indiquées dans le Tableau 18 ci-dessous. A noter que pour la chaleur, on indique la puissance et l'énergie en sortie de pompe à chaleur (PAC).

Secteur	Type de secteur	Surface [ha]	Nombre de sondes	Puissance chaleur (en sortie de PAC) [kW]	Energie chaleur (en sortie de PAC) [MWh/an]	Puissance froid [kW]	Energie froid [MWh/an]
Signal	Villas	17	68	472	944	204	340
Autoroute Sud	Villas	22	88	611	1 221	264	440
CFF Sud	Villas	13	52	361	722	156	260
Aran	Bourg	6	24	167	333	72	120
Grandvaux Bourg	Bourg	5	20	139	278	60	100
Cully villas	Villas	14	56	389	777	168	280
Corniche	Bourg	0	0	0	0	0	0
Riex Bourg	Bourg	2	8	56	111	24	40
Epeses Bourg	Bourg	3	12	83	167	36	60
Villette	Bourg	2	8	56	111	24	40
Bord de Lac Ouest	Villas	15	60	416	833	180	300
Cully Bourg	Bourg	0	0	0	0	0	0
Bord de Lac Est	Villas	0	0	0	0	0	0
Reste	Villas	0	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Bourg-en-Lavaux	N.A.	99	396	2 748	5 496	1 188	1 980

Tableau 18 : Potentiel géothermique par secteurs et pour la Commune dans son ensemble

Avec une puissance chaleur totale de 2'748 kW et une énergie de 5'496 MWh/an, la géothermie pourrait satisfaire environ 11% des besoins de chaleur de la Commune (47'842 MWh/an). Ces valeurs doivent cependant être considérées avec prudence, même si les hypothèses faites plus haut sont déjà relativement conservatrices. En effet, la Commune de Bourg-en-Lavaux a un potentiel de glissements de terrain considérable. Il se pourrait donc, que certains secteurs considérés comme admissibles ici ne peuvent en réalité, in fine, pas accueillir de sonde. De plus, les puissances et énergie de froid ne sont valorisables que, si l'énergie qui a été injectée dans le sol en été, est à nouveau extraite du sol à des fins de production de chaleur en hiver (utilisation du sol comme stockage énergétique).

Conclusion

La géothermie de faible profondeur a un certain potentiel, mais à évaluer de cas en cas et à utiliser de façon ponctuelle.

7.3 Energie hydraulique

L'énergie hydraulique peut être valorisée de trois manières différentes :

1. Par l'intermédiaire d'une pompe à chaleur pour fournir de la chaleur,
2. Par l'intermédiaire d'un simple échangeur pour fournir du froid,
3. Par turbinage pour fournir de l'électricité.

Comme on peut le voir sur la carte ci-dessous, la Commune de Bourg-en-Lavaux est parcourue par de nombreux cours d'eau (traits noirs foncés) :

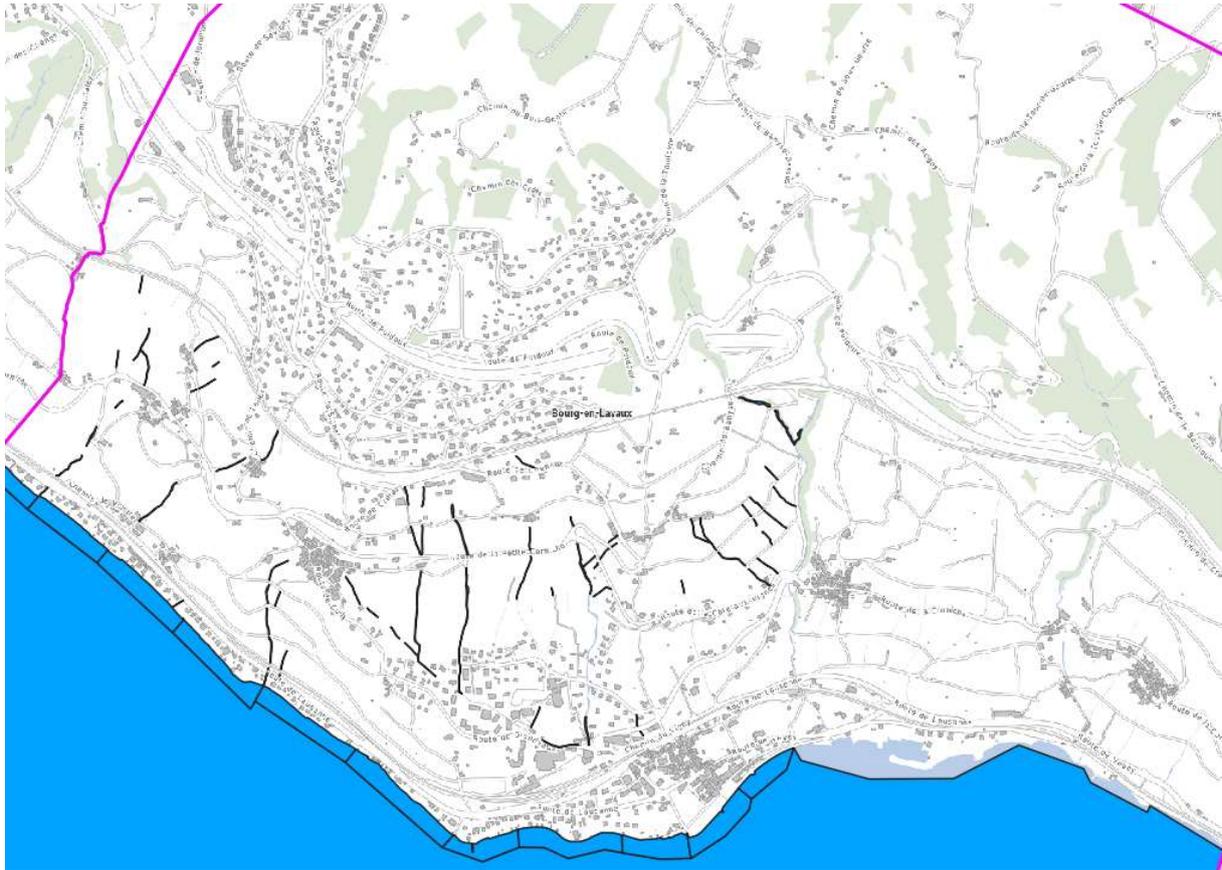


Figure 28 : Cours d'eau (en noir foncé) [37]

Tous ces cours d'eau sont cependant des cours collinéens avec des débits très faibles (moins de 0,05 m³/s [38]), et serpentent largement en dehors des zones construites. Ils représentent au plus un intérêt pour arroser les vignes (comme ce fut le cas par le passé), mais en aucun cas un intérêt énergétique.

Conclusion

L'énergie hydraulique ne présente aucun intérêt dans le cadre de la présente étude.

7.4 Bois

Comme en témoigne le nombre de CAD alimentés par une chaudière à bois en Suisse, le bois constitue indiscutablement une ressource intéressante pour les CAD. En ce qui concerne Bourg-en-Lavaux, le potentiel du bois de la Commune est déjà exploité, puisqu'il est acheminé à la centrale forestière de Forel¹⁹ [16]. Le potentiel du bois dans le Canton de Vaud dans sa globalité, n'est en revanche pas encore totalement exploité : seuls 65% du potentiel était exploité en 2017 [39]. Il faut cependant se poser la question de la pertinence, d'un côté, d'exporter le bois de la Commune jusqu'à la centrale de Forel, s'il faut ensuite en importer pour réaliser, par exemple, une installation de chauffage à distance alimentée par du bois, pour la Commune. La Stratégie bois-énergie du Canton de Vaud précise du reste que : « Le Canton soutient les centrales de bois-énergie pour autant que leur localisation s'avère pertinente au regard des autres potentialités énergétiques renouvelables offertes par le territoire et des dynamiques (économiques, paysagères, environnementales, etc.) de ce dernier. » Parallèlement la Conception

¹⁹ La centrale forestière de Forel alimente la centrale à cogénération de Puidoux.

Cantonale de l'énergie préconise de valoriser en premier lieu les gisements énergétiques situationnels qui ne peuvent pas être déplacés et doivent être utilisés sur place (géothermie, nappes, eau de lac,...) [4]. D'un autre côté cependant, rappelons que la Commune produit sa chaleur à 75% par des énergies fossiles (dont 60% de mazout). Or, un chauffage à distance alimenté au bois est souvent plus efficace pour remplacer des chaudières à gaz ou au mazout dans un bourg historique classé A au patrimoine, que de multiples pompes à chaleur air/eau, souvent interdites pour des questions esthétiques et/ou de bruit, dans le cœur dense des bourgs. De plus, le bois est pertinent dans le sens où, même s'il n'y a plus de potentiel bois dans la Commune, il en reste au niveau du Canton. Ainsi, si le bois n'est pas la solution idéale en tous points, on l'envisagera néanmoins si on veut tendre à une commune 100% renouvelable.

Enfin, il conviendra de tenir compte des deux points ci-dessous, lors d'une installation d'une chaufferie à bois :

1. La combustion du bois génère occasionnellement des odeurs de « brûlé » lors de la combustion. Ces odeurs peuvent présenter des désagréments pour la population. Il convient donc de choisir de façon adéquate l'emplacement de la chaufferie, par exemple en bordure de zone habitée plutôt qu'au milieu, et en tenant compte des vents dominants.
2. La combustion du bois émet, notamment, des poussières fines. Pour lutter contre ces poussières fines, le Canton a émis une directive pour la mise en place de chaudières à bois dans des zones déjà moyennement ou fortement polluées, c'est-à-dire les zones pour lesquelles les concentrations de particules fines sont élevées. Comme déjà indiqué dans la section 3.1 ci-dessus, la Commune de Bourg-en-Lavaux ne se situe pas dans une zone à immissions excessives. Le canton a néanmoins émis une directive avec des recommandations, également lorsqu'on se situe hors d'une telle zone (colonne verte du tableau ci-dessous) :

Puissance calorifique	Site	exigences	Zones à immissions excessives 1	Zones à immissions excessives 2	Hors zones à immissions excessives
			(Plan des mesures)	(hors Plan des mesures)	
P ≤ 70 [kW]	Contrôle		En cas de plainte (OPair, A3 ch. 522)	En cas de plainte (OPair, A3 ch. 522)	En cas de plainte (OPair, A3 ch. 522)
	Filtre		Filtre obligatoire	Recommandé	Recommandé
	VLE		VLE OPair	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi		Contrat d'entretien recommandé	Contrat d'entretien recommandé	Contrat d'entretien recommandé
70 < P ≤ 500 [kW]	Contrôle		Contrôle périodique DGE	Contrôle périodique DGE	Contrôle périodique DGE
	Filtre		Filtre obligatoire	Filtre obligatoire	Recommandé
	VLE		P ≥ 250kW : 20 [mg/m ³] Poussières	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi		Contrat d'entretien obligatoire	Contrat d'entretien obligatoire	Contrat d'entretien recommandé
500 < P ≤ 1000 [kW]	Contrôle		Luft Union (annuel)	Contrôle périodique DGE	Contrôle périodique DGE
	Filtre		Filtre obligatoire	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire
	VLE		VLE OPair	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi		Filtre + Contrat d'entretien obligatoire	Filtre + Contrat d'entretien obligatoire	Contrat d'entretien recommandé
P > 1000 [kW]	Contrôle		Luft Union (annuel)	Luft Union (annuel)	Contrôle périodique DGE
	Filtre		Filtre obligatoire	Filtre obligatoire	Filtre obligatoire
	VLE		NOx : 200 [mg/m ³]	VLE OPair	VLE OPair
	Suivi		Filtre + CO (+ NOx)	Filtre + CO (+ NOx)	Filtre

Contrôle : Organe procédant au contrôle périodique
 Filtre : Obligation ou recommandation d'installer un filtre à particule (ou un système permettant un rabattement équivalent des poussières)
 VLE : Valeurs limites d'émissions (VLE OPair = standard ou valeurs renforcées spécifiques)
 Suivi : Filtre = mesure en continu du fonctionnement du filtre
 CO = mesure en continu des concentrations de CO (éventuellement de NOx)
 Contrat d'entretien = nécessité d'avoir un contrat d'entretien avec une entreprise spécialisée pour l'entretien et le contrôle de l'installations

Tableau 19 : Récapitulation des exigences pour les chaudières à bois, en fonction de la puissance [13]

Conclusion

Si le bois, qui est géré actuellement par la centrale forestière de Forel, n'est a priori pas l'option idéale pour la Commune de Bourg-en-Lavaux, en ce sens qu'elle n'a pas (plus) de potentiel, il reste néanmoins une option qu'on ne pourra sans doute pas écarter dans le cas où les autres ressources ne

permettraient pas d'atteindre les objectifs environnementaux, comme par exemple couvrir 50% des besoins avec des énergies renouvelables d'ici 2050, selon la CoCEn.

7.5 Air

L'air est une ressource énergétique intéressante pour le chauffage des locaux. Il peut servir de source énergétique à l'évaporateur d'une pompe à chaleur (pompe à chaleur type « air/eau »). L'air étant omniprésent et illimité, cette ressource a l'avantage d'être aisément disponible. Les pompes à chaleur air/eau dépassant quelques dizaines de kW, devront cependant être placées en toiture, pour éviter des circulations d'air trop importantes. De plus à partir de 50-70 kW environ, des caissons d'isolation anti-bruit peuvent être nécessaires, afin d'atténuer les nuisances sonores. L'obligation ou non de mettre un caisson d'isolation dépend du bruit occasionné par l'installation, du degré de sensibilité au bruit dans laquelle se trouve le quartier, et de l'Ordonnance pour la protection contre le bruit qui édicte les valeurs limites d'exposition en fonction du degré de sensibilité au bruit de la zone (cf. Tableau 20). La Commune de Bourg-en-Lavaux se trouve majoritairement en zone de degré III, à l'exception des zones villas qui se trouvent en zone de degré II (cf. Figure 29). Aussi l'installation de pompes à chaleur pour des villas individuelles ne pose pas de problème, ces équipements étant réalisés de manière à satisfaire aux exigences de bruit.

Degré de sensibilité (art. 43)	Valeur de planification Lr en dB (A)		Valeur limite d'immission Lr en dB (A)		Valeur d'alarme Lr en dB (A)	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
I	50	40	55	45	65	60
II	55	45	60	50	70	65
III	60	50	65	55	70	65
IV	65	55	70	60	75	70

Tableau 20 : Valeurs limites d'exposition en fonction de degré de sensibilité au bruit de la zone [40]

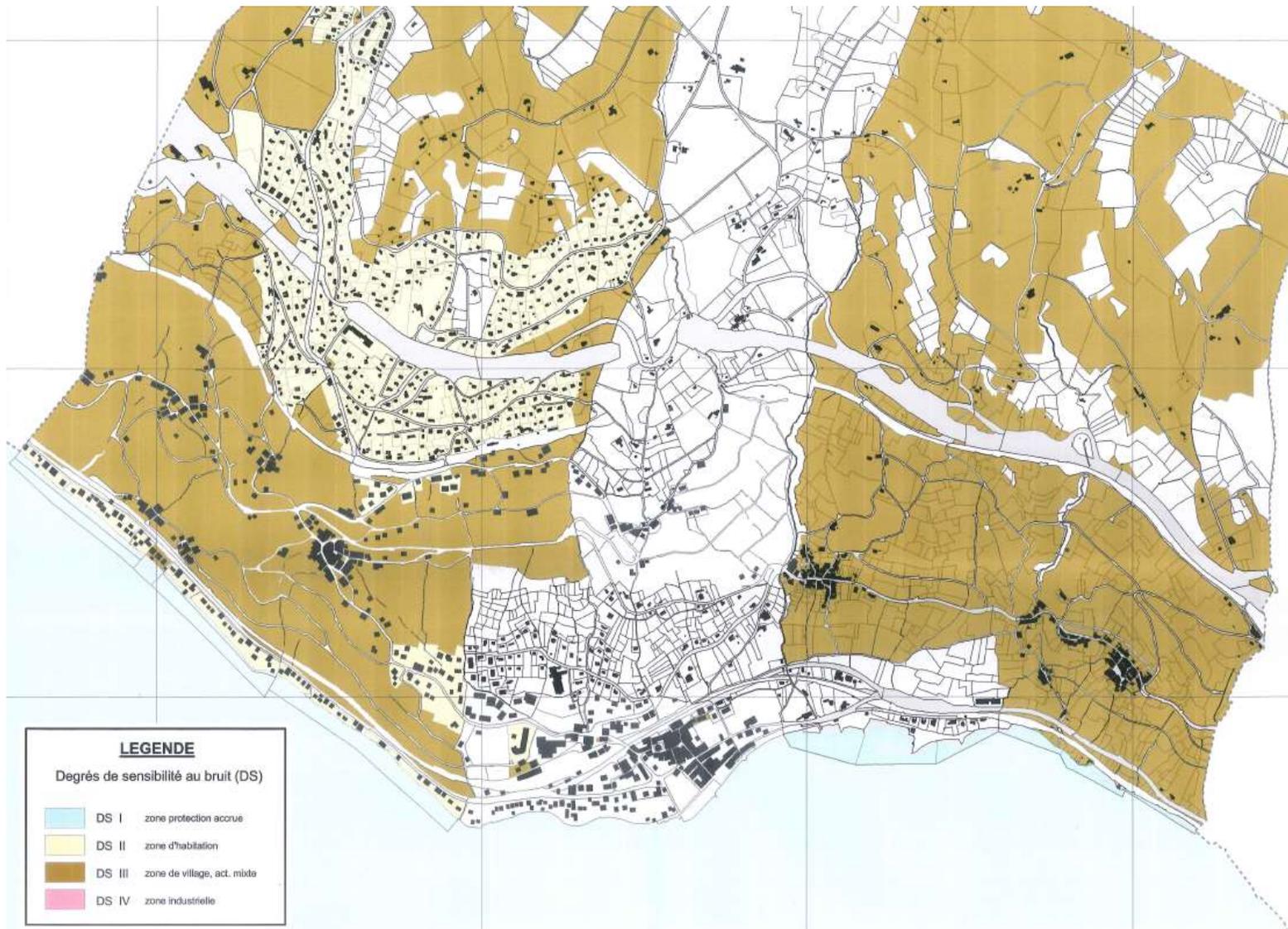


Figure 29 : Zone de sensibilité au bruit de la Commune de Bourg-en-Lavaux [16]

Au niveau énergétique, les pompes à chaleur air/eau ont des rendements annuels qui peuvent être jusqu'à 30% inférieurs aux pompes à chaleur sol/eau, ce qui se traduit par une plus forte consommation d'électricité. En revanche, les pompes à chaleur air/eau sont plus faciles à installer que les pompes à chaleur sol/eau, et moins coûteuses à l'investissement.

Conclusion

L'énergie de l'air présente un potentiel à prendre en considération en l'absence de possibilités d'approvisionnement renouvelable recourant à des systèmes plus performants. Ceci est typiquement le cas pour des quartiers de villas, où les puissances en jeux ne sont pas très élevées.

7.6 Rejets thermiques

Il n'y a pas de rejets thermiques importants valorisables dans la Commune, hormis les rejets de la station d'épuration (STEP). Avec un débit minimal permanent de 850 m³/jour (soit 9,8 l/s), on obtiendrait, en admettant un delta T de 5°C en sortie de STEP, une puissance constante de 205 kW (à l'évaporateur de la pompe à chaleur). Ce potentiel pourrait être intéressant si un bâtiment se trouvait à proximité immédiate de la STEP, or ce n'est pas le cas en l'état. Ainsi les rejets thermiques de la STEP ne seront pas retenus dans la suite de ce rapport.

Conclusion

Les rejets thermiques ne représentent aucun potentiel pour la Commune de Bourg-en-Lavaux.

7.7 Lac Léman

Le Lac Léman représente un réservoir énergétique remarquable et, pour ainsi dire, illimité. L'énergie comprise dans l'eau du lac peut être valorisée de plusieurs manières différentes :

1. Pour le chaud : L'eau du lac peut soit alimenter une pompe à chaleur centralisée, qui dessert un chauffage à distance (Figure 30), soit être acheminée par conduites vers des pompes à chaleur décentralisées, qui alimentent directement les bâtiments dans lesquels elles sont placées (Figure 31).
2. Pour le froid : L'eau du lac est acheminée vers les bâtiments pour fournir du froid soit en mode free-cooling, soit en servant de source froide au condenseur des groupes froid.

Dans le cas où les pompes à chaleur sont décentralisées, on peut faire une séparation hydraulique entre les conduites qui comprennent l'eau du lac et les conduites qui amènent l'eau vers les bâtiments, en ajoutant un échangeur de chaleur et une boucle d'anergie (Figure 32). Cette solution permet également de faire du froid.

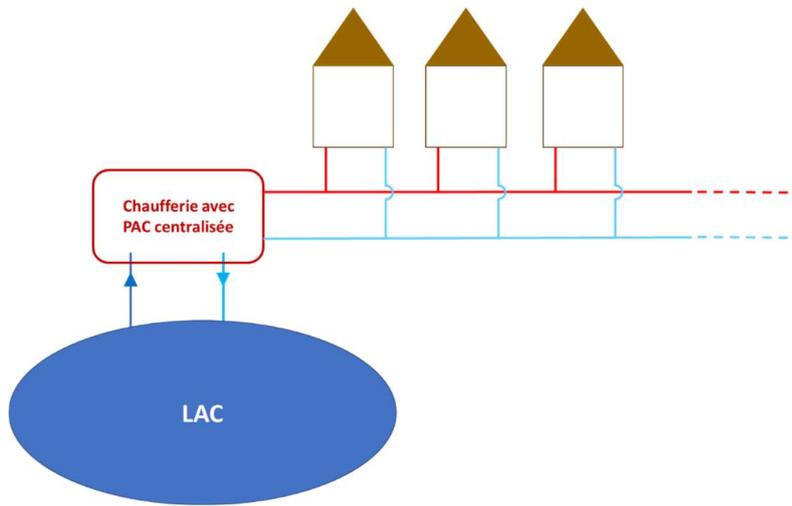


Figure 30 : Option centralisée

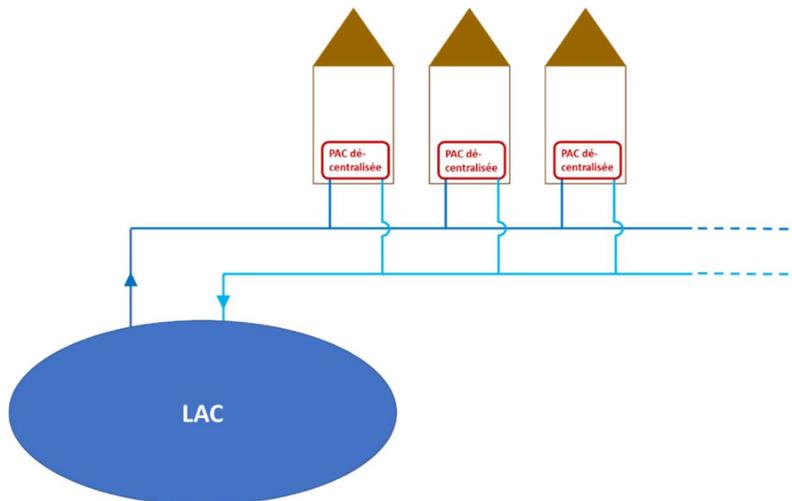


Figure 31 : Option décentralisée

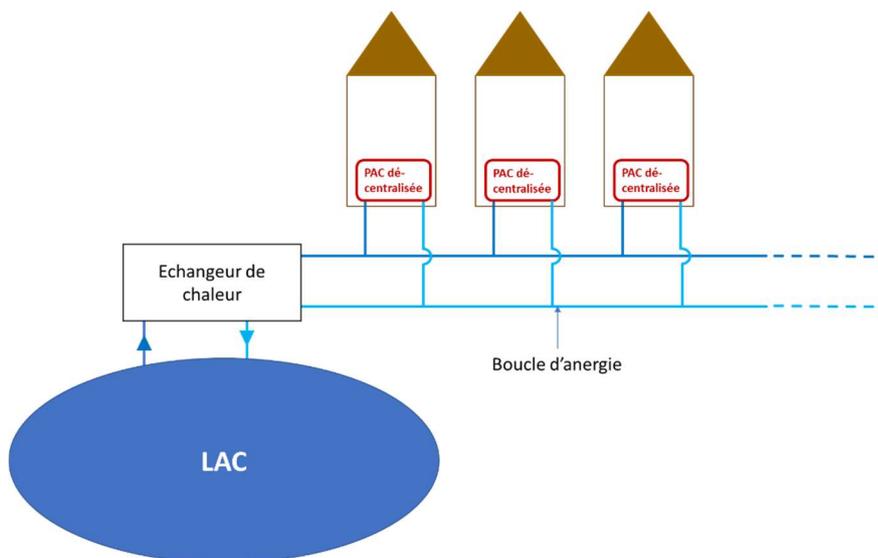


Figure 32 : Option décentralisée avec boucle d'énergie

Précisons également qu’afin de pouvoir valoriser l’eau du lac, il est important, au niveau de la bathymétrie du lac à l’endroit de la prise d’eau, que la pente soit suffisamment prononcée, afin d’atteindre rapidement une profondeur où la température de l’eau reste relativement stable tout au long de l’année (ce qui est le cas à partir de 40m environ sous le niveau du lac). Comme on peut le voir dans la figure ci-dessous, cette condition est largement satisfaite au large de Cully, où le dénivelé est parmi les plus importants de tout le Lac Léman.

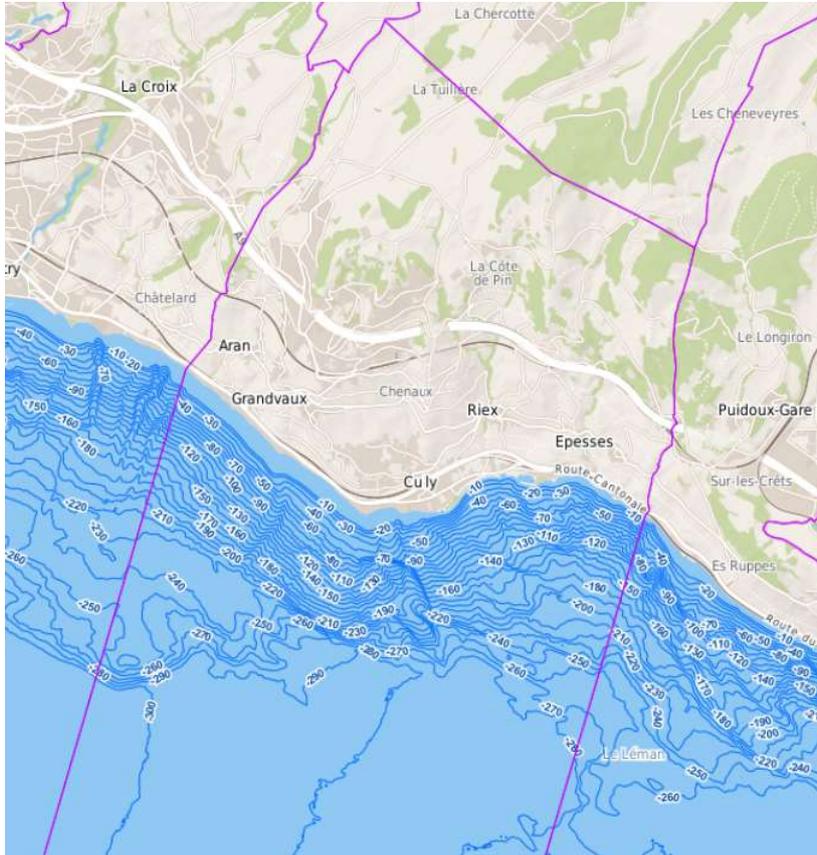


Figure 33 : Profil bathymétrique du Lac Léman au large de Bourg-en-Lavaux [14]

Conclusion

L’eau du Lac est une ressource très intéressante pour la Commune de Bourg-en-Lavaux.

7.8 Energie éolienne

L’environnement protégé (cf. LLavaux) dans lequel se situe la Commune n’est pas propice à la mise en place d’éoliennes. Du reste, à part la pointe Nord-Ouest de la Commune, l’entier de la Commune se situe en zone d’exclusions (en rose sur la figure ci-dessous). De plus, avec une vitesse du vent annuelle moyenne inférieure à 5 m/s à 125 m au-dessus du sol à Bourg-en-Lavaux (cf. Figure 35), la Commune ne figure clairement pas parmi les sites prioritaires pour la mise en place d’éoliennes dans la Canton de Vaud.

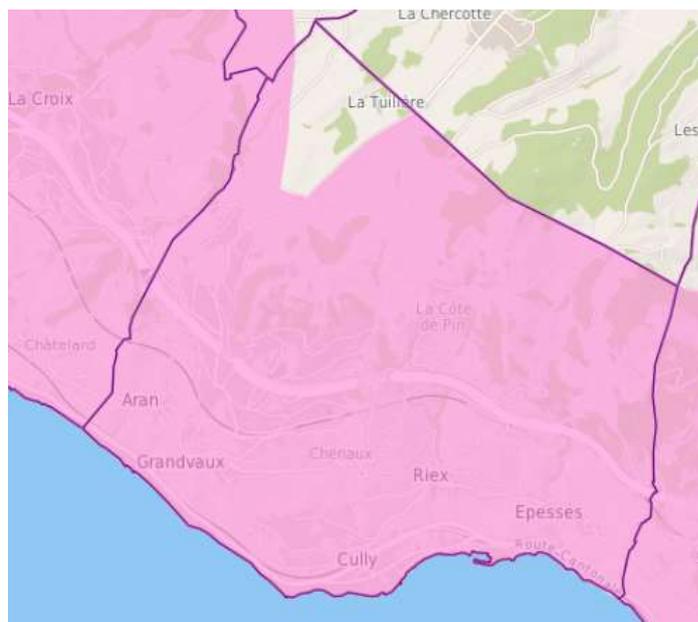
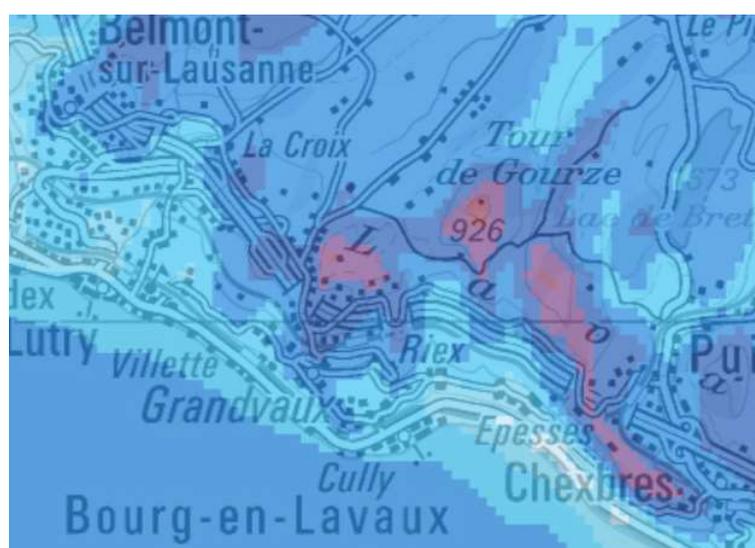


Figure 34 : Secteurs d'exclusion (en rose) pour l'implantation d'éoliennes [37]



Plein écran



Figure 35 : Vitesse moyenne des vents [49]

Conclusion

Il n'y a pas de potentiel éolien valorisable dans la Commune de Bourg-en-Lavaux.

7.9 Biomasse et biogaz

La biomasse et le biogaz font l'objet de stratégies de valorisation au niveau cantonal, et il ne serait pas pertinent de considérer ces ressources au niveau d'une commune seule. Les usines de traitement des déchets verts demandent une masse critique importante pour pouvoir fonctionner de manière efficace

et rentable. De plus, les procédés sont relativement complexes, et nécessitent du personnel dûment formé. Enfin, avec une quantité de biogaz correspondant à 270 MWh/an [69], le potentiel énergétique de ce biogaz reste petit, et ne permettrait pas de constituer une base pour un scénario d’approvisionnement dans le cas présent (Rappel : les besoins de chaleur actuels se montent à près de 50’000 MWh/an, si on additionne les valeurs du Tableau 9 et du Tableau 15). Aussi, cette ressource n’est pas retenue pour la suite de cette étude. Ce d’autant plus qu’une entreprise a récemment montré son intérêt pour récupérer le biogaz issu de la STEP de Bourg-en-Lavaux, afin de l’injecter dans son propre réseau [16].

Conclusion

La biomasse et le biogaz ne représentent pas un potentiel au niveau d’une commune seule.

7.10 Synthèse des ressources

La synthèse des ressources analysées dans le cadre de la présente étude fait état des potentiels suivants :

6. Energie solaire : fort potentiel,
7. Géothermie : potentiel intéressant, mais pour des applications décentralisées (ponctuelles),
8. Energie hydraulique : aucun potentiel,
9. Bois : potentiel intéressant mais pas prioritaire, étant donné qu’il devrait être importé depuis l’extérieur de la Commune,
10. Air : potentiel intéressant, mais pour des applications décentralisées (ponctuelles),
11. Rejets thermiques : aucun potentiel,
12. Lac : fort potentiel,
13. Energie éolienne : aucun potentiel,
14. Biomasse et biogaz : potentiel géré au niveau du Canton.

Les potentiels analysés sont mis en regard des besoins qu’ils permettraient de satisfaire, dans le tableau suivant :

Ressource	Chaleur	Froid	Electricité	Contrainte
Solaire	8%	Rien	158%	Coordonner le solaire thermique et électrique.
Géothermie	11%	100%	Rien	Utilisation situationnelle, potentiel de froid uniquement disponible en coordination avec les besoins de chaud.
Hydraulique	Rien	Rien	Rien	N.A.
Bois	100% si importé	Rien	100% si importé	Construction d'infrastructures potentiellement lourdes si centralisées, bois doit être importé.
Air	100%	100%	Rien	Les pompes à chaleur sur air ne sont performantes que dans les bâtiments bien isolés.
Rejets thermiques	Rien	Rien	Rien	N.A.
Lac Léman	100%	100%	Rien	Potentiel global très théorique, surtout pour les zones éloignées du lac.
Eolien	Rien	Rien	Rien	N.A.

Tableau 21 : Synthèse des ressources et de la fraction des besoins qu’elles permettent de satisfaire

8 Comparaison entre les ressources et les besoins

Cette section est consacrée à la comparaison entre les ressources et les besoins (actuels et futurs) pour les différents secteurs (Signal, Autoroute Sud, CFF, Sud, Aran,...), en vue de l'élaboration de scénarios d'approvisionnement (section 9). Avant de proposer les scénarios d'approvisionnement à proprement parlé, cette section débute cependant par deux sections d'ordre plus général : une première consacrée à la différence entre les modes d'approvisionnement centralisé et décentralisé (section 8.1) , et une deuxième liée à l'importance de la rénovation (section 8.2).

8.1 Approvisionnement centralisé/décentralisé

Globalement il faut distinguer entre deux types d'approvisionnement : l'approvisionnement centralisé (réseau électrique et réseaux thermiques²⁰) et l'approvisionnement décentralisé (pompe à chaleur individuelle par exemple). Si l'approvisionnement en électricité est généralement centralisé²¹, le choix entre centralisé et décentralisé est plus complexe en ce qui concerne l'approvisionnement en énergie thermique. Ce choix dépend en effet, notamment, de la ressource énergétique (bois, eau du Lac Léman,...), de la densité des besoins du secteur, ou encore de la politique énergétique de la commune. Le tableau ci-dessous décrit les principales caractéristiques des CAD, en s'aidant, entre autres, des critères liés à la durabilité (économie, société, environnement) . Ces critères peuvent servir d'aides à la décision pour déterminer si un secteur est propice ou non à la mise en place d'un réseau thermique :

²⁰ Exemples de réseaux thermiques : chauffage à distance, boucle d'énergie.

²¹ Même dans le cas de la pose de panneaux photovoltaïques sur le toit, le système électrique global reste en partie centralisé à partir du moment où les panneaux sont connectés au réseau pour décharger le surplus d'électricité produite.

Élément	Description
Aspect environnemental	<p>Les réseaux thermiques permettent de valoriser des ressources renouvelables qui ne seraient souvent pas valorisées sans l'aide d'un réseau de distribution (car trop coûteux et donc irréaliste). On pense notamment à :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'eau d'un lac, • La géothermie de haute profondeur, <p>qui représentent des potentiels énergétiques importants non seulement de par leur quantité (en MWh disponibles), mais également de par leur disponibilité constante tout au long de l'année. De plus, les réseaux garantissent généralement des rendements supérieurs à ceux d'installations individuelles. Les réseaux représentent donc une option pour ainsi dire indispensable dans le cadre de la transition énergétique, même si, selon la situation, ils peuvent être un peu plus chers que des options décentralisées classiques (chaudières à gaz ou à mazout).</p>
Rentabilité	<p>Il existe diverses valeurs, tirées de l'expérience, qui permettent d'estimer si un réseau sera économiquement rentable ou non. Ces valeurs sont :</p> <p><u>Densités minimales :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Densité linéique min. : 1,5 MWh/m_{lin}/an [26] • Densité surfacique min. : <ul style="list-style-type: none"> • ~300 MWh/ha/an (zone villas ou campagne) [42] • 400-800 MWh/ha/an (zone ville ou fortement encombrée en sous-sol) [42] <p><u>Puissance minimale :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Réseau d'eau du lac avec station de pompage lacustre : minimum ~4 MW [43] • Réseau avec chaufferie bois : minimum ~1,5 MW , estimé à partir de [26] ; ou alors penser à combiner le bois avec une petite fraction de gaz, pour qu'un réseau plus petit puisse rester rentable. <p>Ces valeurs doivent être prises comme des ordres de grandeur, à considérer avec prudence. En effet, la rentabilité effective dépendra des conditions locales. De plus, rappelons que la rentabilité n'est qu'un critère, parmi d'autres, qui entre en compte dans le choix d'un système énergétique, l'autre critère d'importance étant souvent l'aspect environnemental.</p>

Situation/Localisation	<p>Selon la situation du potentiel réseau, les éléments suivants peuvent compliquer sa mise en place :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Topologie : plus un secteur est escarpé, plus la mise en place d'un réseau thermiques est compliquée. • Pavés : si les routes d'un village sont constituées de pavés uniquement, et que ceux-ci doivent être remis en place à l'identique, les coûts d'investissement sont considérablement plus chers. • Accessibilité : la mise en place d'un réseau thermique nécessite des machines de chantier importantes, pour lesquelles l'accès doit être garanti. Typiquement, des chemins viticoles en épingle à cheveux p.ex. peuvent être rédhibitoires. • Proximité de la ressource énergétique : la mise en place d'un réseau alimenté par une ressource donnée (eau du Lac par exemple), sera plus pertinente si le quartier à desservir est également proche de cette ressource.
Société	<p>Les réseaux thermiques sont en général bien acceptés par la population car non bruyant. De plus, ils permettent aux consommateurs de s'affranchir de l'obligation de s'occuper de leur chaufferie. Les réseaux peuvent cependant aussi être perçus comme une perte d'indépendance par certains. De plus, il faut veiller à ce que la chaufferie centralisée n'émette pas d'odeurs indésirables, comme cela peut arriver dans le cas des chaufferies à bois, si elles sont mal situées par rapport aux vents dominants par exemple.</p>

Tableau 22 : Caractéristiques des réseaux centralisés

Au vu du tableau ci-dessus, et en se concentrant sur la Commune de Bourg-en-Lavaux, un réseau thermique aura sa place idéalement dans un secteur proche du Lac Léman (pour la ressource), présentant une densité thermique de plus de 300 MWh/ha/an, et avec une situation la plus favorable possible. En l'état, seul le secteur de Cully Bourg combine ces critères, avec une densité de 426 MWh/ha/an (cf. Figure 36 qui indique les densités thermiques surfaciques de chaque secteur). Comme on le verra cependant dans l'analyse détaillée secteur par secteur, d'autres parties de la Commune pourraient se prêter à la mise en place d'un réseau. En effet, un réseau peut s'avérer pertinent pour une partie de secteur, sans nécessairement desservir l'entier d'un secteur.

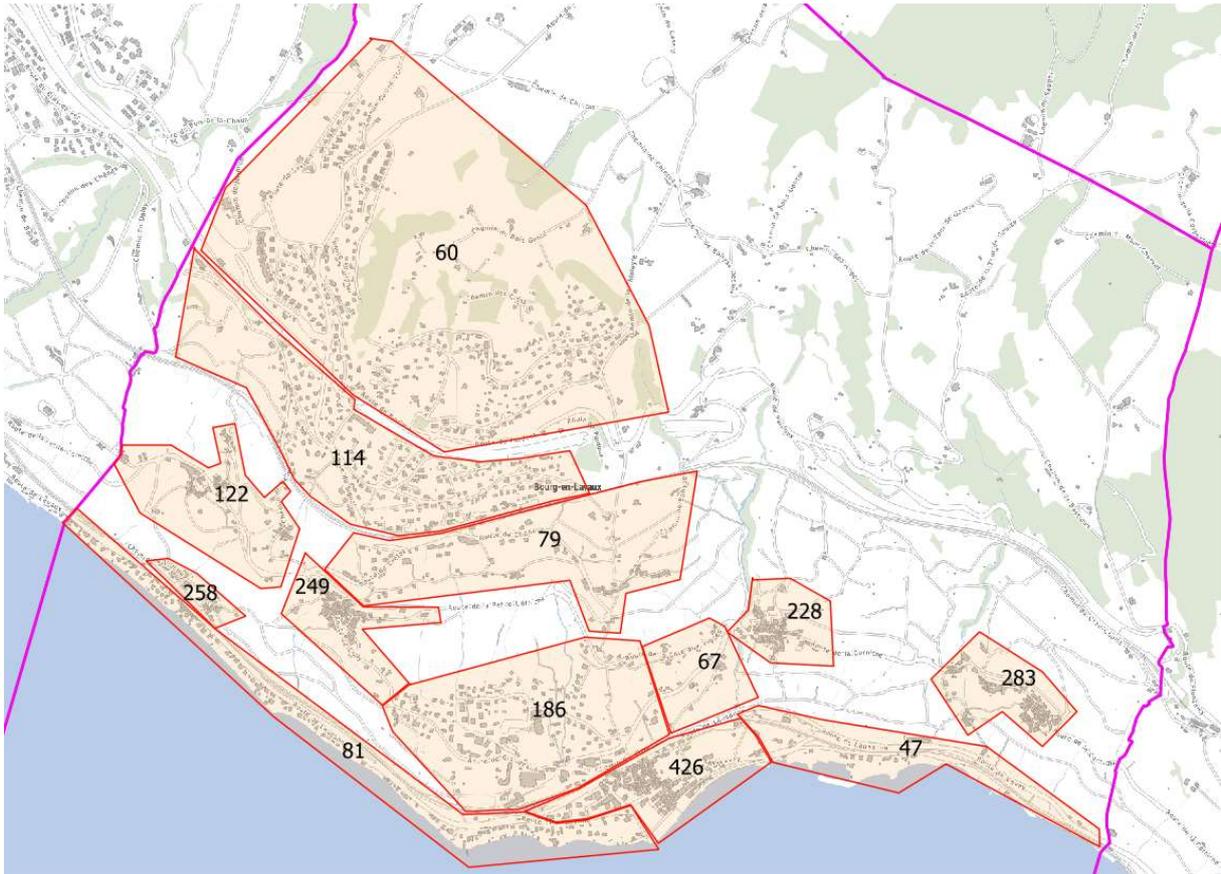


Figure 36 : Densité thermique par secteur (chiffres noirs) [MWh/ha/an]

Il convient de préciser ici que le Canton a également établi une carte de densités thermiques à l'hectare (Figure 37 ci-dessous), en indiquant les hectares qui sont potentiellement propices à la mise en place de réseaux. Cette carte est montrée ici à titre indicatif, mais elle doit être considérée avec prudence, comme un premier indicateur qui doit être approfondi de cas en cas. En effet, cette carte ne tient compte que de la densité thermique, et pas de la topographie des lieux, des ressources disponibles, ou encore des possibilités d'assainissement préalables par exemple. De plus, elle s'appuie sur des critères de rentabilité économique uniquement, pour déterminer si une zone est propice ou non à la mise en place d'un réseau.

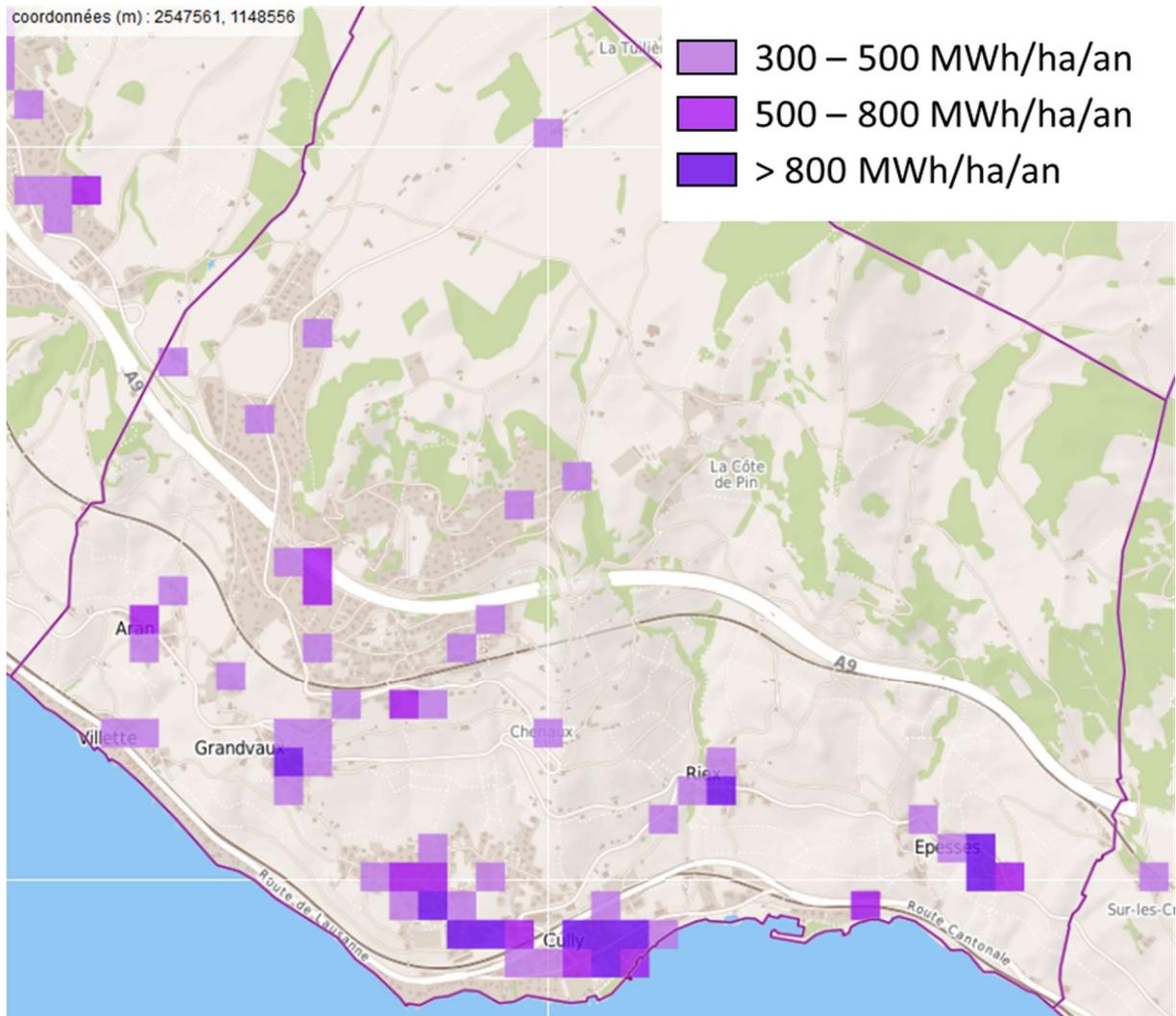


Figure 37 : Pertinence de mettre en place un réseau thermique, par hectare [MWh/ha/an] [37]
 (entre 300 et 500 MWh/ha/an l’hectare est jugé peu favorable, entre 500 et 800 MWh/ha/an l’hectare est jugé favorable, et à plus de 800 MWh/ha/an l’hectare est jugé très favorable)

8.2 Rénovations

L’énergie la moins chère et la moins polluante est celle qu’on ne consomme pas. Avant de proposer des scénarios d’approvisionnement, il convient donc de vérifier quels sont les secteurs dans lesquels les bâtiments devraient idéalement d’abord être rénovés. Comme on l’a vu dans la section 4.1, la consommation de gaz est très élevée, en comparaison avec la SRE pour laquelle les besoins de chaleur sont satisfaits avec du gaz. Ceci est notamment vrai pour les bourgs historiques, et indique clairement qu’une grande partie des bâtiments qui sont chauffés avec du gaz, mériteraient d’être rénovés. En fonction de la complexité de la rénovation, les consommations énergétiques peuvent diminuer de 20% à 50%.

8.3 Scénarios d’approvisionnement

Les scénarios d’approvisionnement sont développés pour chacun des secteurs, en analysant dans quelle mesure les ressources identifiées dans le chapitre 7 sont pertinentes pour le secteur en question.

8.3.1 Signal

Le secteur du Signal est constitué essentiellement de villas individuelles ou jumelles, dont plus des deux tiers ont été construites à partir des années 1980 (Figure 38). Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

		Signal	
Chaleur	Energie (chauf.)	6 862	MWh/an
	Energie (ECS)	1 572	MWh/an
	Puissance	5 432	kW
Froid	Energie	0	MWh/an
	Puissance	0	kW
Electricité	Energie	3 084	MWh/an
SRE		91 522	m ²

Tableau 23 : Besoins énergétiques du secteur du Signal

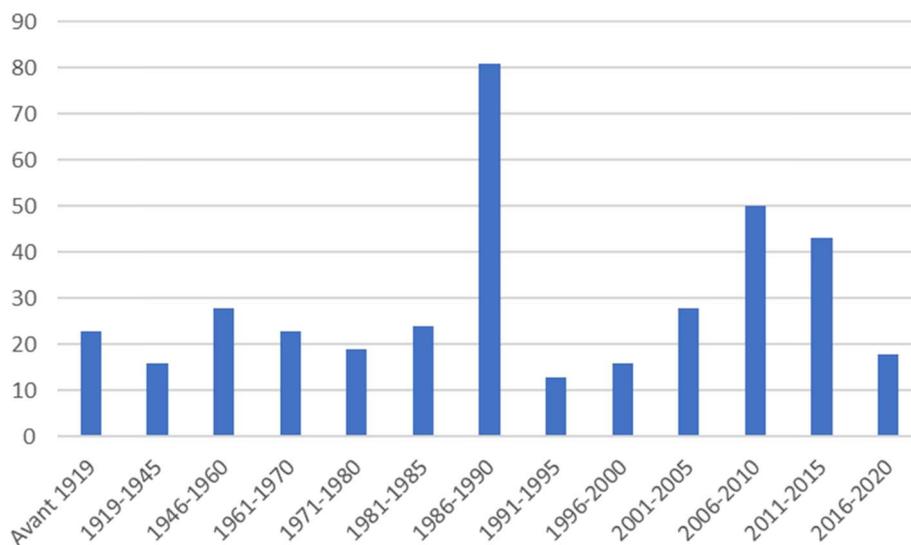


Figure 38 : Époque de construction des bâtiments dans le secteur du Signal [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le Tableau 24 ci-dessous. Précisons que pour l'ensemble des secteurs (sections 8.3.1 à 8.3.14) les remarques suivantes sont valables, et ne seront pas répétées à chaque fois :

1. Pour chacune des ressources pertinentes, on indique le maximum d'énergie qui est théoriquement disponible, et à quelles fins cette énergie est valorisable, soit : chaleur, froid et électricité.
2. Pour l'énergie solaire, on indique deux options :
 - a. Une première option dans laquelle on produit 70% de l'ECS avec des panneaux solaires thermiques, et on recouvre la toiture restante d'éléments photovoltaïques ;
 - b. Une deuxième option dans laquelle la toiture est soit entièrement recouverte d'éléments photovoltaïques (secteurs de villas), soit à 10% (bourgs).

3. Pour le bois, cette ressource devrait, le cas échéant, idéalement être valorisée de manière centralisée avec un réseau de distribution thermique, afin d'obtenir un meilleur rendement de l'installation et une filtration optimale des particules. Ceci dit, si une valorisation centralisée n'est pas possible, une valorisation décentralisée à l'aide de chaudières à pellets est également une option intéressante pour remplacer les énergies fossiles. Pour chaque secteur, on vérifiera donc, si les critères pour la mise en place d'un réseau thermique sont satisfaits ou non.
4. Pour le potentiel géothermique, il convient de tenir compte des points suivants :
 - a. Comme déjà mentionné au chapitre 7.2, le potentiel de geo-cooling dépend fortement de l'équilibre entre la chaleur extraite en hiver, la chaleur injectée en été, et la régénération naturelle du sous-sol²². En d'autres termes, on ne pourra, en général, utiliser une sonde pour faire du geo-cooling en été, que, si en hiver, on utilise cette même sonde pour produire de la chaleur via une pompe à chaleur.
 - b. Les besoins de froid étant très faibles dans la Commune, les potentiels de geo-cooling dépassent largement les besoins. C'est la raison pour laquelle les indications concernant la part de froid, en pourcent, qui peut être satisfaite par geo-cooling, est toujours très élevée.
5. En ce qui concerne le bois, ce dernier sera souvent proposé dans les scénarios d'approvisionnement, du fait de sa bonne capacité à remplacer des chaudières à combustibles fossiles (surtout les chaudières à mazout), et donc à considérablement réduire les émissions de CO₂ (cf. chapitre 7.4). Ceci étant, il est évident que des ressources situationnelles devront être favorisées dans la mesure du possible. De plus, la mise en place d'un CAD alimenté au bois, le cas échéant, devra être analysée de manière approfondie dans une étude ultérieure. Dans le cadre de la présente étude, on se limitera en effet à donner des orientations techniquement faisables, et a priori pertinentes à première vue au niveau de la densité de chaleur nécessaire. Aucune analyse de détail ne peut cependant être faite à l'échelle d'une PET.
6. Toujours concernant le bois, il convient de préciser que, en théorie, il serait logique, et c'est souvent recommandé, de combiner le bois avec des capteurs solaires thermiques afin :
 - a. D'éviter de faire fonctionner des chaufferies alimentées au bois (surtout pour les chaufferies alimentant des chauffages à distance), à bas régime (et donc plus mauvais rendement) en été, lorsque les demandes de chaleur sont faibles,
 - b. De garantir une meilleure disponibilité du bois à long, voire très long terme.

Malheureusement, il sera cependant souvent difficile, pour les capteurs solaires thermiques, de concilier une belle intégration esthétique (comme demandé par la LLavaux), avec la satisfaction de besoins énergétiques.

²² Si on extrait trop de chaleur en hiver, le sous-sol va se refroidir et ne permettra plus de satisfaire les besoins de chaleur, quelques années déjà après la mise en service du système. A l'inverse, si on injecte trop d'énergie en été, le sous-sol va se chauffer et ne permettra plus de rafraîchir le bâtiment, quelques années déjà après la mise en service du système. Il est donc très important de bien dimensionner la sonde, en veillant à ce que l'équilibre énergétique global, sur une année, soit respecté.

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	1101 (ECS)	70% (ECS)	-	-	7 104	230%
	Option 100% PV	-	-	-	-	7 607	247%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	944	11%	340	N.A.	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	8 434	100%	0	N.A.	-	-
Lac Léman	Pas prioritaire	-	-	-	-	-	-

Tableau 24 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur du Signal

Les remarques suivantes peuvent être faites par rapport au tableau ci-dessus, pour le secteur du Signal spécifiquement, sur la base des différents potentiels :

1. Tout d’abord, il convient de remarquer que, vu l’année de construction relativement récente de la majorité des bâtiments, il n’est pas absolument nécessaire d’envisager un plan de rénovation²³.
2. L’énergie solaire permet de satisfaire une partie importante des besoins, tant pour l’ECS que pour l’électricité (où le potentiel solaire en moyenne annuelle dépasse largement les besoins annuels).
3. La géothermie permet de satisfaire une quantité intéressante des besoins de chaleur (11% chauffage + ECS), et est une solution intéressante dans un secteur comme celui du Signal, qui comprend une majorité de villas individuelles.
4. Le bois peut être une option intéressante pour atteindre un objectif de 0% fossile, en complément aux pompes à chaleur (air/eau ou sol/eau).
5. L’air représente également une option intéressante grâce aux pompes à chaleur air/eau, qui pourraient venir en complément par exemple aux pompes à chaleur sur géothermie. La Commune reçoit du reste régulièrement des demandes de permis pour des telles installations dans ce secteur.
6. L’eau du Lac Léman n’est pas une option pour ce secteur.

Pertinence de la mise en place d’un réseau thermique :

Au vu des critères indiqués dans la section 8.1, le secteur du Signal ne répond, a priori, pas aux critères de rentabilité pour la mise en place d’un réseau thermique, à cause de sa faible densité thermique (60 MWh/ha/an). Ceci dit, lorsqu’on regarde de façon plus détaillée il faut se rappeler que :

1. La superficie du secteur est arbitrairement grande, si on considère toute la partie Nord sans habitations (en gris-bleu sur la figure ci-dessous), ce qui influence en l’occurrence négativement la densité thermique.
2. Si on calcule la densité thermique par rapport à la longueur approximative du réseau primaire (tracé vert dans la figure ci-dessous), on obtiendrait une densité cette fois-ci linéique, de

²³ Une rénovation est certes toujours bénéfique, ceci dit, dans le cas du Signal on n’a clairement pas affaire à un groupe de bâtiments anciens.

2,1 MWh/m_{lin}/an (tracé de 4 km environ, pour des besoins en chaleur de 8'434 MWh/an), juste supérieure au 2 MWh/m_{lin}/an représentant le seuil de rentabilité (cf. Tableau 22).

3. Au vu de sa situation en bordure de Commune, à côté de zones largement inhabitées, on peut estimer, en première approximation, qu'il serait possible de placer une chaufferie avec une cheminée qui ne dérange ni au niveau esthétique, ni au niveau des potentielles odeurs.
4. Comme on le verra dans la section 8.3.2, un réseau thermique qui dessert le secteur du Signal, pourrait directement raccorder aussi le secteur Autoroute Sud, et ainsi contribuer de manière conséquente à la réduction des émissions de CO₂ (rappelons que le secteur du Signal est encore chauffé à 53% par des énergies fossiles, et le Secteur Autoroute Sud à 65%).

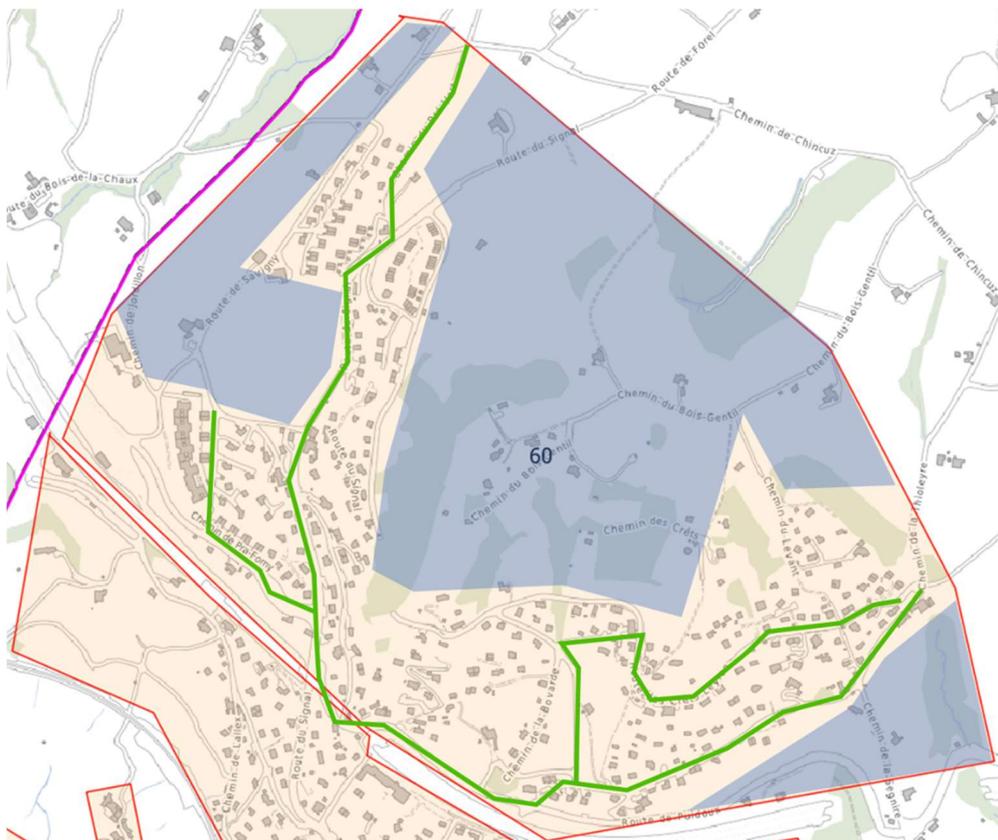


Figure 39 : Tracé approximatif d'un éventuel réseau thermique (en vert, longueur : ~ 4 km), secteur du Signal

Scénario d'approvisionnement

Les panneaux solaires et les pompes à chaleur (sur géothermie ou sur air) sont les principales options d'approvisionnement, suivi par le bois (centralisé ou décentralisé).

8.3.2 Autoroute Sud

Le secteur Autoroute Sud est constitué en grande majorité de logements et d'un collège. Près de 60% des bâtiments ont été construits avant 1986, avec un pic dans les années 1945-1960 (Figure 40). Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

		Autoroute Sud	
Chaleur	Energie (chauf.)	4 123	MWh/an
	Energie (ECS)	864	MWh/an
	Puissance	3 668	kW
	Densité	114	MWh/ha/an
Froid	Energie	0	MWh/an
	Puissance	0	kW
Electricité	Energie	1 677	MWh/an
SRE		54 127	m ²

Tableau 25 : Besoins énergétiques du secteur Autoroute Sud

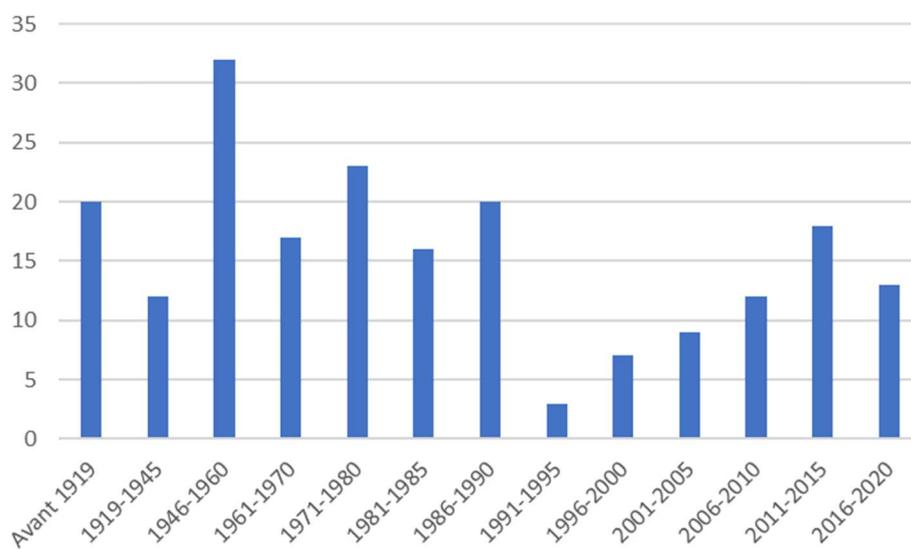


Figure 40 : Epoque de construction des bâtiments dans le secteur Autoroute Sud [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	605 (ECS)	70% (ECS)	-	-	3 897	232%
	Option 100% PV	-	-	-	-	4 173	249%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	1 221	24%	440	N.A.	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	4 987	100%	0	N.A.	-	-
Lac Léman	Pas prioritaire	-	-	-	-	-	-

Tableau 26 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur Autoroute Sud

Les remarques suivantes peuvent être faites par rapport au tableau ci-dessus :

1. Vu l'âge des bâtiments, notamment ceux qui ont été construits avant 1960-1970, il serait souhaitable d'envisager des rénovations.
2. L'énergie solaire permet de satisfaire une partie importante des besoins, tant pour l'ECS que pour l'électricité (où le potentiel solaire en moyenne annuel dépasse largement les besoins annuels).
3. La géothermie permet de satisfaire une quantité non négligeable des besoins de chaleur (24% chauffage + ECS), et est une solution intéressante dans un secteur comme celui d'Autoroute Sud, qui comprend une large fraction de villas individuelles.
4. Le bois peut être une option intéressante pour atteindre un objectif de 0% fossile, en complément aux pompes à chaleur (air/eau ou sol/eau). Pour mémoire, le secteur Autoroute Sud consomme actuellement 65% d'énergie fossile pour couvrir ses besoins de chaleur.
5. L'air représente également une option intéressante grâce aux pompes à chaleur air/eau, qui pourraient venir en complément par exemple aux pompes à chaleur sur géothermie, mais pour autant que le bâtiment soit bien isolé.
6. L'eau du Lac Léman n'est pas une option pour ce secteur.

Pertinence de la mise en place d'un réseau thermique :

Le secteur d'Autoroute Sud ne répond, a priori, pas aux critères de rentabilité pour la mise en place d'un réseau thermique, à cause de sa faible densité thermique (114 MWh/ha/an). Comme pour le secteur du Signal, et en calculant la densité thermique par rapport à la longueur approximative du réseau primaire (tracé vert dans la figure ci-dessous), on obtiendrait une densité linéique, entre 1,4 MWh/m_{lin}/an et presque 2 MWh/m_{lin}/an (tracé de 2,5 à 3,5 km environ, selon le niveau de précision, pour des besoins en chaleur de 4'987 MWh/an). C'est juste inférieur au 2 MWh/m_{lin}/an représentant le seuil de rentabilité (cf. Tableau 22). Ce réseau pourrait cependant facilement être relié au potentiel réseau du secteur du Signal. Cette solution permettrait notamment de s'affranchir des 65% d'énergie fossiles consommées aujourd'hui dans le secteur pour la chaleur. On ne peut donc exclure cette option, très intéressante au niveau environnemental, sans une analyse très précise.

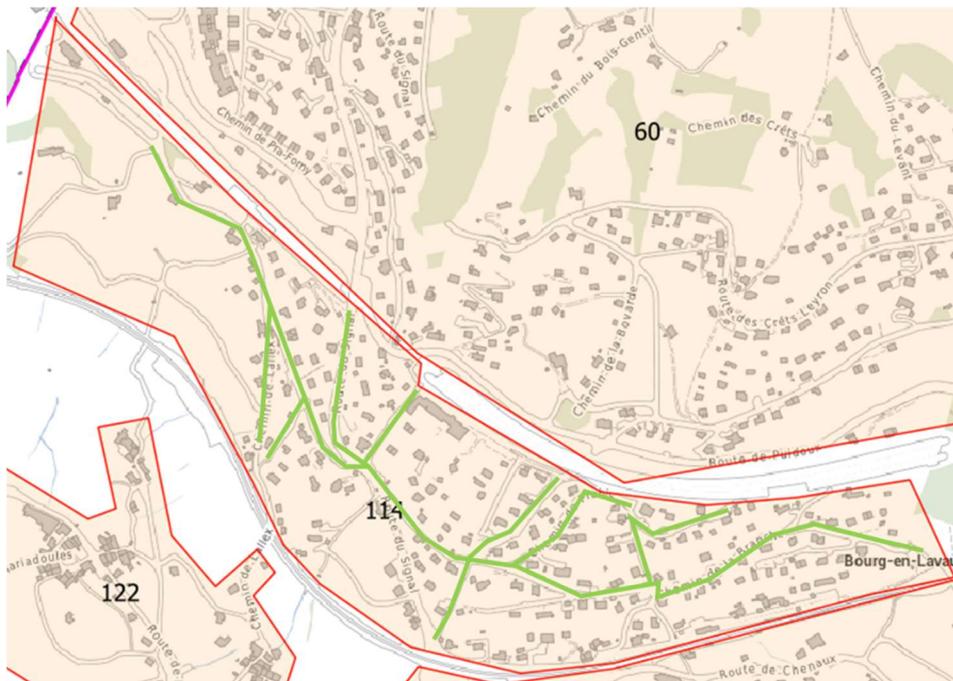


Figure 41 : Tracé approximatif d'un éventuel réseau thermique (en vert, longueur : ~ 3,5 km), secteur Autoroute Sud

Scénario d’approvisionnement

Les panneaux solaires et les pompes à chaleur (sur géothermie ou sur air) sont les principales options d’approvisionnement. Avant d’installer une pompe à chaleur, on veillera cependant à analyser dans quelle mesure une rénovation préalable n’est pas pertinente. Le bois pourrait également être une option particulièrement intéressante si un chauffage à distance peut être mis en place, ou alors sinon de façon décentralisée.

8.3.3 CFF Sud

Le secteur CFF Sud est constitué presque exclusivement de logements et d’exploitations viticoles. Presque la totalité des bâtiments, a été construite avant 1980, avec un pic avant 1919 (Figure 42). Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

		CFF Sud	
Chaleur	Energie (chauf.)	2 356	MWh/an
	Energie (ECS)	529	MWh/an
	Puissance	2 257	kW
	Densité	79	MWh/ha/an
Froid	Energie	0	MWh/an
	Puissance	0	kW
Electricité	Energie	1 045	MWh/an
SRE		31 299	m ²

Tableau 27 : Besoins énergétiques du secteur CFF Sud

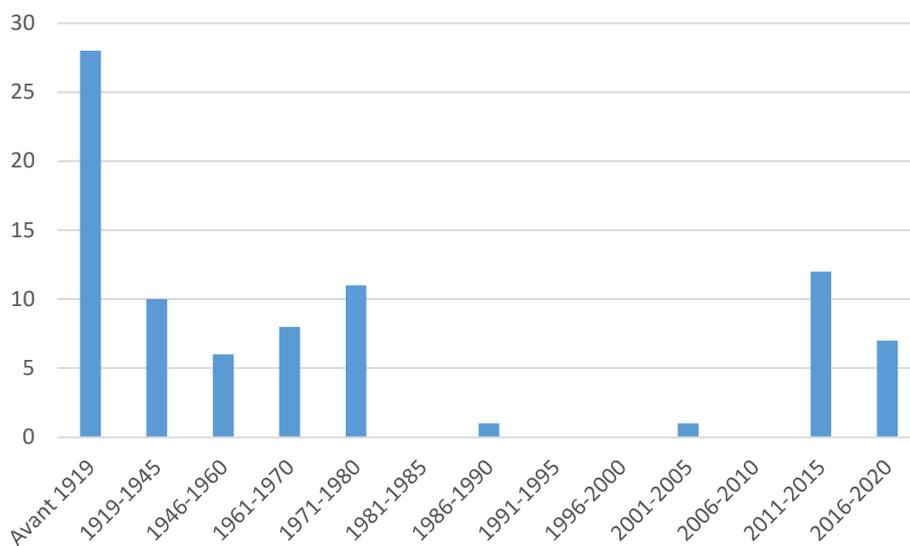


Figure 42 : Epoque de construction des bâtiments dans le secteur CFF Sud [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	371 (ECS)	70% (ECS)	-	-	1 725	165%
	Option 100% PV	-	-	-	-	1 894	181%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	722	25%	260	N.A.	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	2 884	100%	0	N.A.	-	-
Lac Léman	Pas prioritaire	-	-	-	-	-	-

Tableau 28 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur de CFF Sud

Les remarques suivantes peuvent être faites par rapport au tableau ci-dessus :

1. Vu l'âge des bâtiments, notamment ceux qui ont été construits avant 1919, il serait souhaitable d'envisager des rénovations.
2. L'énergie solaire permet de satisfaire une partie importante des besoins, tant pour l'ECS que pour l'électricité (où le potentiel solaire en moyenne annuelle dépasse largement les besoins en moyenne annuelle).
3. La géothermie permet de satisfaire une quantité très intéressante des besoins de chaleur (25% chauffage + ECS), surtout dans un secteur comme celui de CFF Sud, qui comprend une large fraction de maisons individuelles.
4. Le bois peut être une option pour atteindre un objectif de 0% fossile, en complément aux pompes à chaleur (sol/eau ou air/eau).
5. L'air représente également une option intéressante grâce aux pompes à chaleur air/eau, qui pourraient venir en complément par exemple aux pompes à chaleur sur géothermie, mais pour autant que le bâtiment soit bien isolé.
6. L'eau du Lac Léman n'est pas une option pour ce secteur.

Pertinence de la mise en place d'un réseau thermique :

Le secteur de CFF Sud ne répond, a priori, pas aux critères de rentabilité pour la mise en place d'un réseau thermique, à cause de sa faible densité thermique (79 MWh/ha/an). Même en considérant la densité linéique, en admettant un tracé approximatif tel que représenté sur la figure ci-dessous, on n'atteindrait que 0,06 MWh/m_{lin}/an. De plus, aucune ressource énergétique (eau du Lac, géothermie) ne justifierait la mise en place d'un réseau. Seule une extension d'un réseau alimentant les secteurs Signal et Autoroute Sud, le cas échéant, pourrait éventuellement être envisagée.

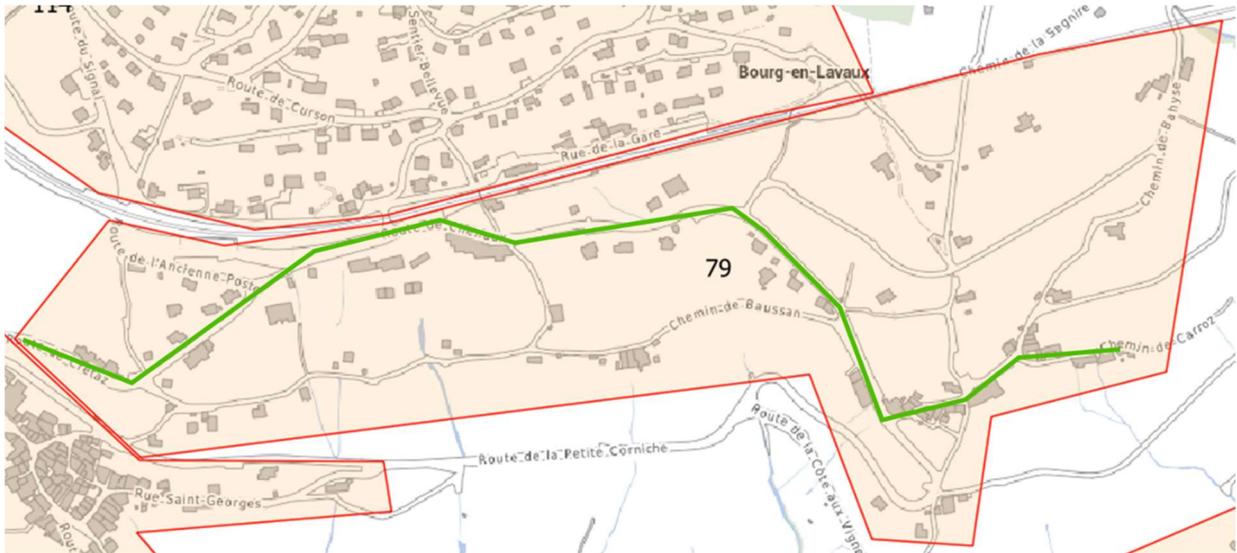


Figure 43 : Tracé approximatif d'un éventuel réseau thermique (en vert, longueur : ~ 1,2 km), secteur CFF Sud

Scénario d'approvisionnement

Les panneaux solaires et les pompes à chaleur (sur géothermie ou sur air) sont les principales options d'approvisionnement, le bois uniquement à titre ponctuel. Avant d'installer une pompe à chaleur, on veillera cependant à analyser dans quelle mesure une rénovation préalable n'est pas pertinente.

8.3.4 Aran

Le secteur d'Aran est constitué presque exclusivement de maisons villageoises. A quelques bâtiments près, la totalité des bâtiments a été construite avant 1980, avec un pic avant 1919 (Figure 42). Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

		Aran	
Chaleur	Energie (chauf.)	2 035	MWh/an
	Energie (ECS)	314	MWh/an
	Puissance	1 395	kW
	Densité	122	MWh/ha/an
Froid	Energie	0	MWh/an
	Puissance	0	kW
Electricité	Energie	655	MWh/an
SRE		20 551	m ²

Tableau 29 : Besoins énergétiques du secteur d'Aran

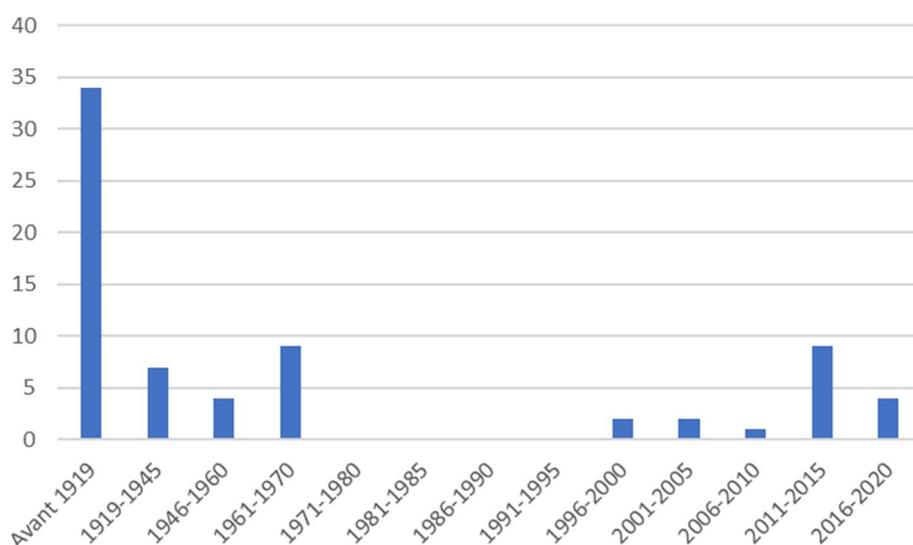


Figure 44 : Epoque de construction des bâtiments dans le secteur d'Aran [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	0 (ECS)	0% (ECS)	-	-	102	16%
	Option 100% PV	-	-	-	-	102	16%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	333	14%	120	N.A.	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	2 349	100%	0	N.A.	-	-
Lac Léman	Pas prioritaire	-	-	-	-	-	-

Tableau 30 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur d'Aran

Les remarques suivantes peuvent être faites par rapport au tableau ci-dessus :

1. Vu l'âge des bâtiments, notamment ceux qui ont été construits avant 1919, il serait souhaitable d'envisager des rénovations.

2. Malgré les hypothèses relativement restrictives prises par rapport aux bourgs, l'énergie solaire permet de satisfaire une partie non négligeable des besoins d'électricité, puisque cette part atteint 16%.
3. La géothermie permet de satisfaire une quantité intéressante des besoins de chaleur (14% chauffage + ECS).
4. Le bois peut être une option pour atteindre un objectif de 0% fossile, en complément aux pompes à chaleur (sol/eau ou air/eau), que ce soit de manière décentralisée ou centralisée.
5. L'air représente éventuellement une option ponctuelle avec les pompes à chaleur air/eau, mais pour autant que le bâtiment soit correctement isolé, et que les aspects esthétiques (protection du patrimoine) et acoustique (cœur du bourg très dense) soient respectés.
6. L'eau du Lac Léman n'est pas une option pour ce secteur.

Pertinence de la mise en place d'un réseau thermique :

Le secteur d'Aran ne répond, a priori, pas aux critères de rentabilité pour la mise en place d'un réseau thermique, à cause de sa faible densité thermique (122 MWh/ha/an). Cependant, la superficie du secteur est arbitrairement grande, étant donné qu'elle comprend une grande surface dédiée uniquement à la vigne. Si on calcule la densité linéique par rapport à la longueur approximative du réseau primaire (tracé vert dans la figure ci-dessous), on obtiendrait cette fois-ci une densité de 2,8 MWh/m_{lin}/an (tracé de 650 m environ, pour des besoins en chaleur de 1'760 MWh/an, soit 75% des besoins totaux²⁴), bien supérieure au 2 MWh/m_{lin}/an représentant le seuil de rentabilité (cf. Tableau 22). De plus, avec plus de 70% d'énergie fossile consommée pour satisfaire les besoins de chaleur, un réseau alimenté au bois pourrait être une opportunité de limiter efficacement le recours à ces énergies fossiles.

²⁴ On ne considère que 75% des besoins, pour tenir compte du fait que la partie est du bourg n'est pas connectée au réseau tel que représenté sur la Figure 45.

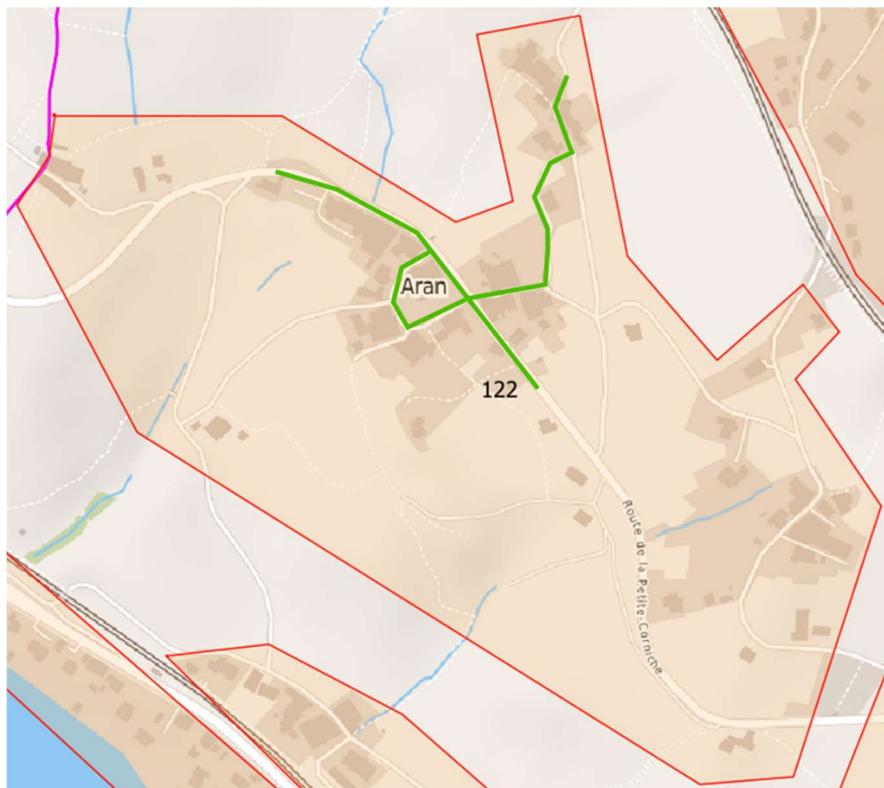


Figure 45 : Tracé approximatif d'un éventuel réseau thermique (en vert, longueur : ~ 650 m), secteur d'Aran Secteur

Scénario d'approvisionnement

Le bois représente un scénario intéressant pour diminuer de façon importante le recours aux énergies fossiles. Les pompes à chaleur (air/eau ou sol/eau) pourraient également être une option, pour autant cependant qu'elles soient installées dans des bâtiments rénovés ou présentant des performances énergétiques adaptées aux pompes à chaleur. Enfin les tuiles solaires représentent un potentiel non négligeable.

8.3.5 Grandvaux Bourg

Tout comme le secteur d'Aran, le secteur de Grandvaux Bourg est constitué presque exclusivement de maisons villageoises. A quelques bâtiments près, la totalité des bâtiments a été construite avant 1970, avec un pic avant 1919 (Figure 46). Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

		Grandvaux Bourg	
Chaleur	Energie (chauf.)	2 335	MWh/an
	Energie (ECS)	392	MWh/an
	Puissance	1 725	kW
	Densité	249	MWh/ha/an
Froid	Energie	0	MWh/an
	Puissance	0	kW
Electricité	Energie	774	MWh/an
SRE		23 588	m ²

Tableau 31 : Besoins énergétiques du secteur de Grandvaux Bourg

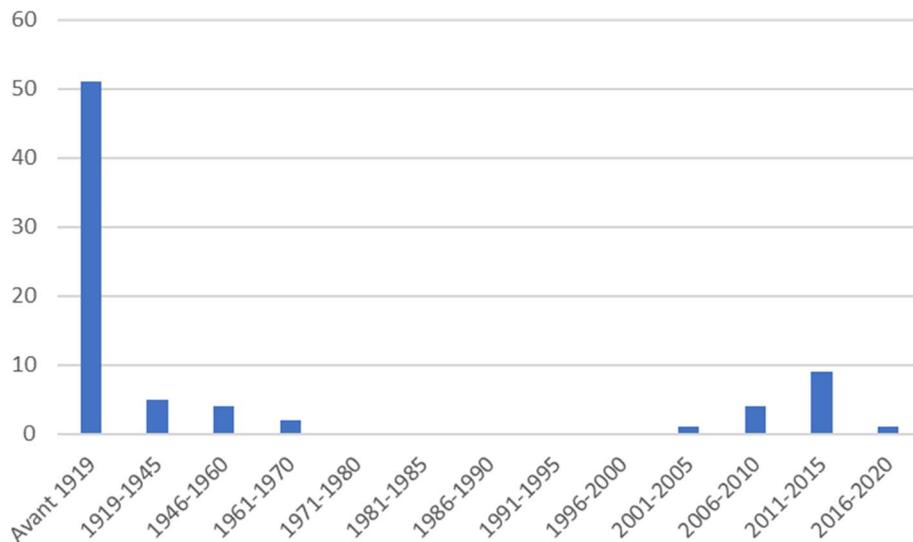


Figure 46 : Epoque de construction des bâtiments dans le secteur de Grandvaux Bourg [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	0 (ECS)	0% (ECS)	-	-	132	17%
	Option 100% PV	-	-	-	-	132	17%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	278	10%	100	N.A.	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	2 727	100%	0	N.A.	-	-
Lac Léman	Pas prioritaire	-	-	-	-	-	-

Tableau 32 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur Grandvaux Bourg

Les remarques suivantes peuvent être faites par rapport au tableau ci-dessus :

1. Vu l'âge des bâtiments, notamment ceux qui ont été construit avant 1919, il serait souhaitable d'envisager des rénovations.

2. Malgré les hypothèses relativement restrictives prises à l'encontre des bourgs, l'énergie solaire permet de satisfaire une partie non négligeable des besoins d'électricité, puisque cette part atteint 17%.
3. La géothermie, permet de satisfaire une fraction intéressante des besoins de chaleur (10% chauffage + ECS).
4. Le bois peut être une option intéressante pour atteindre un objectif de 0% fossile, en complément aux pompes à chaleur (air/eau ou sol/eau), que ce soit de manière décentralisée ou centralisée.
5. L'air représente éventuellement une option ponctuelle avec les pompes à chaleur air/eau, mais pour autant que le bâtiment soit correctement isolé, et que les aspects esthétiques (protection du patrimoine) et acoustique (cœur du bourg très dense) soient respectées.
6. L'eau du Lac Léman n'est pas une option pour ce secteur.

Pertinence de la mise en place d'un réseau thermique :

Tout comme le bourg d'Aran, le bourg de Grandvaux ne répond, a priori, pas aux critères de rentabilité pour la mise en place d'un réseau thermique, à cause de sa faible densité thermique (249 MWh/ha/an). En revanche, en suivant le tracé approximatif du réseau indiqué dans la figure ci-dessous, on obtiendrait une densité linéique de 5,6 MWh/m_{lin}/an (tracé de 490 m environ, pour des besoins en chaleur de 2'727 MWh/an), bien supérieure au 2 MWh/m_{lin}/an représentant le seuil de rentabilité (cf. Tableau 22). De plus, tout comme à Aran, avec plus de 80% d'énergie fossile consommée pour satisfaire les besoins de chaleur, un réseau alimenté au bois pourrait être une opportunité de limiter efficacement le recours à de type d'énergies, si on peut placer la cheminée de façon à ne pas déranger l'esthétique des lieux et le voisinage (odeurs).



Figure 47 : Tracé approximatif d'un éventuel réseau thermique (en vert, longueur : ~ 650 m), secteur Grandvaux Bourg

Scénario d’approvisionnement

Un réseau alimenté par du bois représente un scénario intéressant pour diminuer de façon importante le recours aux énergies fossiles. Les pompes à chaleur (air/eau ou sol/eau) pourraient éventuellement être une option, pour autant cependant qu’elles soient installées dans des bâtiments rénovés ou présentant des performances énergétiques adaptées aux pompes à chaleur. Enfin les tuiles solaires représentent un potentiel non négligeable.

8.3.6 Cully villas

Comme son nom l’indique, le secteur de Cully villas est constitué de nombreuses villas individuelles mais aussi de logements collectifs. 60% des bâtiments ont été construits avant 1980, et le reste a été construit de façon plus ou moins homogène, entre 1980 et aujourd’hui (Figure 48). Précisons que ce secteur représente un centre local à densifier (selon la LATC). C’est dans ce secteur que se situe le seul grand projet de développement de la Commune de ces prochaines années, à savoir l’extension de l’hôpital et l’aménagement du plateau de la Gare de Cully. Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous (en incluant les futures consommations liées à l’extension de l’hôpital et à l’aménagement du plateau de la Gare de Cully) :

		Cully villas	
Chaleur	Energie (chauf.)	5 905	MWh/an
	Energie (ECS)	1 703	MWh/an
	Puissance	6 218	kW
	Densité	173	MWh/ha/an
Froid	Energie	660	MWh/an
	Puissance	625	kW
Electricité	Energie	2 928	MWh/an
SRE		97 086	m ²

Tableau 33 : Besoins énergétiques du secteur de Cully villas

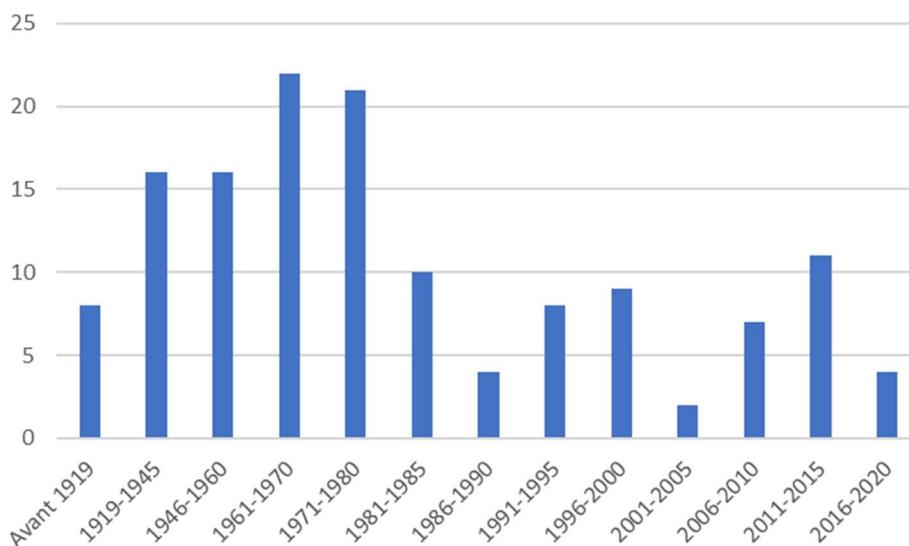


Figure 48 : Epoque de construction des bâtiments dans le secteur de Cully villas [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	809 (ECS)	70% (ECS)	-	-	3 911	134%
	Option 100% PV	-	-	-	-	4 281	146%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	777	10%	280	45%	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	7 608	100%	620	100%	-	-
Lac Léman	Pompes à chaleur individuelles ou centralisée pour la chaleur, freecooling ou groupes froid pour le froid	Réservoir d'énergie considéré infini	0-100%	Réservoir d'énergie considéré infini	0-100%	-	-

Tableau 34 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur de Cully Villas

Les remarques suivantes peuvent être faites par rapport aux solutions proposées dans le tableau ci-dessus :

1. Vu l'âge des bâtiments, il y a certes un certain nombre d'entre eux qui mériterait d'être rénové, mais on ne peut pas généraliser cette remarque à l'ensemble du secteur.
2. L'énergie solaire permet de satisfaire une partie importante des besoins, tant pour l'ECS que pour l'électricité (où le potentiel solaire en moyenne annuelle avoisine les besoins en moyenne annuelle).
3. La géothermie permet de satisfaire une quantité non négligeable des besoins de chaleur (10% chauffage + ECS).
4. Comme pour d'autres secteurs, le bois pourrait être une option intéressante pour aider à atteindre un objectif de 0% fossile, en complément aux pompes à chaleur (air/eau ou sol/eau), que ce soit de manière décentralisée ou centralisée. Pour mémoire, le secteur produit la chaleur à 93% à l'aide d'énergies fossiles. Avec la proximité immédiate du lac, le bois est cependant en concurrence directe avec le lac, si on souhaitait mettre en place une solution centralisée.
5. L'air représente également une option intéressante grâce aux pompes à chaleur air/eau, qui pourraient venir en complément par exemple aux pompes à chaleur sur géothermie, notamment pour des puissances en-dessous de 50 kW environ. Il convient également de veiller à respecter l'aspect esthétique (protection du patrimoine).
6. Le Lac Léman, de par sa proximité avec le secteur de Cully villas, pourrait représenter une option de choix dans le cadre d'un réseau thermique.

Pertinence de la mise en place d'un réseau thermique :

Le secteur de Cully villas ne répond pas, a priori, aux critères de rentabilité pour la mise en place d'un réseau thermique, à cause de sa trop faible densité thermique (186 MWh/ha/an). De plus, contrairement aux autres secteurs, il est plus difficile ici de déterminer une densité linéique : Il n'y a pas de tracé plus ou moins « naturel » qui ressort. Rappelons cependant ici que les critères de rentabilité mentionnés plus haut (section 8.1) sont généraux, et ne tiennent pas compte de spécificités locales. Selon l'étude consacrée à l'approvisionnement énergétique de l'extension de l'hôpital et du développement du Plateau de la Gare de Cully [20], un réseau thermique alimenté en énergie par l'eau du Lac Léman est bel et bien rentable dans le cas présent. L'analyse des raisons de cette rentabilité

dépasse le cadre de la présente étude. La Commune évoque certaines pistes qui pourraient l'expliquer :

1. L'extension de l'hôpital et le développement du Plateau de la Gare de Cully concernent des constructions neuves, pour lesquelles la stratégie d'approvisionnement énergétique a pu être développée et intégrée au projet dès le début. Il ne s'agit donc pas, comme c'est le cas dans l'immense majorité des projets de chauffage à distance, d'une stratégie d'approvisionnement qui est venue « par après », une fois les bâtiments construits, et qui a dû se greffer tant bien que mal sur l'existant.
2. Le nombre d'acteurs impliqués est très faible, contrairement à un réseau thermique classique qui nécessite d'aller consulter un nombre conséquent de propriétaires à convaincre. De plus, tant l'hôpital que les CFF ont souhaité, dès le début, un approvisionnement énergétique qui soit, dans la mesure du possible, 100% renouvelable. Le travail de « porte-à-porte » inhérent à la mise en place de nombreux réseaux thermiques étaient donc très limité, voire même totalement inexistant.
3. La mise en place de l'infrastructure énergétique peut se faire en même temps que la mise en place des autres infrastructures (télécommunications, eaux claires et eaux usées,...), réduisant les coûts globaux.

Enfin, concernant le bois, il représente également une option, même si pour le secteur de Cully Villas, l'eau du Lac Léman est plus pertinente.

Scénario d'approvisionnement

L'eau du lac est techniquement une option idéale, surtout d'un point de vue environnemental. D'un point de vue purement économique cependant, il faudra veiller à atteindre un seuil de rentabilité (puissance) suffisant. A ce niveau, le bois présente une autre ressource intéressante. Les panneaux solaires sont sans contexte une option d'approvisionnement importante. Quant aux pompes à chaleur (sur géothermie ou sur air) elles présentent aussi un certain potentiel. C'est donc sans doute une combinaison de nombreuses variantes qui se dessine pour ce secteur.

8.3.7 La Corniche

Le secteur de la Corniche n'est constitué que de logements et de domaines viticoles. L'immense majorité des bâtiments a été construite avant 1960 (Figure 49). Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

		Corniche	
Chaleur	Energie (chauf.)	559	MWh/an
	Energie (ECS)	98	MWh/an
	Puissance	471	kW
	Densité	67	MWh/ha/an
Froid	Energie	0	MWh/an
	Puissance	0	kW
Electricité	Energie	191	MWh/an
SRE		5 642	m ²

Tableau 35 : Besoins énergétiques du secteur de la Corniche

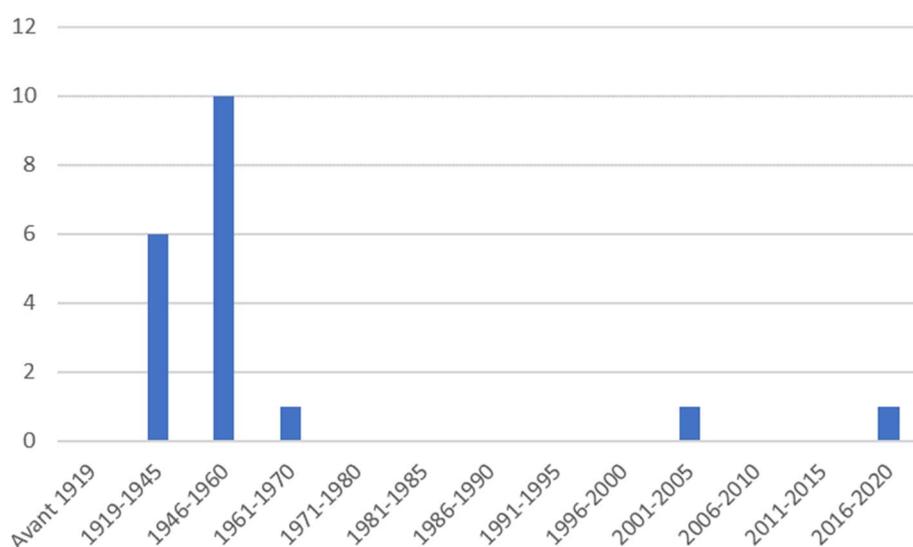


Figure 49 : Epoque de construction des bâtiments dans le secteur de La Corniche [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	0 (ECS)	0% (ECS)	-	-	41	22%
	Option 100% PV	-	-	-	-	41	22%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	0	0%	0	N.A.	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	657	100%	0	N.A.	-	-
Lac Léman	Pas prioritaire	-	-	-	-	-	-

Tableau 36 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur de la Corniche

Les remarques suivantes peuvent être faites par rapport aux solutions proposées dans le tableau ci-dessus :

1. Vu l'âge des bâtiments, notamment ceux qui ont été construits avant 1960, il serait souhaitable d'envisager des rénovations.

2. L'énergie solaire permet de satisfaire une partie intéressante des besoins d'électricité (22%), s'agissant d'un bourg (et donc d'un secteur avec a priori des possibilités plus limitées).
3. La géothermie, qui avait été exclue de l'analyse du potentiel pour le secteur de La Corniche (section 7.2), ne permet a priori pas de satisfaire des besoins de chaleur (chauffage + ECS), ou alors uniquement de manière très ponctuelle²⁵.
4. Le bois peut représenter une option, mais également de manière ponctuelle uniquement.
5. L'air représente éventuellement une option ponctuelle avec les pompes à chaleur air/eau, mais pour autant que le bâtiment soit correctement isolé, et l'aspect esthétique respecté (protection du patrimoine).
6. Le Lac Léman n'est pas une option pour ce secteur.

Pertinence de la mise en place d'un réseau thermique :

Economiquement, le secteur de La Corniche ne répond pas aux critères de rentabilité pour la mise en place d'un réseau thermique, à cause de sa trop faible densité thermique (67 MWh/ha/an). D'autre part, contrairement aux autres secteurs, il est difficilement envisageable ici de tracer un réseau approximatif, car le secteur est assez « éclaté ». Il n'y a pas de concentration de bâtiments autour d'une centralité donnée. Les solutions d'approvisionnement individuelles (décentralisées), sont donc plus pertinentes.

Scénario d'approvisionnement

Hormis le soleil qui représente un certain potentiel, aucune ressource ne se détache clairement pour ce secteur, ce qui n'est pas étonnant au vu de l'âge des bâtiments et du fait qu'il n'y a pas de centralité. Chaque bâtiment devrait l'objet d'une étude spécifique afin de pouvoir déterminer quelle est l'option la plus pertinente pour le bâtiment en question (chaudière bois, pompe à chaleur sur air ou sonde,...).

8.3.8 Riex Bourg

Le secteur de Riex Bourg est constitué essentiellement de maisons villageoises et de domaines viticoles. Les bâtiments ont été construits majoritairement avant 1920 (Figure 49). Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

²⁵ On ne peut pas exclure qu'on puisse placer ici ou là une sonde, mais globalement la majorité du secteur se trouve en zone à autorisation limitée pour mettre des sondes.

		Rieux Bourg	
Chaleur	Energie (chauf.)	1 617	MWh/an
	Energie (ECS)	284	MWh/an
	Puissance	1 206	kW
	Densité	228	MWh/ha/an
Froid	Energie	0	MWh/an
	Puissance	0	kW
Electricité	Energie	852	MWh/an
SRE		16 331	m ²

Tableau 37 : Besoins énergétiques du secteur de Rieux Bourg

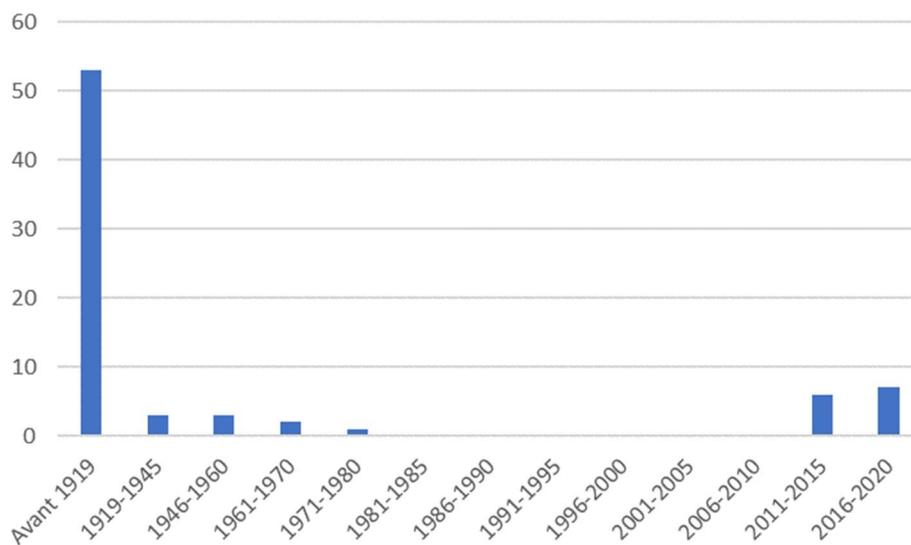


Figure 50 : Epoque de construction des bâtiments dans le secteur de Rieux Bourg [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	0 (ECS)	0% (ECS)	-	-	128	23%
	Option 100% PV	-	-	-	-	128	23%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	111	6%	40	N.A.	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	1 901	100%	0	N.A.	-	-
Lac Léman	Pas prioritaire	-	-	-	-	-	-

Tableau 38 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur de Rieux Bourg

Les remarques suivantes peuvent être faites par rapport aux solutions proposées dans le tableau ci-dessus :

1. Vu l'âge des bâtiments, il serait souhaitable d'envisager des rénovations.

2. L'énergie solaire permet de satisfaire une partie intéressante des besoins d'électricité (23%), s'agissant d'un bourg (et donc d'un secteur avec a priori des possibilités plus limitées).
3. La géothermie ne permet que de satisfaire une faible quantité des besoins de chaleur (6% chauffage + ECS).
4. Comme pour d'autres secteurs, le bois pourrait être une option intéressante pour aider à atteindre un objectif de 0% fossile, en complément aux pompes à chaleur (sol/eau ou air/eau), que ce soit de manière décentralisée ou centralisée. Pour mémoire, le secteur produit la chaleur à 72% à l'aide d'énergies fossiles.
5. L'air représente éventuellement une option ponctuelle avec les pompes à chaleur air/eau, mais pour autant que le bâtiment soit correctement isolé, et que les aspects esthétiques (protection du patrimoine) et acoustique (cœur du bourg très dense) soient respectées.
6. L'eau du Lac Léman n'est pas une option pour ce secteur.

Pertinence de la mise en place d'un réseau thermique :

Economiquement, le secteur de Rieux Bourg ne répond pas aux critères de rentabilité pour la mise en place d'un réseau thermique, à cause de sa trop faible densité thermique (228 MWh/ha/an). Le secteur comprend cependant une grande surface dédiée uniquement à la vigne. Si on calcule la densité thermique linéique par rapport au tracé vert de la figure ci-dessous, on obtient une densité de 2,9 MWh/m_{lin}/an (tracé de 650 m environ, pour des besoins en chaleur de 1'901 MWh/an), bien supérieure au 2 MWh/m_{lin}/an représentant le seuil de rentabilité (cf. Tableau 22).



Figure 51 : Tracé approximatif d'un éventuel réseau thermique (en vert, longueur : ~ 650 m), secteur de Rieux Bourg

Scénario d’approvisionnement

Le bois représente un scénario intéressant pour diminuer de façon importante le recours aux énergies fossiles. Les pompes à chaleur (notamment sol/eau) pourraient également être une option, pour autant cependant qu’elles soit installées dans des bâtiments rénovés ou présentant des performances énergétiques adaptées aux pompes à chaleur (attention également à l’aspect esthétique et acoustique des pompes à chaleur air/eau dans un bourg dense). Enfin les tuiles solaires représentent un potentiel non négligeable.

8.3.9 Epesses Bourg

Le secteur d’Epesses Bourg, comme les autres bourgs, est constitué essentiellement de maisons villageoises et de domaines viticoles. L’immense majorité des bâtiments ont été construits avant 1920 (Figure 52). Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

		Epesses Bourg	
Chaleur	Energie (chauf.)	2 591	MWh/an
	Energie (ECS)	426	MWh/an
	Puissance	1 936	kW
	Densité	283	MWh/ha/an
Froid	Energie	0	MWh/an
	Puissance	0	kW
Electricité	Energie	857	MWh/an
SRE		26 175	m ²

Tableau 39 : Besoins énergétiques du secteur d’Epesses Bourg

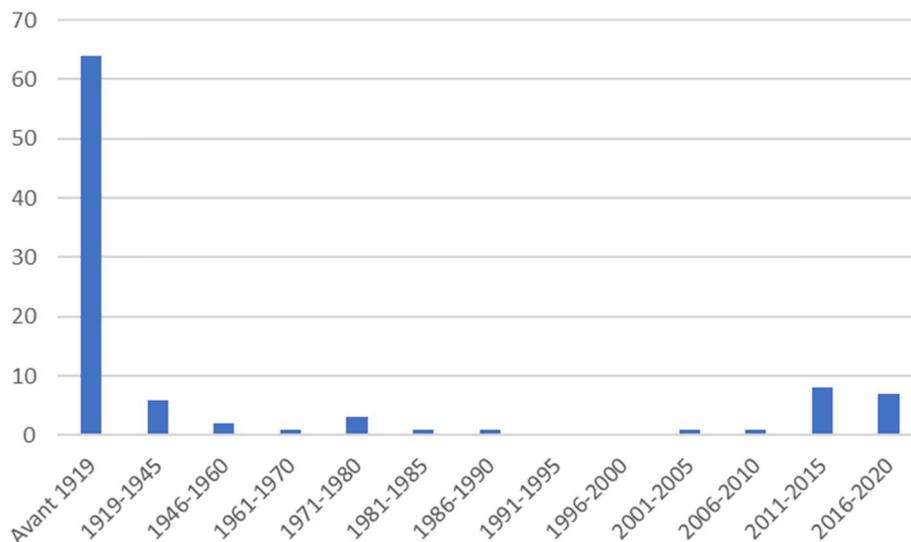


Figure 52 : Epoque de construction des bâtiments dans le secteur d’Epesses Bourg [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	0 (ECS)	0% (ECS)	-	-	128	15%
	Option 100% PV	-	-	-	-	128	15%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	167	6%	60	N.A.	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	3 018	100%	0	N.A.	-	-
Lac Léman	Pas prioritaire	-	-	-	-	-	-

Tableau 40 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur du Bourg d’Eppesses

Les remarques suivantes peuvent être faites par rapport aux solutions proposées dans le tableau ci-dessus :

1. Tout d’abord, comme pour les autres bourgs, il convient de remarquer que, vu l’âge des bâtiments, il serait souhaitable d’envisager des rénovations.
2. L’énergie solaire permet de satisfaire une partie non négligeable des besoins d’électricité (15%), s’agissant d’un bourg (et donc d’un secteur avec, a priori, des possibilités plus limitées).
3. La géothermie ne permettrait de satisfaire qu’une faible fraction des besoins de chaleur (6% chauffage + ECS), mais néanmoins pas totalement inintéressante.
4. Le bois pourrait être une option intéressante pour aider à atteindre un objectif de 0% fossile, en complément aux pompes à chaleur (air/eau ou sol/eau), que ce soit de manière décentralisée ou centralisée. Pour mémoire, le secteur produit la chaleur à 75% à l’aide d’énergies fossiles.
5. L’air représente éventuellement une option ponctuelle avec les pompes à chaleur air/eau, mais pour autant que le bâtiment soit correctement isolé, et que les aspects esthétiques (protection du patrimoine) et acoustique (cœur du bourg très dense) soient respectées.
6. Le Lac Léman n’est pas une option pour ce secteur.

Pertinence de la mise en place d’un réseau thermique :

Economiquement, le secteur du Bourg d’Eppesses ne répond juste pas aux critères de rentabilité pour la mise en place d’un réseau thermique, à cause de sa trop faible densité thermique (283 MWh/ha/an). Là aussi cependant, le secteur comprend une grande surface dédiée uniquement à la vigne. Si on calcule la densité thermique linéique par rapport au tracé vert de la Figure 53 ci-dessous, on obtient une densité de 4,8 MWh/m_{lin}/an (tracé de 630 m environ, pour des besoins en chaleur de 1’901 MWh/an), bien supérieure au 2 MWh/m_{lin}/an représentant le seuil de rentabilité (cf. Tableau 22).



Figure 53 : Tracé approximatif d'un éventuel réseau thermique (en vert, longueur : ~ 630 m), secteur du Bourg d'Espes

Scénario d'approvisionnement

Le bois représente un scénario intéressant pour diminuer de façon importante le recours aux énergies fossiles. Les pompes à chaleur (air/eau ou sol/eau) ne représentent qu'une option ponctuelle, et ce, pour autant qu'elles soient installées dans des bâtiments rénovés ou présentant des performances énergétiques adaptées aux pompes à chaleur (attention également à l'aspect esthétique et acoustique des pompes à chaleur air/eau dans un bourg dense). Enfin les tuiles solaires représentent un certain potentiel.

8.3.10 Vilette

Le secteur de Vilette, est constitué essentiellement de maisons villageoises et de petits immeubles. L'immense majorité des bâtiments ont été construits avant 1920 (Figure 54). Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

		Villette	
Chaleur	Energie (chauf.)	659	MWh/an
	Energie (ECS)	111	MWh/an
	Puissance	445	kW
	Densité	258	MWh/ha/an
Froid	Energie	0	MWh/an
	Puissance	0	kW
Electricité	Energie	221	MWh/an
SRE		6 660	m ²

Tableau 41 : Besoins énergétiques du secteur de Villette

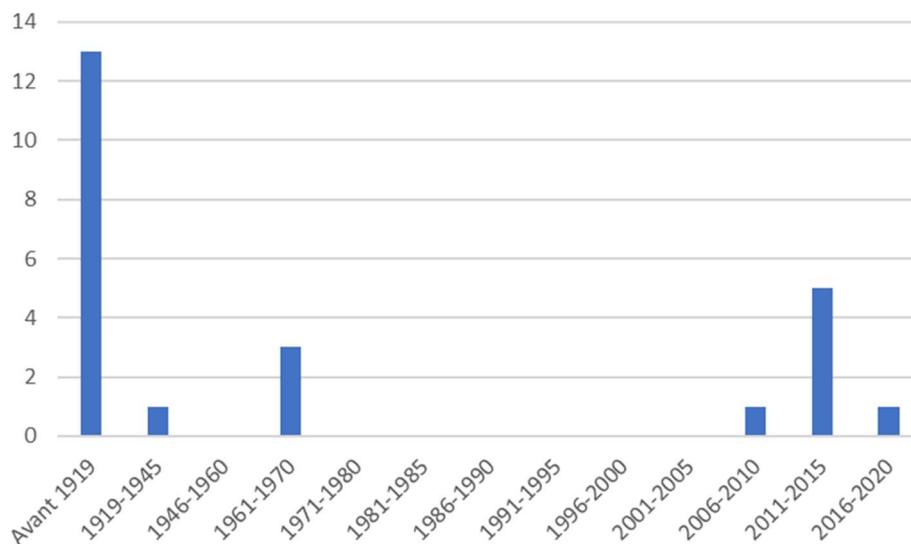


Figure 54 : Epoque de construction des bâtiments dans le secteur de Villette [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	0 (ECS)	0% (ECS)	-	-	34	16%
	Option 100% PV	-	-	-	-	34	16%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	111	14%	40	N.A.	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	770	100%	0	N.A.	-	-
Lac Léman	Pas prioritaire	-	-	-	-	-	-

Tableau 42 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur de Villette

Les remarques suivantes peuvent être faites par rapport aux solutions proposées dans le tableau ci-dessus :

1. Vu l'âge des bâtiments, il serait souhaitable d'envisager des rénovations.

2. L'énergie solaire permet de satisfaire une partie intéressante des besoins d'électricité (16%), s'agissant d'un bourg (et donc d'un secteur avec, a priori, des possibilités plus limitées).
3. La géothermie permet de satisfaire une partie intéressante des besoins de chaleur (14% chauffage + ECS).
4. Le bois pourrait être une option intéressante pour aider à atteindre un objectif de 0% fossile, en complément aux pompes à chaleur (sol/eau ou air/eau), que ce soit de manière décentralisée ou centralisée. Pour mémoire, le secteur produit la chaleur à 91% à l'aide d'énergies fossiles.
5. L'air représente éventuellement une option ponctuelle avec les pompes à chaleur air/eau, mais pour autant que le bâtiment soit correctement isolé, et que les aspects esthétiques (protection du patrimoine) et acoustique (cœur du bourg très dense) soient respectées.
6. En théorie, le Lac Léman est une ressource intéressante, étant donné la proximité du secteur au lac. En pratique il faudrait cependant traverser le secteur Bord de Lac Ouest, composé de villas individuelles et donc de propriétés privées. De plus, avec une puissance de chauffage de 445 kW, il manque la « masse critique » à ce secteur, pour justifier la mise en place d'un réseau nécessitant une station de pompage.

Pertinence de la mise en place d'un réseau thermique :

Economiquement, le secteur de Vilette ne répond pas aux critères de rentabilité pour la mise en place d'un réseau thermique, à cause de sa trop faible densité thermique (258 MWh/ha/an). Si on calcule la densité thermique linéique par rapport au tracé de la Figure 56 ci-dessous, on obtiendrait une densité de 1,9 MWh/m_{lin}/an (tracé de 400 m environ, pour des besoins en chaleur de 770 MWh/an), proche des 2 MWh/m_{lin}/an représentant le seuil de rentabilité (cf. Tableau 22). Précisons que malgré la faible puissance globale (445 kW), les quantités en jeu sont proche de celles de plusieurs villages (à l'exemple de Céligny/GE ou La Rippe/VD) qui ont mis en place des CAD combinés bois/gaz (ou mazout), en général pour chauffer les bâtiments de la Commune, et qui permettent de diminuer considérablement le recours aux énergies fossiles malgré un appoint fossile.



Figure 55 : Tracé approximatif d'un éventuel réseau thermique (en vert, longueur : ~ 400 m), secteur de Vilette

Scénario d’approvisionnement

Le bois représente un scénario intéressant pour diminuer de façon importante le recours aux énergies fossiles. Les pompes à chaleur (air/eau ou sol/eau) pourraient également être une option, pour autant cependant qu’elles soient installées dans des bâtiments rénovés ou présentant des performances énergétiques adaptées aux pompes à chaleur. Enfin les tuiles solaires représentent un certain potentiel.

8.3.11 Bord de Lac Ouest

Le secteur du Bord de Lac Ouest, est constitué essentiellement de villas individuelles. Environ un tiers des maisons ont été construites avant 1945 (Figure 56), puis de façon plus ou moins constante jusqu’à maintenant (à noter qu’il n’y a plus de place pour des constructions nouvelles, hormis si une construction existante est démolie). Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

		Bord de Lac Ouest	
Chaleur	Energie (chauf.)	1 913	MWh/an
	Energie (ECS)	437	MWh/an
	Puissance	1 847	kW
	Densité	81	MWh/ha/an
Froid	Energie	0	MWh/an
	Puissance	0	kW
Electricité	Energie	858	MWh/an
SRE		25 499	m ²

Tableau 43 : Besoins énergétiques du secteur du Bord de Lac Ouest

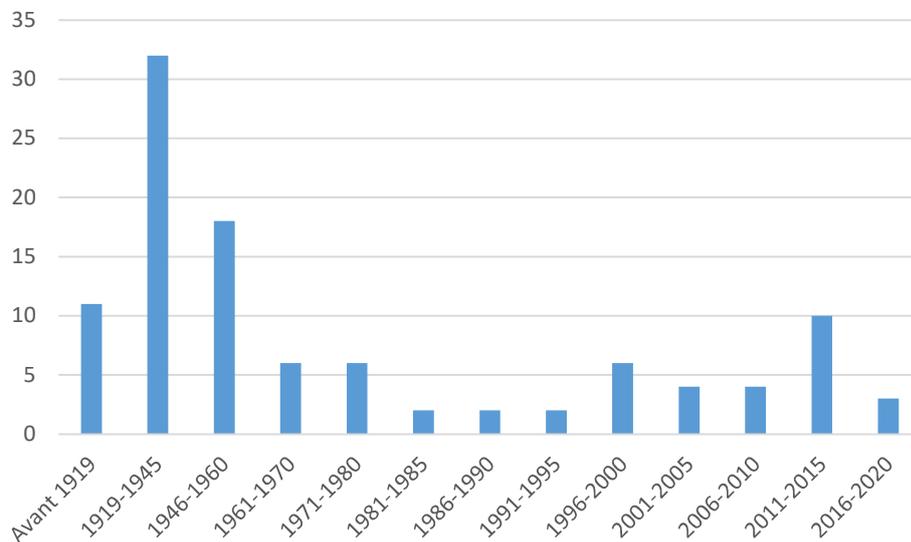


Figure 56 : Epoque de construction des bâtiments dans le secteur du Bord de Lac Ouest [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	307 (ECS)	70% (ECS)	-	-	1 753	204%
	Option 100% PV	-	-	-	-	1 893	221%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	833	35%	300	N.A.	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	2 350	100%	0	N.A.	-	-
Lac Léman	Pompes à chaleur individuelles ou centralisée pour la chaleur, freecooling ou groupes froid pour le froid	Réservoir d'énergie considéré infini	0-100%	Réservoir d'énergie considéré infini	0-100%	-	-

Tableau 44 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur de Bord de Lac Ouest

Les remarques suivantes peuvent être faites par rapport aux solutions proposées dans le tableau ci-dessus :

1. Vu l'âge des bâtiments, il serait certainement recommandable d'en rénover l'un ou l'autre, sans qu'on puisse faire un commentaire d'ordre général.
2. L'énergie solaire permet de satisfaire une partie importante des besoins, tant pour l'ECS que pour l'électricité (où le potentiel solaire en moyenne annuelle dépasse les besoins annuels).
3. La géothermie permet de satisfaire une partie très importante des besoins de chaleur (35% chauffage + ECS). Ce potentiel est intéressant, compte tenu du fait que le secteur est alimenté à 82% par du fossile.
4. Le bois pourrait être utilisé de façon décentralisée, mais ne représente pas une priorité pour ce secteur. En effet, ce secteur n'étant composé que de villas individuelles, les pompes à chaleur sont tout-à-fait envisageables sans poser de problèmes esthétiques.
5. L'air représente une option avec les pompes à chaleur air/eau.
6. En théorie, l'eau du Lac Léman est une ressource intéressante, étant donné la proximité du secteur au lac et la quantité d'énergie comprise dans ce dernier. En pratique, s'agissant d'un secteur composé uniquement de villas individuelles, cette option serait sans doute très coûteuse à mettre en place, à moins éventuellement qu'une extension du CAD en construction pour le plateau de la Gare de Cully soit envisageable.

Pertinence de la mise en place d'un réseau thermique :

Théoriquement, le secteur de Bord de Lac Ouest ne répond pas aux critères de rentabilité pour la mise en place d'un réseau thermique, à cause de sa trop faible densité thermique (81 MWh/ha/an). Même en calculant la densité linéique, on n'obtient que 1 MWh/m_{lin}/an (tracé de 2'350 m environ, pour des besoins en chaleur de 2'350 MWh/an).

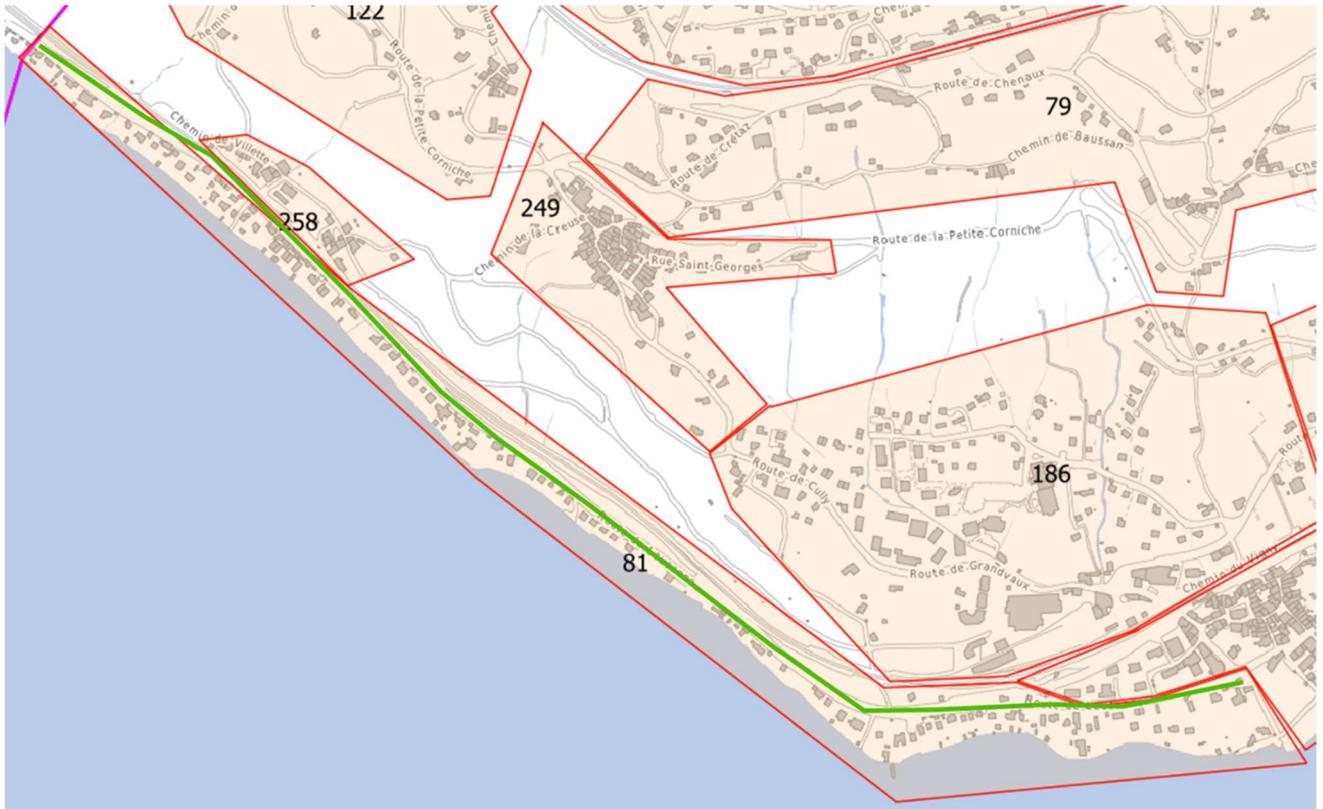


Figure 57 : Tracé approximatif d'un éventuel réseau thermique (en vert, longueur : ~ 2'350 m), secteur de Bord de Lac Ouest

Scénario d'approvisionnement

Le soleil représente un potentiel très intéressant. Les pompes à chaleur (air/eau ou sol/eau) sont également une option très intéressante, pour autant cependant qu'elles soient installées dans des bâtiments rénovés ou présentant des performances énergétiques adaptées aux pompes à chaleur. Le bois et le Lac Léman ne sont a priori pas des options (sauf ponctuellement pour le bois).

8.3.12 Cully Bourg

Le secteur de Cully Bourg est constitué essentiellement de maisons villageoises, et de quelques villas individuelles. L'immense majorité des bâtiments ont été construits avant 1920 (Figure 58). Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

		Cully Bourg	
Chaleur	Energie (chauf.)	5 817	MWh/an
	Energie (ECS)	951	MWh/an
	Puissance	4 301	kW
	Densité	426	MWh/ha/an
Froid	Energie	0	MWh/an
	Puissance	0	kW
Electricité	Energie	1 916	MWh/an
SRE		58 760	m ²

Tableau 45 : Besoins énergétiques du secteur de Cully Bourg

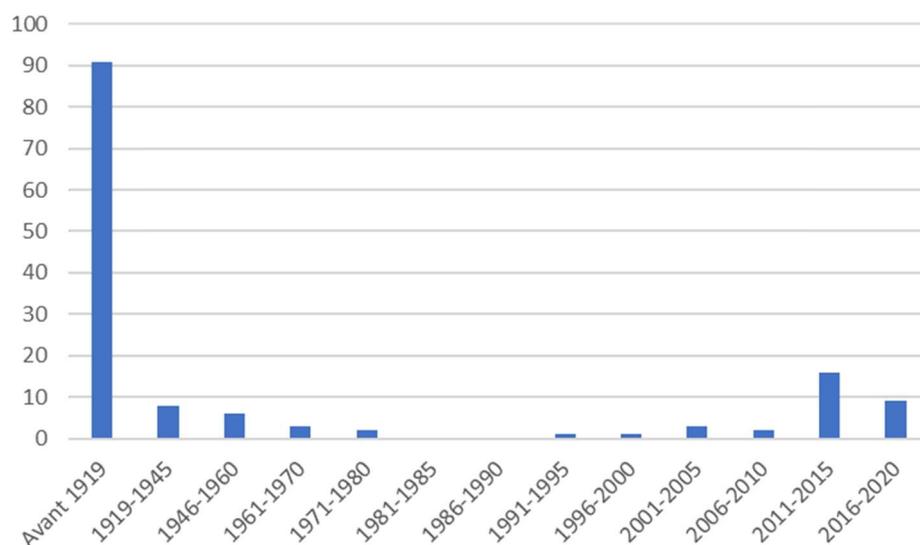


Figure 58 : Époque de construction des bâtiments dans le secteur de Cully Bourg [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	0 (ECS)	0% (ECS)	-	-	258	13%
	Option 100% PV	-	-	-	-	258	13%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	0	0%	0	N.A.	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	6 768	100%	0	N.A.	-	-
Lac Léman	Pas prioritaire	-	-	-	-	-	-

Tableau 46 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur du Bourg de Cully

1. Vu l'âge des bâtiments, notamment ceux qui ont été construits avant 1919, il serait souhaitable d'envisager des rénovations.
2. Malgré les hypothèses relativement restrictives prises à l'encontre des bourgs, l'énergie solaire permet de satisfaire une partie non négligeable des besoins d'électricité, puisque cette part atteint 13%.
3. La géothermie n'étant pas admissible dans le secteur de Cully Bourg, elle ne permet pas de satisfaire des besoins de chaleur (chauffage + ECS).
4. Le bois peut être une option intéressante pour atteindre un objectif de 0% fossile. Ceci dit, au vu de la proximité du secteur au Lac, le bois n'est pas prioritaire (cf. point 6 ci-dessous).
5. L'air représente une option avec les pompes à chaleur air/eau.
6. Le Lac Léman est une ressource intéressante, étant donné la proximité du secteur au lac, et la densité thermique du secteur. De plus, avec 86% de ses besoins de chaleur satisfaits avec des énergies fossiles, le secteur bénéficierait, avec le Lac, d'une solution idéale pour réduire sa dépendance aux énergies fossiles.

Pertinence de la mise en place d'un réseau thermique :

De par sa densité thermique (426 MWh/ha/an), et sa situation au bord de Lac, le secteur du Bourg de Cully répond largement aux critères de rentabilité pour la mise en place d'un réseau thermique. Ceci dit, il convient de vérifier, le cas échéant, s'il ne faut pas d'abord procéder à des rénovations.

Scénario d'approvisionnement

Le soleil représente un potentiel intéressant. Le Lac Léman est également à considérer de façon prioritaire pour réduire la dépendance du secteur aux énergies fossiles. Les pompes à chaleur air/eau peuvent également être une option ponctuelle. Quant à la géothermie (interdite) et au bois, ces ressources ne présentent pas ou moins d'intérêt.

8.3.13 Bord de Lac Est

Le secteur du Bord de Lac Est est constitué du Port et de la Plage de Cully, de quelques maisons individuelles, et de vignobles. La majorité des bâtiments ont été construits jusque dans les années 1980 (Figure 59). Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

		Bord de Lac Est	
Chaleur	Energie (chauf.)	685	MWh/an
	Energie (ECS)	159	MWh/an
	Puissance	756	kW
	Densité	47	MWh/ha/an
Froid	Energie	0	MWh/an
	Puissance	0	kW
Electricité	Energie	310	MWh/an
SRE		9 162	m ²

Tableau 47 : Besoins énergétiques du secteur du Bord de Lac Est

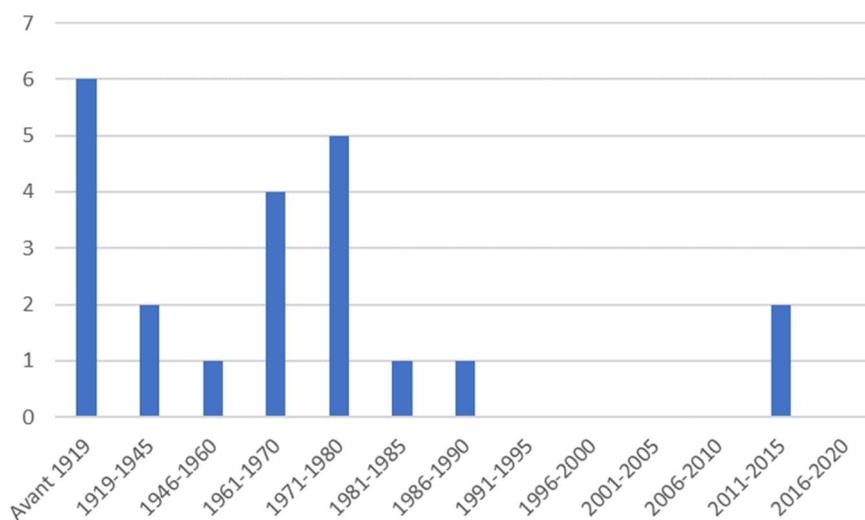


Figure 59 : Epoque de construction des bâtiments dans le secteur du Bord de Lac Est [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	112 (ECS)	70% (ECS)	-	-	702	226%
	Option 100% PV	-	-	-	-	753	243%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	0	0%	0	N.A.	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	844	100%	0	N.A.	-	-
Lac Léman	Pompes à chaleur individuelles ou centralisée pour la chaleur, freecooling ou groupes froid pour le froid	Réservoir d'énergie considéré infini	0-100%	Réservoir d'énergie considéré infini	0-100%	-	-

Tableau 48 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur de Bord de Lac Est

Les remarques suivantes peuvent être faites par rapport aux solutions proposées dans le tableau ci-dessus :

1. Vu l'âge des bâtiments, il serait certainement recommandable d'en rénover l'un ou l'autre, sans qu'on puisse cependant faire un commentaire d'ordre général.
2. L'énergie solaire permet de satisfaire une partie importante des besoins, tant pour l'ECS que pour l'électricité (où le potentiel solaire dépasse les besoins annuels).
3. En ce qui concerne la mise en place de sondes géothermiques, le secteur Bord de Lac Est étant situé presque exclusivement en zone non admissible, ou en zone avec limitations, à l'exception d'une maison sur la Route de Crêt-Dessous (cf. Figure 26), la géothermie est exclue à ce stade de l'étude. Il n'est pas totalement impossible qu'on puisse placer une sonde dans la petite portion de territoire admissible, mais en aucun cas la géothermie ne permet de satisfaire une partie conséquente des besoins de chaleur (chauffage + ECS).
4. Le bois pourrait être utilisé de façon décentralisée, et représente probablement, avec les pompes à chaleur air/eau, la seule véritable option pour diminuer de façon conséquente le recours aux énergies fossiles (le secteur est en effet celui qui le plus massivement recours aux énergies fossiles, avec 91%, suivi par les chauffages électriques directs).
5. L'air représente une option avec les pompes à chaleur air/eau.
6. En théorie, le Lac Léman est une ressource intéressante, étant donné la proximité du secteur au lac et la quantité d'énergie comprise dans le Lac. En pratique, s'agissant d'un secteur composé largement de villas individuelles, le Lac serait une option très coûteuse.

Pertinence de la mise en place d'un réseau thermique :

Economiquement, le secteur de Bord de Lac Est ne répond pas aux critères de rentabilité pour la mise en place d'un réseau thermique, à cause de sa trop faible densité thermique (47 MWh/ha/an). Même en calculant la densité linéique, on n'obtient que 0,6 MWh/m_{lin}/an (tracé de 1'400 m environ, pour des besoins en chaleur de 844 MWh/an).



Figure 60 : Tracé approximatif d'un éventuel réseau thermique (en vert, longueur : ~ 1'400 m), secteur du Bord de Lac Est

Scénario d'approvisionnement

Le soleil représente un potentiel très intéressant. Les pompes à chaleur air/eau sont également une option très intéressante, pour autant cependant qu'elles soient installées dans des bâtiments rénovés ou présentant des performances énergétiques adaptées aux pompes à chaleur. Le bois peut être utilisé de façon décentralisée ici ou là, quant à la géothermie et au Lac Léman, ils ne présentent aucun potentiel réaliste d'approvisionnement pour le secteur.

8.3.14 Reste

Le secteur « Reste » est constitué essentiellement de vignes et de quelques maison ou domaines viticoles ici ou là. Les bâtiments ont été construits majoritairement avant 1970, avec un pic avant 1920 et un autre dans les années 1961-1970 (Figure 61). Les besoins sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

		Reste	
Chaleur	Energie (chauf.)	2 996	MWh/an
	Energie (ECS)	661	MWh/an
	Puissance	2 852	kW
	Densité	N.A.	MWh/ha/an
Froid	Energie	0	MWh/an
	Puissance	0	kW
Electricité	Energie	1 278	MWh/an
SRE		39 692	m ²

Tableau 49 : Besoins énergétiques du secteur « Reste »

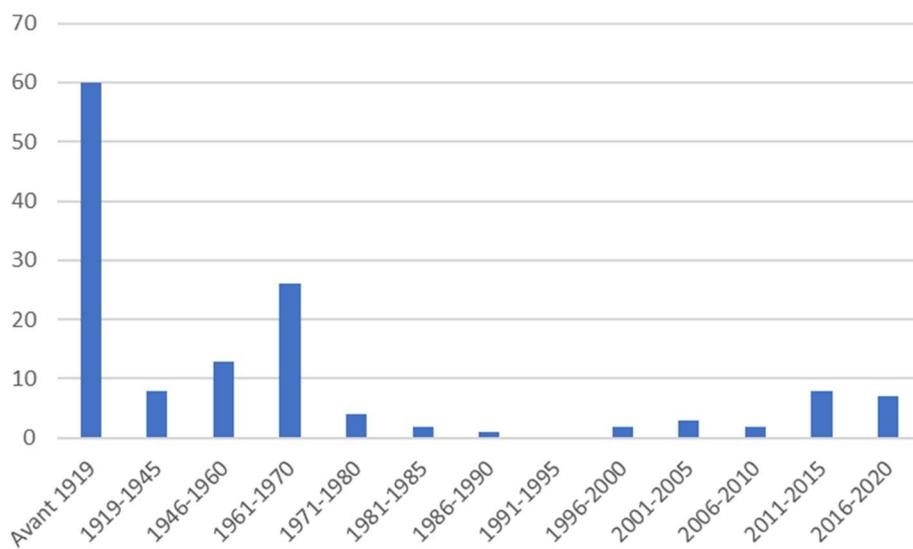


Figure 61 : Epoque de construction des bâtiments dans le secteur « Reste » [19]

Le potentiel théorique des différentes ressources avec, le cas échéant, la manière de les valoriser, est indiquée dans le tableau ci-dessous :

Ressource	Mode de valorisation	Chaleur (chauffage + ECS)		Froid		Electricité	
		[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]	[MWh/an]	[%]
Energie solaire	Option 70% ECS	463 (ECS)	70% (ECS)	-	-	4 269	334%
	Option 100% PV	-	-	-	-	4 481	351%
Géothermie	Pompes à chaleur sol/eau individuelles	Pas défini	N.A.	Pas défini	N.A.	-	-
Bois	Chaudières à pellets individuelles ou CAD au bois avec appoint gaz	Selon quantité importée	0-100%	-	-	Selon quantité importée	0-100%
Air	Pompes à chaleur individuelles	3 657	100%	0	N.A.	-	-
Lac Léman	Pas prioritaire	-	-	-	-	-	-

Tableau 50 : Potentiel théorique des différentes ressources pour satisfaire les besoins du secteur de Reste

Les remarques suivantes peuvent être faites par rapport aux solutions proposées dans le tableau ci-dessus :

1. Tout d'abord, il convient de remarquer que, vu l'âge des bâtiments, il serait certainement recommandable d'en rénover l'un ou l'autre, sans qu'on puisse cependant faire un commentaire d'ordre général.
2. L'énergie solaire permet de satisfaire une partie importante des besoins, tant pour l'ECS que pour l'électricité (où le potentiel solaire dépasse les besoins annuels).
3. Le secteur Reste comprend, par définition, le territoire communal qui n'as pas été répertorié dans l'un des secteur des sections 8.3.1 à 8.3.13 ci-dessus. Comme expliqué plus haut (section 7.2), évaluer un potentiel géothermique pertinent pour ce secteur n'a pas été possible. Ceci dit, il est tout-à-fait envisageable de placer une ou plusieurs sonde(s) ici ou là, le secteur comprenant des larges portions de territoire admissibles pour les sondes (cf. Figure 26). On peut donc raisonnablement admettre qu'on puisse satisfaire une partie des besoins de chaleur (chauffage + ECS) avec la géothermie.
4. Le bois pourrait être utilisé de façon décentralisée.
5. L'air représente une option possible avec des pompes à chaleur air/eau.
6. Le Lac Léman n'est pas un potentiel réaliste pour ce secteur.

Pertinence de la mise en place d'un réseau thermique :

De par la définition même de ce secteur, la mise en place d'un réseau n'est pas pertinente, que ce soit environnementalement ou économiquement.

Scénario d'approvisionnement

Le soleil représente un potentiel très intéressant. Pour le reste, par la force des choses, aucune ressource ne s'impose par rapport aux autres. Ainsi aussi bien les pompes à chaleur air/eau que sol/eau sont envisageables (pour autant qu'elles soient installées dans des bâtiments rénovés ou présentant des performances énergétiques adaptées aux pompes à chaleur), tout comme les chaudières décentralisées à bois. En revanche, les solutions centralisées ne sont pas envisageables.

8.3.15 Synthèse de la comparaison ressources/besoins

Le tableau ci-dessous résume les ressources disponibles dans chacun des secteurs (Tableau 51), ainsi que la pertinence (selon les critères de la section 8.1) de mettre un CAD (dernière colonne du Tableau 51). En ce qui concerne les ressources, ce tableau ne tient compte que de la disponibilité locale (voire éventuellement cantonale en ce qui concerne le bois), en termes de quantité, de ces dernières. Il ne tient pas encore compte de la possibilité technique de les valoriser.

Secteur	Type de secteur	Solaire	Géothermie	Bois	Air	Lac Léman	CAD
Signal	Villas	Vert	Orange	Orange	Vert	Rouge	Vert
Autoroute Sud	Villas	Vert	Vert	Orange	Vert	Rouge	Orange
CFF Sud	Villas	Vert	Vert	Orange	Vert	Rouge	Rouge
Aran	Bourg	Vert	Orange	Orange	Vert	Rouge	Vert
Grandvaux Bourg	Bourg	Vert	Orange	Orange	Vert	Rouge	Vert
Cully villas	Villas	Vert	Orange	Orange	Vert	Vert	Orange
Corniche	Bourg	Vert	Rouge	Orange	Vert	Rouge	Rouge
Riex Bourg	Bourg	Vert	Orange	Orange	Vert	Rouge	Vert
Epeses Bourg	Bourg	Vert	Orange	Orange	Vert	Rouge	Vert
Villette	Bourg	Vert	Orange	Orange	Vert	Rouge	Vert
Bord de Lac Ouest	Villas	Vert	Orange	Orange	Vert	Vert	Rouge
Cully Bourg	Bourg	Vert	Rouge	Orange	Vert	Vert	Vert
Bord de Lac Est	Villas	Vert	Rouge	Orange	Vert	Vert	Rouge
Reste	Villas	Vert	Orange	Orange	Vert	Rouge	Rouge

Tableau 51 : Ressource disponibles dans chacun des secteurs (vert : largement à très largement disponible, orange : partiellement disponible ou qui peut être importé relativement facilement, rouge : pas disponible)

Le tableau ci-dessous indique les technologies qui permettent de valoriser les ressources, pour chacun des secteurs :

Secteur	Type de secteur	Scénario d'approvisionnement
Signal	Villas	Eléments solaires PV, PAC (sol/eau ou air/eau), CAD ou chaudières
Autoroute Sud	Villas	Eléments solaires PV, PAC (sol/eau ou air/eau), CAD ou chaudières
CFF Sud	Villas	Eléments solaires PV, PAC (air/eau), chaudières bois
Aran	Bourg	CAD bois, PAC (sol/eau ou air/eau), éléments solaires PV
Grandvaux Bourg	Bourg	CAD bois, PAC (sol/eau ou air/eau), éléments solaires PV
Cully villas	Villas	CAD (Bois ou lac), éléments solaires PV, PAC (sol/eau ou air/eau)
Corniche	Bourg	Eléments solaires PV, PAC (air/eau), chaudières bois
Riex Bourg	Bourg	CAD bois, PAC (sol/eau ou air/eau), éléments solaires PV
Epeses Bourg	Bourg	CAD bois, PAC (sol/eau ou air/eau), éléments solaires PV
Villette	Bourg	CAD bois, PAC (sol/eau ou air/eau), éléments solaires PV
Bord de Lac Ouest	Villas	CAD (Bois ou lac), éléments solaires PV, PAC (sol/eau ou air/eau)
Cully Bourg	Bourg	Lac (CAD), PAC (air/eau), éléments solaires PV
Bord de Lac Est	Villas	Eléments solaires PV, PAC (air/eau), chaudières bois
Reste	Villas	Eléments solaires PV, PAC (air/eau), chaudières bois

Tableau 52 : Technologies permettant de valoriser les ressources (les couleurs ont pour but de mettre en évidence les scénarios qui se ressemblent ; le choix des couleurs en tant que tel n'est pas représentatif d'une quelconque appréciation)

La figure ci-dessous donne une représentation sectorielle de la disponibilité de ressources. Remarque : Dans cette figure, on a essayé, au niveau des indications GéoAirBois, BoisAirGéo et LacAirGéo, AirBois et LacAir, de mettre les ressources dans l'ordre dans lequel il faudrait les privilégier, en tenant compte de la complexité de mise en œuvre et de l'aspect local de la ressource. Ainsi, pour les bourgs par exemple, on propose de valoriser en premier lieu le bois, les PAC air/eau et sol/eau étant probablement plus compliquées à mettre en place. A ce stade de l'étude, il ne s'agit cependant que d'idées et non de propositions définitives. D'autre part, le soleil, omniprésent, n'a pas été inclus. En effet, étant donné qu'il sera différemment valorisé dans les bourgs et les secteurs villas, cela aurait ajouté de la complexité inutile à la carte. Concernant le soleil, il faut simplement se souvenir qu'il est omniprésent, mais que son potentiel ne pourra pas être également valorisé dans les bourgs ou dans les secteurs villas.

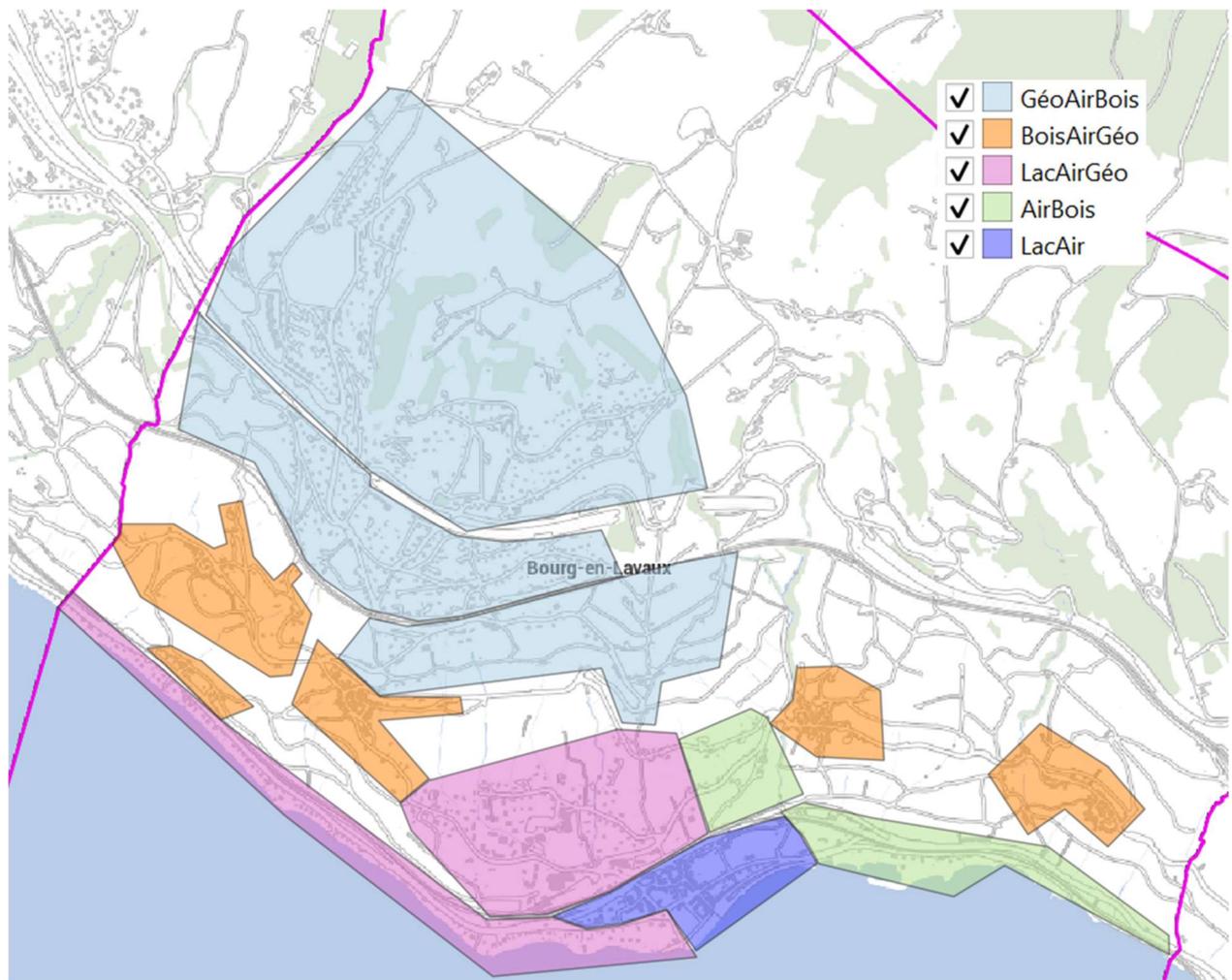


Figure 62 : Représentation sectorielle des principales ressources énergétiques (soleil non inclus)

9 Scénarios d’approvisionnement

Comme cela a été montré dans la section 8, consacrée à la comparaison entre les ressources et les besoins, il n’y a en général pas une seule ressource qui s’impose naturellement, quel que soit le secteur. Bien souvent, on se trouve face à une multitude d’options possibles, qui se distinguent principalement en fonction du pourcentage que chacune des ressources énergétiques peut prendre dans le mixe d’approvisionnement final. Or, comme il n’est pas possible de calculer les performances environnementales d’une multitude de scénarios, on a défini deux scénarios de base, qui tous deux respectent, d’une part, les analyses de la section 8, et, d’autre part, les visions de la Stratégie 2050 de la Confédération, le tout nouveau Plan Climat, ainsi que la CoCEn. Ces scénarios sont indiqués ci-dessous :

Scénario 2030 (l’année est choisie de sorte à correspondre à l’année de référence cible du Plan Climat du Canton de Vaud):

- Taux de rénovation des bâtiments : 0,9% par an (rapporté à la SRE)²⁶, en ne rénovant que des bâtiments alimentés jusqu’ici au mazout,
- Réduction des besoins de chaleur dans les bâtiments rénovés : 50%,
- Production de chaleur :
Augmentation de la part de renouvelable (chauffage et eau chaude sanitaire) comme suit:
 - a. Mise en place de pompes à chaleur air/eau dans les bâtiments rénovés,
 - b. Remplacement de 60% des chaudières mazout, dans les bâtiments qui n’ont pas été rénovés, par :
 - Du bois (centralisé ou décentralisé), dans les secteurs qui ne sont pas au bord du Lac et/ou pour lesquels un CAD n’est pas rentable,
 - Une PAC sur l’eau du Lac dans les secteurs situés au bord du lac et pour lesquels un CAD est existant ou potentiellement rentable (soit les secteurs de Cully Bourg et Cully Villas)
 - c. Pas de changement pour les chaudières à gaz,
 - d. Obligation d’acheter du courant "Terre d’Ici" pour les chauffages électriques directs²⁷.
- Froid :
Hormis pour le nouveau développement (extension de l’hôpital et nouvelles constructions du Plateau de la Gare de Cully), on ne tient pas compte des besoins de froid étant donné que ceux-ci ne sont que rarement autorisés dans les logements (qui comptabilisent 88% de la SRE totale). De plus, même si avec l’augmentation des températures moyennes extérieures des besoins de froid devaient apparaître à l’avenir, la meilleure façon de les satisfaire serait le free-cooling (par géothermie ou l’eau du Lac Léman)²⁸, pour lequel l’impact environnemental est faible. Aussi, en l’état actuel de la législation et au vu du faible impact environnemental du geo-cooling, les besoins de froid sont négligés.

²⁶ Selon la CoCEn, le taux actuel est de 0,8%.

²⁷ Actuellement, Romande Energie vend 100% d’électricité « Terre Suisse », à savoir de l’électricité produite à 100% d’énergie hydraulique suisse. Le produit « Terre d’Ici » correspond mieux à la CoCEn et à la volonté de valoriser les énergies plus locales, étant donné que ce produit est constitué à 50% d’énergie hydraulique et 50% d’énergie solaire romande.

²⁸ Le rafraîchissement par groupes froid à compression serait en effet confronté, surtout dans les bourgs, aux mêmes problèmes acoustiques et esthétiques que les pompes à chaleur, et serait a priori à proscrire.

- Electricité :
Taux de pénétration des éléments photovoltaïques : 5% (rapporté à la surface des toitures favorables) dans les bourgs et 20% ailleurs.

Scénario 2050 :

- Taux de rénovation des bâtiments : 1,5% par an (rapporté à la SRE), quel que soit le mode d’approvisionnement de chaleur actuel,
- Réduction des besoins de chaleur dans les bâtiments rénovés : 50%,
- Production de chaleur :
Remplacement de 100% des chaudières à mazout, chaudières à gaz et chauffages électriques directs de la manière suivante :
 - a. Secteurs « Bourg » : 100% bois centralisé,
 - b. Secteurs « Villas » : valorisation à 100% du potentiel géothermique identifié dans la Section 7.2²⁹, puis mise en place de pompes à chaleur air/eau pour satisfaire 30% des besoins restant, et enfin mise en place de pompes à chaleur sur l’eau du Lac (pour les secteurs Cully Villas, Cully Bourg et Bord de Lac Ouest) ou de chaufferies bois (pour les secteurs restant) pour satisfaire les besoins restant (après les pompes à chaleur sol/eau et air/eau).
- Froid :
Idem Scénario 2030.
- Electricité :
Taux de pénétration des éléments photovoltaïques : 10% (rapporté à la surface des toitures favorables) dans les bourgs et 50% ailleurs, et achat d’électricité « Terre d’ici » pour satisfaire les besoins qui ne sont pas couverts par les éléments photovoltaïques. Remarque : Comme on l’a vu dans la Section 7.1, pour certains secteurs (généralement les secteurs « Villas ») le potentiel solaire dépasse les besoins en électricité, alors qu’il est inférieur aux besoins dans d’autres secteurs (généralement les secteurs « Bourg »). On a donc procédé comme suit dans le cadre de ce scénario : Lorsque le potentiel d’un secteur dépasse les besoins, on a redistribué l’excédent aux secteurs qui manquaient de potentiel, au pro rata de leurs besoins. Ainsi, globalement sur la Commune, le potentiel des secteurs excédentaires n’est pas « perdu », mais profite bel et bien à la Commune³⁰.

Remarque concernant le Scénario 2030 et le Scénario 2050 :

Le scénario 2030 constitue le scénario « minimaliste » permettant de satisfaire aux exigences du Plan Climat. Dans ce scénario, on observe des changements relativement conséquents dans l’approvisionnement en chaleur, notamment pour les chaudières à mazout, dont 60% doivent être changées (à titre de comparaison, au cours des 10 années allant de 2009 à 2018, la consommation de mazout en Suisse a baissé d’à peine plus de 35%). En revanche, le taux de rénovation reste inchangé à celui de ces dernières années, ou n’est que marginalement plus élevé. Les chauffages électriques directs ne sont pas remplacés, par contre ils doivent être alimentés par de l’électricité 100% renouvelable et en partie locale. Enfin les consommations électriques pour les techniques du bâtiment

²⁹ On aurait pu appliquer un facteur de sécurité, typiquement 80%, et ne choisir de valoriser que 80% du potentiel identifié dans la Section 7.2. Ceci, afin de tenir compte des incertitudes inhérentes à l’estimation du potentiel, et qui sont liées aux glissements de terrain, à accès des foreuses... Ceci étant, il ne faut pas oublier que pour le secteur « Reste » typiquement, il n’a pas été possible d’estimer un potentiel pertinent, alors qu’il est possible de mettre l’une ou l’autre sonde. On a donc privilégié ici une approche plus optimiste et considérer 100% du potentiel.

³⁰ L’hypothèse sous-jacente étant notamment que le stockage soit plus développé d’ici 2050.

et autres appareils restent identiques. Le fait de maintenir les chauffages électriques directs est motivé par les éléments suivants : Ces chauffages ont souvent été imposés, par exemple dans les années 1970, par les communes, lorsque les travaux nécessaires à garantir l’approvisionnement en gaz n’était pas justifié, que ce soit pour des motifs économiques ou autres. Ces chauffages se trouvent, de plus, souvent dans des maisons habitées par des personnes âgées, pour lesquelles le changement de la production de chaleur ne se justifie pas dans les dix prochaines années. Pour ces deux raisons, on a considéré dans ce scénario que ce mode de production de chaleur était maintenu.

Le scénario 2050 est a priori nettement plus ambitieux et nécessitera aussi plus de temps pour être mis en place (d’où l’horizon plus lointain). Il correspond cependant à un exemple de ce qu’il est nécessaire d’entreprendre pour se passer complètement du fossile et/ou respecter le Plan Climat. A noter que le scénario 2050 est indépendant du scénario 2030 ci-dessus (le scénario 2030 peut, mais ne doit pas, constituer une étape intermédiaire du scénario 2050).

Aucun des deux scénarios ne comprend de panneaux solaires thermiques. C’est un choix délibéré, dans la mesure où la mise en place de tels panneaux peut poser des problèmes esthétiques, incompatibles avec la LLavaux (rappelons ici l’article 32 qui stipule que « Les teintes mettant en évidence les volumes et les surfaces, de nature à nuire à l’harmonie du site, sont interdites. »). On a par conséquent cherché à développer des scénarios d’approvisionnement qui permettent d’atteindre les objectifs du Plan Climat et de la CoCEn, tout en respectant la LLavaux. Ceci dit, ce n’est pas du tout le propos de la présente étude de prétendre que la mise en place de panneaux solaires thermiques est impossible. En revanche, la pose de ces panneaux doit idéalement faire l’objet d’études au cas par cas (le potentiel étant bien réel). Rappelons du reste que ces panneaux permettraient également de réduire la demande de bois, qui risque d’augmenter fortement dans tout le Canton ces 50 prochaines années.

La répartition des ressources permettant de satisfaire les besoins de chaleur et d’électricité, selon ces deux scénarios, est indiquée dans les tableaux et graphiques ci-dessous. Précisons que les valeurs sont désormais données pour la Commune dans son entier, la répartition par secteur n’étant plus pertinente.

Scénario	Mazout [MWh/an]	Gaz [MWh/an]	Elec. direct [MWh/an]	Géothermie [MWh/an]	Pellets [MWh/an]	Plaquettes [MWh/an]	Air [MWh/an]	Lac [MWh/an]	Solaire th. [MWh/an]	Autre [MWh/an]	Total chaleur [MWh/an]
Actuel en 2020	28 571	7 110	8 146	0	1 203	0	2 431	0	292	90	47 842
Scénario 2030	10 511	7 110	8 146	0	9 516	2 359	3 765	5 014	292	90	46 802
Scénario 2050	0	0	0	4 497	8 500	8 253	7 355	9 205	292	90	38 190

Tableau 53 : Répartition des besoins de chaleur en fonction des ressources qui permettent de satisfaire ces besoins

Scénario	Terre Romande [MWh/an]	Terre d'Ici [MWh/an]	Panneaux PV locaux [MWh/an]	Tuiles PV locales [MWh/an]	Total électricité [MWh/an]
Actuel en 2020	15 614	0	0	0	15 614
Scénario 2030	10 186	0	5 016	412	15 614
Scénario 2050	0	2 249	12 541	824	15 614

Tableau 54 : Répartition des besoins d’électricité en fonction des ressources qui permettent de satisfaire ces besoins

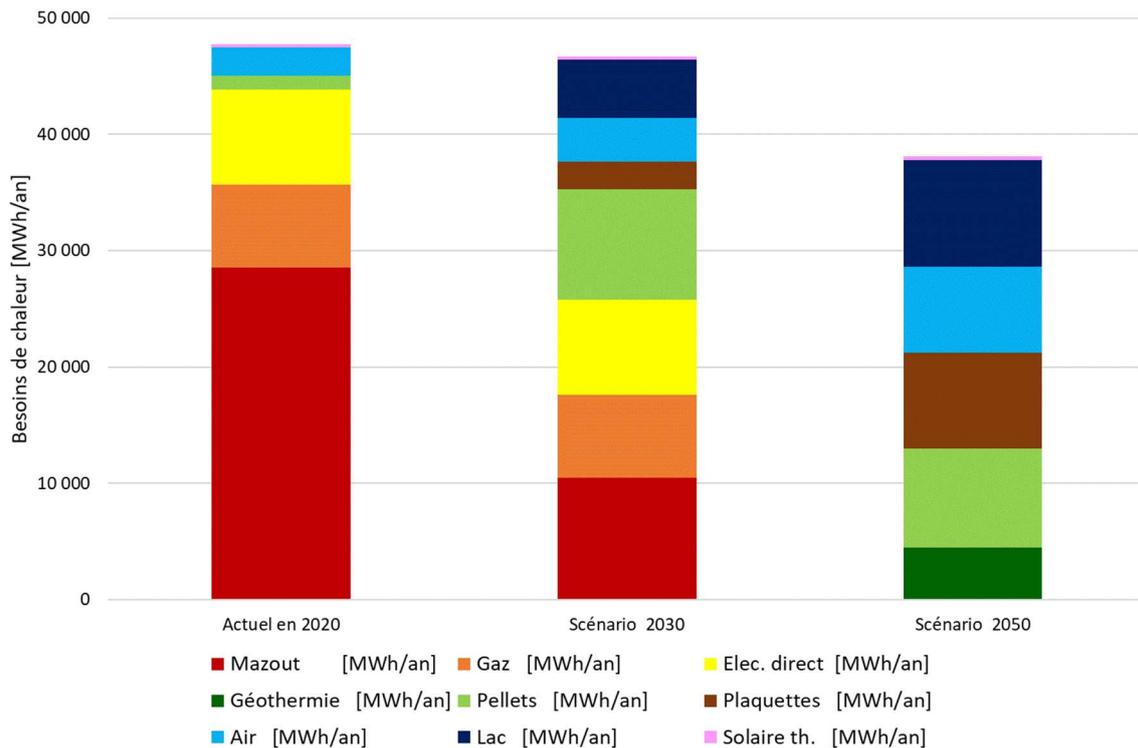


Figure 63 : Répartition des besoins de chaleur en fonction des ressources qui permettent de satisfaire ces besoins, pour l'ensemble de la Commune

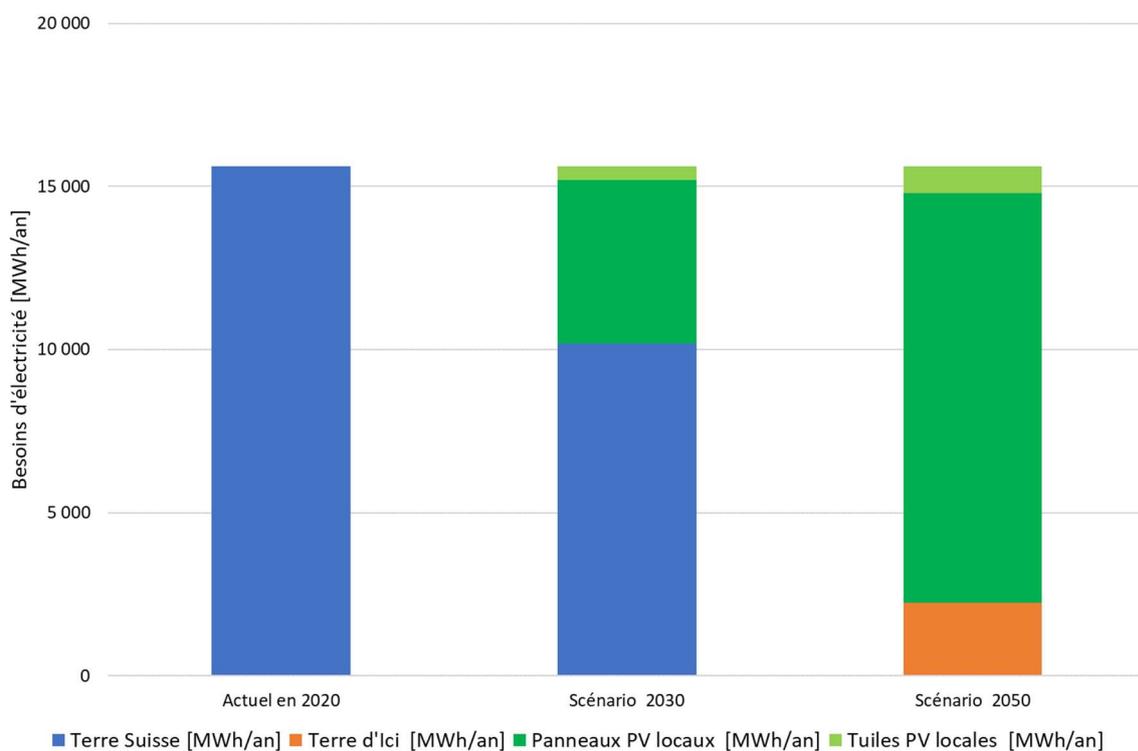


Figure 64 : Répartition des besoins d'électricité en fonction des ressources qui permettent de satisfaire ces besoins, pour l'ensemble de la Commune

10 Analyse environnementale

La présente section a pour but de quantifier les paramètres relatifs aux aspects environnementaux des différents scénarios d’approvisionnement, à savoir :

- La consommation d’énergie finale,
- La consommation d’énergie primaire non renouvelable,
- Les émissions de CO₂,
- Les émissions de polluants atmosphériques (NO_x, SO₂, CO),
- La part d’énergies renouvelables,
- La part d’énergie importée.

Les hypothèses et valeurs suivantes ont été faites, resp. prises, pour calculer les paramètres relatifs aux aspects environnementaux :

- Les valeurs d’émissions et les facteurs d’énergie primaire non renouvelables des différentes ressources sont tirée du Cahier Technique 2040 de la SIA [54] et de la Fiche d’information *Facteurs d’émission des chauffages* de l’Office Fédéral de l’Environnement [55].
- L’électricité « Terre Suisse » étant d’origine 100% hydraulique, elle a été considérée comme renouvelable, mais importée.
- En ce qui concerne le bois, la Commune ne disposant plus de ressources, il a été considéré comme importé, que ce soit pour les pellets (chaudières décentralisées) ou les plaquettes (chaudières centralisées). En réalité ce n’est pas tout à fait juste, puisque le Canton de Vaud dispose encore de ressources. Mais à défaut de valeurs précises sur ces ressources, on a choisi cette hypothèse conservatrice.
- En ce qui concerne les pompes à chaleur, l’énergie thermique (énergie sous-tirée à l’eau du lac, à l’air ou au sol), a été considérée comme renouvelable et locale. Pour l’électricité, on a fait l’hypothèse que les PAC seraient alimentées par de l’électricité « Terre d’Ici » (50% hydraulique et 50% photovoltaïque), elle a par conséquent été considérée comme 100% renouvelable et 50% locale. Les coefficients de performance utilisés sont issus du Cahier Technique 2040 de la SIA [54] :

Type de PAC	COP
PAC sur sondes	3,9
PAC air/eau	3,3
PAC eau/eau	4,1

- Pour les chaudières, les rendements suivants ont été pris. Ces rendements sont issus du Cahier Technique 2040 de la SIA [54] et de l’outil Erneuerbar Heizen [65]:

Technologie	Rendement
Chaudière à gaz	0,85
Chaudière à mazout	0,9
Chaudière individuelle à pellets	0,9
Rendement CAD	0,95

Les résultats de l’analyse environnementale sont indiqués dans les tableaux et la figure ci-dessous. En plus des deux scénarios ci-dessus, les performances environnementales du scénario actuel, tel qu’il s’est présenté en 2020, ont également été évaluées, à titre de comparaison.

Scénario	CO ₂	NOx	SO ₂	CO
	[tonne/an]	[kg/an]	[kg/an]	[kg/an]
Actuel en 2020	12 459	5 308	1 515	2 957
Scénario 2030	7 319	5 814	1 029	11 593
Scénario 2050	2 125	6 731	687	17 225

Tableau 55 : Résultats de l'analyse environnementale, pour l'ensemble de la Commune : polluants atmosphériques

Scénario	Energie renouvelable			Energie locale			Energie finale	
	Chaleur	Electricité	Total	Chaleur	Electricité	Total	[MWh/an]	% p.r. 2020
Actuel en 2020	25%	100%	44%	5%	0%	3%	67 810	0%
Scénario 2030	62%	100%	72%	17%	35%	20%	60 187	-11%
Scénario 2050	100%	100%	100%	49%	93%	56%	40 338	-41%

Tableau 56 : Résultats de l'analyse environnementale, pour l'ensemble de la Commune : polluants atmosphériques

En analysant les tableaux ci-dessus et graphiques ci-dessus, on peut faire les remarques suivantes :

1. Scénario 2030 :

- a. En analysant les émissions de CO₂ du Tableau 56 ci-dessus, on peut constater que les émissions de 2030 sont réduites de plus de 40% par rapport à la situation actuelle (7'319 tonne/an en 2030 contre 12'459 tonne/an en 2020), ce qui correspond bien aux objectifs du Plan Climat qui, pour mémoire, vise une réduction de 40% à 50% des émissions par rapport à 2020.
- b. Pour le scénario 2030, 20% des besoins sont satisfaits par des énergies locales, alors que la CoCEn vise 35%. Ceci dit, il ne faut pas oublier que l'horizon cible du Scénario 2030 est l'année 2030, alors qu'il est de 2035 pour la CoCEn. Si on poursuit la même progression de 2030 à 2035 qu'entre 2020 et 2030, on atteint déjà 27% d'énergies locales. De plus, à défaut d'avoir des valeurs précises sur l'origine exacte de l'électricité « Terre Suisse » ainsi que sur les ressources du Canton de Vaud en bois, les deux ont été considérés comme étant totalement importés. Ces hypothèses sont très pessimistes, quand on sait que le Canton de Vaud dispose de ressources dans ces deux types d'énergie³¹.
- c. L'énergie finale est réduite de 11% par rapport à 2020, répondant ainsi largement aux objectifs de la CoCEn.

2. Scénario 2050 :

- a. Ce scénario répond aussi bien aux exigences du Plan Climat qui visent à s'affranchir des énergies fossiles en 2050, qu'aux exigences de la CoCEn qui visent 50% d'énergie renouvelable locales en 2050. Remarque : L'objectif des 50% d'énergies renouvelables

³¹ Concernant l'électricité, la production hydraulique vaudoise potentielle, réalisable en plus de la production actuelle, s'élève à 235 GWh/an, et permettrait de couvrir les consommations de 50'000 ménages [67].

locales n'est pas atteint si on regarde la chaleur seule, mais rappelons que le bois a été considéré comme étant à 100% importé, ce qui est très restrictif comme hypothèse, puisque que le Canton de Vaud a encore du potentiel et que la Commune de Bourgen-Lavaux exporte le sien.

- b. Si, dans la situation actuelle (« Actuel 2020 »), l'immense majorité des émissions de CO₂ sont liées aux énergies fossiles (mazout et gaz), dans le Scénario 2050 ces émissions ne sont liées plus qu'à la combustion du bois.

On mentionnera enfin que pour les deux scénarios, 2030 et 2050, les émissions de CO et NO_x, deux polluants atmosphériques issus de la combustion, sont plus élevées que dans la situation actuelle. Ceci est lié à la combustion de bois, qui émet effectivement plus de CO et de NO_x que la combustion du mazout ou du gaz (la combustion d'un liquide ou d'un gaz est toujours plus propre que la combustion d'un solide). Pour ce qui est du SO₂ (également catalogué comme polluant atmosphérique), la combustion du mazout en émet légèrement plus que celle du bois (10 mg/MJ pour le bois contre 12 MJ/mg pour le mazout), en revanche la combustion du bois en émet nettement plus celle du gaz (10 mg/MJ pour le bois contre 0,5 mg/MJ pour le gaz). Toutes ces émissions restent cependant largement en-deçà des valeurs de la norme OPair.

Ces résultats sont également montrés graphiquement ci-dessous :

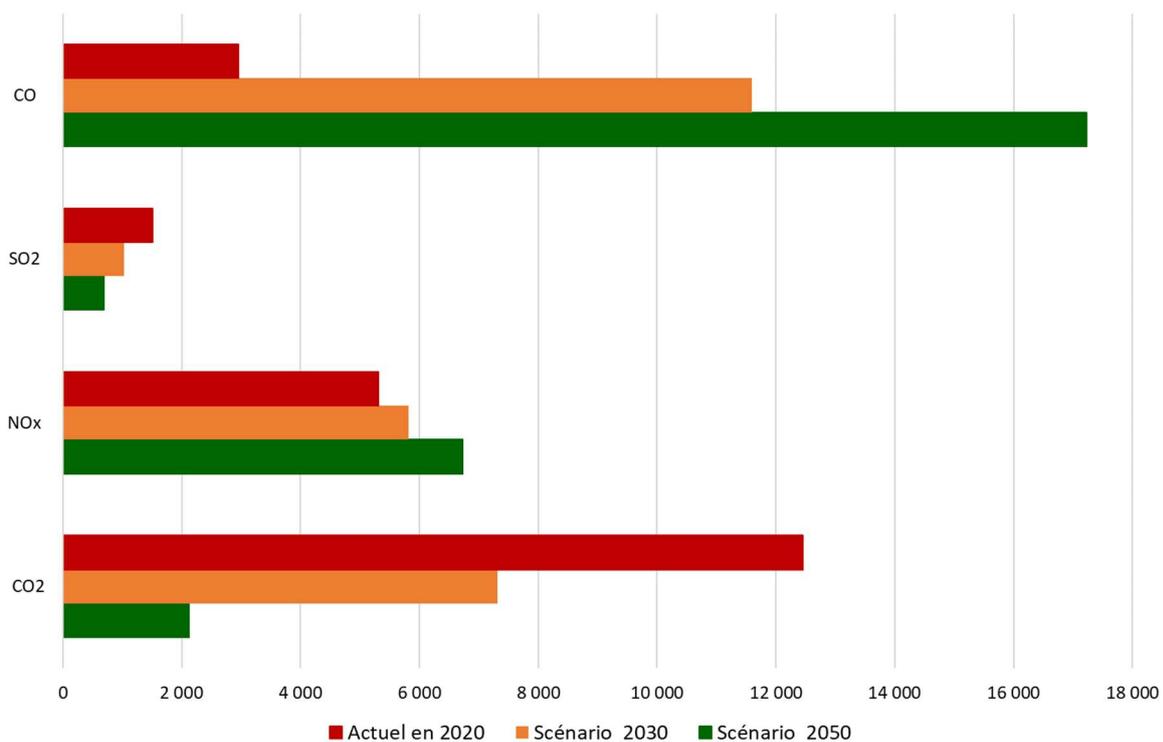


Figure 65 : Résultats de l'analyse environnementale pour les émissions de polluants et de CO₂, pour l'ensemble de la Commune

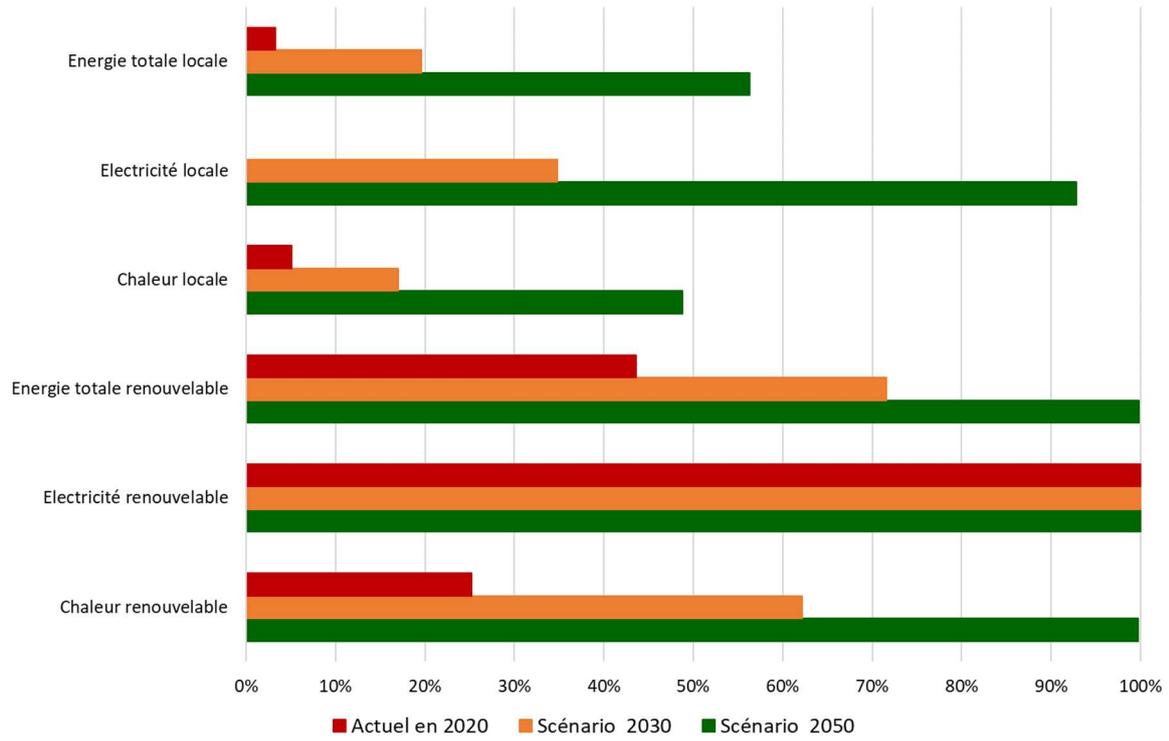


Figure 66 : Résultats de l'analyse environnementale pour les pourcentages d'énergie locale et d'énergie renouvelable, pour l'ensemble de la Commune

11 Analyse économique

Afin d'avoir un ordre de grandeur sur les investissements qu'il faut consentir dans chacun des scénarios, ainsi que sur le prix de revient de l'énergie, une analyse économique sommaire a été réalisée dans le cadre de la présente étude. Cette analyse a pour seule vocation de pouvoir comparer les scénarios entre eux. Dans tous les cas, si la Commune souhaite poursuivre dans l'une ou l'autre option proposée, des évaluations plus détaillées et plus précises devront être faites. Les hypothèses ci-dessous ont été faites :

1. Pour la chaleur, les puissances des différentes technologies (pompes à chaleur, et chaudières) ont été estimées à partir des énergies, à l'aide d'une durée d'utilisation à pleine charge moyenne, pour la Commune dans son ensemble, de 1'411 heures (cette valeur est obtenue en divisant les besoins de chaleur totaux, par la puissance totale indiquée dans la section 4.1).
2. Les investissements en CHF/kW, pour les différentes technologies, sont une compilation de différentes études librement disponibles ([61] à [65]) et de fournisseurs.
3. Le prix de revient des différentes énergies, en cts/kWh, pour la chaleur, a été estimé à l'aide de l'outil *Erneuerbar heizen* de suisseénergie [65]. Cet outil a pour but de donner au particulier un ordre de grandeur lorsque ce dernier décide de changer son mode de production de la chaleur. L'utilisation de cet outil présente certains inconvénients :
 - a. Il ne peut pas tenir compte de toutes les spécificités d'un projet.
 - b. Toutes les hypothèses ne sont pas clairement identifiables, notamment celles concernant les coûts d'investissement.
 - c. Il ne permet pas de calculer le prix de revient dans le cas des chauffages électriques directs, ni des chauffages à distance alimentés avec des plaquettes de bois. Pour ces deux technologies, les coûts ont été estimés séparément.

Cet outil a cependant le mérite de tenir compte des subventions cantonales (en l'occurrence vaudoises) et permet de comparer rapidement différentes solutions. Il convient de préciser ici que l'outil admet un taux d'intérêt de 1,5%.

4. Pour les chauffages à distance alimentés par des plaquettes de bois, les coûts d'investissement ont été estimés à l'aide du Manuel QM Bois [26] et de l'expérience des bureaux focus-E et Ström SA³². Le coût de la plaquette forestière a été pris à 6,7 cts/kWh [66]. Enfin, les valeurs suivantes ont été considérées pour estimer le prix de revient en cts/kWh ([26], [66]) :

CAD Bois	Durée de vie	Entretien et maintenance
	[an]	[-]
Chaufferie	20	3,0%
Conduites CAD	40	1,0%
Maçonnerie	50	2,5%

5. Les valeurs et paramètres économiques relatifs à la boucle d'énergie sur l'eau du lac ont été repris de l'étude *Etude énergie Place de la gare de Bourg-en-Lavaux (Cully) et Hôpital de Lavaux* [21].
6. Les valeurs relatives à la durée de vie des installations et aux frais d'entretien et de maintenance des installations photovoltaïques sont tirées de l'étude *Photovoltaikmarkt Beobachtungsstudie 2019* [61], de Swissolar et de fournisseurs (dont [62]). Ces informations

³² Bien que les prix indiqués dans le manuel QM Bois se réfèrent à une moyenne de différentes installations réalisées en Suisse, ces prix sont largement en-dessous des devis que les bureaux focus-E et Ström SA ont obtenu pour différents projets.

sont encore peu nombreuses, comparé aux autres technologies. Les valeurs sont données dans le tableau ci-dessous :

Technologie	Durée de vie	Entretien et maintenance
	[an]	[CHF/kWh]
Panneaux PV	30	0,03
Tuiles solaires	30	0,03

Les puissances et les coûts d'investissement sont donnés dans les tableaux ci-dessous. Pour les coûts d'investissement, deux options sont choisies : dans la première option on considère que l'entier des chaudières, pompes à chaleur,... doivent être nouvellement acquises, alors que dans la deuxième option, on ne doit investir que dans l'équipement qui n'existe pas encore. A titre d'exemple, pour le scénario 2030, avec la première option on tient compte de l'investissement pour les chaudières à mazout (alors même qu'il ne semble pas réaliste de changer toutes les chaudières à mazout d'ici 2030), alors que pour la deuxième option on ne tient compte que des investissements pour les appareils qui doivent être nouvellement installés (typiquement les nouvelles pompes à chaleur). Cette deuxième option est plus conforme à la réalité, mais ne tient pas compte du remplacement des installations actuelles (chaudières à gaz par exemple), alors qu'il y aura sans doute des équipements à remplacer au cours de ces 10 prochaines années. Les deux options ne sont que très approximatives, et la réalité se situera in fine entre les deux. D'autre part, les deux scénarios sont considérés de manière totalement indépendante l'un de l'autre. Ainsi, dans le Scénario 2050 on ne tient pas compte des investissements réalisés dans le Scénario 2030. Enfin, il n'est tenu compte d'aucune subvention en l'état, et les coûts liés aux rénovations n'ont pas pu être estimés en raison du caractère trop général de l'étude.

	Mazout	Gaz	Elec. direct	Géothermie	Pellets	Plaquettes	Air	Lac	TOTAL
Puissance totale en 2030 [kW]	7 450	5 039	5 773	0	6 744	1 672	2 669	600	29 947
Puissance nouvelle en 2030 (p.r. 2020)	0	0	0	0	5 892	1 672	946	600	9 109
Puissance totale en 2050 [kW]	0	0	0	3 187	6 024	5 850	5 213	6 524	26 797
Puissance nouvelle en 2050 (p.r. 2020)	0	0	0	3 187	5 172	5 850	3 490	6 524	24 221

Tableau 57 : Puissance des installations thermiques

Scénario	Panneaux	Tuiles
Puissance en 2030 [kWp]	2 927	265
Puissance en 2050 [kWp]	7 317	530

Tableau 58 : Puissance des installations électriques

Scénario	Chaleur		Electricité
	Invest. sans tenir compte de l'existant [mio-CHF]	Invest. tenant compte de l'existant [mio-CHF]	Invest. sans tenir compte de l'existant [mio-CHF]
2030	44	23	12
2050	67	62	28

Tableau 59 : Coûts d'investissement totaux pour chacun des scénarios

Les tableaux ci-dessous indique le prix de revient de la chaleur par technologie, et en moyenne pondérée pour chacun des scénarios :

Energie	Coût [cts/kWh]
Mazout	21,8
Gaz	20,6
Elec. direct	25,2
PAC sol/eau (géothermie)	15,8
Chaudière décentralisée à pellets	17,3
CAD avec chaufferie alimentée aux plaquettes de bois	19,5
PAC air/eau	15,7
Boucle d'anergie sur le lac avec PAC eau/eau	13,0
Moyenne pondérée Scénario 2030	19,6
Moyenne pondérée Scénario 2050	16,1

Tableau 60 : Prix de revient de la chaleur

Comme on peut le voir dans ce tableau, l'abandon, à terme, des énergies fossiles, n'est pas seulement une nécessité écologique, mais également économique. Le prix moyen de la chaleur est en effet moins élevé pour le scénario 2050, qui est plus ambitieux que le scénario 2030.

Le tableau ci-dessous indique le prix de revient pour l'électricité par technologie, et en moyenne pondérée pour chacun des scénarios. Attention : Il convient de rappeler qu'aucune subvention n'a été considérée à ce stade.

Energie	Coût [cts/kWh]
Panneau photovoltaïque	9,8
Tuile solaire	32,5
Terre Romande	22,0
Terre d'Ici	23,5
Moyenne pondérée Scénario 2030	18,4
Moyenne pondérée Scénario 2050	13,0

Tableau 61 : Prix de revient de l'électricité

Enfin, le bois ayant plusieurs fois été mentionné comme option potentiellement intéressante pour décarboner les bourgs, le tableau ci-dessous indique, pour chacun des bourgs, une estimation des coûts d'investissement. Comme dans le cadre des scénarios, les valeurs du tableau ci-dessous ne sont que des premières estimations qu'il conviendra dans tous les cas d'affiner, notamment lorsque la longueur du réseau aura pu être établie de façon précise, et le bâtiment abritant la chaufferie, connu.

Secteur	Puissance chaudière à plaquettes [kW]	Longueur du réseau primaire [m]	Densité de raccordement [MWh/m _{in} /an]	Investissement chaufferie (appareils et bâtiment) [CHF]	Investissement conduites [CHF]	Investissement total [CHF]
Aran	1 108	650	3	2 232 621	578 500	2 811 121
Grandvaux Bourg	1 477	650	6	2 975 473	578 500	3 553 973
Riex Bourg	964	650	3	1 942 707	578 500	2 521 207
Epresses Bourg	1 577	630	5	3 178 584	560 700	3 739 284
Villette	368	400	2	742 421	356 000	1 098 421
Bourg-en-Lavaux	5 495	2 980	N.A.	11 071 806	2 652 200	13 724 006

Tableau 62 : Estimation de l'investissement pour des chauffages à distance alimentés aux plaquettes de bois, dans les bourgs

12 Recommandations

Au regard des objectifs fixés aux niveaux fédéral et cantonal en matière d'énergie et de CO₂, et au regard également de l'approvisionnement énergétique actuel de la Commune de Bourg-en-Lavaux (plus 75% de fossile), la Commune se doit d'adopter un scénario d'approvisionnement ambitieux, si elle souhaite atteindre les objectifs climatiques. Certes, que ce soit la Stratégie Energétique 2050 de la Confédération, le Plan Climat ou encore la CoCEn, ces documents ne traduisent pas des objectifs que la Commune a elle-même fixés (contrairement par exemple à des Communes Cité de l'Energie). On peut cependant raisonnablement estimer qu'avec plus 76% des voix en faveur de la Stratégie Energétique 2050 (soit un résultat parmi les plus nets de toute la Suisse), la Commune a une volonté clairement affichée de tendre vers un approvisionnement plus respectueux de l'environnement. Le Scénario 2030, qui prévoit le remplacement de 60% des chaudières à mazout par des ressources renouvelables, peut être considéré comme ambitieux quand on sait qu'en 10 ans, en Suisse, on n'a réduit la consommation de mazout que de 35%, mais il montre clairement la direction dans laquelle la Commune doit aller, afin de respecter les buts de la CoCEn et du plan Climat, à relative brève échelle (2030-2035). A plus long terme (2050), la Commune devra faire encore plus, sachant que la neutralité carbone est visée (non seulement par le Plan Climat, mais également par les accords de Paris). Le Scénario 2050 est un exemple de ce que la Commune peut entreprendre dans ce sens.

Les principales recommandations qu'on peut faire, pour aller dans le sens des scénarios proposés (ou du moins des réflexions inhérentes à ces scénarios), sont indiquées ci-dessous. Elles peuvent être catégorisées en deux groupes : les recommandations techniques, et les recommandations de gouvernance :

Recommandations techniques :

- Chaleur :
 - Etudier la possibilité de mettre en place des chauffages à distance alimentés par le bois, dans les secteurs «bourg», qui sont fortement dépendants du mazout. On pourrait par exemple commencer par Grandvaux, Epresses ou Aran, qui ont des fortes densités thermiques.
 - Etudier la possibilité d'étendre la boucle d'anergie sur l'eau du lac et/ou d'utiliser la boucle comme départ pour un chauffage à distance.
- Electricité :
 - Procéder à une analyse détaillée des options d'installation de panneaux et/ou tuiles solaires dans les bourgs. Etablir un plan cadastral et informer les propriétaires des toitures disponibles dans la zone protégée de Lavaux.
 - Inciter/faciliter l'installation de panneaux photovoltaïques.

Recommandations liées à la gouvernance :

- Chaleur :
 - Organiser une séance d'informations sur les enjeux liés à l'isolation/rénovation des bâtiments.
 - Proposer une aide financière, par exemple sous forme de prêt à taux 0% pour les propriétaires qui souhaitent franchir le pas de mettre une isolation, changer la chaudière à mazout,...
 - Inciter et/ou faciliter l'installation de PAC en groupant les intéressés et proposant un AO groupé pour les propriétaires de chaudière à Mazout.

- Electricité :
 - Inciter et/ou faciliter l'installation de panneaux photovoltaïques par des actions groupées (comme cela a par exemple été fait à Epalinges pour le photovoltaïque).

D'une manière générale, la Commune peut aussi informer la population sur ce qu'elle a récemment entrepris dans ce domaine. Cela permet non seulement de montrer le rôle exemplaire pris par la Commune, mais surtout d'échanger des expériences avec des personnes privées qui souhaiteraient faire des travaux identiques à leur échelle chez eux.

Enfin, la Commune peut également intervenir auprès du Canton pour mettre en évidence les difficultés qu'il peut y avoir à satisfaire aux exigences de la CoCEn et du Plan Climat. Non pas dans le but de revoir les objectifs à la baisse, mais de mettre en place des outils facilitateurs là où c'est nécessaire.

13 Annexes

13.1 Estimation des besoins de chaleur pour le chauffage

Méthode « RCB »

Les RCB, ou Registre Cantonal des Bâtiments, est un registre qui recense l'ensemble des bâtiments du Canton de Vaud. Ce registre comprend, notamment, les SRE, l'agent énergétique utilisé (mazout, gaz,...), et les besoins de chauffage et d'ECS des différents bâtiments. La plupart de ces valeurs ne correspondent cependant pas à des valeurs réelles mesurées, mais sont des valeurs qui ont été estimées sur la base d'hypothèses de calculs (comme l'affectation, l'année de construction,...).

Afin de déterminer les besoins en chaleur sur la base de ce registre, il suffit d'additionner les besoins indiqués dans le registre pour chacun des bâtiments de la Commune.

L'avantage de cette méthode est sa simplicité d'application. En revanche, l'inconvénient est que cette méthode est basée, pour une écrasante majorité des bâtiments, sur des valeurs calculées (SRE, besoins de chauffage) qui n'ont pas pu être validées avec les valeurs réelles. Il est donc difficile de savoir quel est le degré d'incertitude des résultats finaux.

Méthode « Statistiques Fédérales »

Les statistiques fédérales agrègent une quantité d'informations importantes relatives à l'énergie, au niveau de tout le pays. Pour déterminer les besoins en chaleur de la Commune de Bourg-en-Lavaux, on s'est largement appuyé sur les valeurs données la publication *Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2018 nach Verwendungszwecken*, étude réalisée par les bureaux infras, TEP et prognos pour le compte de l'Office Fédéral de l'Energie en octobre 2019. Les valeurs les plus importantes dans le cadre de la présente étude sont données dans le tableau ci-dessous :

Paramètre	Valeur
SRE logements	547 mio m ²
SRE activités	164 mio m ²
Consommation de chaleur pour le logement à des fins de chauffage (tous agents confondus : gaz, mazout, Électricité,...)	173,2 PJ
Consommation de chaleur pour le logement à des fins de chauffage	59 PJ

En admettant un rendement de chaudière de 85%, ces valeurs permettent d'obtenir un ordre des grandeurs des besoins en kWh/m². En multipliant cet ordre de grandeur par les SRE des logements et des activités de la Commune de Bourg-en-Lavaux, on obtient une approximation des besoins de chauffage. Il ne s'agit bien entendu que d'une approximation, sachant que les consommations indiquées dans les statistiques fédérales agrègent l'ensemble des agents énergétiques (y compris l'électricité des pompes à chaleur par exemple), et que le rendement d'une chaudière à gaz n'est pas comparable au COP d'une pompe à chaleur. Ceci étant, sachant que l'immense majorité des chauffages en Suisse sont toujours alimentés par des chaudières à mazout ou un gaz, cette méthodologie reste acceptable pour donner un ordre de grandeur.

L'avantage de cette méthode est qu'elle est basée sur un nombre restreint de valeurs, faciles d'utilisation. En revanche, il est nécessaire de faire des hypothèses assez drastiques pour pouvoir

ramener ces valeurs données pour le territoire national, à des valeurs décrivant le paysage énergétique du territoire de la Commune de Bourg-en-Lavaux.

Méthode « Gaz »

Le fournisseur de gaz de la Commune de Bourg-en-Lavaux a transmis les consommations de gaz des cinq dernières années, ce qui permet de faire une moyenne. En estimant la fraction des besoins de chaleur (pour le chauffage et l'ECS) satisfaits par le gaz pour l'ensemble de la Commune (à l'aide des valeurs du RCB par exemple), on peut déduire la consommation totale de la Commune pour le chauffage. En appliquant un rendement de chaudière à gaz de 85%, on peut calculer les besoins en chaleur.

L'avantage de cette méthode est qu'elle est basée sur une valeur mesurée réelle (la consommation de gaz). En revanche, la détermination de la fraction de gaz reste basée sur des estimations théoriques, rendant la précision de l'estimation des besoins de chaleur totaux de la Commune directement dépendant de l'incertitude liée au calcul de la fraction de gaz.

13.2 Affectations SIA

Le tableau ci-dessous donne des exemples de bâtiments pour les différentes catégories d'ouvrage, selon la norme SIA 380/1 [22] :

Catégorie d'ouvrages		Affectations (exemples)
I	habitat collectif	immeubles locatifs et en propriété par appartement, résidences et logements pour personnes âgées, hôtels, immeubles et résidences de vacances, homes pour enfants et adolescents, centres d'hébergement diurne, homes pour handicapés, centres d'accueil pour toxicomanes, casernes, établissements pénitentiaires
II	habitat individuel	villas individuelles ou jumelées, maisons de vacances, villas en chaînettes
III	administration	bâtiments administratifs privés et publics, locaux avec guichets, cabinets médicaux, bibliothèques, musées, centres culturels, centres informatiques, centres de télécommunication, studios de radio/télévision
IV	écoles	bâtiments scolaires de tous niveaux, jardins d'enfants et crèches, locaux d'enseignement, centres de formation, palais des congrès, laboratoires, instituts de recherche, locaux communautaires, centres de loisirs
V	commerce	locaux commerciaux de tous genres, y compris centres commerciaux, halles pour foires commerciales
VI	restauration	restaurants (y compris cuisines), cafétérias, cantines, dancings, discothèques
VII	lieux de rassemblement	théâtres, salles de concerts, salles de cinéma, églises, salles funéraires, salles des fêtes, halles sportives avec tribunes
VIII	hôpitaux	hôpitaux, cliniques psychiatriques, homes médicalisés, homes pour personnes âgées, centres de réhabilitation, locaux de soins
IX	industrie	fabriques, usines, centres artisanaux, ateliers, centres d'entretien, gares, casernes de pompiers
X	dépôts	entrepôts, centres de distribution
XI	installations sportives	halles de gymnastique et de sport, salles de gymnastique, halles de tennis, bowlings, centres de fitness, vestiaires (pour installations sportives)
XII	piscines couvertes	piscines couvertes, bassins de natation, saunas, bains thermaux

Références

- [1] https://www.geo.vd.ch/theme/localisation_thm, accédé le 9 mars 2020.
- [2] *Guide pour une Planification Energétique Territoriale, Partie 3 : Planification énergétique territoriale dans le cadre des Plans directeurs communaux et localisés (PDCOM, PDL)*, Département du territoire et de l'environnement, Direction de l'énergie, Canton de Vaud, Juin 2016.
- [3] <https://www.pdcn.vd.ch/>, accédé le 9 mars 2020.
- [4] *Conception cantonale de l'énergie*, DGE-DIREN, 2019.
- [5] *Accélérer la transition énergétique vaudoise – Conception Cantonale de l'énergie*, version 2019, Département du territoire et de l'environnement (DTE), Direction générale de l'environnement (DGE), Direction de l'énergie (DIREN).
- [6] <https://www.vd.ch/themes/environnement/air/chauffages-contrôle-des-émissions/>, accédé le 15 mars 2020.
- [7] <https://www.coord21.ch>, accédé le 15 mars 2020.
- [8] <https://www.agenda2030.ch/index.php/chapitre-4/energie-et-climat>, accédé le 15 mars 2020.
- [9] https://www.vd.ch/fileadmin/user_upload/themes/territoire/amenagement/PAC_Lavaux/190815_PACLav_Rapport_47OAT_yc_Annexes.pdf, accédé le 25 septembre 2020.
- [10] https://www.geo.vd.ch/theme/patrimoine_thm, accédé le 15 mars 2020 et le 17 mai 2020.
- [11] *Directives concernant l'Inventaire fédéral des sites construits d'importance nationale à protéger en Suisse ISOS*, 1^{er} janvier 2020, Confédération Suisse.
- [12] Communication par courriel, Division Air, climat et risques technologiques, Direction de l'environnement industriel, urbain et rural, Canton de Vaud, 17 mars 2020.
- [13] Directive Cantonale pour l'implantation de Chauffage à Bois, Département du territoire et de l'Environnement, Direction Générale de l'Environnement du Canton de Vaud, 1^{er} juillet 2014.
- [14] https://www.geo.vd.ch/theme/altimetrie_thm, accédé le 23 mars 2020.
- [15] https://www.geo.vd.ch/theme/dangers_nat_thm, accédé le 23 mars 2020.
- [16] Communication personnelle de la Commune de Bourg-en-Lavaux, Février-septembre 2020.
- [17] Communication personnelle Energiapro, mars 2020.
- [18] *Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 – 2018 nach Verwendungszwecken*, étude réalisée par les bureaux infras, TEP et prognos pour le compte de l'Office Fédéral de l'Energie, octobre 2019.
- [19] Couche (base de données) RCB reçue de la DIREN, mars 2020.
- [20] Communication personnelle DIREN, avril 2020.
- [21] *Etude énergie Place de la gare de Bourg-en-Lavaux (Cully) et Hôpital de Lavaux*, Etude réalisée par le bureau Ström SA sur mandat de la Commune de Bourg-en-Lavaux, 24.10.2019.
- [22] *L'énergie dans le bâtiment*, SIA 380/1, édition 2007.
- [23] *Certificat énergétique des bâtiments*, CT 2031, édition 2009.
- [24] <https://www.swissolar.ch>, accédé le 15 avril 2020.
- [25] *Géothermie en Suisse – Une source d'énergie polyvalente*, suisse énergie, 2017.
- [26] *QM Chauffage au bois – Manuel de planification*, Energie-bois Suisse, traduction de 2010.
- [27] <https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/sonnendach/?lang=fr>, accédé le 13 avril 2020.
- [28] <https://www.bak.admin.ch/bak/fr/home/patrimoine-culturel/patrimoine-culturel-et-monuments-historiques/isos---inventaire-federal-des-sites-construits-dimportance-natio.html>, accédé le 19 avril 2020.

- [29] Capteurs solaires – Aide au dimensionnement, SuisseEnergie, 2015.
- [30] Fiche d'information: Chaleur solaire, Swissolar, juillet 2019.
- [31] <https://www.solaranlage.eu/solar/solarenergie/solarthermie-und-photovoltaik-im-vergleich>, accédé le 19 avril 2020.
- [32] *Recommendations for the planning and implementation of new GSHP systems in dense urban environments and related tool*, WP6 of the project Most Easy, Efficient and Low Cost Geothermal Systems for Retrofitting Civil and Historical Buildings (projet de recherche européen dont la Suisse est membre) M. Belliardi et al, SUPSI, 29 février 2020.
- [33] *4D-Temperaturmessungen in EWS Saisonales und räumliches Temperatur-Monitoring in teilregeneriertem Erdwärmesondenfeld in Lausen*, Etude réalisée par Geo-Explorers pour le compte de l'OFEN, novembre 2017.
- [34] *Lösungen für wenig Platz*, Geothermie-Schweiz n°62, mars 2017.
- [35] Energie-bois Suisse, présentation donnée en septembre 2014.
- [36] *Dimensionnement de sondes géothermiques pour le chauffage et le rafraîchissement*, Prof. Daniel Pahud, Cours donné le 16 juin 2011 à l'UNIGE.
- [37] https://www.geo.vd.ch/theme/energie_thm, mars-juin 2020.
- [38] <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/eaux/etat/cartes/typologie-des-cours-deau-suissees.html>, accédé le 26 avril 2020.
- [39] Stratégie Bois-Energie du Canton de Vaud, DGE, septembre 2017.
- [40] *Ordonnance sur la protection contre le bruit* (ordonnance fédérale), version au 1^{er} janvier 2015.
- [41] <http://wind-data.ch/windkarte/>, accédé le 27 avril 2020.
- [42] *Programme réseaux thermiques - Économie et fondements de la rentabilité*, Bureau CSD sur mandat de SuisseEnergie, juillet 2017.
- [43] Communication personnelle fournisseurs, mars-mai 2020.
- [44] *Région de Lavaux – vers une identité paysagère et architecturale concertée - Guide paysage*, Commission intercommunale de Lavaux CIL, 2016.
- [45] *Culture solaire - Concilier énergie solaire et culture du bâti*, Office Fédéral de la Culture OFC, 2019.
- [46] Communication personnelle, Division Monuments et Site, Etat de Vaud, mai 2020.
- [47] <https://www.panneau-solaire-suisse.ch/2019/05/15/les-tuiles-solaires-photovoltaïques/>, accédé en mai 2020.
- [48] <https://issol.ch/solarterra/>, accédé en mai 2020.
- [49] <https://wind-data.ch/windkarte/>, accédé le 25 mai 2020.
- [50] *CT 2024*, SIA, Ed. 2006.
- [51] *Alles über Erdwärmesonden*, Geothermie Schweiz, Janvier 2016.
- [52] Communication personnelle CCL (Commission Consultative Lavaux), mai 2020.
- [53] Swiss Energy Scope, <http://www.energyscope.ch/100-questions/efficacite-energetique/quel-avenir-pour-le-gaz-naturel-et-le-mazout>, accédé le 24.06.2020.
- [54] *CT 2040*, SIA, Ed. 2011.
- [55] *Fiche d'information Facteurs d'émission des chauffages*, Office Fédéral de l'Environnement (OFEV), 2015.
- [56] *Plan climat: une stratégie et des mesures ambitieuses pour réduire les risques et protéger la population*, Communiqué du Conseil d'Etat vaudois, Juin 2020.
- [57] https://www.romande-energie.ch/images/files/prix-electricite/2020_prix-electricite_re.pdf, accédé le 17.07.2020.

- [58] <https://www.vd.ch/themes/environnement/developpement-durable/indicateurs/indicateurs-pour-le-canton-de-vaud/19-air-et-climat/192-indicateur/>, accédé le 17.07.2020.
- [59] *Installations de ventilation et de climatisation – Bases générales et performances requises*, SIA 328/1, SIA, 2007.
- [60] *Sondes géothermiques*, SIA 384/6, SIA, 2010.
- [61] *Photovoltaikmarkt-Beobachtungsstudie 2019*, Planair sur mandat de suisseénergie, 2020.
- [62] <https://terresolaire.com/Blog/batiment-solaire/tuile-photovoltaique/>, accédé le 15.07.2020.
- [63] *Etude sur le remplacement des chauffages électriques par des pompes à chaleur dans le canton de Fribourg*, Groupement professionnel suisse pour les pompes à chaleur GSP sur mandat de suisseénergie, 2013.
- [64] *Preise von Luft/Wasser Wärmepumpen - Analyse der Preise von Luft/Wasser Wärmepumpen und der Qualität ihrer Installation*, Ernst Basler + Partner AG sur mandat de suisseénergie, 2015.
- [65] <https://erneuerbarheizen.ch>, suisseénergie, accédé le 15.07.2020.
- [66] Communication personnelle Energie-Bois Suisse, juillet 2020.
- [67] <https://www.vd.ch/themes/environnement/energie/energies-renouvelables-bois-hydraulique-geothermie-profonde-energies-eolienne-et-solaire/hydraulique/>, accédé le 21.07.2020.
- [68] <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themes/paysage/info-specialistes/conserver-et-developper-la-qualite-du-paysage/paysages-d-importance-nationale/inventaire-federal-des-paysages--sites-et-monuments-naturels-dim.html>, accédé le 12.09.2020.
- [69] *Etude Energie de la STEP de Bourg-en-Lavaux*, Strom S.A., septembre 2020.