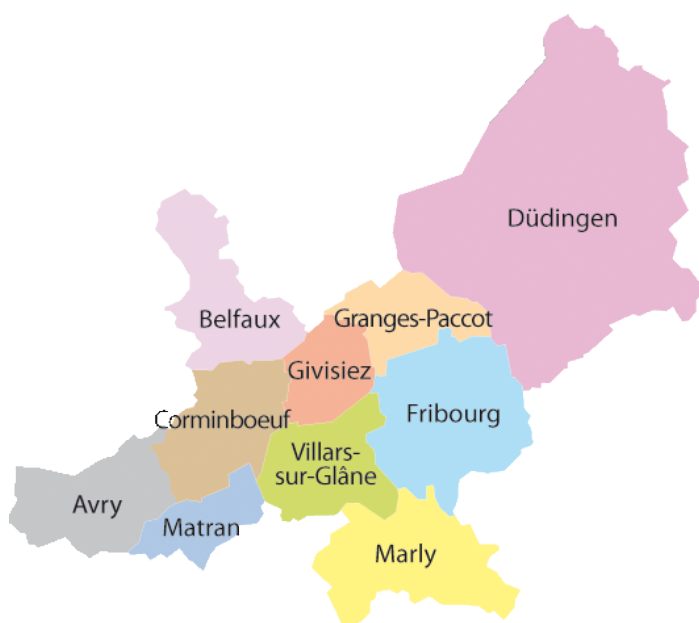


Plan régional des énergies

Agglo Fribourg



Granges-Paccot, le 6 juillet 2020

Impressum

Mandant	Agglomération de Fribourg / Agglomération Freiburg Boulevard de Pérolles 2 1700 Fribourg 026 347 21 00 secretariat@agglo-fr.ch
Mandataire principal	Groupe E Route de Morat 135 1763 Granges-Paccot Tél. 078/735.99.98 julien.egger@groupe-e.ch
Contribution et validation technique	Groupe de travail « énergie » de l'Agglomération de Fribourg
Validation politique	
Remerciements	M. Félicien Frossard, Secrétaire général M. Olivier Caspar, Mobilité Mme Lauriane Grosjean, Aménagement régional

Auteur du plan Groupe E SA, Julien Egger, chef de projet _____	Approbation _____
Granges-Paccot, le 6 juillet 2020	Fribourg, le _____

TABLE DES MATIÈRES

1	INTRODUCTION	8
2	Bases légales et contexte	9
2.1	Bases légales fédérales	9
	LEne	9
	OEn	9
	Stratégie énergétique 2050	9
	Principaux documents	10
2.2	Bases légales cantonales	10
	LEn	10
	Principaux documents	10
2.3	Bases légales de l'agglomération	10
	Principaux documents	10
3	SITUATION ACTUELLE DE L'AGGLOMERATION DE FRIBOURG	11
3.1	Portrait	11
3.1.1	Situation et présentation	11
3.1.2	Indicateurs généraux (pour les 10 communes)	12
3.2	Consommation d'énergie	13
3.2.1	Bilan de l'énergie thermique	15
3.2.2	Bilan de l'énergie frigorifique	17
3.2.3	Bilan de l'énergie électrique	17
3.2.4	Mobilité	18
3.3	Production d'énergies renouvelables	21
3.3.1	Production d'énergie renouvelable thermique	21
3.3.2	Production d'énergie renouvelable électrique	22
3.4	Réseaux de transport et distribution de l'énergie	24
4	POTENTIELS ÉNERGÉTIQUES DE L'AGGLOMÉRATION	27
4.1	Potentiel d'économie d'énergie	27
4.1.1	Chaleur / froid	27
	Rénovation des bâtiments	27
	Optimisation	28
4.1.2	Électricité	29
	Chauffage électrique et ECS électrique	29
	Eclairage public	29
	Optimisation	29
	Processus Industriels	29
4.1.3	Mobilité	30
4.2	Potentiel de production d'énergies renouvelables	31
4.2.1	Energie Eolienne	31
4.2.2	Energie Solaire	31
	Energie solaire photovoltaïque	32

Energie solaire thermique	33
4.2.3 Energie-bois	34
4.2.4 Energie Hydrothermique	35
4.2.5 Energie Hydrodynamique	35
4.2.6 Géothermie	36
Géothermie faible profondeur (très basse enthalpie)	36
Géothermie de moyenne profondeur (sur aquifères profonds)	38
Géothermie de grande profondeur	38
4.2.7 Air Ambiant	39
4.2.8 Valorisation des rejets thermiques	39
SAIDF	40
Energie des STEP	40
Biogaz	42
Récupération de chaleur des eaux usées	42
4.3 Potentiel d'extension des réseaux CAD	42
5 Principaux axes de la vision à long termes	44
6 SCENARIOS FUTURS	45
6.1 Méthodologie	45
6.1.1 Pour le parc bâti actuel	45
6.1.2 Nouveaux bâtiments	47
6.1.3 Intégration des potentiels	47
6.1.4 Mesure pour la mobilité	47
6.2 Résultats du scénario prévu	50
7 MISE EN ŒUVRE	58
7.1 Mesure 1 – Pérenniser la commission énergie de l'agglomération et définir son rôle	58
7.2 Mesure 2 – Suivi de la planification énergétique de l'Agglomération	59
7.3 Mesure 3 – Catalogue de modèle de mesures pour les communes membre	60
7.4 Mesure 4 – Soutien à la création de CAD renouvelables et neutre en CO2.	61
7.5 Mesure 5 – Mesure mobilité	62
7.6 Contrôle des résultats	63
7.6.1 Consommation électrique	63
Pour le territoire de l'agglomération :	63
7.6.2 Consommation thermique	63
Pour le territoire de l'agglomération :	63
8 Annexes	64
8.1 Annexe 1 – Analyse détaillée de la consommation du territoire de l'agglomération	64
8.1.1 Energie Thermique	64
8.1.2 Energie Electrique	74
Comparaison avec les données du GRD	74
8.2 Annexe 2 – Analyse détaillée du scénario	76

Détails chiffrés du scénario pour tous les bâtiments	76
Evolution de la demande en énergie finale électrique pour tous les bâtiments	77
Evolution de la demande en énergie finale thermique pour tous les bâtiments	78
Evolution de la demande en énergie primaire pour tous les bâtiments	79
8.3 Annexe 3 – Méthodologie de travail	80
9 GLOSSAIRE	82

1 INTRODUCTION

Le but premier du plan régional des énergies est de fixer les principes directeurs de la politique énergétique que l'institution souhaite suivre, sur le long terme.

La démarche utilisée vise

- Une adéquation avec les plans supérieurs, cantonaux et fédéraux
- Une politique ambitieuse pour poursuivre, de manière réfléchie et volontariste, le tournant énergétique de tout le territoire
- Une utilisation rationnelle et économique de l'énergie
- Un encouragement à l'exploitation des ressources locales et durables disponibles.

L'approche repose sur une méthode en quatre phases

1. Effectuer un état des lieux des besoins énergétiques, électriques et thermiques, de tout le territoire.
2. Dresser un bilan des potentiels énergétiques disponibles et exploitables à l'intérieur et aux abords directs du périmètre géographique,
3. Mettre en relation les besoins et les potentiels pour coordonner et optimiser au maximum l'utilisation des ressources locales
4. Concrétiser la mise en œuvre de la planification par une liste de mesures détaillées.

Finalement, le plan est construit pour évoluer au cours du temps. En effet, la base de données sur laquelle il est basé est destinée à être mise à jour régulièrement et refléter au mieux la réalité observée sur le terrain.

2 Bases légales et contexte

En vue d'une éventuelle adoption de certains volets de l'étude, par les communes constituant l'Agglomération de Fribourg, les bases légales supérieures (cantonales et fédérales) suivantes sont respectées.

2.1 Bases légales fédérales

La politique énergétique de la Suisse est garantie à l'échelle fédérale par la loi fédérale sur l'énergie (LEne) et son Ordonnance (OEne)

Loi fédérale sur l'énergie (LEne)

Ainsi que décrit dans le chapitre 1 de la LEne, les buts de cette loi sont (Art. 1)

- « de garantir une fourniture et une distribution de l'énergie économiques et respectueuses de l'environnement »
- « de garantir une utilisation économe et efficace de l'énergie »
- « de permettre le passage à un approvisionnement en énergie basé sur un recours accru aux énergies renouvelables, en particulier aux énergies renouvelables indigènes »

Ordonnance sur l'énergie (OEne)

La LEne s'appuie, entre autres, sur l'OEne qui règle les points suivants (Art. 1) :

- « la garantie d'origine et le marquage de l'électricité »
- « l'aménagement du territoire dans le cadre du développement des énergies renouvelables »
- « l'injection d'énergie de réseau et la consommation propre »
- « les appels d'offres publics pour les mesures d'efficacité »
- « les garanties pour la géothermie et les contributions à la recherche de ressources géothermiques »
- « l'indemnisation des mesures d'assainissement dans le cas d'installations hydroélectriques »
- « le supplément perçu sur le réseau »
- « l'utilisation économe et efficace de l'énergie dans les bâtiments et les entreprises »
- « les mesures d'encouragement dans le domaine de l'énergie »
- « la coopération internationale dans le champ d'application de la LEne »
- « l'analyse des impacts et le traitement des données »

Stratégie énergétique 2050

Le 21 mai 2017, la révision de la loi fédérale sur l'énergie (LEne) est acceptée par le peuple suisse.

Le conseil fédéral élabore alors la stratégie énergétique 2050, qui repose sur 4 mesures principales

- **Efficiences énergétique**
L'utilisation plus rationnelle de l'énergie vise à réaliser des économies et réduire la dépendance de la Suisse à ses importations d'énergie
- **Energie renouvelables**
Les méthodes de production d'énergie renouvelables traditionnelles, telles que l'hydraulique doivent être complétées par les énergies, parfois qualifiées de nouvelles énergies renouvelables, telles que le solaire, le bois, la biomasse, l'éolien et la géothermie
- **Sortie du nucléaire**
Les centrales existantes pourront fonctionner tant que la sécurité est totalement garantie, mais aucune nouvelle centrale de ce type ne pourra être construite

- Mesures dans le domaine des réseaux électriques
Le réseau de distribution d'énergie électrique doit être adapté pour intégrer les nouvelles méthodes de production décentralisées

Principaux documents

Nr	Titre	Abréviation
730.0	Loi du 30 septembre 2016 sur l'énergie (LEne)	LEne
730.01	Ordonnance du 1 ^{er} novembre 2017 sur l'énergie (OEne)	OEne

2.2 Bases légales cantonales

Le canton de Fribourg s'appuie, en matière d'énergie, principalement sur la Loi sur l'énergie (LEn) et son règlement (Ren).

LEn

L'article premier de la loi déclare viser les buts suivants :

- « assurer une production et une distribution de l'énergie économiques, compatibles avec les impératifs de la protection de l'environnement »
- « promouvoir l'utilisation économe et rationnelle de l'énergie »
- « encourager le recours aux énergies renouvelables »
- « favoriser l'utilisation des énergies indigènes »

En s'appuyant, principalement sur son règlement (Ren)

Principaux documents

Nr	Titre	Abréviation
770.1	Loi sur l'énergie <i>Version actuelle en vigueur depuis le 01.01.2020 (Date d'adoption : 27.06.2019)</i>	LEn
770.11	Règlement sur l'énergie <i>Version actuelle en vigueur depuis le 01.01.2020 (Date d'adoption : 05.11.2019)</i>	REn
770.32	Arrêté concernant le contrôle obligatoire de certaines installations de chauffage et de préparation d'eau chaude <i>Version actuelle en vigueur depuis le 01.01.2013 (Date d'adoption : 20.11.2012)</i>	
770.4	Loi instituant un Fonds cantonal de l'énergie <i>Version actuelle en vigueur depuis le 01.07.2011 (Date d'adoption : 12.05.2011)</i>	
772.0.2	Loi sur l'approvisionnement en énergie électrique <i>Version actuelle en vigueur depuis le 01.11.2003 (Date d'adoption : 11.09.2003)</i>	LAEE
772.0.21	Règlement sur l'approvisionnement en énergie électrique <i>Version actuelle en vigueur depuis le 01.01.2012 (Date d'adoption : 06.12.2011)</i>	RAEE

2.3 Bases légales de l'agglomération

L'Agglomération s'appuie sur les statuts de l'Agglomération de Fribourg du 13 septembre 2018 dont l'article 50 stipule :

« L'Agglomération se dote d'un plan régional de l'énergie et veille à la transcription des aspects territoriaux de ce dernier dans le Plan directeur de l'Agglomération »

Principaux documents

Nr	Titre	Abréviation
140.2	Loi sur les agglomérations <i>Version actuelle en vigueur depuis le 01.01.2017</i>	LAgg

3 SITUATION ACTUELLE DE L'AGGLOMERATION DE FRIBOURG

3.1 Portrait

3.1.1 Situation et présentation

L'Agglomération de Fribourg est composée des communes d'Avry, Belfaux, Corminboeuf, Düdingen, Fribourg, Givisiez, Granges-Paccot, Marly, Matran et Villars-sur-Glâne. Elle définit et met en œuvre les stratégies qui permettent de coordonner le développement territorial dans un espace qui compte plus de 80'000 habitants et représente 27% des habitants et 42% des places de travail du canton. Dans un contexte de croissance démographique, son objectif est de garantir aux habitants une qualité de vie élevée dans un environnement de qualité.

3.1.2 Indicateurs généraux (pour les 10 communes) (Etat au 31.12.2018)

	Type de commune	Habitants	Emplois dans le secteur			Logements			
			primaire	secondaire	tertiaire	Maison individuelle	Maison à plusieurs logements	Bât d'habitation avec usage annexe	Bâtiment partiellement à usage d'habitation
Avry	<	1'921	45	188	1'094	308	103	40	35
Belfaux	urbaine d'une agglomération moyenne	3'283	69	234	431	390	165	52	26
Corminboeuf	urbaine d'une agglomération moyenne	2'696	43	204	808	551	96	33	11
Düdingen	périurbaine de forte densité	7'964	236	1'296	2'490	861	458	182	83
Fribourg	urbaine d'une agglomération moyenne	38'365	24	2'314	31'392	850	1'423	646	421
Givisiez	urbaine d'une agglomération moyenne	3'166	6	905	3'939	154	149	27	44
Granges-Paccot	urbaine d'une agglomération moyenne	3'750	20	524	3'474	213	197	33	28
Marly	périurbaine de forte densité	8'193	15	607	2'288	887	367	80	52
Matran	périurbaine de moyenne densité	1'521	7	647	795	298	79	16	8
Villars-sur-Glâne	urbaine d'une agglomération moyenne	12'094	14	2'268	7'336	726	516	99	63
Total		82'953	479	9'187	54'047	5'238	3'553	1'208	771

Source : Service de la statistique.

3.2 Consommation d'énergie

La consommation d'énergie sur le territoire de l'agglomération est établie sur la base d'une simulation effectuée sur chaque bâtiment en fonction de ses caractéristiques (année de construction, surface, affectation). Les résultats sont ensuite exploités de deux manières.

1. De façon agrégée sur l'ensemble du territoire
2. De manière géolocalisée afin de pouvoir en tirer des conclusions organisées de façon géographique

La consommation électrique de chaque bâtiment est élaborée sur la base de la norme SIA 2024 en distinguant les bâtiments dont l'année de construction est antérieure à 1980 en appliquant les valeurs "existante". Les valeurs "standard" sont appliquées à ceux construits après cette date.

La consommation d'énergie thermique de chaque bâtiment est obtenue selon les valeurs de la norme SIA380|1, pondéré selon son âge pour refléter l'indice de dépense énergétique réel du bâtiment.¹

La consommation d'énergie finale au sein de l'agglomération est représentée en Figure 1. Cette illustration permet de représenter les flux énergétiques ainsi que les rapports quantitatifs entre ces derniers.

Energie Thermique

On remarque que la majeure partie de l'énergie thermique dont l'agglomération a besoin est produite par le mazout et le gaz, provenant de l'extérieur du périmètre communal.

Le chauffage à distance (CAD) constitue le troisième apport. D'une manière générale, il récupère d'une part la chaleur de l'usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM) de Posieux et est, d'autre part, alimenté au gaz pour garantir la continuité de la chaleur lorsque l'UIOM ne fonctionne pas.

L'énergie-bois utilisée par les consommateurs n'est pas traçable. Le bois utilisé peut provenir si bien de l'extérieur que de l'intérieur du périmètre de l'agglomération.

L'énergie soutirée à l'environnement, que ce soit par l'énergie solaire ou par l'intermédiaire de PAC est encore relativement faible.

Finalement, l'électricité est également utilisée pour la production de chaleur, soit pour faire fonctionner les pompes à chaleur (PAC), soit directement via des résistances électriques.

Il est à noter qu'une part d'agent énergétique est catégorisée en inconnue à la base de données du RegBL.

Energie électrique

L'énergie électrique provient majoritairement du réseau. De plus, un apport de taille est amené par l'exploitation des infrastructures hydroélectriques présentes. Une faible portion est générée par les panneaux solaires photovoltaïques actuellement installés.

¹ « Informations pour les spécialistes Planification énergétique territoriale Outils pour un approvisionnement en chaleur tourné vers l'avenir », 2013, SuisseEnergie pour les communes, c/o Bio-Eco Sàrl, 1304 Cossonay et la Conférence suisse des services cantonaux de l'énergie (EnFK)

Légende

- EF_Th: Gaz
- EF_Th: Bois
- EF_Th: Mazout
- EF_Th: Indifférencié
- EF_El: PartNonRenouv
- EF_El: PartRenouv
- EF_El: Indifférencié
- EF_El: Processus Industriels/Services

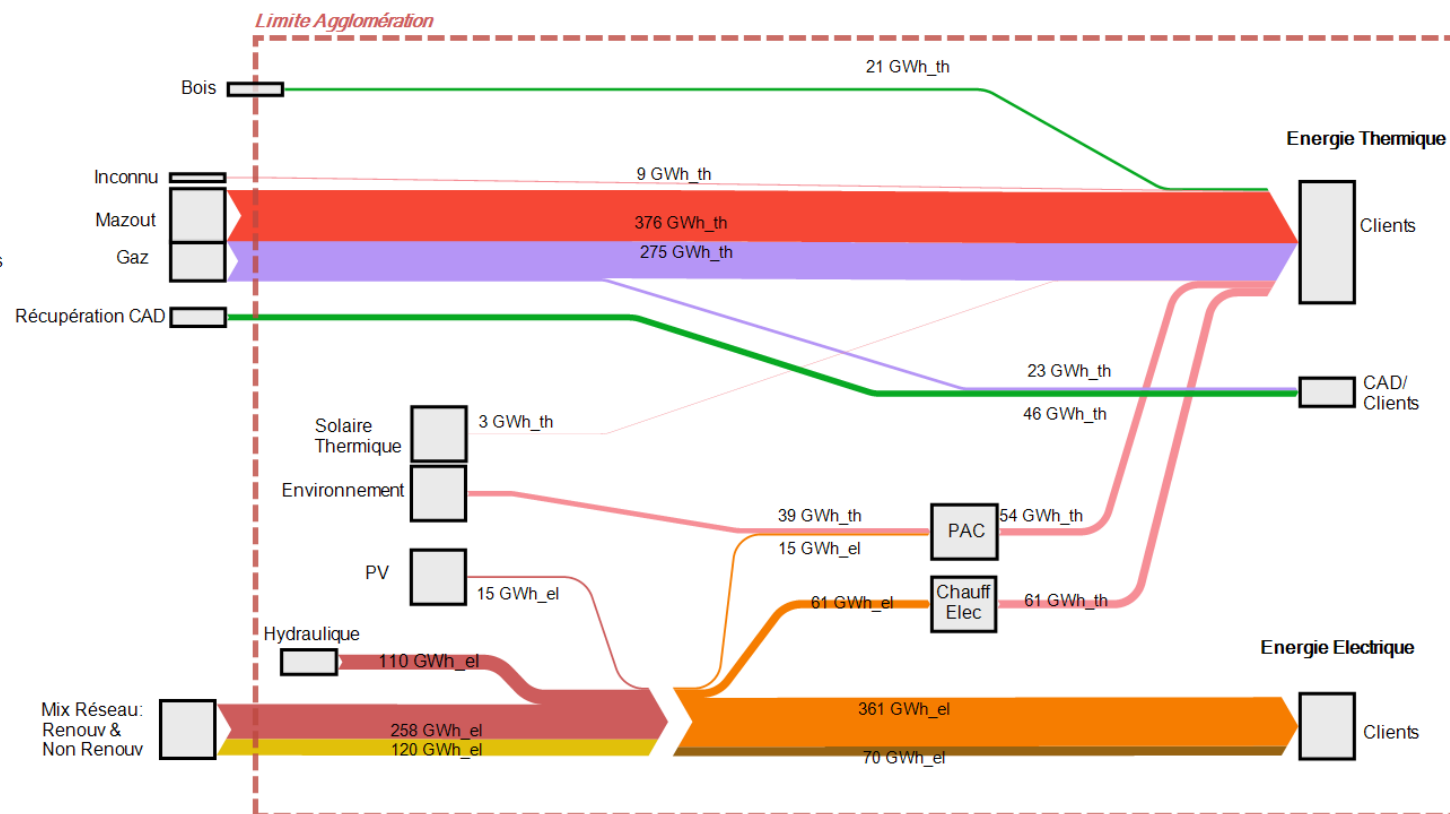


Figure 1: Visualisation de la production et de la consommation d'énergie finale au sein de l'agglomération (année de référence : 2017).

3.2.1 Bilan de l'énergie thermique

Pour cette étude, en n'opérant que sur la base de données des bâtiments, l'énergie thermique considérée représente la part liée au chauffage des locaux et à la préparation de l'ECS. La partie de l'énergie thermique nécessaire à la production industrielle n'est pas quantifiable car fortement dépendante de l'activité des entreprises et n'est pas incluse dans l'étude

La consommation d'énergie thermique est représentée sous la forme d'un graphique de type circulaire (Figure 2) qui permet de visualiser la répartition de l'énergie thermique finale. Les répartitions plus détaillées sont consultables au paragraphe 8.1.1, présenté sous forme tabulaire (Tableau 13) et sous forme de carte (Figure 26).

Les statistiques présentées associent également chaque agent énergétique à une étiquette "Fossile" (Mazout, Gaz et partie du CAD), "Renouvelable" (Bois, PAC, Solaire Thermique et partie du CAD) ou "Inconnu" lorsqu'aucune information ne permet de savoir comment les besoins en chaleur sont couverts.

Le CAD est associé aussi bien à "Renouvelable" et qu'à "Fossile", selon le mix qui alimente ses chaudières. La production de chaleur pour les CAD provient majoritairement de la récupération de chaleur sur l'usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM), la Saidef, mais également par des chaufferies au bois ou au gaz.

Les PAC sont catégorisées "Renouvelable" bien que l'origine de l'Energie électrique nécessaire à son fonctionnement ne le soit pas totalement, on soutire néanmoins la majeure partie de l'énergie de l'environnement, par définition renouvelable.

D'après les bases de données disponibles pour cette étude, il n'a pas été possible de déterminer avec suffisamment d'assurance l'agent énergétique utilisé pour chaque bâtiment. Les bâtiments pour lesquels aucun agent énergétique n'a pu être déterminé sont étiquetés "Inconnu".

Les 868 GWh d'énergie thermique finale représentés en Figure 2 se décompose en 758 GWh d'énergie utile (87%) et 110 GWh de pertes (13%). Les pertes sont notamment dues au rendement des chaudières et aux pertes de distribution.

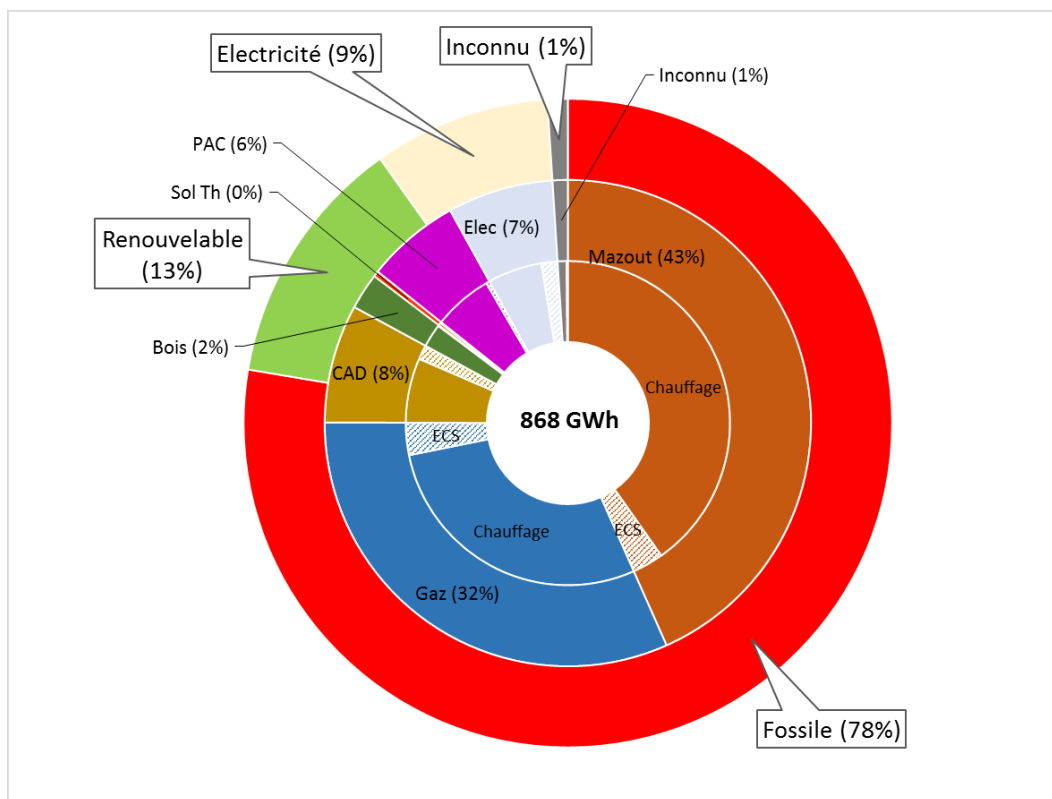


Figure 2: Répartition de l'énergie thermique finale en trois cercles concentriques : Le cercle extérieur vise à représenter la proportion d'énergie fossile, renouvelable et d'origine inconnue. Le second

cercle représente la proportion de chaque agent énergétique. La part d'énergie nécessaire au chauffage des locaux ou à la préparation d'ECS (hachuré) est représentée dans le troisième cercle.

L'énergie fossile représente la plus grosse part de l'approvisionnement énergétique de l'agglomération (78%).

La part de renouvelable est de 13%.

Selon l'hypothèse d'un COP de 3.5, l'énergie fournie par les PAC se décompose entre électricité (29%) et chaleur de l'environnement (71%), soutirée soit à l'air ambiant, soit dans la terre via des sonde géothermiques verticales (SGV).

L'électricité fournit 9% de la chaleur, tandis que le 1% restant est d'origine inconnue.

L'énergie thermique est utilisée à 90% pour le chauffage et à 10% pour l'ECS.

La Figure 3 offre une vision de la répartition de l'énergie thermique finale de l'ensemble des bâtiments répartie entre Logement, Agriculture, Industrie, Service et Transport.

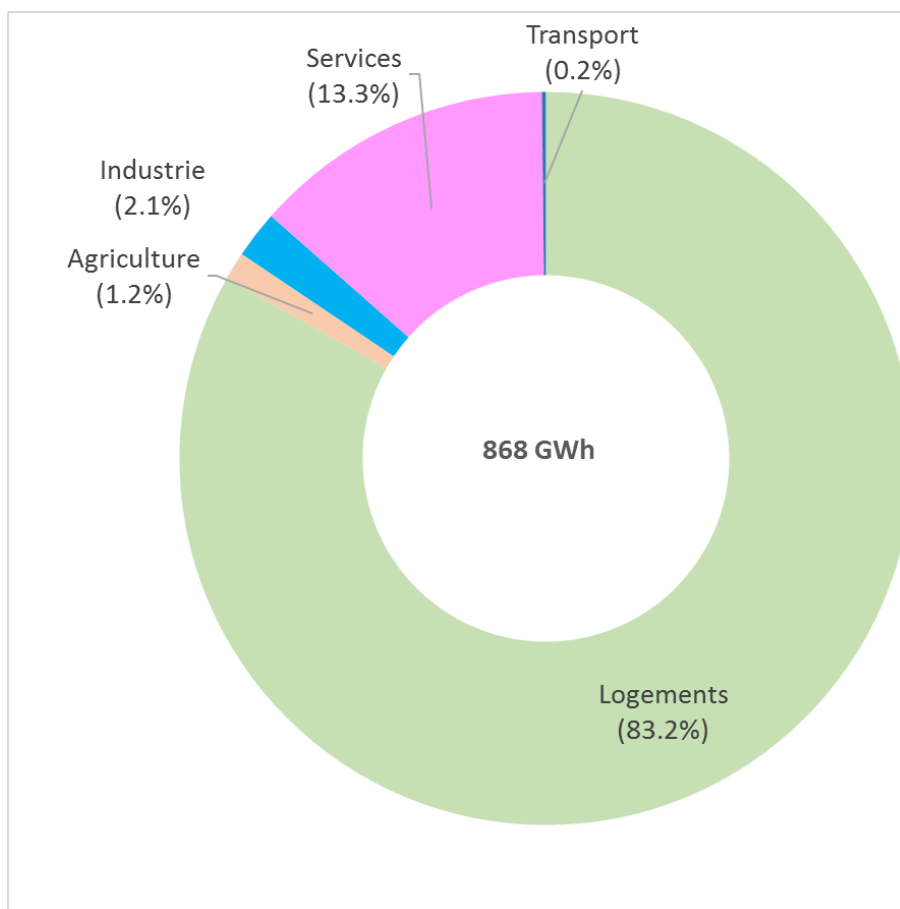


Figure 3: Répartition de la chaleur utile pour l'ensemble des bâtiments du territoire de l'agglomération.

3.2.2 Bilan de l'énergie frigorifique

L'établissement de la demande de froid sur le territoire de l'agglomération est réalisé sur la base des consommations de climatisation (norme SIA|2024). Les bases de données concernant le froid industriel étant incomplètes ou inexistantes il n'existe à ce jour aucune méthode pour en évaluer précisément le besoin.

Froid	EUtile
	GWh
Tous les bâtiments	46

Tableau 1: Demande en énergie utile calculée pour l'ensemble des bâtiments et pour les bâtiments communaux.

3.2.3 Bilan de l'énergie électrique

Au total 510 GWh d'énergie électrique sont consommés sur l'ensemble du périmètre de l'agglomération.

La répartition de la consommation entre les différents consommateurs est indiquée à la Figure 4.

Les parts identifiées « Industrie » et « services » font références à l'énergie nécessaire à la partie infrastructure de chacun des secteur (éclairage, appareils et ventilation usuelle). Elle ne varie pas beaucoup en fonction de l'activité hébergée. En opposition, la partie liée aux processus industriels ne peut être attribuée à l'un ou l'autre des secteurs sans connaître de façon précise l'activité effectuée dans le bâtiment en question, ce qui dépasse le cadre de cette étude. Cette demande n'est par conséquent pas géolocalisée.

Les consommations électriques de l'éclairage public et de la mobilité ne sont pas géolocalisées.

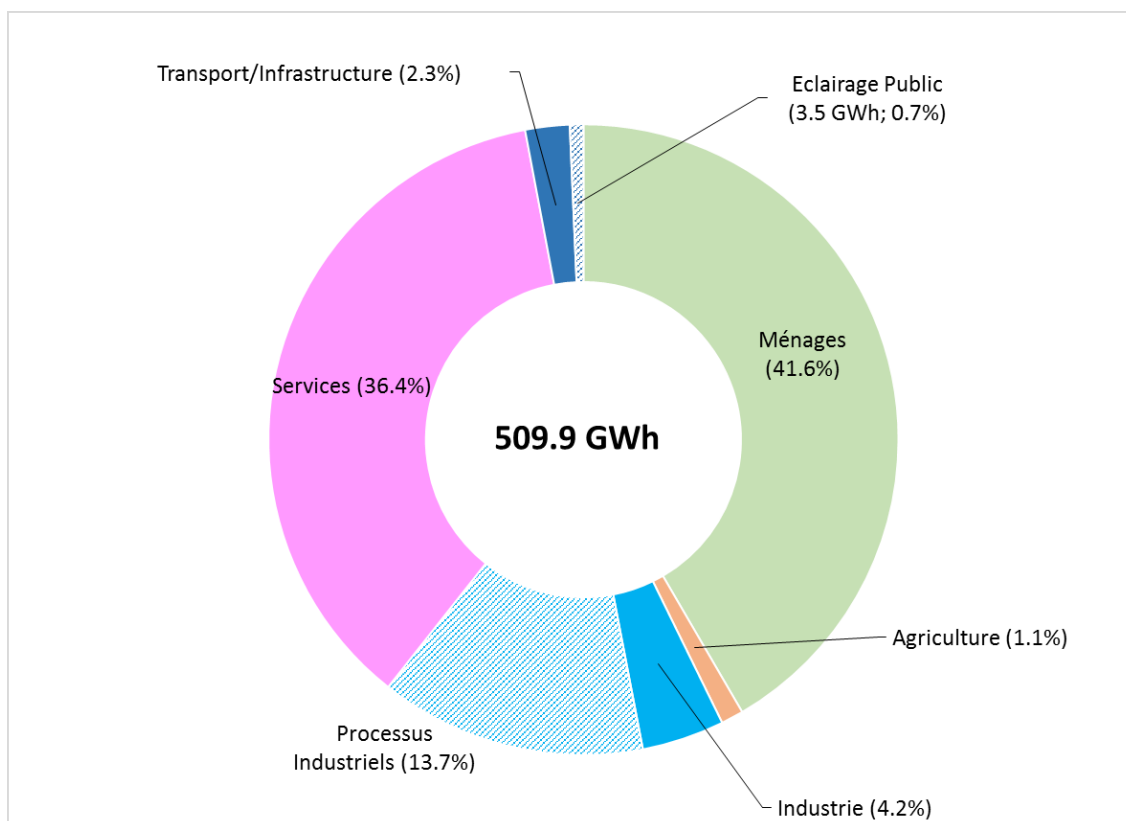


Figure 4: Consommation d'Énergie électrique pour l'ensemble des bâtiments présents sur le territoire de l'agglomération. A noter que les 3.5 GWh pour l'éclairage public sont signalés de manière séparée dans ce graphique. Dans le reste de l'étude, ils sont compris dans la catégorie Transport/Infrastructure.

3.2.4 Mobilité

L'impact de la mobilité sur les consommations de l'agglomération est établi par le bureau CSD Ingénieur. Les chiffres clés issus de leur rapport (en annexe) sont donnés dans les paragraphes suivants.

Véhicules et données sur le parc :

L'étude porte sur les véhicules suivants immatriculés dans le périmètre de l'agglomération :

- 41'290 Véhicules de tourisme.
- 4'180 Poids lourds :
 - o 3'755 voitures de livraison (< 3.5t)
 - o 349 camions (3.5t < 7.5t)
 - o 76 camions (7.5t < 16t)
 - o 531 vélos électriques 45km/h
- 6'264 Deux-roues motorisés (motos, scooters).
- 54 Véhicules de transports publics (bus de l'agglomération de Fribourg, TPF).

Les véhicules ont été traités selon les types de motorisation suivants :

- Essence
- Diesel
- Hybride
- Électrique
- Hydrogène
- Autres

L'analyse effectuée a permis de quantifier l'impact du parc existant en termes de CO₂ et d'énergie primaire. De plus, pour les véhicules électriques, l'énergie finale électrique a été isolée.

Les résultats des consommations énergétiques (primaires et électrique) ont été intégrés dans la présente étude.

Le bilan CO₂ détaillé est, quant à lui à consulter dans le rapport de CSD.

Part pour carburant aérien :

La part d'énergie primaire nécessaire au transport aérien a été calculés sur la base des indications de l'outil « Région-Energie », à savoir 260W par habitant. Rapporté aux 83'000 habitants de l'Agglomération fribourgeoise, on en conclue de la part annuelle d'énergie primaire imputable à son périmètre et de 189 GWh.

La mobilité électrique engendre une consommation de 3 GWh, essentiellement pour les transports publics (voir Figure 5).

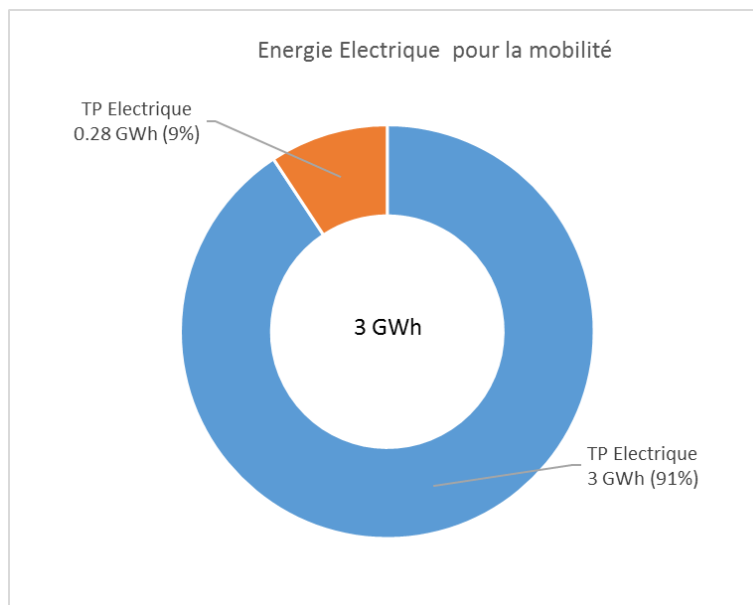


Figure 5 : Consommation d'énergie électrique liée aux transports.

La Figure 6 offre un aperçu de la répartition de la consommation en énergie primaire selon les secteurs de la mobilité.

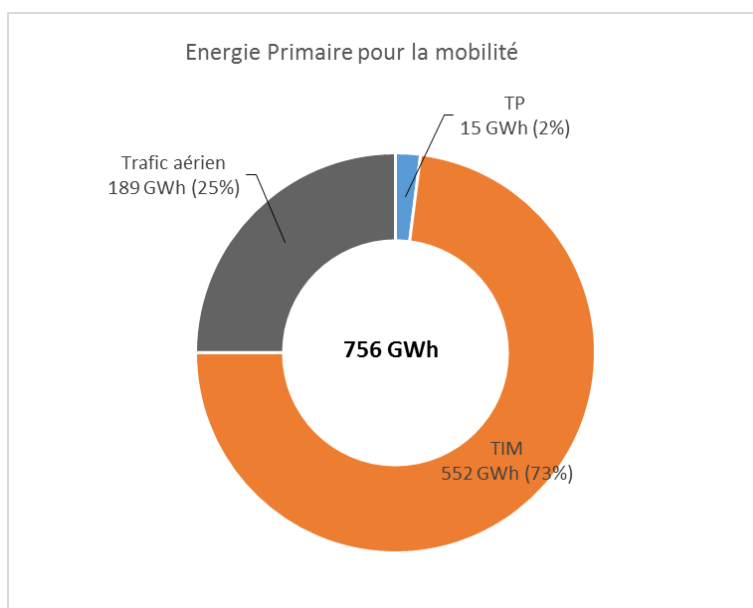


Figure 6 : Répartition de l'énergie primaire entre les secteurs de la mobilité² Rapporté par habitant, la mobilité représente annuellement 6'800 kWh/hab.³.

² Note de plausibilisation :

L'outil « Région énergie » propose une hypothèse attribuant 2350 W par véhicule immatriculé pour approximer l'énergie primaire résultante de la mobilité incluant le transport de marchandise, les bus et les motos. Sur la base de cette hypothèse l'ensemble des 51'800 véhicules de l'agglomération consommeraient 1066 GWh.

³Note de plausibilisation :

L'étude vaudoise « Consommations énergétiques et émissions de polluants relatives à la mobilité annuelle des Vaudois, 2015 » fait état d'une consommation d'énergie primaire de 8'000 à 16'000 kWh/hab.

Les notes de plausibilisation aident à rappeler la dépendance directe des résultats énergétiques aux hypothèses de distances parcourues par chaque véhicule par année. Les données statistiques disponibles en la matière sont peu nombreuses et ne permettent pas une précision fine des résultats.

Les résultats obtenus sont plutôt conservateurs mais permettent néanmoins de réaliser l'impact fort de la mobilité sur les questions énergétiques. Pour affiner les résultats, il faudrait étayer les hypothèses de distance parcourue pour différents périmètres de l'agglomération et réaliser des études quantitatives complémentaires difficiles à mettre en œuvre.

On notera également que l'étude de mobilité permet de quantifier les rejets de CO₂ de la mobilité par catégorie (voir Figure 7).

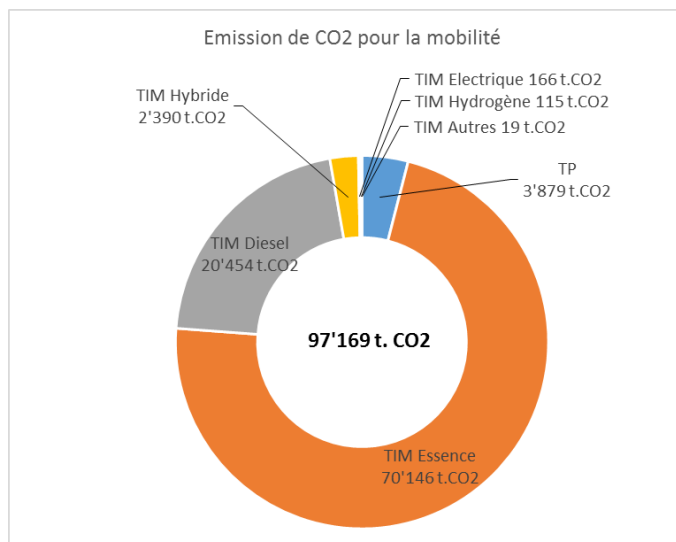


Figure 7 : Emissions de CO₂ dues à la mobilité par catégorie.
TIM = transport individuel motorisé
TP = Transport public.

L'évolution future de ces valeurs dépend largement de facteurs comportementaux des consommateurs.

3.3 Production d'énergies renouvelables

L'agglomération dispose de ressources permettant la production d'énergie renouvelable qu'il conviendra d'exploiter davantage.

L'énergie thermique renouvelable actuellement produite est issue (dans l'ordre d'importance) de l'exploitation de PAC, de la valorisation de l'énergie de récupération de la SAIDEF, de l'exploitation de l'énergie-bois suivi de l'exploitation de panneaux solaires thermiques.

3.3.1 Production d'énergie renouvelable thermique

Selon les informations de la modélisation des bâtiments, la quantité d'énergie thermique finale produite sur l'ensemble du territoire de l'agglomération de façon renouvelable se monte à 109 GWh. La répartition de cette production est visible à la Figure 8 et son détail consultable dans le Tableau 13.

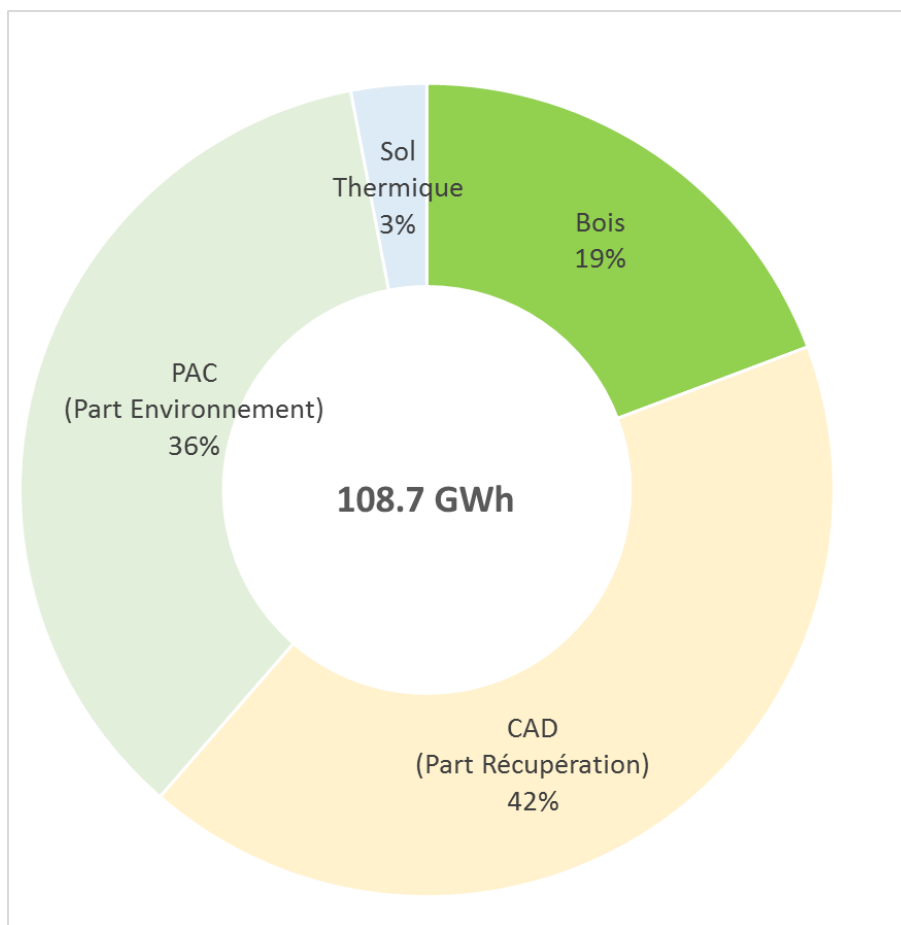


Figure 8: Répartition de l'origine de la chaleur thermique renouvelable sur le territoire de l'agglomération.

3.3.2 Production d'énergie renouvelable électrique

L'électricité produite de façon renouvelable sur le territoire provient

- de l'exploitation de panneaux solaire photovoltaïques (PV) installés sur les toitures des bâtiments (14.6 GWh)
- de l'exploitation d'ouvrages hydraulique (moyenne pluriannuelle : 110 GWh)⁴
- de l'exploitation de divers installations CCF (4.1 GWh)

L'énergie renouvelable provenant du réseau (260 GWh) est évaluée selon les parts respectives des mix consommateur de Groupe e : Basic, Plus et Star. Le reste, la part non-renouvelable provenant du réseau, se monte à 121 GWh.

Le détail de cette répartition est résumé dans le Tableau 2.

La répartition de la production d'énergie renouvelable est visualisée en Figure 9.

Répartition Electrique		Tous les bâtiments
		GWh
Photovoltaïque (Local)		14.6
Hydraulique (locale)		110.0
CCF (local)		4.1
Part du réseau		381.2
Détail (marquage)		
Renouvelable (68.2%)	<i>Hydraulique</i>	52.8% 201.1
	<i>Solaire</i>	2.8% 10.7
	<i>Eolien</i>	0.15% 0.6
	<i>Biomasse</i>	2.8% 10.7
	<i>Géothermie</i>	0.0% 0.0
	<i>Déchets</i>	9.7% 36.8
Fossile (31.8%)	<i>Pétrole</i>	0.0% 0.0
	<i>Gaz</i>	1.5% 5.9
	<i>Charbon</i>	0.0% 0.0
	<i>Nucléaire</i>	30.3% 115.4
	<i>AE non vérifiable</i>	0.0% 0.0
Conso totale		509.9

Tableau 2: Energie électrique distribuée sur l'ensemble des bâtiments du territoire de l'agglomération avec le détail de la part approvisionnée par le distributeur selon les mix officiels publiés en 2017 (Basic, Plus et Star).

⁴ La production hydroélectrique considérée ici comprend la production résultant de l'exploitation du lac de Pérolles et d'une partie du lac de Schiffenen, au prorata de la surface du bassin de retenue situé sur le territoire de l'agglomération.

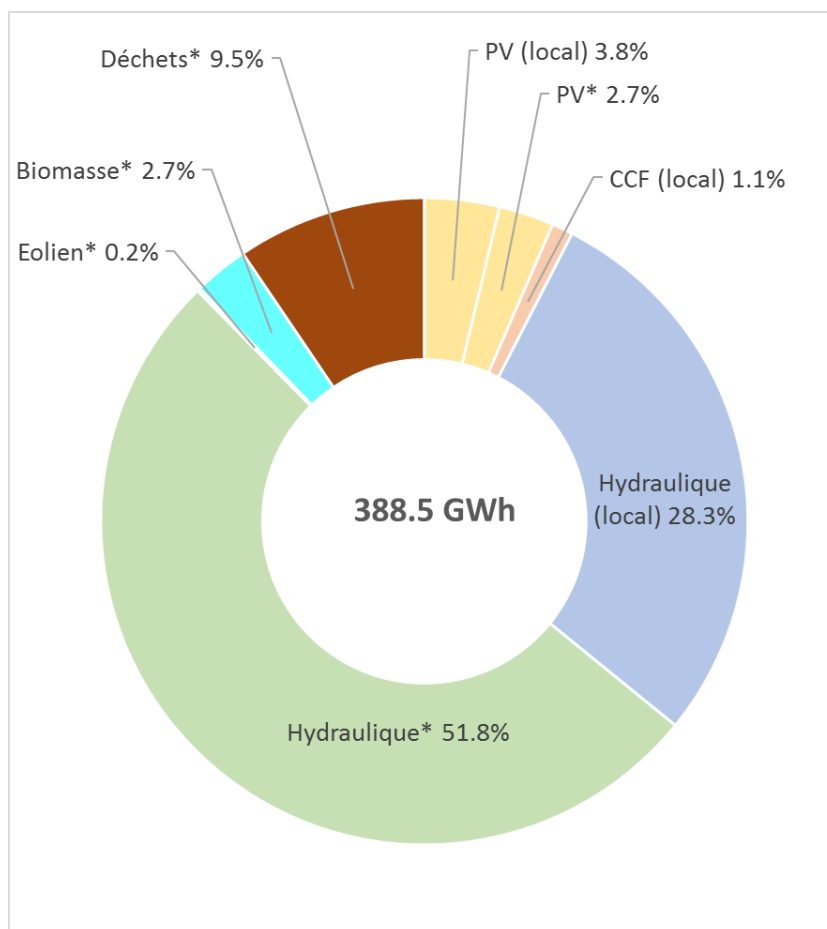


Figure 9 : Détail de la part d'énergie électrique renouvelable locale et réseau (*) selon les mix officiels publiés en 2017 : Basic, Plus et Star) distribuée sur l'ensemble des bâtiments du territoire de l'agglomération.

3.4 Réseaux de transport et distribution de l'énergie

L'exploitation de réseaux de chauffage à distance est déjà une évidence sur une partie du territoire (voir Figure 10).

NOM DU RESEAU	COMMUNE(S) DESSERVIES	Puissance installée [MW]	Energie finale distribuée [MWh]	Agent Energétique Renouvelable	Agent Energétique Fossile
AGYCAD	Granges-Paccot	3.6	4'000		100% Gaz
BELCAD	Belfaux	2.5	3'300	63% Bois	37% Gaz
CAD FAYE-EST	Givisiez	0.6	1'000	-	100% Gaz
CADVERT	Villars-sur-Glâne	4.4	6'100	96% UIOM	4% Gaz
CORMICAD	Corminboeuf	1.9	1'600	82% Bois	18% Gaz
FRICAD II	Villars-sur-Glâne et Fribourg	SAIDEF*	57'100	92% UIOM	8% Gaz
FRICAD III Nord	Fribourg	SAIDEF*	5'100	100% UIOM	
FRICAD III Sud	Villars-sur-Glâne	SAIDEF*	3'800	100% UIOM	
FW DÜDINGEN	Düdingen	6.2	4'700	75% Bois	25% Gaz
GIVICAD	Givisiez	4.2	3'400	27% CCF	73% Gaz
GOLDCAD	Fribourg	3.6	5'400	-	100% Gaz
PEROLLES 2000	Fribourg	0.4	400	-	100% Gaz
PLACAD	Fribourg	Inconnu	19'200	20% (Inconnu)	80% (Inconnu)
REXCAD	Fribourg	1.8	2'100	-	100% Gaz
TOTAL		47.2	117'100	67%	33%

Tableau 3 : Liste des CAD sur le territoire de l'agglomération et le mode de production de la chaleur (selon les chiffres 2018).

* La centrale de la SAIDEF d'une puissance de 22 MW alimente plusieurs réseaux

Il est à noter que formellement, la source de chaleur principale du réseau FRICAD, la SAIDEF, n'est pas située sur le territoire de l'agglomération.

Dans les années à venir, certains de ces réseaux seront joints pour former le plus grand réseau du canton, le FRICAD III. Les réseaux AGYCAD, GIVICAD, REXCAD, GOLDCAD et CORMICAD seront connectés afin de permettre l'exploitation de tout le potentiel de la SAIDEF. Les réseaux existants seront également agrandis, densifiés et renforcés par l'implantation de nouvelles chaufferies. La part renouvelable de ces réseaux ne cesse de croître d'année en année pour viser une grosse majorité de renouvelable. Ces réseaux sont représentés de manière géographique en Figure 10.

Sur l'ensemble de l'énergie distribuée, 67% provient de sources renouvelables pour 33% de gaz.

On notera également que la quantité d'énergie distribuée, indiquée dans le Tableau 3, est sensiblement plus grande que l'énergie finale des utilisateurs indiquée, en Figure 1. L'énergie distribuée concerne également la partie processus industriels (non comptabilisée dans l'énergie finale) et les pertes de réseau.

Comme présenté à la Figure 11, un vaste réseau de distribution de gaz exploité par l'entreprise Groupe E Celsius SA couvre une grande partie du territoire de l'agglomération.

Reseaux

— Réseau_CAD

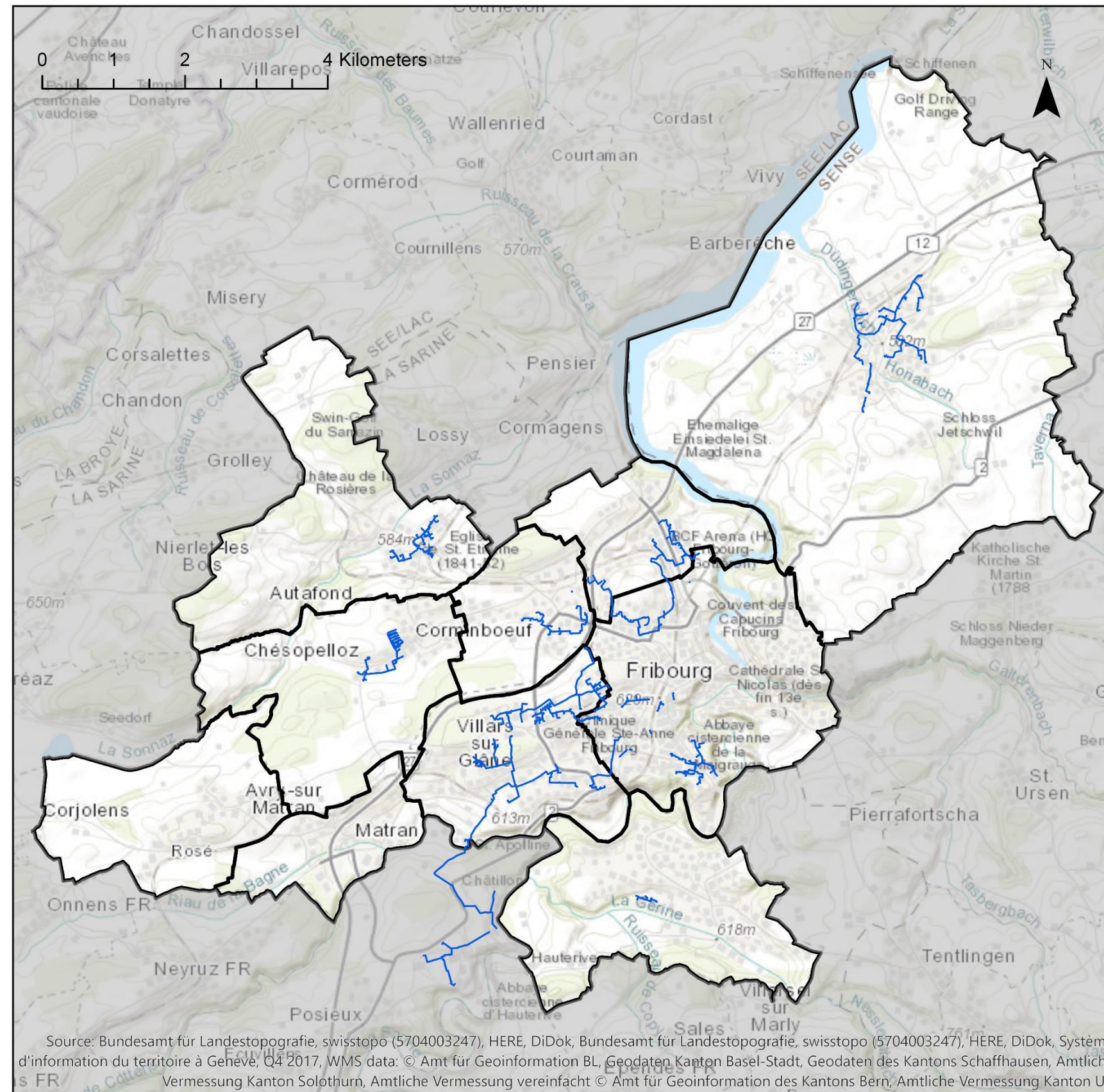


Figure 10 Aperçu de l'étendue des réseaux CAD sur le territoire de l'Agglomération

Reseaux

— Réseau Gaz

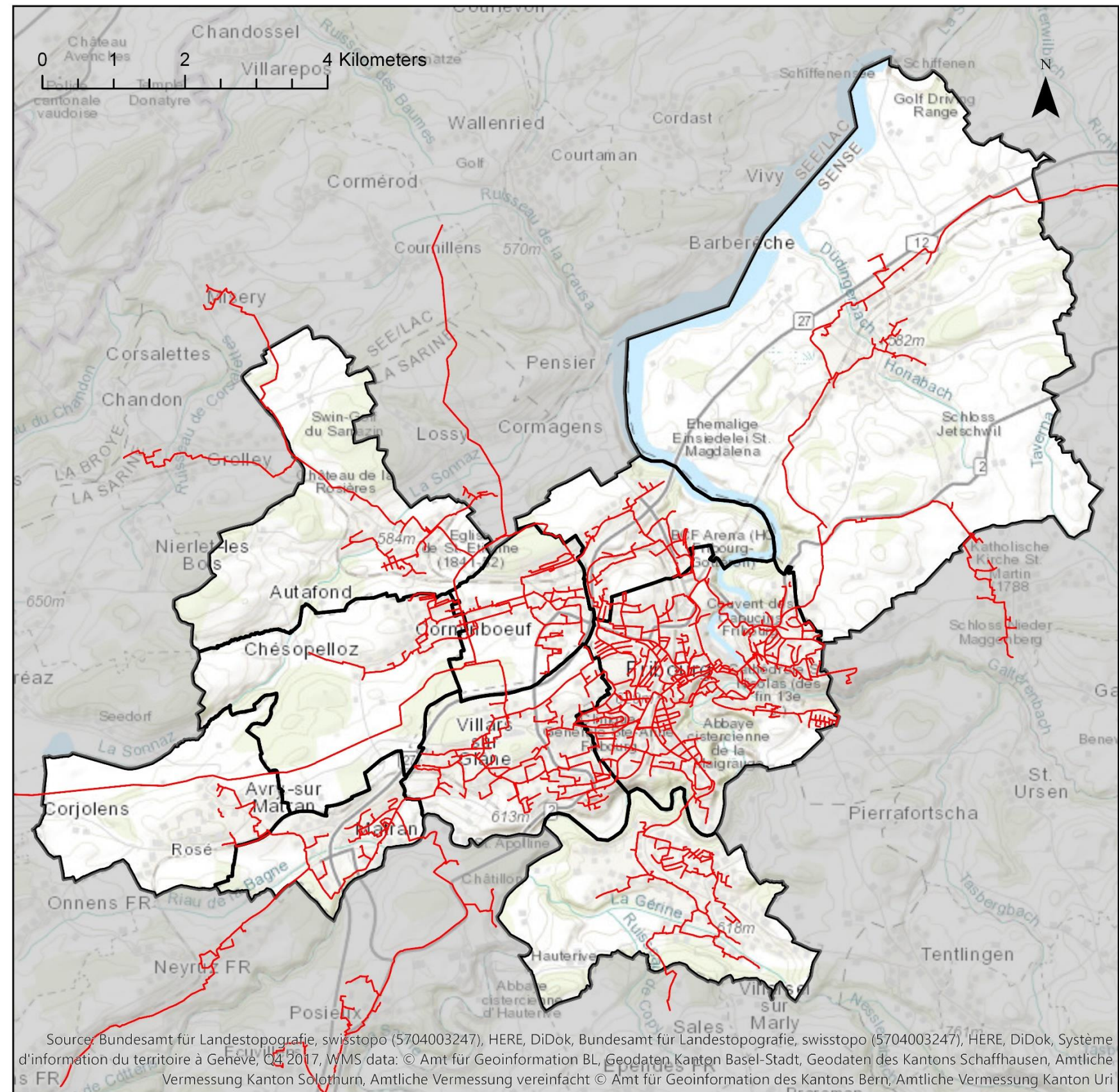


Figure 11: Aperçu de l'étendue du réseau de distribution de gaz sur le territoire de l'agglomération.

4 POTENTIELS ÉNERGÉTIQUES DE L'AGGLOMÉRATION

Le présent chapitre vise à lister les potentiels énergétiques du périmètre.

Quand cela est nécessaire, le descriptif des mesures différencie le potentiel technique du potentiel économiquement supportable.

Le potentiel technique, représente ce qu'il est possible d'atteindre d'un point de vue du savoir-faire et des connaissances. Le potentiel économiquement supportable se justifie en considérant les contraintes extérieures, principalement financières, susceptible d'évoluer avec le temps.

Dans les cas où la distinction n'est pas faite, on considère le potentiel économiquement supportable.

4.1 Potentiel d'économie d'énergie

La première mesure de la stratégie énergétique 2050 de la confédération est l'économie d'énergie. Ce premier paragraphe présente les principaux potentiels d'économie de l'agglomération.

4.1.1 Chaleur / froid

Rénovation des bâtiments

Dans l'Agglomération de Fribourg où la part d'énergie thermique consommée par les logements (83%) est prépondérante, le plus grand potentiel d'économie réside dans la rénovation des bâtiments.

L'ECS présente un faible potentiel d'économie d'énergie utile, car sa consommation découle de besoins de première nécessité incompressibles (douches, cuisine, ...).

La rénovation des bâtiments, en particulier l'amélioration de l'isolation de l'enveloppe, permet de diminuer la demande en énergie sans modifier le confort des résidents. C'est pourquoi elle est indispensable à la baisse de demande en énergie thermique. La rénovation des bâtiments présente également l'avantage d'étendre les possibilités techniques envisageables lors d'un assainissement du producteur de chaleur. Par exemple, un bâtiment rénové requiert une puissance moins grande ou/et une température de départ moins haute, atteignable par une pompe à chaleur. Au contraire, sans rénovation, il n'existe parfois pas de pompe à chaleur capable de couvrir les besoins ou n'est économiquement pas supportable.

Le potentiel théorique de la rénovation des bâtiments, présenté en Figure 12, basé sur une hypothèse selon laquelle l'intégralité du parc de bâtiments seraient rénovés de manière à respecter les valeurs limites des besoins de chaleur selon la norme SIA 380|1:2016 (classes d'efficacité CECB A et B). permettrait de diminuer de moitié la consommation totale (soit une économie de 345 GWh).

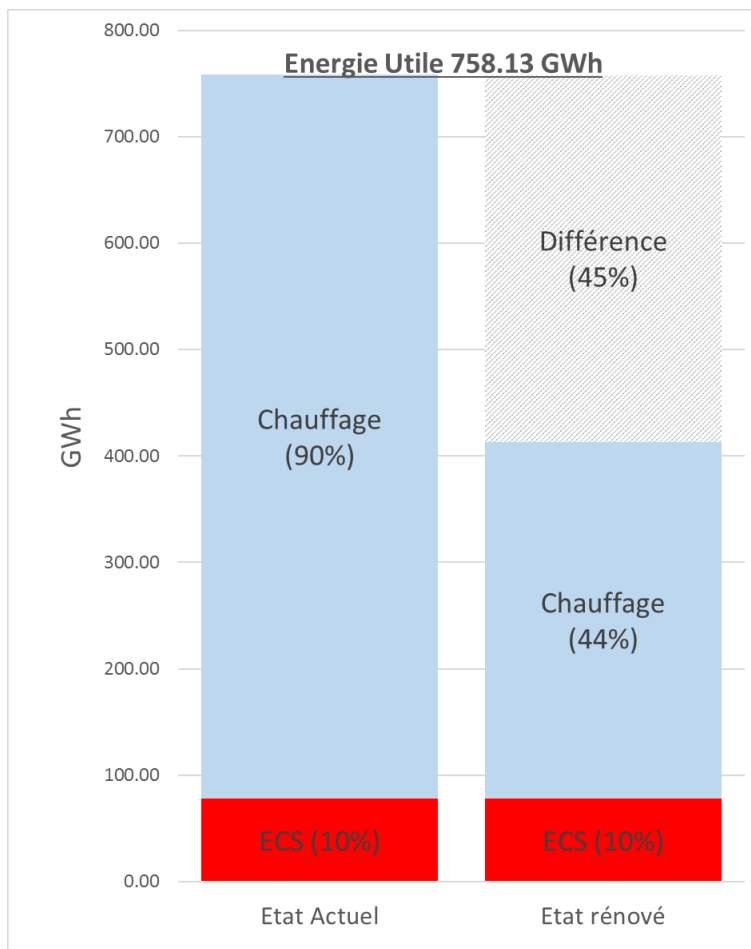


Figure 12: L'Économie théorique possible sur l'énergie utile de tous les bâtiments est de 340 GWh, selon le choix du producteur de chaleur une économie supplémentaire sur les pertes techniques de 60 GWh supplémentaire tout à fait envisageable. Ce potentiel est toutefois théorique ; il suppose que tous les bâtiments soient rénovés. Pour fixer un ordre de grandeur, au regard d'un taux de rénovation d'un pourcent par an, une telle rénovation prendrait un siècle. Ceci montre néanmoins que le potentiel d'économie ne manque pas.

Le potentiel raisonnable, est limité par deux facteurs principaux :

- Au vu des différents articles de loi cantonale en vigueur, les bâtiments rénovés atteindront plutôt la classe C du CECB, à savoir 150% valeurs limites des besoins de chaleur selon la norme SIA 380|1:2016.
- Le taux de rénovation du parc existant.

Selon ces limitations, l'économie d'énergie thermique se situe entre 130 et 140 GWh (15%-16% d'économie par rapport à 2017).

Optimisation

L'optimisation des installations techniques des bâtiments (chauffage, distribution, ...) est, d'une manière générale une excellente façon de réduire la consommation d'énergie finale des bâtiments. Dans la pratique, on constate qu'une diminution moyenne de 4% de la consommation thermique est atteignable par ce biais.

La consommation d'énergie thermique finale étant de 867 GWh pour l'ensemble de l'agglomération.

**On peut estimer l'économie générée à
35 GWh pour l'ensemble de l'agglomération**

4.1.2 Électricité

Chauffage électrique et ECS électrique

L'énergie utilisée par des chauffages électriques et des chauffe-eau à résistance électrique est actuellement estimée à 61 GWh pour l'ensemble des bâtiments situés sur le territoire de l'agglomération.

En imaginant un remplacement de ces chauffages par des PAC on pourrait réduire la consommation électrique pour ce poste de ~70% (COP =3.5).

**L'économie électrique escomptée est de
43 GWh pour l'ensemble de l'agglomération**

Eclairage public

L'éclairage public consomme 3.5 GWh par an. Une réflexion autour de la modernisation de l'éclairage et éventuellement son extinction durant les nuits en semaine pourrait mener à des économies de l'ordre de 5% à 20%.

**cette économie représentera entre
0.1 et 0.7 GWh pour l'ensemble de l'agglomération**

Optimisation

L'optimisation des installations techniques des bâtiments est, d'une manière générale une excellente façon de réduire la consommation d'énergie finale des bâtiments. Dans la pratique, on constate qu'une diminution moyenne de 4% de la consommation électrique est atteignable par ce biais.

La consommation d'énergie électrique pour l'éclairage, les appareils et la ventilation étant de 361 GWh pour l'ensemble de l'agglomération

**On peut estimer l'économie générée à
14.4 GWh pour l'ensemble de l'agglomération**

Processus Industriels

Ainsi qu'indiqué en Figure 13, la baisse de consommation électrique dans l'industrie est d'environ 1.8% par année.

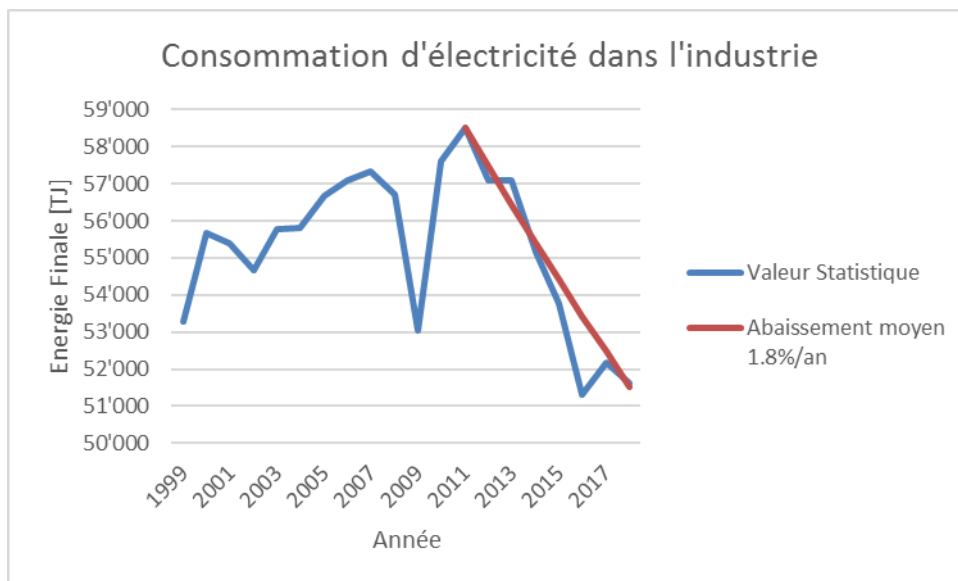


Figure 13 : Durant la période 2011 à 2018 la consommation d'énergie électrique dans l'industrie Suisse a baissé en moyenne de 1.8%/an. Source BFE

Il est néanmoins peu probable que l'industrie puisse maintenir une telle baisse de manière constante sur toute la période, une baisse absolue de 20% est un but plus réaliste. Pour ce faire, on prend donc l'hypothèse d'une baisse de 0.6%/an jusqu'en 2050.

L'économie d'énergie de 20% envisagée sur les 70 GWh nécessaires actuellement aux processus industriels représente une économie de

14 GWh pour l'ensemble de l'agglomération

4.1.3 Mobilité

Une économie de carburant pour l'ensemble du territoire de l'agglomération peut être encouragée différemment. Ces actions, reprises de l'étude de mobilité, sont regroupées par mode et catégorisées selon leur caractère infrastructurel ou non :

Potentiels touchant à l'infrastructure

- Pour les voitures de tourisme
 - Développer une stratégie d'implantation de bornes de recharge électriques et à hydrogène dans les centralités de l'agglomération, des quartiers et aux interfaces multimodales ;
 - Encourager l'installation de bornes de recharge électriques pour les particuliers (dans les immeubles) et les entreprises ;
 - Faciliter la visibilité, l'utilisation et le taux d'occupation des lieux équipés de bornes de recharge électrique et à hydrogène.
- Pour les transports publics
 - Poursuivre le développement de l'électrification et/ou la propulsion à hydrogène de toutes les lignes de bus urbains.
 - Augmentation du nombre de cartes journalières mises à la disposition des habitants à prix réduit (actuellement au nombre de 6)
 -
- Pour la mobilité douce
 - Créer une offre de stationnement de qualité pour les vélos et les trottinettes électriques ;
 - Développer et déployer des bornes de recharges pour les vélos électriques lents et rapides.
 - Poursuivre la mise en place d'un réseau de vélos (électriques) en libre-service

Potentiels ne touchant pas à l'infrastructure

- Pour les voitures de tourisme
 - Promouvoir les incitations à l'achat de véhicules à l'énergie 100% renouvelable ;
 - Fixer des objectifs ambitieux de réduction de CO2 des voitures neuves sur la base des objectifs de la Confédération.
- Pour les transports publics
 - Encourager les transporteurs à opter pour l'achat de véhicules à faible bilan énergétique.
 - Fixer des objectifs aux transporteurs dans le domaine de la consommation énergétique.
- Pour la mobilité douce
 - Promouvoir l'achat de cycles neufs.

La quantification du carburant économisé par la mise en place de telles mesures reste impossible à réaliser sans une étude approfondie.

4.2 Potentiel de production d'énergies renouvelables

L'Agglomération de Fribourg dispose de potentiels de production d'énergie renouvelable.

Le potentiel de production d'électricité réside dans le grand nombre de bâtiments pertinents pour l'installation d'énergie solaire photovoltaïque. Le potentiel de production d'énergie thermique réside dans l'exploitation des toitures pour la production solaire thermique.

A noter que l'évolution de la technologie permet déjà, et probablement qu'elle évoluera encore à l'avenir, la production d'électricité à l'aide de panneaux installés verticalement en façade. Cette technologie, appelée à évoluer, représente un potentiel solaire supplémentaire fort prometteur. Si le cadastre, nouvellement mis à disposition par l'OFEN permet de visualiser le potentiel par bâtiment, les valeurs quantitatives n'ont pas pu être extraites pour venir compléter l'évaluation dans le cadre de cette étude.

Enfin, les progrès constants en matière d'intégration architecturale des panneaux photovoltaïques dans les éléments de construction tant en toiture qu'en façade (imitation de matériaux, films de couleur, panneaux mats, ...) laissent présager la possibilité d'équiper de plus en plus de bâtiments de manière harmonieuse tout en maximisant le rendement des panneaux à toutes les saisons.

4.2.1 Energie Eolienne

Ainsi que décrit dans le projet P0305 du plan directeur cantonal le site des « collines de la Sonnaz » obtient une « note pondérée finale de 1.99/3 » selon la méthodologie uniforme cantonale. Ce site pourrait accueillir 8 éoliennes pour une production annuelle escomptée de 35 GWh. Seule une partie de la commune de Belfaux juxtapose le site envisagé. De ce fait, on prendra en compte dans le présent bilan des potentiel la production d'une seule éolienne, soit 4.4 GWh.

La partie due site des « Collines de la Sonnaz » contenue sur le territoire de l'agglomération de Fribourg présente un potentiel estimé de production annuelle de 4.4 GWh.

4.2.2 Energie Solaire

Les informations utilisées pour l'estimation sont fournies par "Toit-solaire", issu d'une collaboration entre l'Office fédéral de l'énergie, l'Office fédéral de météorologie et de climatologie (MétéoSuisse) et l'Office fédéral de topographie (swisstopo) qui a évalué le potentiel de toutes les toitures des bâtiments de suisse.

La quantité d'énergie qu'il est possible de soutirer à l'énergie solaire varie fortement selon les hypothèses, qui sont détaillées dans les paragraphes suivants.

Energie solaire photovoltaïque

Selon Toit-solaire, le potentiel de production électrique de toutes les toitures intéressantes (toitures appropriées, surface > 10 m², taux de couverture 70%) est de ~500 GWh (3'670'000 m² installés).

Pour l'évaluation du potentiel, on reprend les critères susmentionnés et on ajoute la considération des conditions du cadre actuel, à savoir économique (prix de l'énergie électrique), politique (rétribution unique octroyée à l'installation) et technologique (possibilités de stockage limitées). Ce cadre n'est pas favorable à l'installation de grandes surfaces de couverture, mais plutôt propice à l'installation d'une surface permettant de couvrir la consommation constante (bande) de chaque bâtiment. Le calcul du potentiel photovoltaïque est réalisé selon cette réalité. On estime la consommation en bande de chaque bâtiment à 36% de sa consommation totale, ce qui permet de déduire la consommation à installer et la surface de couverture correspondante.

Selon cette hypothèse, la surface couverte en PV est de 620'000 m², fournissant environ 107 GWh d'énergie électrique.

Au rythme de développement actuel, l'atteinte de cet objectif devrait se concrétiser aux alentours de 2050 (lignes bleues en Figure 14).

Le potentiel de production d'énergie électrique des 620'000 m² de panneaux PV est d'environ 107 GWh.

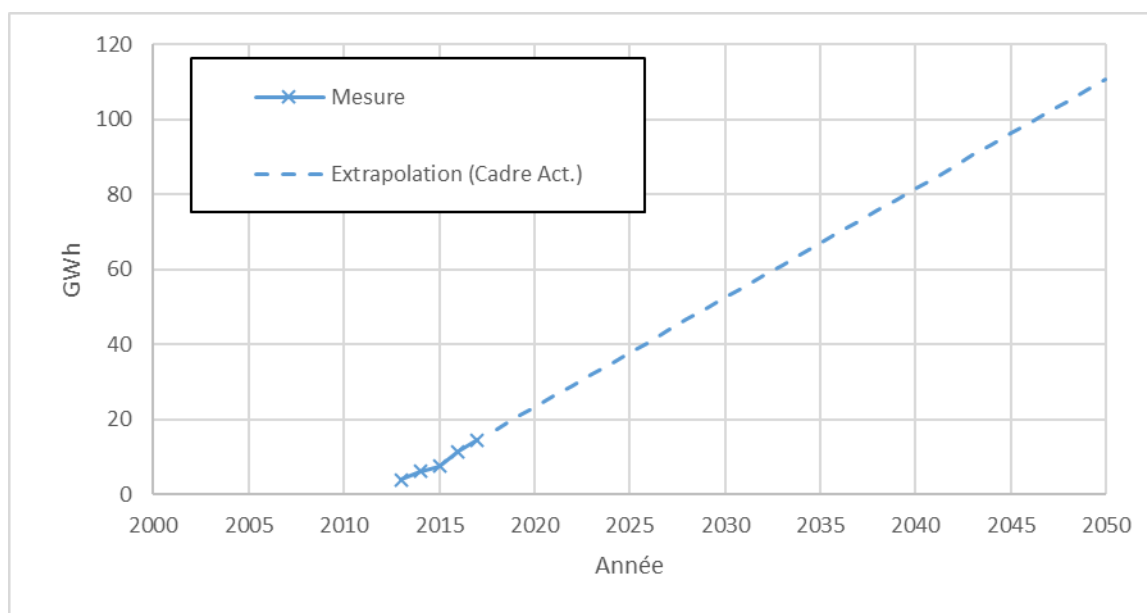


Figure 14: Progression estimée de la production électrique PV sur l'agglomération. La partie « Mesure » concerne la production constatée jusqu'en 2017. La partie « Cadre Act. » concerne l'évolution future de la production aux conditions économiques et techniques actuelles, visant un grand taux d'autoconsommation. La partie « Extrapolation » est basée sur l'accroissement des dernières années mesurées.

Energie solaire thermique

Selon Toit-solaire, le potentiel théorique de production thermique de toutes les toitures intéressantes (toitures appropriées, surface > 10 m², couverture de 30% de la demande en énergie thermique) est de ~370 GWh pour 838'000 m² couverts.

Contrairement aux panneaux solaires photovoltaïques qui produisent de l'énergie électrique que l'on peut transformer facilement pour différentes utilisations (préparation d'ECS, alimentation de PAC, consommation électrique courante, recharge de véhicules électriques), les panneaux solaires thermiques ne peuvent servir presque qu'exclusivement à la production d'ECS. Tenant compte de ces considérations pratiques et de la chute des prix des panneaux PV, la pose de nouveaux panneaux solaires thermiques est de moins en moins pertinente.

On fait donc l'hypothèse d'une installation de panneaux solaires thermiques couvrant en moyenne 50% de l'énergie nécessaire à la préparation d'ECS de chaque bâtiment.

Selon ces considérations, la surface qui pourrait être couverte par des panneaux solaires thermiques est de 40'000 m², fournissant environ 17 GWh.

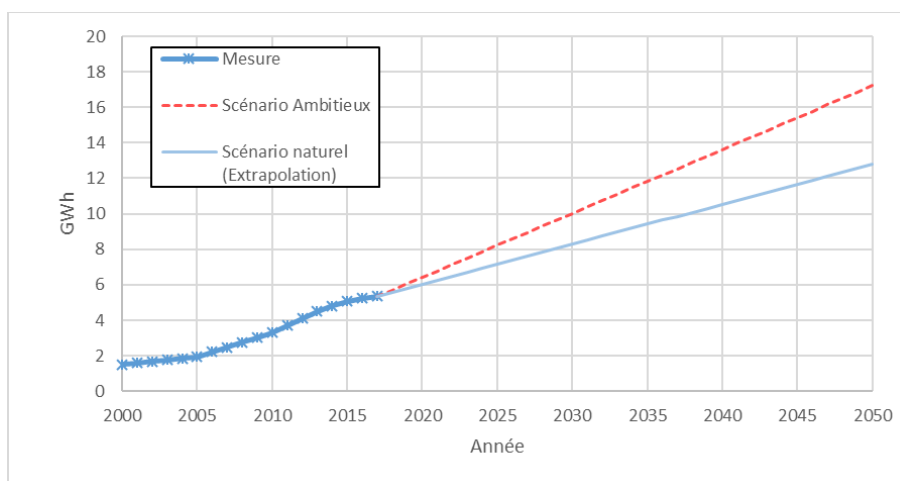


Figure 15: Progression estimée de la production d'énergie thermique solaire sur l'agglomération. Le scénario naturel est basé sur la moyenne suisse et extrapolé selon la progression des dernières années. Le scénario ambitieux retenu nécessitera un soutien à l'installation de panneaux solaires thermiques puisque la progression actuelle ne suffira pas à atteindre l'objectif.

4.2.3 Energie-bois

A grande échelle, il est difficile de prédire avec précision la quantité d'énergie-bois disponible sur un territoire donné. Les différentes hypothèses de calcul (surface économiquement exploitable, taux d'humidité du bois, évolution due au réchauffement climatique, possibilité d'exploitation des forêts privées, ...), difficilement prédictibles, rendent l'exercice difficile. On se contentera ici de fixer un ordre de grandeur basé sur deux sources disponibles.

Hypothèse « Région-énergie » :

Selon le Service des forêts et de la nature, les forêts du canton se composent de 71% résineux (Epicéa 54%, sapin 13% et autres résineux 4%) et de 29% feuillus (hêtre 21% et autres feuillus 8%). Conformément à l'hypothèse proposée dans l'outil région-énergie, dont le paramètres de calculs sont donnés dans le Tableau 4, les 1'400 ha de forêts de l'agglomération pourraient fournir 14 GWh d'énergie-bois (voir Tableau 5).

Données (Région Energie)	Feuillus	Résineux	Unités
Croissance	4.2	4.6	m ³ /ha
Pouvoir Calorifique d'un m ³ de copeaux	1050	700	kWh/Stère m ³
Volume Copeau / Vol bois	2.8	2.8	Stère m ³ / m ³

Tableau 4 : Hypothèses du service de l'énergie pour le calcul du potentiel Energie-bois

Estimation RegionEnergie			
	Surf boisées ha	Vol Copeau m3	Energie GWh
Avry	61.0	765.9	0.6
Belfaux	187.0	2'347.8	1.9
Corminboeuf	152.0	1'908.4	1.5
Düdingen	371.0	4'658.0	3.7
Fribourg	134.0	1'682.4	1.3
Givisiez	76.0	954.2	0.8
Granges-Paccot	59.0	740.8	0.6
Marly	212.0	2'661.7	2.1
Matran	53.0	665.4	0.5
Villars-sur-Glâne	93.0	1'167.6	0.9
Total	1'398.0	17'552.2	14.0

Tableau 5 : Estimation #1 : Potentiel Energie-Bois selon l'outil Région-Energie (Surface boisés <https://www.bcf.ch/sites/default/files/fribourg-enchiffres-2015.pdf>)

Hypothèse de « Office fédéral de l'énergie » :

Selon les données disponibles⁵, le potentiel durable des ressources de biomasse ligneuse pour la production de bioénergie sur les communes constituant l'agglomération est de 40 GWh (énergie primaire). En appliquant le facteur de conversion en énergie finale de 1.5, ce potentiel est de 26 GWh (énergie Finale).

Estimation énergie bois selon https://map.geo.admin.ch/			
Commune	Energie TJ	Energie Prim GWh	Energie Utile
Avry	4.3	1.2	0.8
Belfaux	12.6	3.5	2.3
Corminboeuf	28.0	7.8	5.1
Düdingen	24.5	6.8	4.5
Fribourg	32.9	9.1	6.0
Givisiez	6.2	1.7	1.1
Granges-Paccot	5.3	1.5	1.0
Marly	14.7	4.1	2.7
Matran	3.8	1.1	0.7
Villars-sur-Glâne	11.3	3.1	2.1
Total	143.4	39.8	26.2

*Tableau 6 : Estimation #2 : Potentiel Energie-Bois selon l'OFEN
(Facteur de conversion EP>EF = 1.52)*

Pour l'estimation, on se base sur la moyenne de ces deux hypothèses :

Le potentiel d'énergie-bois retenue sur le territoire de l'agglomération est de 20 GWh.

Il est également important de reconnaître que l'exploitation de bois provenant de zone régionale, proche de l'agglomération est également souhaitable. Le transport de bois n'impacte que très peu le caractère renouvelable de cette ressource. C'est pourquoi l'exploitation de l'énergie bois prise en compte dans la simulation dépasse le potentiel local

4.2.4 Energie Hydrothermique

L'exploitation hydrothermique des ressources hydrologiques est possible de deux façons :

Energie thermique chaude : Elle s'exploite généralement par l'intermédiaire de PAC qui parviennent à puiser de l'énergie thermique de l'eau et à rehausser la température de celle-ci. Les sources d'eau généralement utilisées sont les cours d'eau disposant d'un débit intéressant, les lacs et les nappes phréatiques.

Energie thermique froide : On utilise dans ce cas l'eau à sa température naturelle pour refroidir des installations ayant des besoins de froid.

La Sarine constitue le seul cours d'eau présentant un potentiel d'utilisation. L'EAWAG estime ce potentiel à plus de 3'000 GWh et presque autant pour de la production de froid. Ce potentiel pourrait être exploité pour être valorisé via une pompe à chaleur dans un CAD à proximité du cours d'eau. Plusieurs projets de Groupe E Celsius sont à l'étude.

L'exploitation du potentiel calorifique de la Sarine pourrait permettre de générer plus de 3'000 GWh/an.⁶

Au vu de son caractère encore incertain, ce potentiel n'est toutefois pas évalué dans la simulation future.

4.2.5 Energie Hydrodynamique

Le territoire strict de l'agglomération compte trois ouvrages d'exploitation de la force hydrodynamique :

⁵ <https://map.geo.admin.ch> (01.2020)

⁶ <https://thermdis.eawag.ch/fr/potential>

- la centrale Oelberg et la centrale de dotation de la Maigrauge, produisent annuellement 50 GWh
- le barrage de Schiffenen, qui exploite annuellement 125 GWh (compté dans le bilan, bien que formellement la centrale de production soit située sur la commune de Kleinbödingen)

On citera également

- la centrale d'Hauterive (Marly et hors Agglomération) produisant 215 GWh.

On estime que le potentiel maximal de tous ces ouvrages est déjà exploité.

On notera que les chiffres indiqués ici sont calqués sur une moyenne pluriannuelle, des écarts à cette moyenne peuvent être importants, suivant l'hydraulicité de l'année considérée.

L'Agglomération de Fribourg exploite actuellement pleinement le potentiel de 175 GWh disponible.

4.2.6 Géothermie

La géothermie est caractérisée par la valorisation de la chaleur du sous-sol en énergie thermique ou électrique. Plusieurs types d'utilisation de cette énergie sont à distinguer :

Géothermie faible profondeur (très basse enthalpie)

La géothermie basse température et faible profondeur ne dépasse généralement pas 400 m de forage vertical. La chaleur du sous-sol est ensuite extraite à l'aide de sondes géothermiques verticales (SGV) ou de géostructures énergétiques, ces dernières étant plus restreintes en termes de zone de potentiel intéressant. Les niveaux de température atteints à de telles profondeurs (<20°C) ne permettant pas une utilisation directe de la chaleur, les SGV doivent donc être couplées à une PAC. Le COP dépend notamment de la différence entre la température de la source (le sol) et la température nécessaire pour la production d'ECS et/ou pour le système de chauffage, plus ce niveau de température est bas, meilleures seront les performances de l'installation. Lorsque des sondes géothermiques sont couplées à des panneaux solaires thermiques, le surplus de chaleur estival de ces derniers peut être stocké dans le sous-sol. Ceci permet d'améliorer les performances du système ainsi que la quantité d'énergie disponible dans le sous-sol durant la période de chauffe (recharge). Étant donné la faible température de la ressource, il est possible d'utiliser l'installation pour le rafraîchissement en direct ou grâce à une PAC réversible en fonction des niveaux de température en jeu.

Selon les informations de l'Etat de Fribourg, 76% des zones à bâtir peuvent réaliser les travaux de forage sans nécessité d'autorisation, 8% peuvent le faire avec autorisation préalable. Seules 16% des zones sont interdites de forage (voir carte en Figure 16).⁷

L'utilisation de SGV est possible à large échelle sur le territoire de l'agglomération. Par conséquent le potentiel est considéré, comme illimité.

⁷ Selon la « Notice explicative de la carte d'admissibilité des sondes géothermiques verticales (SGV) (www.fr.ch/energie-agriculture-et-environnement):

« Cette carte tient compte des exigences des législations fédérales et cantonales en matière de protection des eaux, notamment :

> l'art. 6 de la loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux) qui interdit de polluer les eaux ;

> l'art. 43 al. 3 LEaux qui interdit la création de communications permanentes entre des nappes souterraines, si une telle intervention peut diminuer les réserves en eaux souterraines ou altérer leur qualité ;

> l'art. 31 de l'ordonnance sur la protection des eaux (OEaux) qui soumet la construction d'installations dans des secteurs comprenant des nappes souterraines exploitables à la prise de mesures de protection particulières »

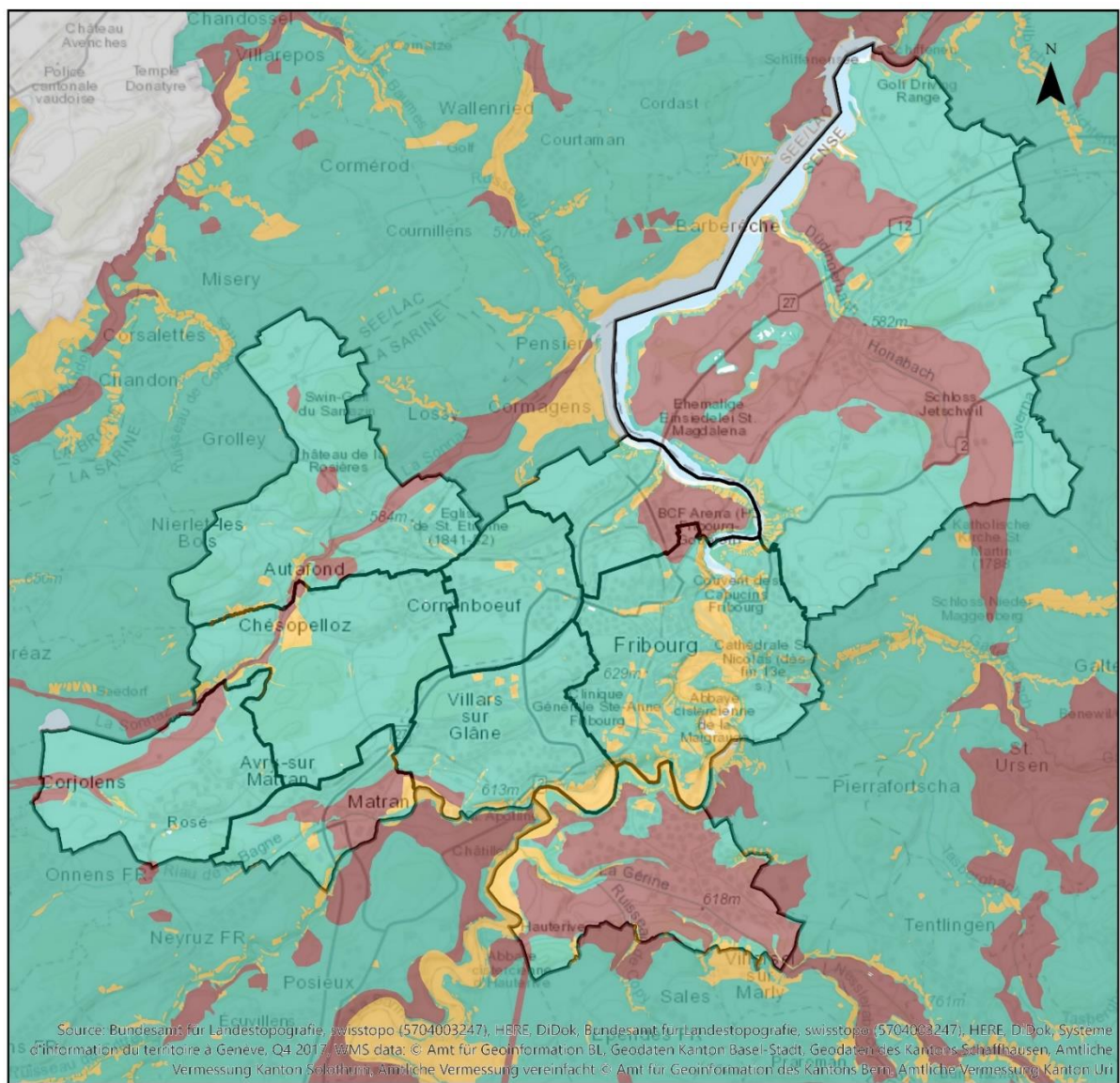


Figure 16 : Carte d'admissibilité pour forages en vue de l'implantation de SGV.

Géothermie de moyenne profondeur (sur aquifères profonds)

La géothermie sur aquifères profonds : Quand on parle de géothermie sur aquifère profonds, il s'agit de géothermie moyenne profondeur (entre 400 et 3'000 m).

A cette profondeur, on parle généralement d'un **système hydrothermal**, qui exploite l'eau stockée dans les nappes souterraines. Les niveaux de températures varient entre 25 et 100°C, suivant la profondeur. Cette technologie consiste généralement à forer un doublet : deux forages dont un permet de pomper l'eau vers un (ou des) bâtiment(s) à chauffer et l'autre permet de rejeter cette eau dans le milieu naturel une fois son énergie thermique exploitée. On notera que, dans des cas plus rares où la température dépasse les 100°C, on parlera alors d'un système pétrothermal (voir paragraphe suivant).

En fonction de sa température, cette eau peut être valorisée directement ou à l'aide d'une PAC. Etant donné les coûts de mise en œuvre d'un système de ce genre, le potentiel énergétique doit être relativement important pour que l'installation soit rentable. Aussi, on préférera généralement valoriser cette énergie grâce à un réseau de chauffage à distance pouvant approvisionner une importante quantité de bâtiments, dont un certain nombre demandent de la chaleur tout au long de l'année (industries, bains thermaux, etc.).

Dans le cadre du projet d'exploitation de la géothermie, actuellement à l'étude sur l'agglomération de Fribourg⁸, sur le site de Blue Factory, une telle exploitation pourrait fournir

- 31 GWh d'énergie thermique

Le projet de Fribourg prévoit plutôt une exploitation pétrothermale du site qui se rendrait l'exploitation hydrothermale superflue (voir paragraphe suivant).

Au vu de son caractère encore incertain, ce potentiel n'est toutefois pas évalué dans la simulation future.

Géothermie de grande profondeur

La géothermie de grande profondeur (GGP) : La géothermie grande profondeur fait référence à des forages allant de 3'000 à plus de 4'500 m.

A cette profondeur, on parle généralement d'un **système pétrothermal**. La technique utilisée consiste à injecter de l'eau dans des formations souterraines karstiques (réseaux de fissures), puis à la récupérer par pompage une fois réchauffée afin de valoriser son énergie thermique via un réseau de chaleur. L'eau est ensuite rejetée dans son milieu naturel via un autre puits. Il s'agit donc encore une fois d'un doublet. La température de l'eau peut varier entre 100 et 200°C environ (voire davantage si le forage est plus profond). A défaut de trouver des zones karstiques adéquates, la technique dite de « stimulation hydraulique » permet de créer des fissures ou d'en augmenter la taille et d'ouvrir un passage permettant à l'eau de circuler entre les deux puits. Pour ce faire, de l'eau est injectée à très haute pression dans les couches rocheuses profondes via un puits. On notera que, dans des cas plus rares où la température reste inférieure à 100°C, une exploitation hydrothermale reste possible (voir paragraphe précédent).

⁸ « Projet de géothermie profonde dans le périmètre de la Ville de Fribourg, Rapport de synthèse de l'étude préliminaire, (Phase A) », Service de l'énergie SdE, Août 2014 : Cas II « Minimal thermique pur »

Cette technique présente l'avantage de permettre également la production d'électricité (Cogénération). La chaleur de l'eau souterraine est transférée à un fluide caloporteur ayant un point d'ébullition plus bas, afin de former de la vapeur d'eau qui est ensuite détendue dans une turbine.

Dans le cadre du projet d'exploitation de la géothermie, actuellement à l'étude sur l'agglomération de Fribourg⁹, sur le site de Blue Factory, une telle exploitation pourrait fournir

- 23 GWh d'énergie thermique

- 6 GWh d'énergie électrique

Au vu de son caractère encore incertain, ce potentiel n'est toutefois pas évalué dans la simulation future.

4.2.7 Air Ambiant

L'exploitation de la chaleur de l'air ambiant est possible grâce à l'utilisation de PAC de type air/eau (légèrement moins efficaces que celles fonctionnant sur SGV). Les performances de ce type d'installation diminuent avec la température extérieure, par des températures basses sa consommation d'électricité sera plus importante.

Il faudra veiller, lors du choix du type d'appareil à sélectionner un appareil peu bruyant à l'installer dans un emplacement choisi pour éviter les nuisances sonores. Cependant des progrès très importants ont été remarqués en matière de réduction du bruit de fonctionnement. Les appareils modernes émettent moins de 40 dB(A).

Les PAC modernes répondant aux standards actuels sont exploitables dans des climats froids et permettent d'atteindre des coefficients de performance annuelle (COPA) supérieurs à 3.

Le recours à des PAC constitue un excellent moyen de réduire la consommation énergétique à condition d'utiliser une électricité majoritairement renouvelable. Dans l'idéal une PAC peut être alimentée en partie alimentée par des panneaux PV sur le toit du bâtiment. Le coût d'installation des pacs air/eau est plus faible que celui des SGV. Tout comme ces dernières, la technologie PAC air-eau convient surtout aux bâtiments nécessitant un niveau de température d'approvisionnement faible à moyen.

La ressource étant l'air ambiant, le potentiel de celle-ci pourrait être considérée comme illimité. L'utilisation de PAC générera une augmentation de la consommation d'énergie électrique.

4.2.8 Valorisation des rejets thermiques

Les industries, les hôpitaux, les centres d'exploitation informatiques et les centres commerciaux de grande taille nécessitant une production de froid rejettent de la chaleur qui pourrait être valorisée. D'une manière générale on privilégie l'exploitation de ces rejets de manière locale, directement dans le bâtiment concerné, mais il est également possible de les valoriser via une pompe à chaleur pour fournir de l'énergie thermique aux bâtiments à proximité.

Sans une connaissance approfondie des processus utilisés par ces bâtiments, il est impossible de quantifier ce potentiel. On ne peut que signaler, sur la base de la taille des surfaces concernées et des affectations, les principaux preneurs de froids :

- Les établissements hospitaliers (hôpitaux et homes)
- Les centres commerciaux
- Les centres d'exploitation informatiques
- Les grandes industries
- Les patinoires

⁹ « Projet de géothermie profonde dans le périmètre de la Ville de Fribourg, Rapport de synthèse de l'étude préliminaire, (Phase A) », Service de l'énergie SdE, Août 2014 : [CAS I « Référence Cogénération »](#)

Il conviendra alors d'informer ces établissements sur le potentiel de récupération d'énergie lié au froid et de proposer des solutions au cas par cas, sur la base p. ex d'un questionnaire ou d'une visite.

On notera que la patinoire de Fribourg (BCF Arena) a déjà entrepris un vaste projet d'optimisation énergétique incluant la valorisation des rejets de chaleur dans le réseau CAD.

SAIDEF

La Centrale d'incinération des ordures ménagères de Posieux produit actuellement environ 60 GWh/an d'énergie thermique valorisée, via le réseau FRICAD. On peut estimer la part de l'agglomération à approximativement 30GWh pour l'agglomération.

A l'avenir, grâce à l'extension et à l'interconnexions des différents réseaux, le potentiel de la SAIDEF valorisable via le réseau de chauffage à distance atteindra 100 GWh, la part consommée par l'agglomération représentera 70 GWh.

Energie des STEP

Les stations d'épurations peuvent produire de l'énergie grâce au traitement des boues d'épurations de deux manières :

- Lors de leur déshydratation, celles-ci qui produisent du gaz de digestion qui peut alimenter une installation CCF. Aussi bien l'énergie thermique qu'électrique ainsi produites sont utilisées en priorité sur place pour couvrir les propres besoins de la STEP et de ses infrastructures connexes (STAP,...).
Pour les STEP de plus grandes tailles, situées à proximité de consommateurs potentiels, on peut valoriser l'énergie thermique excédentaire sur un réseau CAD. C'est le cas de la STEP de Düdingen.
Il est également possible de purifier le gaz obtenu et le distribuer sous forme de biogaz, c'est le cas de la STEP de Fribourg-
- Les boues de toutes les STEP, une fois sèches, sont incinérées, produisant de la chaleur valorisable via un réseau CAD. Les boues des communes de l'agglomération sont traitées à la SAIDEF. Leur potentiel est pris en compte dans le chapitre correspondant.

Elles peuvent également récupérer l'énergie contenue dans la chaleur sensible de l'eau traitée. Ce point est traité dans le paragraphe « Récupération de chaleur des eaux usées ».

Aucun potentiel majeur n'est considéré à l'échelle de l'agglomération, en revanche, au gré des rénovations et assainissements des STEP, les communes pourront améliorer et exploiter ces potentiels localement, notamment l'eau de sortie de step qui peut être valorisée par des PAC et intégrée au CAD.

Installation (source)	Charge hydraulique (moy. /j.)	Traitement des boues déshydratées	Production thermique (CCF)	Excédent thermique (kWh)	Production électrique (CCF ou moteur gaz)	Excédent Electrique (kWh)
STEP de Villars-sur-Glâne ¹⁰ (pour les communes de Matran et Villars-sur-Glâne)	5'480 m ³ /j	Oui, SAIDF (~900 t.)	Oui	Non	Oui	Non
STEP de Marly ¹¹	8'500 m ³ /j	Oui, SAIDF (~1'200 t.)	Oui	Non	Oui	Non
STEP de Pensier ¹² (pour les communes d'Avry, Belfaux, Corminboeuf, Givisiez)	8'353 m ³ /j	Oui, SAIDF	Non	Non	Oui	1'550'000
STEP de Fribourg ¹³ (pour les communes de Granges-Paccot et Fribourg)	21'000 m ³ /j	Oui, SAIDF (~4'400 t.)	Oui	9'000'000 (1'500'000 Nm ³ Biogaz)	Oui	Non
ARA Sensetal (Düdingen) ¹⁴	20'000 m ³ /j.	Oui, SAIDF (~1'500 t.)	Oui	2'270'000 (CAD)	Oui	851'000

Tableau 7 : STEP recensées qui traitent les eaux des communes du territoire.

Toutes les STEP valorisent déjà l'énergie de méthanisation. On notera que la taille de la STEP (haute charge hydraulique) influence favorablement sa capacité à devenir productrice d'énergie (thermique ou électrique), mais d'autres critères (proximité de la demande, localisation, proximité d'infrastructures de réseau) sont également déterminants. L'exploitation de l'énergie de méthanisation peut encore être optimisée, toutefois aucun potentiel majeur n'est considéré à l'échelle de l'agglomération. L'énergie contenue dans les boues déshydratées est quant à elle valorisée dans l'usine d'incinération des boues de STEP (IBS) de la SAIDF.

¹⁰ Rapport de gestion de la commune de Villars-Sur-Glâne : https://www.villars-sur-glâne.ch/fileadmin/user_upload/Autorites_secretariat_informatique/Bulletins_communaux/Rapports_de_gestion/Rapport_de_gestion_2018.pdf

¹¹ Rapport de gestion de l'association intercommunale pour l'épuration des eaux usées du bassin versant Gérine-Nessler : https://www.marly.ch/fileadmin/user_upload/marly.ch/Technique/Eau_Assainissement/Step/Rapport_de_gestion/Rapport_de_gestion_2018.pdf

¹² Rapport du comité de direction de l'association intercommunale pour l'épuration des eaux des bassins versantes de la Sonnaz (<http://www.steppensier.ch/wp-content/uploads/2019/04/Rapport-CD.pdf>)

¹³ Rapport de gestion de la ville de Fribourg : https://www.ville-fribourg.ch/sites/default/files/inline-files/Rapport%20de%20gestion%202018_0.pdf

¹⁴ Jahresbericht 2018 ARA Sensetal : https://www.sensetal.ch/fileadmin/pdf/Jahresbericht_18_ARA_Sensetal_red..pdf

Biogaz

Le territoire de l'agglomération compte une centrale de production de biogaz, à Düdingen, par valorisation des déchets agricoles et organiques. Le gaz ainsi produit sert à faire fonctionner deux installations CCF produisant annuellement 4.4 GWh électriques et 5.1 GWh thermique. Un développement d'autres installations de ce type sur le territoire est souhaitable, mais doit tenir compte des limitations suivantes :

- Le cadre légal actuel impose un rayon maximal de 50km pour la récolte de déchets organiques (cosubstrats) nécessaire au fonctionnement de l'installation
- Le prix de production du kWh se situe au-dessus du prix de production plus conventionnel
- Prise en compte des contraintes de proximité des habitations, de limite de bruit, transports
- Une proximité directe d'un consommateur de chaleur est nécessaire pour utiliser l'énergie thermique dégagée par le CCF

En tenant compte des installations de biogaz existantes sur et aux abords directs du territoire (Guin, Ferpicloz, Seedorf, ...) ainsi que des limitations citées ci-dessus, la possibilité de l'installation d'une autre installation de ce type est irréaliste à ce jour.

Récupération de chaleur des eaux usées

L'ECS utilisée dans les bâtiments et évacuées constitue une source potentielle d'énergie thermique.

Dans des bâtiments de plus grande taille, cette énergie peut être récupérée et valorisée en sortie d'immeuble via un échangeur de chaleur servant à préchauffer l'eau destinée à la production d'ECS.

Des échangeurs peuvent également être installés dans les collecteurs d'eau usée. Pour être exploitable on considère généralement que les conduites doivent présenter une partie rectiligne d'au moins 20 mètres et un diamètre d'au moins 50 cm et un débit (par temps sec) de 15 l/s. Dans ces cas, la température de l'eau ainsi préchauffée est relevée par une PAC.

Le potentiel ne peut être quantifié que de manière approximative, car dépendant de facteurs locaux qui ne peuvent être pris en compte dans une étude à l'échelle d'une commune. Il est également à noter que la récupération de chaleur doit se faire en amont de la STEP, à une distance suffisante de celle-ci pour permettre aux eaux usées de se réchauffer à nouveau sous l'effet de la chaleur du sol. Des eaux usées arrivant trop froides à la STEP ne peuvent être traitées.

En imaginant pouvoir récupérer, par les différents moyens évoqués ci-dessus, 1% de l'énergie utile nécessaire au préchauffage de l'ECS (88 GWh) dans les eaux usées, le potentiel disponible se monte à 8.8 GWh d'énergie thermique

4.3 Potentiel d'extension des réseaux CAD

De nombreuses zones sont propices au développement ou d'extension de CAD.

Généralement, la rentabilité économique d'un CAD est possible pour les zones où la densité de besoin de chaleur dépasse les 500 MWh/an. La Figure 17 vise à mettre en valeur ces zones (couleurs rouges). Il s'agit de la densité des besoins établie pour les bâtiments qui pourraient se connecter au CAD, fonctionnant actuellement au mazout ou au gaz. Les autres vecteurs énergétiques sont écartés.

Le développement et l'extension des différents réseaux dépendra grandement de l'engagement de chaque commune à les encourager.

Les solutions d'approvisionnement des réseaux CAD sont multiples, modulables et ne se limitent pas à la seule exploitation de la SAIDF. Suivant la croissance de la demande, des centrales de chauffe renouvelable au bois ou par exploitations de pompes à chaleur sur l'eau sont envisageables.

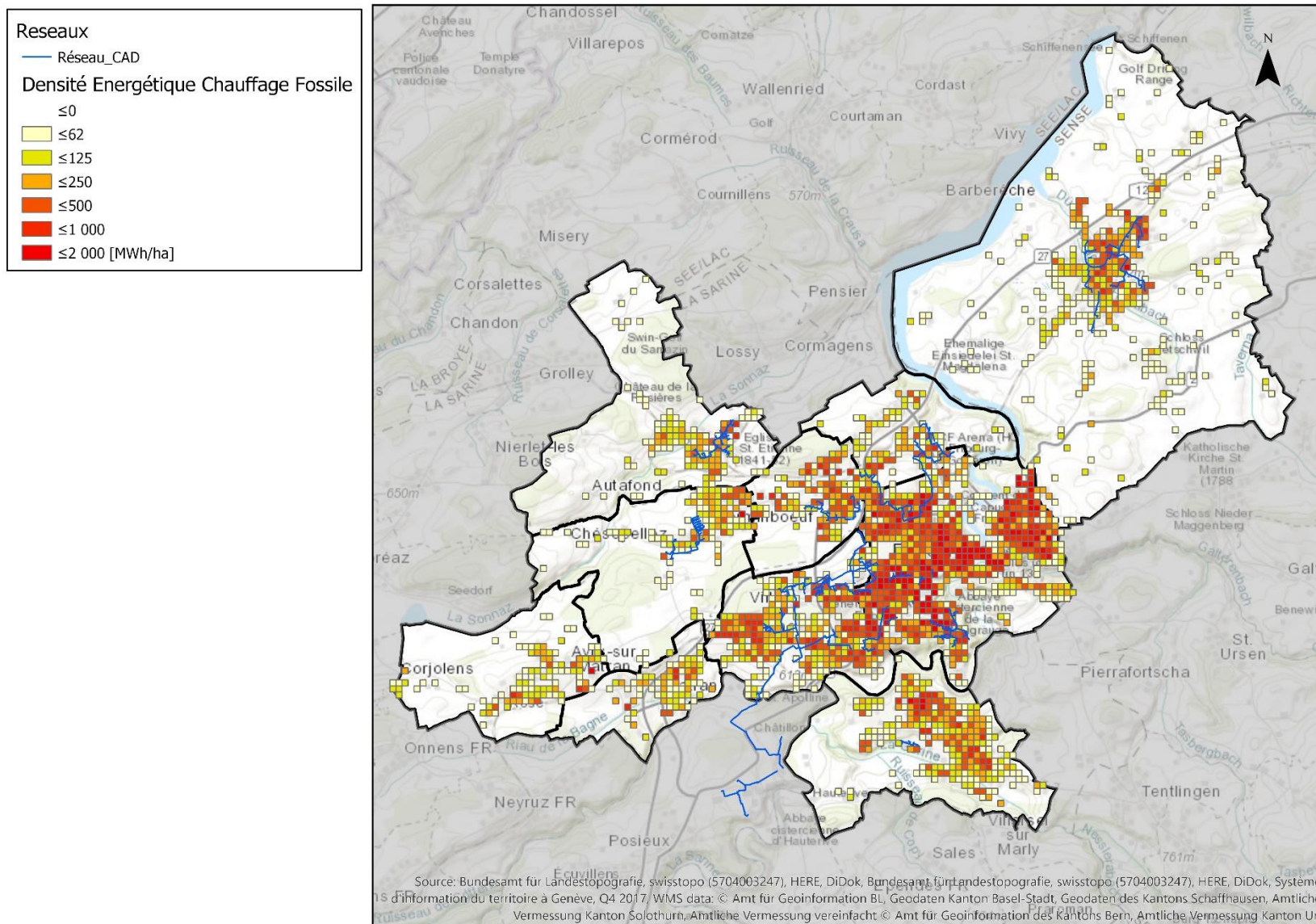


Figure 17: Visualisation géolocalisée des réseaux CAD sur le territoire de l'agglomération.

5 Principaux axes de la vision à long termes

Les 2 principaux axes du concept énergétique de l'agglomération sont :

I. Pérennisation de la commission énergie de l'Agglomération (CEAgglo)

Mission :

- La CEAgglo agit comme une plateforme d'interaction entre les différentes communes membre sur les questions énergétiques touchant plusieurs communes.
- Elle épaula et conseille les communes membres dans les choix énergétiques à venir
- Elle offre un cercle de discussion aux responsables des communes pour partager les expériences.
- Elle agit en tant que facilitateur entre les différentes parties en présence sur les questions d'énergie

Principaux domaines d'action :

- a. Soutien aux communes dans les processus d'extension des réseaux de chauffage à distance renouvelables et neutres en CO2
 - La CEAgglo aide à la coordination intercommunale en vue du projet en cours visant l'interconnexion des réseaux de CAD existant afin de permettre l'exploitation de tout le potentiel de récupération de la SAIDF.
 - La CEAgglo épaula et conseille les communes désireuses d'introduire, là où cela fait du sens du point de vue environnemental et économique, une obligation de raccordement, selon l'Art. 9 de la Loi sur l'énergie (LEn)
 - La CEAgglo agit en tant que facilitateur pour établir une relation de confiance mutuelle entre les utilisateurs finaux, les communes et l'exploitant du CAD
- b. Constitution d'un catalogue de mesures que les communes pourraient intégrer à leur législation communale
 - Ce catalogue s'apparente à une boîte à outil à disposition des communes
 - Cette approche permet une mutualisation des efforts nécessaires à la mise en place de mesure de performance énergétique
 - Elle permet également de bénéficier des idées des autres communes et de leur expérience.
- c. Soutien aux communes pour la planification de la mobilité électrique
 - Coordonner le déploiement d'un réseau de stations de recharge pour les véhicules électriques pour assurer une couverture optimale sur le périmètre de l'Agglo
- d. Soutien aux communes dans leur démarches de production et d'exploitation d'énergie renouvelable
 - Aide à la planification d'installations de centrale de production d'électricité photovoltaïques sur les grandes toitures, spécialement lorsque celles-ci sont en lien avec la mobilité électrique.

II. Suivi et communication de la situation énergétique de l'agglomération

- a. Recueillir les informations et suivre la situation énergétique et climatique du territoire de l'agglomération avec des indicateurs pertinents ;
- b. Informer régulièrement sur les actions de politique énergétique de l'agglomération
- c. Mettre à disposition des informations facilitant la prise de décision des habitants

6 SCENARIOS FUTURS

Pour aller dans le sens de la vision à long terme, l'Agglomération de Fribourg se fixe des objectifs spécifiques. Ces objectifs spécifiques, qui doivent contribuer significativement à concrétiser la vision et les lignes directrices (cf. chapitre 4), ont été définis en regard de la connaissance du territoire (cf. chapitre 5).

6.1 Méthodologie

Afin de bien comprendre les enjeux et les buts à viser il convient tout d'abord de détailler les enjeux de la planification énergétique ainsi que les leviers d'actions disponibles pour en influencer le cours.

6.1.1 Pour le parc bâti actuel

On distingue 5 valeurs (taux) à considérer pour modéliser l'évolution de la demande énergétique et sa proportion d'énergie renouvelable (taux de rénovation, taux d'assainissement, taux de changement de vecteur énergétique, taux de renouvelable lors du changement de vecteur énergétique, taux de renouvelable lors de nouvelles constructions).

1. Rénovation du bâtiment :

La rénovation du bâtiment comprend une amélioration sensible de la qualité de l'enveloppe thermique. Une telle rénovation permet de baisser **l'énergie utile** requise par le bâtiment pour assurer un niveau de confort équivalent.

La vitesse à laquelle un parc bâti est rénové est liée au taux de rénovation. De façon naturelle, en Suisse, un bâtiment est rénové, en moyenne tous les cent ans, le taux de rénovation naturel est donc de 1%¹⁵, néanmoins, en accord avec les ambitions cantonales, dont l'atteinte est stimulée par les encouragements proposés par la loi cantonales sur l'énergie, le taux retenu est basé sur un taux de 1.2%.

Le scénario prévoit que l'énergie utile moyenne des bâtiments passe, après rénovation aux valeurs limites de la norme SIA 380|1:2016 majorée de 50%, ce qui correspond à la classe C du CECB, ainsi que prévue dans l'Art. 15 du Règlement sur l'énergie (REn), (RSF 770.11). Ceci sous-entend l'hypothèse que la performance énergétique de l'enveloppe est égale à la performance énergétique globale et que cette disposition est appliquée à tous les bâtiments.

2. Assainissement des installations techniques du bâtiment

Chaque unité d'énergie utile, qu'elle soit produite ou mise à disposition par une installation technique (chaudières, pompes de circulations, distributions, etc.), est soumise à des pertes. Ensemble, l'énergie utile et les pertes constituent l'énergie finale. Le ratio énergie utile sur énergie finale, s'appelle le rendement. Les installations techniques plus anciennes ont un plus mauvais rendement que les plus récentes. Un assainissement des installations techniques a donc pour effet de diminuer les pertes, mais ne change pas la quantité d'énergie utile nécessaire.

La vitesse à laquelle les installations techniques d'un parc bâti sont rénovées est liée au taux d'assainissement. De façon naturelle les installations techniques des bâtiments sont rénovées, en moyenne tous les 15 à 20 ans¹⁶, le taux d'assainissement naturel est donc

¹⁵ Sources :

- www.sia.ch/fr/themes/energie/modernisation-du-parc-immobilier-suisse, (03.07.2020)
- Plan sectoriel de l'énergie, Juillet 2017, Etat de Fribourg, Service de l'énergie

¹⁶ Sources :

- « Assainissement du chauffage, Bien se chauffer, aujourd'hui et demain », Engie, 2018
- Durée de vie de chaudière pris en compte dans l'Art. A4-3 du Règlement sur l'énergie (REn), (RSF 770.11)
- Hypothèse de calcul utilisée dans le « Rapport "PAC air-eau" Remplacement de chaudières classiques à mazout, à gaz ou électrique en milieu urbain : scénarii de remplacement, analyse des coûts et des contraintes », Suisse Energie, 2019

compris entre 5% et 6.6%, en accord avec les ambitions cantonales, dont l'atteinte est stimulée par les encouragements proposés par la loi cantonales sur l'énergie, le taux retenu pour les projections est de 6%.

3. Changement de vecteur énergétique

Au moment d'un assainissement, le propriétaire d'un bâtiment peut décider, (en fonction de la situation économique, de la configuration du bâtiment, de la place à disposition, du niveau de température du départ de la distribution de chauffage, ...) de saisir cette opportunité pour changer de production de chaleur pour son bâtiment et donc de vecteur énergétique.

La proportion du nombre de changement constaté lors d'un assainissement est le taux de changement de vecteur énergétique. Lors d'un changement de production de chaleur, le choix de la production de chaleur qui va être installée définit le vecteur énergétique du bâtiment au moins jusqu'au prochain assainissement. La part d'énergie renouvelable nouvellement installé est proportionnelle au taux de renouvelable lors du changement de vecteur énergétique.

D'un point de vue légal, l'Art. 15 du Règlement sur l'énergie (REn) (RSF 770.11) du 01.01.2020, prévoit un taux minimum de 20%, cependant les constatations faites sur le terrain, démontre que cette imposition légale mène à un taux réel de l'ordre de 80%¹⁷.

4. Il en va de même lors du choix de la production de chaleur qui va être installé dans un nouveau bâtiment. La part d'énergie renouvelable nouvellement installé dans ce cas est proportionnelle au taux de renouvelable lors de nouvelles constructions. On admet un taux naturel de 90%.

Les différents taux admis pour la projection sont basés sur la situation actuelle (2020), ils seront amenés à être adaptés au cours des années pour se conformer aux dispositions légales et les constatations faites sur le terrain.

¹⁷ Source : Communication du service de l'énergie de l'Etat de Fribourg

6.1.2 Nouveaux bâtiments

En 2016 la population de l'agglomération atteignait 83'000 personnes.

Selon le scénario d'accroissement retenu par l'Agglomération, on pourrait voir 35'000 personnes en plus d'ici à 2050 pour atteindre 118'000 résidents.

En terme énergétique, en faisant l'hypothèse d'une moyenne de 7 personnes par bâtiment¹⁸, on aurait donc 4'600 bâtiments moyens en plus. Ce nombre de bâtiment étant à comprendre d'un point de vue énergétique uniquement, il représente le nombre de « bâtiment moyen » nécessaire à l'élaboration du scénario.

D'un point de vue urbanistique, selon le scénario retenu par l'agglomération, avec 23% des bâtiments neufs contre 73% en densification, on peut s'attendre à 1'100 bâtiments en plus.

La consommation engendrée par les nouveaux habitants et bâtiments peut alors être intégrée facilement en se basant sur la consommation moyenne des bâtiment neuf.

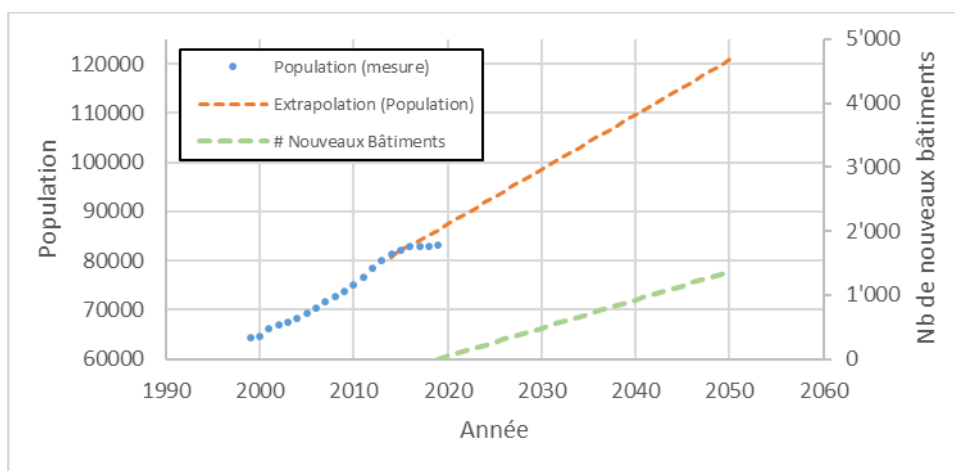


Figure 18 : Prise en compte de l'augmentation de la population. Les points bleus représentent la population telle que mesurée entre 1999 et 2018. La courbe orange est l'augmentation extrapolée retenue pour la modélisation. La courbe verte est l'augmentation le nombre de bâtiments moyens, considéré du point de vue énergétique, nécessaires à cette nouvelle population.

6.1.3 Intégration des potentiels

En principe, tous les potentiels décrits au chapitre 4 font partie intégrante de la modélisation. Dans le cas contraire, pour des potentiels soumis à un trop haut degré d'incertitude, cela est très clairement indiqué dans l'explication du potentiel.

6.1.4 Mesure pour la mobilité

Comme mentionné, les aspects de mobilité dépendent majoritairement de l'évolution comportementale et sociétale du rapport entretenu avec la mobilité individuelle, qui n'est pas modélisable dans le cadre de la présente étude. Néanmoins, basé sur les tendances probables et le niveau d'implication des autorités pour influencer le comportement, on peut entrevoir les scénarios probables suivants. Le scénario retenu pour la modélisation future est la version ambitieuse.

Scénario naturel

Selon l'étude réalisée ce scénario décrit une « évolution avec des moyens et des mesures peu engageantes, notamment, en faveur des modes de transport respectueux de l'environnement et des incitations aux changements de comportements. Autrement dit, le scénario se fonde sur une évolution similaire à celle constatées ces cinq dernières années ».

¹⁸ Calculé selon les chiffres 2017 : 83'000 habitants pour 12'000 bâtiments.

Scénario ambitieux

Selon l'étude réalisée ce scénario décrit une « évolution proactive et incitative en faveur de la transition énergétique avec des mesures et moyens forts pour stimuler les changements de comportement des usagers motorisés et le développement des modes de transport respectueux de l'environnement »

Les principaux indicateurs décrivant l'évolution dans le temps de ces deux scénarios sont décrits en Figure 19.

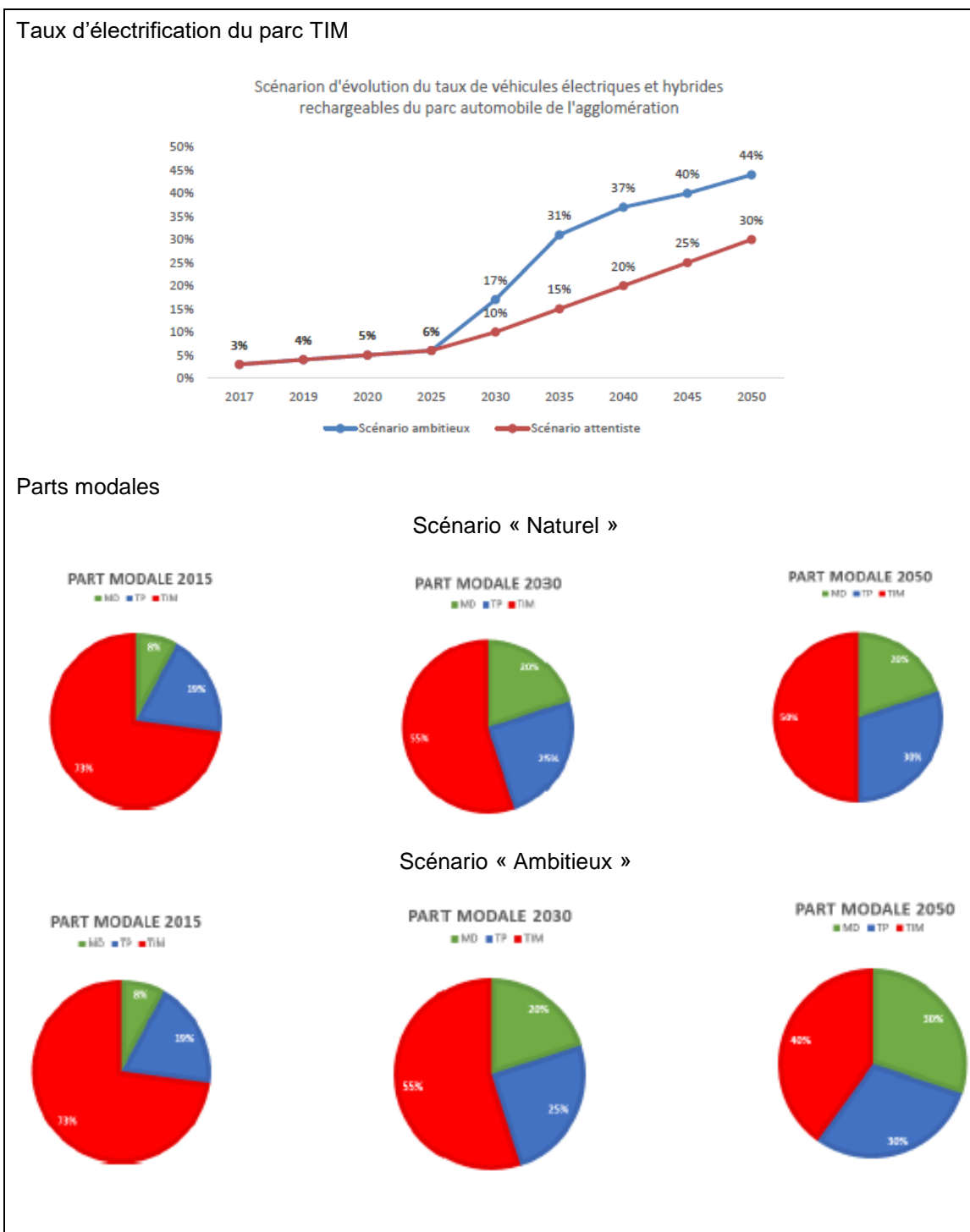


Figure 19 : Evolution des principaux indicateurs des scénarios de mobilité.

On peut alors évaluer ces scénarios du point de vue énergétique :

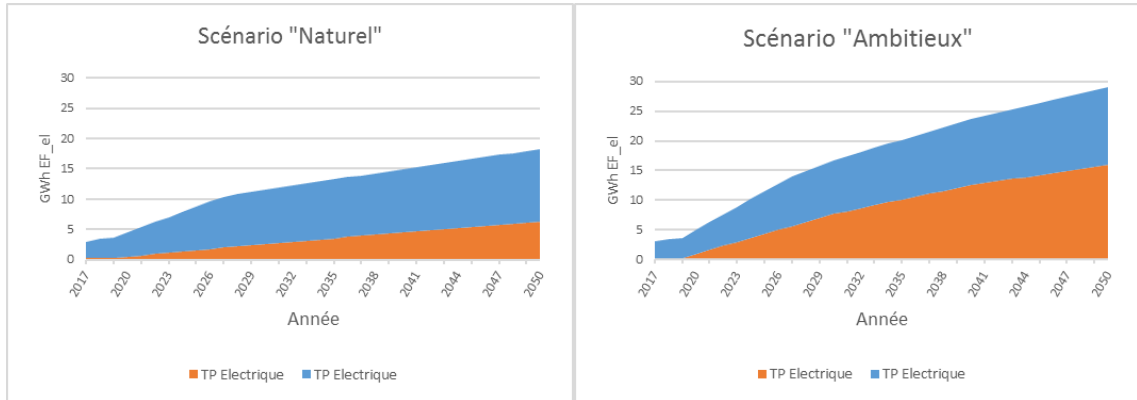


Figure 20 : Evolution de la consommation d'énergie électrique pour la mobilité. On remarque l'électrification du parc de véhicule impacte directement la consommation d'énergie électrique. La taille extrêmement restreinte du parc électrique TIM actuel représente une part infime de la consommation électrique, mais pourrait, à terme, représenter un poste d'importance.

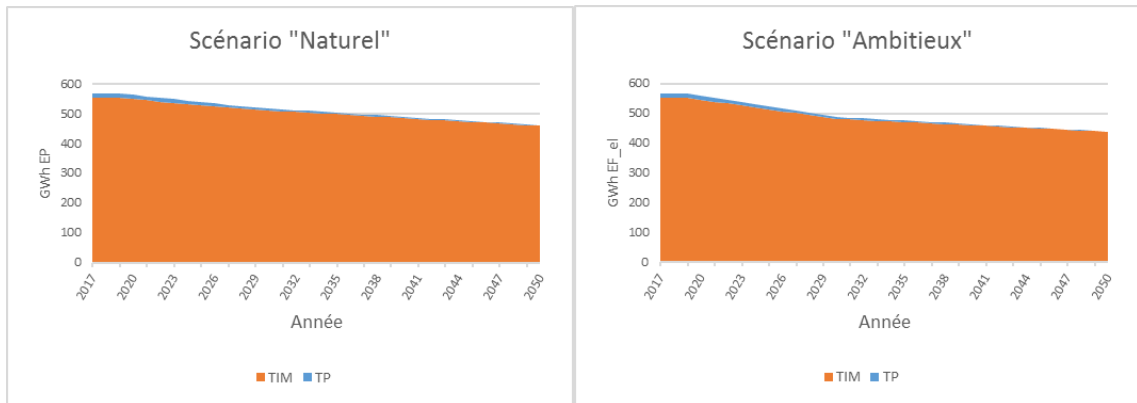


Figure 21 : Evolution de la consommation d'énergie primaire pour la mobilité.

6.2 Résultats du scénario prévu

L'évolution naturelle de l'énergie finale et de la proportion d'énergie renouvelable engagée dans le parc est modélisée selon les taux précédemment déclarés et résumés dans le Tableau 8.

L'évolution selon ce scénario est visualisable de manière graphique en Figure 22 et Figure 23.

Les taux de changement de vecteur énergétique partent de l'hypothèse d'une obligation de raccordement à l'énergie de réseau étendue (obligation sauf si la couverture en énergie de l'alternative proposée est majoritairement renouvelable) :

<i>Taux de rénovation</i>	1.2%
<i>Taux d'assainissement</i>	6%
<i>Taux de changement de vecteur énergétique</i>	
-Mazout	80%
-Gaz	80%
-Bois	0%
-CAD	0%
-PAC	0%
-Solaire Thermique (ECS)	0%
-Inconnu	80%
-Electrique	90%
<i>Taux de renouvelable lors du changement de vecteur énergétique</i>	80%
<i>Taux de renouvelable lors de nouvelle constructions</i>	90%

Tableau 8: Différents taux utilisés pour la simulation de l'évolution naturelle et ambitieuse de la demande en énergie de l'agglomération.

Les objectifs ci-dessous couvrent l'ensemble du territoire de l'agglomération, c'est-à-dire qu'ils incluent tous les acteurs locaux dont dépend la consommation globale d'énergie sur le territoire. Ces acteurs sont composés des habitants, des entreprises, des pendulaires, etc. Ces différents groupes-cibles sont les consommateurs finaux. L'enjeu majeur consiste ici, dans la mesure du possible, à influencer leurs décisions de consommation et d'investissement et motiver les changements de comportements.

Selon ces objectifs l'évolution dans le temps de la consommation d'énergie finale thermique est représentée en Figure 22, celle de la consommation d'énergie finale électrique en Figure 23.

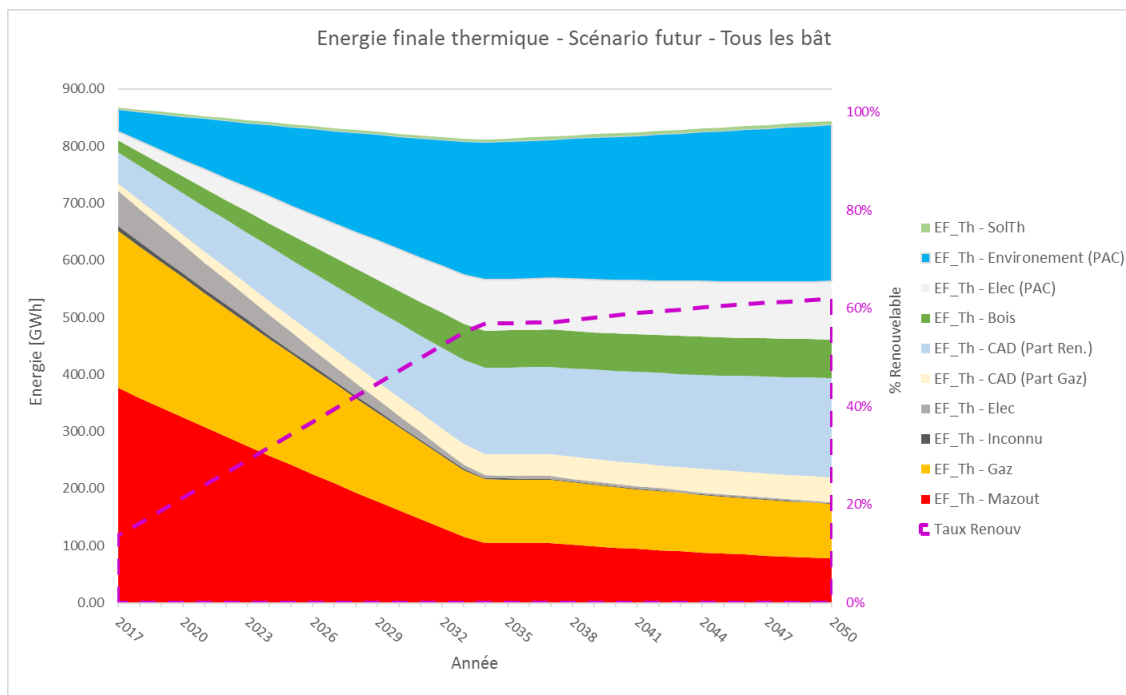


Figure 22 : Simulation de l'évolution de l'énergie thermique finale pour les différents vecteurs énergétiques (mazout, gaz, chauffage électrique, Bois, CAD, PAC, solaire Thermique), pour les remplacements (lors d'assainissement) et pour les nouvelles constructions.

On remarque trois périodes distinctes de 2017-2033, 2033-2037, 2037-2050 :

La première période correspond au changement rapide engendré par le taux d'assainissement de 6% supérieur au taux naturel (5%), durant cette période de 17 ans, la quasi-totalité des installations de chauffage installations seront assainies. Durant les 3 ans suivants, les installations nouvellement assainies sont utilisées. Les installations ayant une durée de vie de 20 ans, une nouvelle vague de rénovation commence en 2037, débutant ainsi la troisième période.

La ligne surimprimée en violet représente de taux d'énergie renouvelable (SolTh, Environnement, Bois, CAD (Part Ren.)) et se lit grâce à l'échelle de droite.

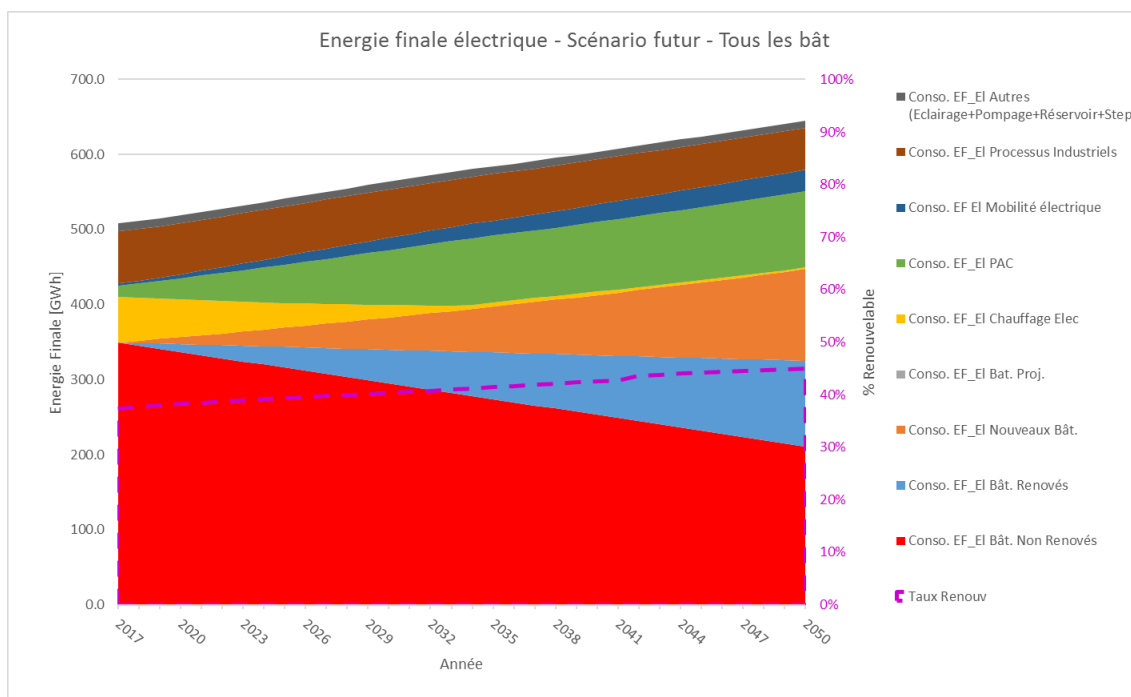


Figure 23 : Simulation de l'évolution de l'énergie électrique finale.

On y distingue (de bas en haut) :

- La consommation courante (éclairage, appareils, ventilation) des bâtiments non-rénovés,
- La consommation courante des bâtiments rénovés
- La consommation courante des nouveaux bâtiments
- L'énergie électrique nécessaire aux chauffages électriques directs.
- L'énergie électrique nécessaire aux PAC
- L'énergie électrique nécessaire à la mobilité
- L'énergie électrique nécessaire aux processus industriels
- La part des services communaux (Eclairage public, pompage, STEP)

La consommation électrique augmente principalement sous l'effet des nouvelles constructions et de l'augmentation de la consommation des PAC et de la mobilité.

La ligne surimprimée en violet représente le taux d'énergie renouvelable (PV, Hydraulique et Eolien) et se lit grâce à l'échelle de droite.

L'évolution de l'approvisionnement en énergie électrique et des postes de consommation de l'agglomération est représentée par les quatre graphiques de la Figure 24.

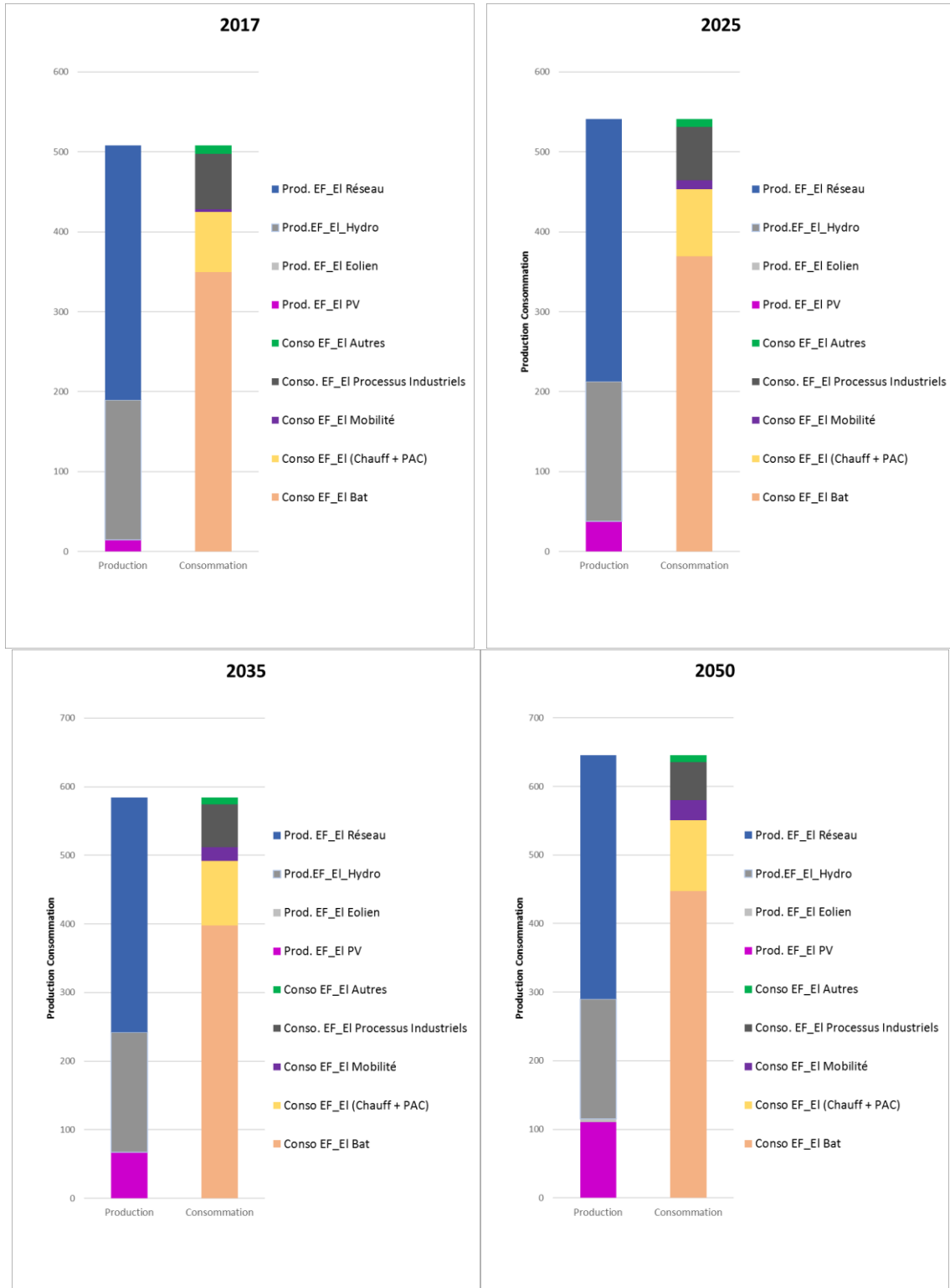


Figure 24 : Les quatre graphiques démontrent chacun l'état de la consommation d'énergie électrique (colonne de droite) mis en rapport avec l'approvisionnement (colonne de gauche). En termes d'approvisionnement : Le PV représente la partie renouvelable de l'approvisionnement qui croît régulièrement. En termes de consommation : On constate la disparition des chauffages à résistance électrique compensée par une hausse de la demande

des PAC, l'évolution de la rénovation des bâtiments et l'accroissement de la demande pour la mobilité.

Afin d'obtenir une évolution de l'énergie cumulée, thermique et électrique, ces dernières sont transformées en énergie primaire représentée en Figure 25.

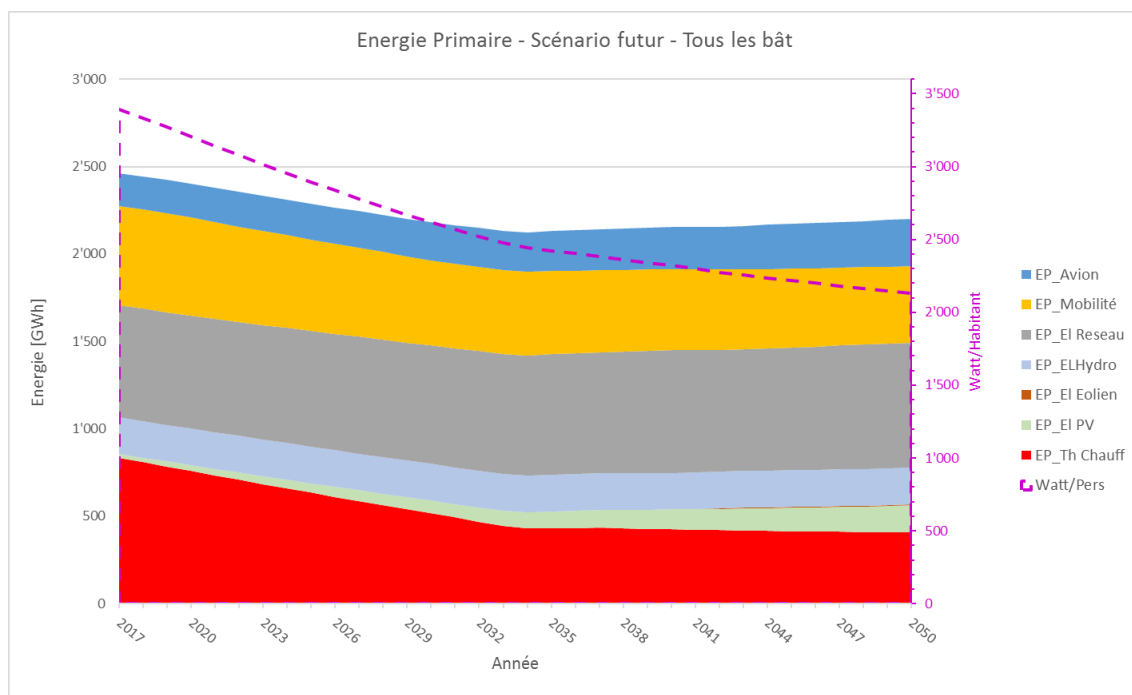


Figure 25 : Evolution de l'énergie primaire. L'énergie primaire permet de sommer l'énergie électrique consommée sur l'ensemble de l'agglomération (EP_EI Reseau, EP_EI Hydro, EP_EI Eolien, EP_EI PV), les énergies thermiques (EP Chauff), et l'énergie du transport (EP Mobilité et EP_Avion). La ligne surimprimée en violet indique la puissance consommée par personne en énergie primaire, elle se lit sur l'échelle de droite. En 2018, elle se monte à 3'550 W¹⁹ et s'abaisse à 2'400 W en 2050, 20% au-dessus du but fixé de 2'000 W.

Les facteurs d'énergie primaire utilisés pour le calcul sont résumés dans le Tableau 17.

Finalement on trouvera un résumé des consommations en énergie finale et primaire dans le Tableau 9 et un résumé des économies en énergie finale et primaire dans le Tableau 10. Les économies sont définies comme la différence entre l'année de référence et l'année 2050.

¹⁹ Note de plausibilisation :

La publication « Consommation d'énergie dans le monde et en Suisse, SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN Service Formation et perfectionnement, décembre 2019 » fait état de 37'500 kWh/hab pour l'ensemble de la Suisse, soit une puissance de 4'280 W/hab. Le mix énergétique très favorable de l'agglomération, comprenant de grosses installations de production électrique renouvelable justifie que cette consommation soit plus faible que la moyenne suisse.

GWh	2017	2025	2035	2050
Energie finale				
Consommation de chaleur Fossile	749.3	550.8	349.8	321.3
Consommation de chaleur Renouvelable	118.5	287.2	463.4	522.7
Consommation d'électricité	508.2	541.2	584.3	645.5
Energie primaire				
Consommation de chaleur	835.4	635.6	432.4	406.9
Consommation d'électricité	872.6	882.2	889.0	895.9
Mobilité	755.6	728.2	704.2	707.1
Total	2463.6	2245.9	2025.5	2009.9

Tableau 9 : Résumé des consommations en énergie finale et primaire.

Economies (GWh)	2017	2025	2035	2050
Energie finale				
Consommation de chaleur Fossile	0.0	-198.5	-399.5	-428.0
Consommation de chaleur Renouvelable	0.0	168.7	344.9	404.2
Consommation d'électricité	0.0	33.0	76.1	137.3
Energie primaire				
Economie de chaleur	0.0	-199.8	-403.0	-428.5
Economie d'électricité	0.0	9.5	16.4	23.3
Mobilité	0.0	-27.4	-51.4	-48.5
Total	0.0	-383.1	-761.5	-744.3

Tableau 10: Résumé des économies d'énergie finale et primaire, établi par différence entre l'année de référence et l'année 2050. La consommation de chaleur fossile diminue beaucoup et est remplacée par du renouvelable. La consommation électrique, augmente du fait de l'utilisation de PAC et de l'électrification de la mobilité.

L'évolution de la production d'énergie renouvelable finale électrique est résumée dans le Tableau 11.

L'évolution de la production d'énergie renouvelable finale thermique est résumée dans le Tableau 12.

Energie Finale [GWh]	2017	2025	2035	2050
	Production	Production	Production	Production
Prod. EF_EI PV	14.57	37.89	67.04	110.76
Prod. EF_EI Eolien	0.00	0.00	0.00	4.50
Prod.EF_EI_Hydro	175.00	175.00	175.00	175.00
Prod. EF_EI Réseau	318.58	328.31	342.23	355.23

Tableau 11 : Evolution de la production d'énergie finale électrique pour couvrir les besoins de l'agglomération.

Energie Finale [GWh]	2017	2025	2035	2050	0
Thermique	Production	Production	Production	Production	Production
EF_Th - CAD (Part Ren.)	54.7	101.5	151.4	173.8	173.8
EF_Th - Bois	21.0	43.1	65.2	67.4	67.4
EF_Th - Environement (PAC)	39.6	138.7	242.1	275.5	275.5
EF_Th - SolTh	3.3	3.9	4.8	6.1	6.1
EF_Th - Mazout	376.2	241.5	104.9	78.2	78.2
EF_Th - Elec	61.0	32.8	5.3	2.3	2.3
EF_Th - CAD (Part Gaz)	13.7	25.4	37.8	43.4	43.4
EF_Th - Gaz	275.0	194.9	110.9	95.1	95.1
EF_Th - Elec (PAC)	14.6	51.1	89.1	101.4	101.4
EF_Th - Inconnu	8.8	5.2	1.6	0.8	0.8
Total	867.8	838.0	813.2	844.0	844.0
Taux Renouv	14%	34%	57%	62%	62%

Tableau 12 : Evolution de la production d'énergie thermique finale. La part de production renouvelable (en vert) croit au profit de la part non renouvelable (en jaune).

Ces objectifs sont destinés à être contrôlés périodiquement, à savoir tous les 5 ans. Leur atteinte est calibrée en fonction de l'augmentation des objets (population, activité économique et industrielle selon l'indicateur choisi).

7 MISE EN ŒUVRE

La mise en œuvre du scénario retenu implique des mesures permettant l'atteinte de l'objectif. Elles sont détaillées dans le paragraphe ci-dessous.

Selon les constatations faites lors du contrôle des résultats (voir Paragraphe 7.6), ces mesures pourront être renforcées ou au contraire progressivement abandonnées.

7.1 Mesure 1 – Pérenniser la commission énergie de l'agglomération et définir son rôle

Désignation de la mesure : Pérenniser la commission énergie de l'agglomération et définir son rôle
Situation à l'année de référence (2020) Les communes peuvent décider d'elle-même de l'orientation de leur politique énergétique ainsi que des mesures pour y parvenir. Elle ne bénéficie pas formellement d'un organe de soutien, de conseil et ni d'organisation pour échanger sur ces sujets et profiter de l'expérience des unes et des autres.
Objectifs : La commission énergie de l'agglomération (CEAgglo), dans laquelle chaque commune est représentée est un outil idéal pour mutualiser les ressources disponibles pour chaque commune. La CEAgglo peut, avec le soutien d'expert, obtenir un conseil sur les mesures afin d'uniformiser leur plan d'aménagements locaux et/ou leur règlement communal d'urbanisme visant à régir notamment : <ul style="list-style-type: none">- La politique de rénovation des bâtiments (voir mesure correspondante)- Une restriction plus forte du recours aux énergies fossiles- Le développement de chauffages à distance (voir mesure correspondante)- Coordonner le développement de l'exploitation photovoltaïque (voir mesure correspondante)- etc.
Actions à entreprendre : Engager une procédure pour octroyer un statut à la commission énergie de l'agglomération et définir son rôle
Priorité de mise en œuvre 10/10
Taux de réalisation 0%
Délais Action permanente
Responsable et acteurs concernés Commission énergie de l'agglomération, Conseils Communaux, dicastères de l'aménagement du territoire

7.2 Mesure 2 – Suivi de la planification énergétique de l'Agglomération

Désignation de la mesure : Suivi de la planification énergétique de l'Agglomération.
Situation à l'année de référence (2020) Le plan régional des énergies dresse un bilan des consommations de tous les bâtiments, basé sur les sources disponibles. Il sert d'indicateurs à l'agglomération pour évaluer l'atteinte des objectifs fixés par la confédération. Il sert également de base à la CEAgglo pour coordonner les discussions entre les communes et mesurer les effets des dispositions prises.
Objectifs : Suivi de la mise en œuvre des actions proposées et de l'atteinte des objectifs fixés. Servir de base de discussion pour la CEAgglo Actions à entreprendre avec le concours des 10 communes de l'Agglomération <ul style="list-style-type: none">- Entretien et affiner les données sur les bâtiments années après années afin de suivre l'évolution de la situation énergétique de l'agglomération.- Mise à jour annuelle de la planification- Définition d'un tableau de bord des objectifs énergétiques et de la manière de le mettre à jour
Priorité de mise en œuvre 8/10
Taux de réalisation 50%
Délais et coûts Travail réalisé ponctuellement une fois par année dès l'année suivant la réalisation du plan des énergies Ordre de grandeur des coûts de mise en œuvre pour l'agglomération 5'000 à 20'000.- CHF par année (mandat externe)

7.3 Mesure 3 – Catalogue de modèle de mesures pour les communes membre

Désignation de la mesure : Catalogue de modèle de mesures pour les communes membre
Situation à l'année de référence (2020) Chaque commune dispose de sa propre politique en matière énergétique, souvent régie par un RCU. Il peut parfois être difficile de décider de l'introduction de mesure légales pour influencer cette politique. Souvent, l'incertitude par rapport aux effets positifs ou négatifs des mesures envisagées en est le frein. Certaines communes ont introduit des mesures légales pour influencer leur politique et ont le recul nécessaire pour en évaluer les effets. La rédaction du règlement ainsi que la procédure de mise en œuvre peut s'avérer fastidieuse. <u>Quelques exemples :</u> Introduction de l'obligation de raccordement.
Objectifs : Mise à disposition d'une « boîte à outil » pour aider les communes dans l'adaptation de leur politique énergétique. Dans un effort commun, les communes membres de l'agglomération constitue un catalogue de mesure, qu'elles sont libres de reprendre. Ce catalogue comprend des modèles de mesures comprenant, « un texte de base » pouvant être intégré au RCU, la procédure à suivre pour une introduction en bonne et due forme et, quand cela est possible, la mesure est accompagnée d'un retour d'expérience des communes ayant introduit cette mesure sur leur territoire. <u>Exemples :</u> <ul style="list-style-type: none">- Aide à la mise en œuvre de mesures pour satisfaire au principe d'exemplarité invitant les communes à mettre en œuvre une politique énergétique ambitieuse sur ses propres bâtiments et infrastructures (Art. 5 de la Loi sur l'énergie, Len, RSF 770.1)- Aide à la mise en œuvre de l'Art. 9 de la Loi sur l'énergie (Len, RSF 770.1) permettant aux communes d'introduire des obligations en matière énergétique sur tout ou partie de son territoire.- Aide à la mise en place d'une réglementation encourageant la rénovation et l'assainissement des bâtiments.- Aide à la mise en place d'une réglementation encourageant le recours aux panneaux solaires photovoltaïques.
Priorité de mise en œuvre 10/10
Taux de réalisation 0%
Délais Mesure pérenne

7.4 Mesure 4 – Soutien à la création de CAD renouvelables et neutre en CO2.

Désignation de la mesure : Soutien à la création de CAD renouvelables et neutre en CO2.
Situation à l'année de référence (2020) Le développement de réseaux de chauffage à distance (CAD) est une réalité dans la plupart des communes de l'agglomération. Il est un enjeu supra communal pour lequel les communes ont intérêt à travailler de concert. L'agglomération dispose d'un plan supra-communal des énergies pouvant faciliter la prise de décision
Objectifs : L'agglomération soutient la création de CAD sur le territoire en agissant en facilitateur dans la recherche d'un juste compromis entre les utilisateurs finaux, les autorités communales et les exploitants de CAD. Actions à entreprendre : L'agglomération conseille et épaulé chaque commune pour l'aider dans ses choix par rapport à l'introduction de réseaux de chauffage à distance. <ul style="list-style-type: none">- Répondre aux attentes des utilisateurs finaux en mettant en œuvre une politique de regard et de validation avec l'exploitant du CAD, portant sur les prix des raccordements, de la taxe de puissance, du prix de l'énergie et sur la composition renouvelable du mix du CAD- Evaluer les effets (positifs et négatifs) de l'usage de l'Art. 9 de la Loi sur l'énergie (Len, RSF 770.1) et vérifier la justification de son introduction du point de vue de l'utilisation rationnelle de l'énergie et de valorisation des énergies renouvelables (p. ex. bois local, récupération de chaleur, ...)- faire la promotion de l'exploitation des ressources locales de chaque commune (énergie-bois, récupération, ...) en garantissant son utilisation dans le cadre de l'exploitation du CAD.
Priorité de mise en œuvre 8/10
Taux de réalisation 30%
Délais et coûts Dès l'année suivant la réalisation du plan des énergies

7.5 Mesure 5 – Mesure mobilité

Désignation de la mesure :	
Mesure mobilité	
Situation à l'année de référence (2020)	
L'agglomération est le cœur de la politique de mobilité commune sur le territoire. L'agglomération intègre complètement le volet énergétique lié à la mobilité dans son plan et soutient une décarbonisation efficace.	
Objectifs :	
Economie de carburant et d'énergie primaire. Décarbonisation de la mobilité. Favoriser le report modal vers une mobilité à plus faible émission	
Actions à entreprendre :	
Actions touchant à l'infrastructure	
<ul style="list-style-type: none"> • Pour les voitures de tourisme <ul style="list-style-type: none"> o Développer une stratégie d'implantation de bornes de recharge électriques et à hydrogène dans les centralités de l'agglomération, des quartiers et aux interfaces multimodales o Encourager l'installation de bornes de recharge électriques pour les particuliers (dans les immeubles) et les entreprises ; o Faciliter la visibilité, l'utilisation et le taux d'occupation des lieux équipés de bornes de recharge électrique et à hydrogène. • Pour les transports publics <ul style="list-style-type: none"> o Poursuivre le développement de l'électrification et/ou la propulsion à hydrogène de toutes les lignes de bus urbains. o Augmentation du nombre de cartes journalières mises à la disposition des habitants à prix réduit (actuellement au nombre de 6) • Pour la mobilité douce <ul style="list-style-type: none"> o Créer une offre de stationnement de qualité pour les vélos et les trottinettes électriques o Développer et déployer des bornes de recharges pour les vélos électriques lents et rapides. o Poursuivre la mise en place d'un réseau de vélos (électriques) en libre-service 	
Actions ne touchant pas à l'infrastructure :	
<ul style="list-style-type: none"> • Pour les voitures de tourisme <ul style="list-style-type: none"> o Promouvoir les incitations à l'achat de véhicules à l'énergie 100% renouvelable ; o Fixer des objectifs ambitieux de réduction de CO2 des voitures neuves sur la base des objectifs de la Confédération. • Pour les transports publics <ul style="list-style-type: none"> o Encourager les transporteurs à opter pour l'achat de véhicules à faible bilan énergétique. o Fixer des objectifs aux transporteurs dans le domaine de la consommation énergétique. • Pour la mobilité douce <ul style="list-style-type: none"> o Promouvoir l'achat de cycles neufs. 	
Priorité de mise en œuvre	9/10
Taux de réalisation	50%
Délais et coûts	
Dès l'année suivant la réalisation du plan des énergies	

7.6 Contrôle des résultats

Le contrôle des résultats est important pour assurer le suivi de la mise en œuvre de la planification énergétique territoriale. Il permet de vérifier l'efficacité des différentes mesures et le degré de réalisation des objectifs. Il est bon de prévoir une actualisation des fichiers annuelle.

D'une manière générale, les énergies passant par un réseau de distribution (Electricité, gaz, CAD) sont monitorables facilement et précisément en demandant les données à son gestionnaire. Les autres modes d'utilisations de l'énergie ne le sont que sur une base volontaire de la part de celui qui achète le combustible, dans les autres cas elles reposent sur des hypothèses d'utilisation standard.

7.6.1 Consommation électrique

Pour le territoire de l'agglomération :

Le gestionnaire du réseau de distribution (GRD) est autorisé à livrer les valeurs mesurées à l'échelle de l'agglomération

Il convient de demander périodiquement ces valeurs au GRD et les comparer aux valeurs "consommation d'électricité" indiqué dans le Tableau 10 pour évaluer le suivi de la trajectoire.

7.6.2 Consommation thermique

Pour le territoire de l'agglomération :

GAZ : Le gestionnaire du réseau de distribution de gaz est autorisé à livrer un bilan des consommations mesurées à l'échelle de l'agglomération. Il convient de demander périodiquement ces valeurs et les comparer aux valeurs indiquées dans le Tableau 16 pour évaluer le suivi de la trajectoire.

CAD : Le gestionnaire du réseau de distribution CAD est autorisé à livrer un bilan des consommations mesurées à l'échelle de l'installation ainsi que son bilan de renouvelable. Il convient de demander périodiquement ces valeurs et les comparer aux valeurs indiquées dans le Tableau 16 pour évaluer le suivi de la trajectoire.

8 Annexes

8.1 Annexe 1 – Analyse détaillée de la consommation du territoire de l’agglomération

8.1.1 Energie Thermique

L’énergie thermique consommée sur le territoire de l’agglomération, subdivisée selon le mode de production est résumée dans le Tableau 13.

	Chauffage + ECS		Chauffage	ECS
	GWh	%	GWh	GWh
Mazout	376	43%	349	27
Gaz	275	32%	247	28
Bois	21	2%	20	1
CAD	68	0%	56	12
PAC	54	6%	51	3
Sol Th	3	0%	2	1
Elec	61	7%	47	14
Inconnu	9	1%	8	1
Total	868	92.1%	780	88

Tableau 13: Répartition de l’énergie finale par Mode de production de chaleur et par type (Chauffage ou ECS) pour l’ensemble des bâtiments du territoire de l’agglomération.

La répartition géographique des besoins totaux ainsi que de leur couverture par les différents agents sur le territoire de l’agglomération est consultable sur les cartes des pages suivantes (Figure 26 à Figure 33). Il s’agit là de la couverture globale indépendamment de la nature de la chaudière principale installée dans les bâtiments.

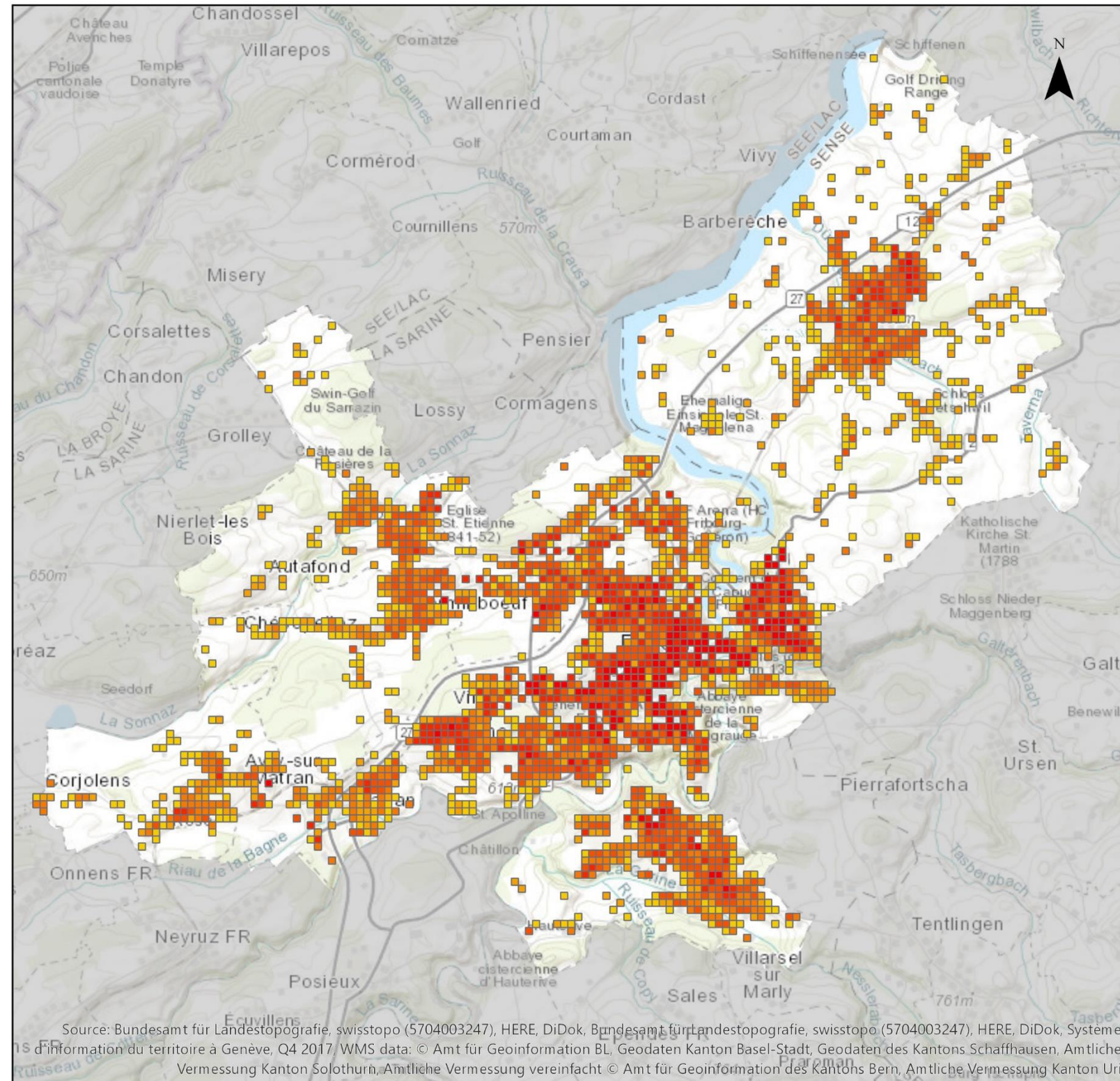
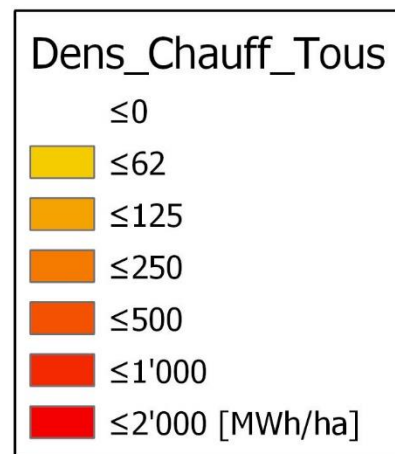


Figure 26: Densité des besoins totaux de chaleur par surface d'un hectare exprimée en MWh annuels.

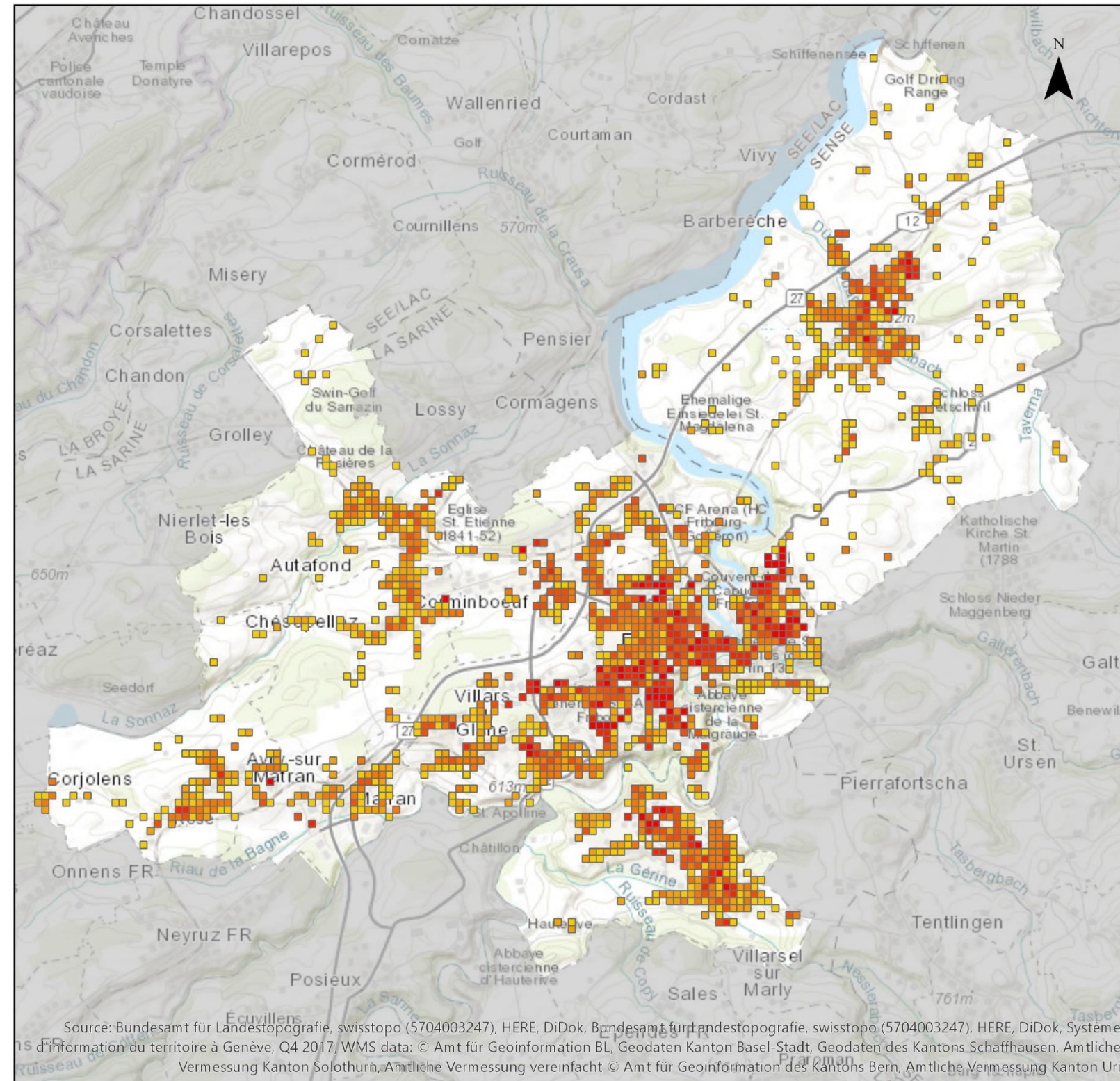
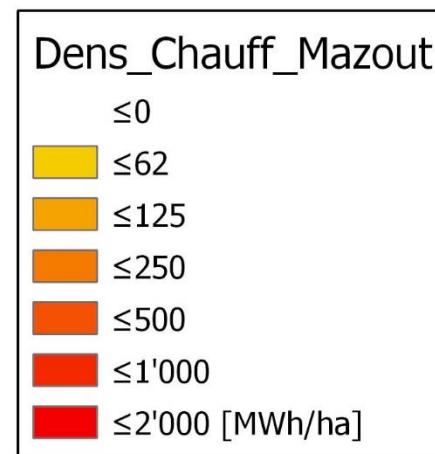


Figure 27 Densité des besoins de chaleur couverts par une production au mazout par surface d'un hectare exprimée en MWh annuels. Les chaudières au mazout sont réparties sur l'ensemble du territoire de l'agglomération.

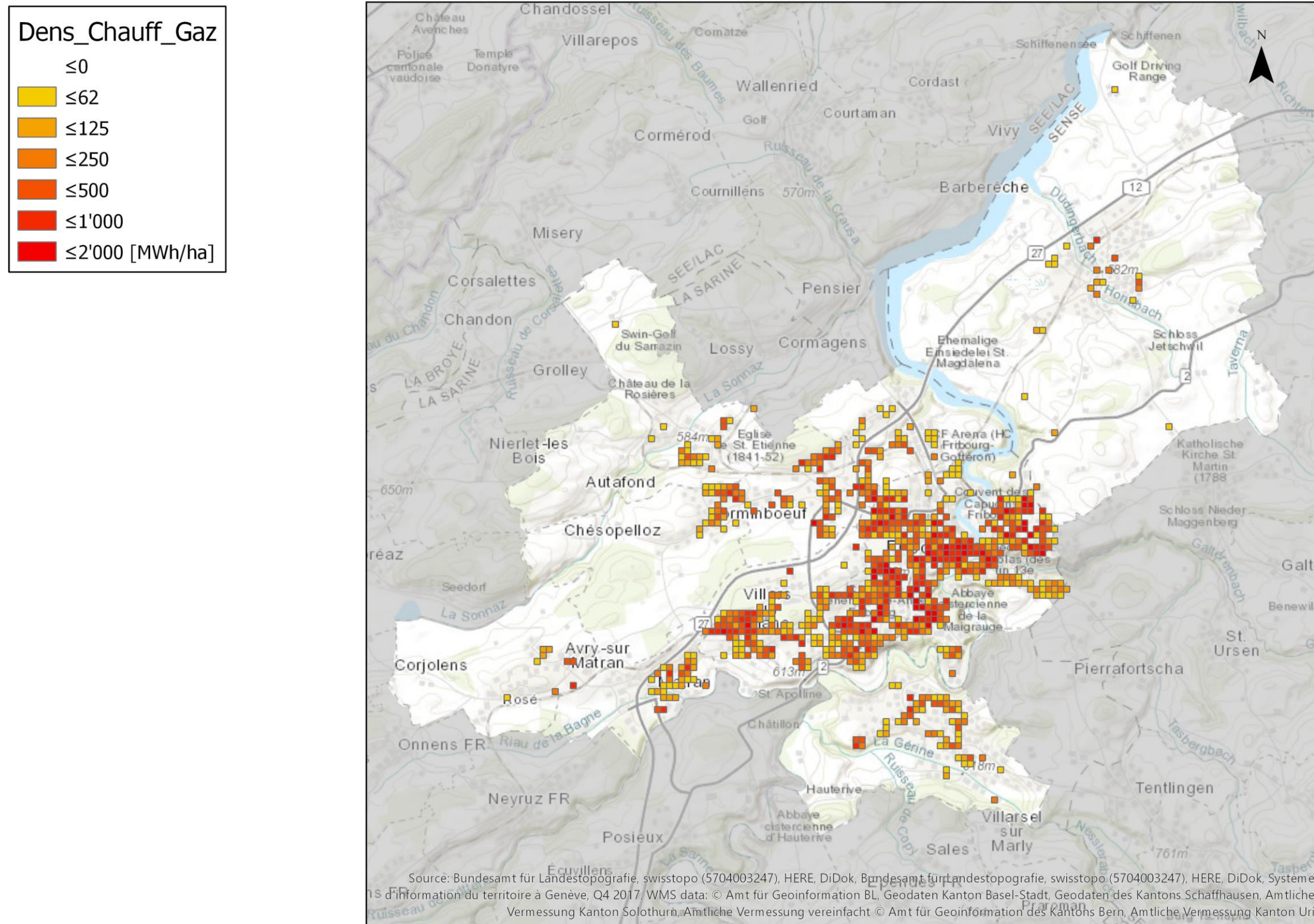


Figure 28: Densité des besoins de chaleur couverts par une production au gaz par surface d'un hectare exprimée en MWh annuels.

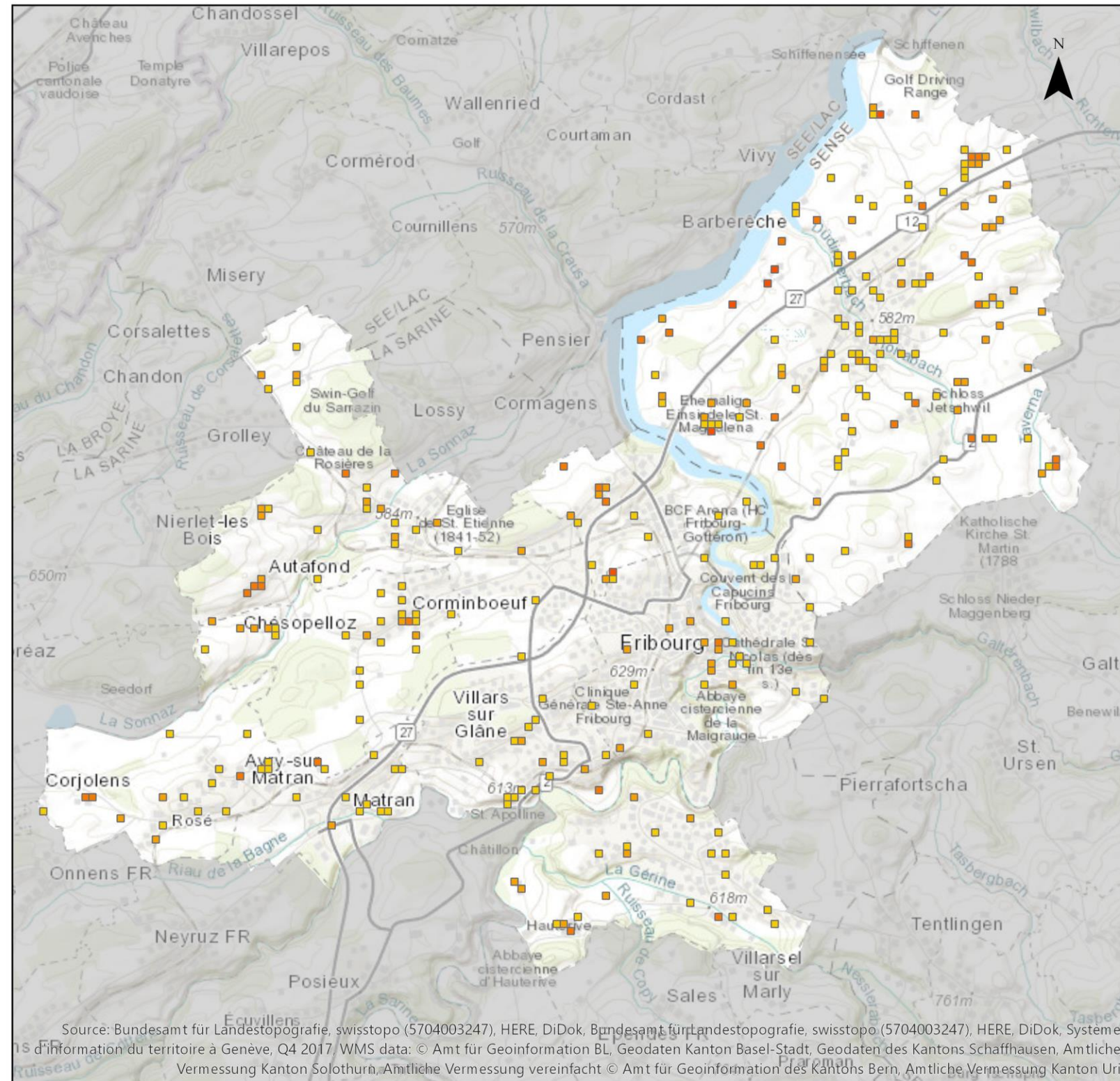
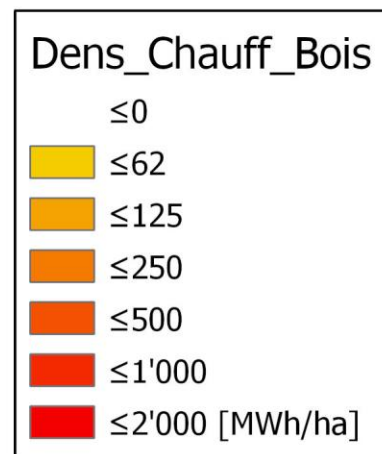


Figure 29: Densité des besoins de chaleur couverts par une production au bois (excepté production pour CAD) par surface d'un hectare exprimée en MWh annuels.

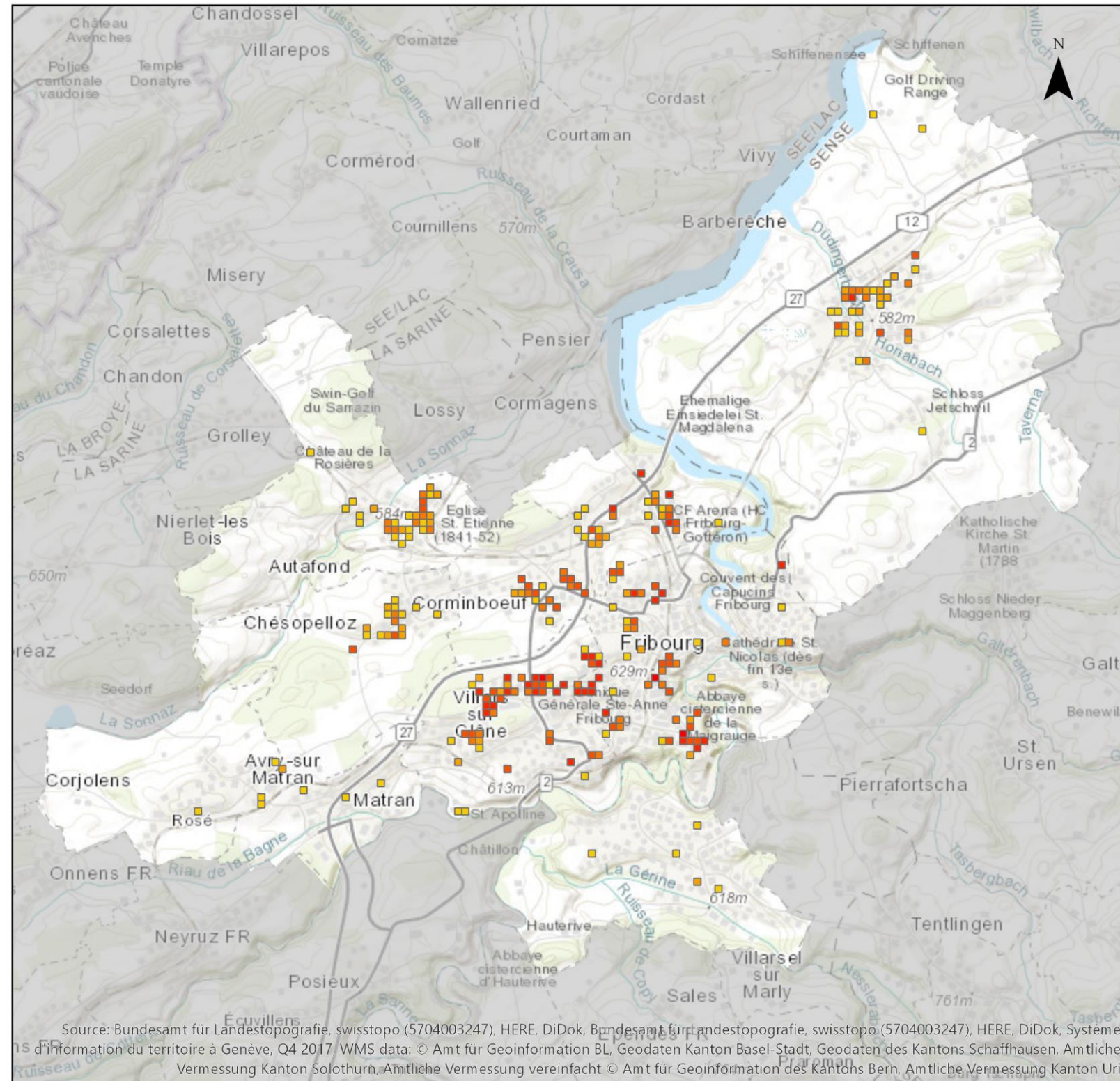
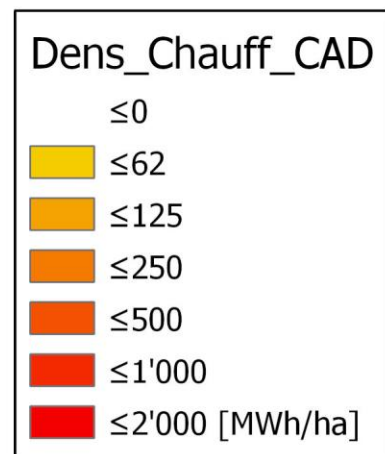


Figure 30: Densité des besoins de chaleur couverts par les différents CAD par surface d'un hectare exprimée en MWh annuels.

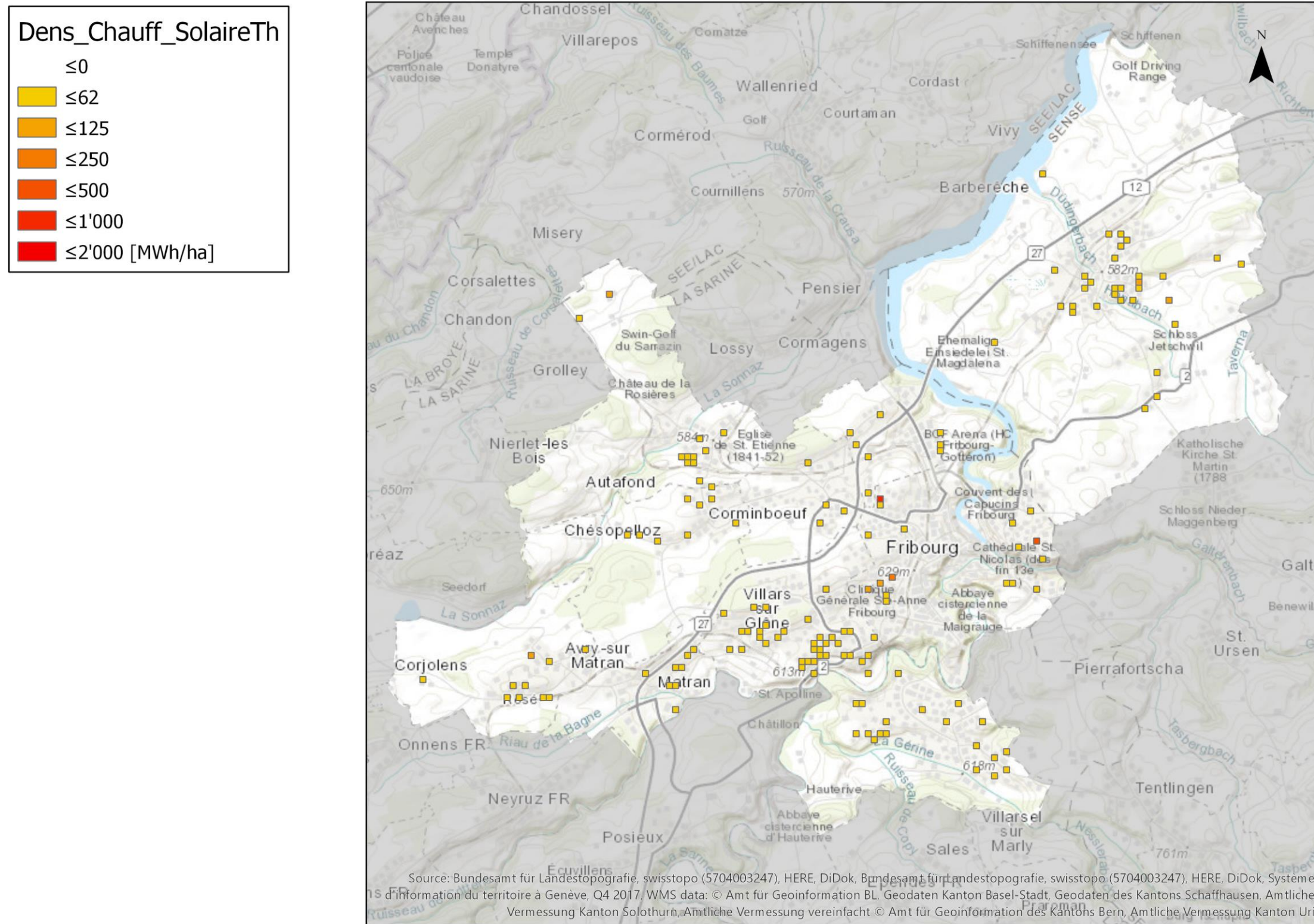


Figure 31: Densité des besoins de chaleur couverts par les capteurs solaires thermiques par surface d'un hectare exprimée en MWh annuels.

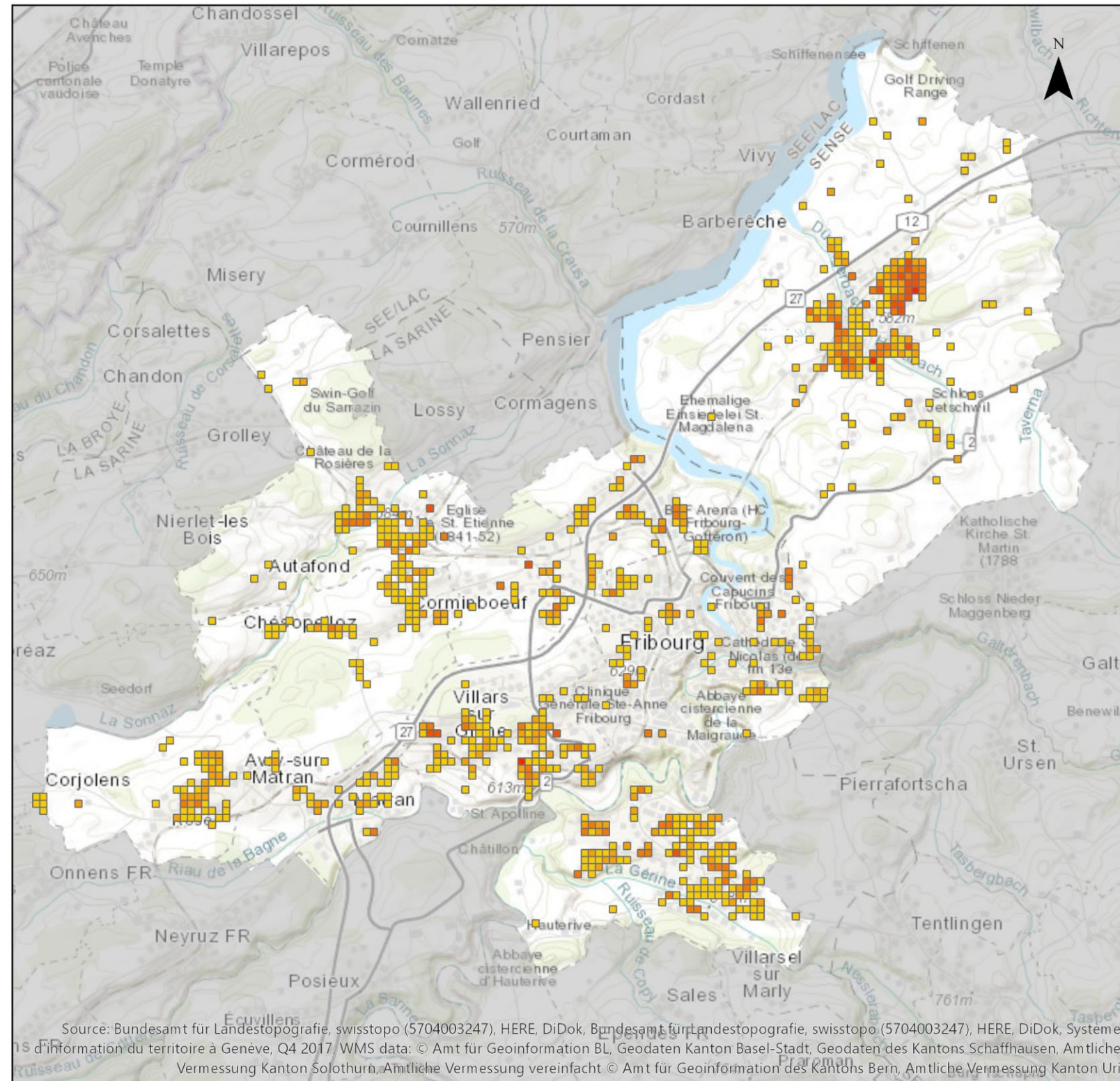
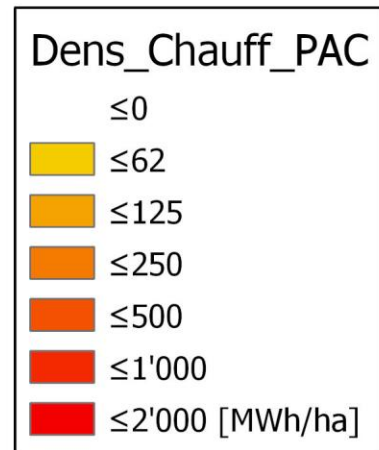


Figure 32: Densité des besoins de chaleur couverts par une production par PAC par surface d'un hectare exprimée en MWh annuels.

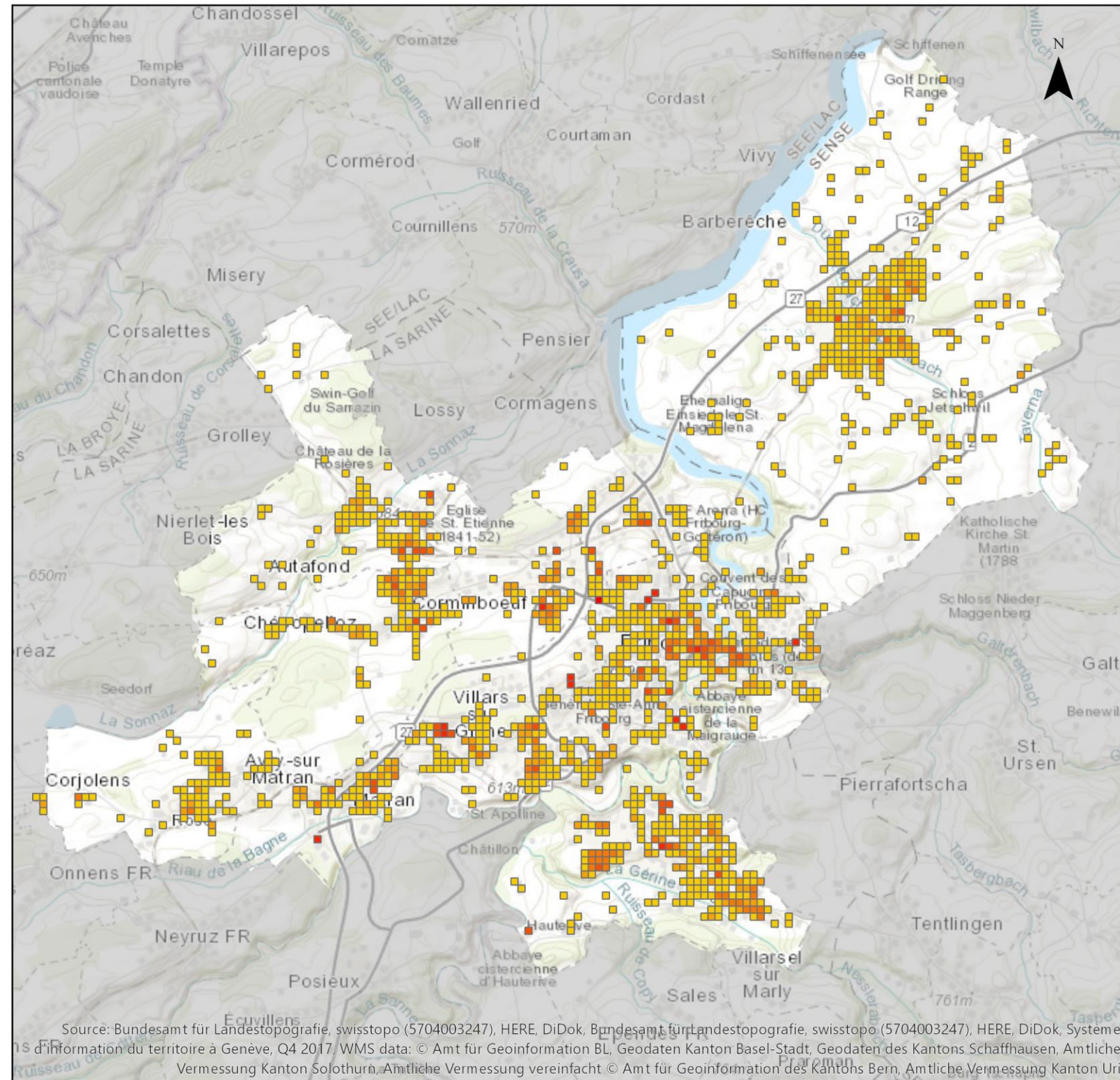
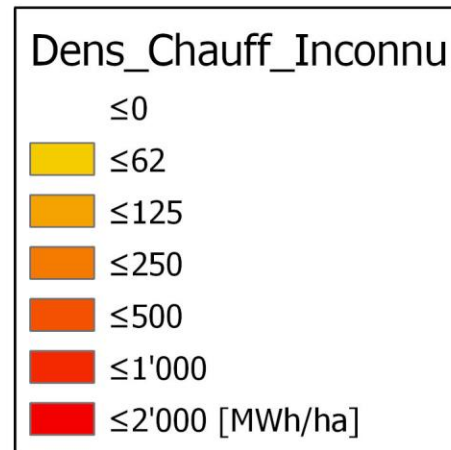


Figure 33: Densité des besoins de chaleur couverts par une production d'origine inconnue par surface d'un hectare exprimée en MWh annuels.

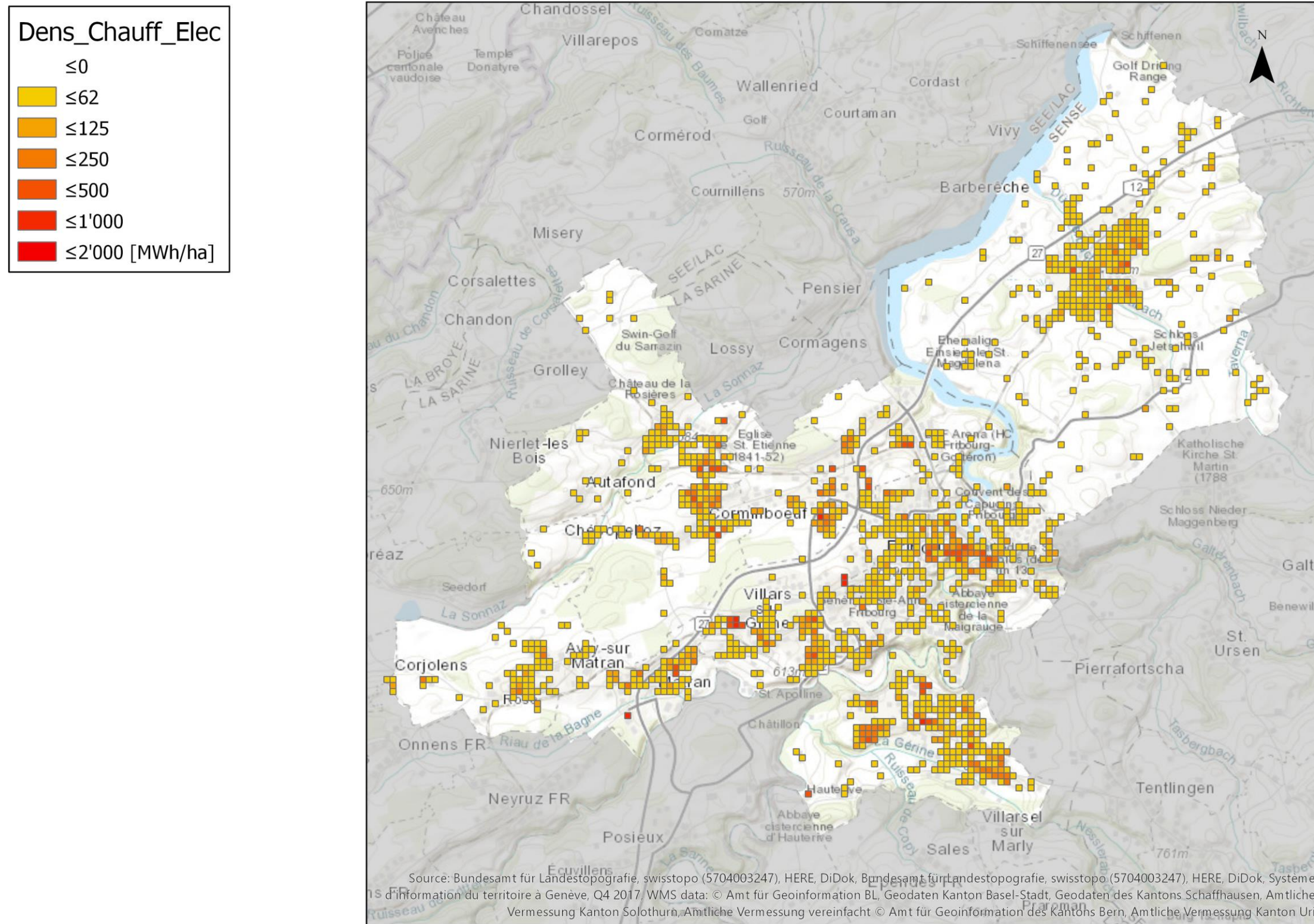


Figure 34: Densité des besoins de chaleur couverts par une production électrique par surface d'un hectare exprimée en MWh annuels.

8.1.2 Energie Electrique

Consommation électrique de l'agglomération répartie selon son origine

Répartition Electrique		Tous les bâtiments
		GWh
Photovoltaïque (Local)		14.6
Hydraulique (locale)		110.0
CCF (local)		4.1
Part du réseau		381.2
Détail (marquage)		
Renouvelable (68.2%)	<i>Hydraulique</i>	52.8% 201.1
	<i>Solaire</i>	2.8% 10.7
	<i>Eolien</i>	0.15% 0.6
	<i>Biomasse</i>	2.8% 10.7
	<i>Géothermie</i>	0.0% 0.0
	<i>Déchets</i>	9.7% 36.8
Fossile (31.8%)	<i>Pétrole</i>	0.0% 0.0
	<i>Gaz</i>	1.5% 5.9
	<i>Charbon</i>	0.0% 0.0
	<i>Nucléaire</i>	30.3% 115.4
	<i>AE non vérifiable</i>	0.0% 0.0
Conso totale		509.9

Tableau 14: Consommation de l'ensemble du territoire de l'agglomération selon son origine

Comparaison avec les données du GRD

Afin d'évaluer la précision de la simulation effectuée pour cette étude la répartition de consommation électrique simulée est comparée aux données provenant du GRD. La loi de protection des données interdisant la communication de données individuelles, la comparaison se fait sur les besoins de toute l'agglomération.

La simulation est jugée très fiable (0.2% d'erreur relative) sur le total de l'électricité consommée.

La simulation obtient une valeur également très fiable pour la consommation des ménages (10.9 % d'erreur relative), de l'industrie (2.1% d'erreur relative), des services (9.2% d'erreur relative) et dans le secteur des transports et des infrastructures (12.4% d'erreur relative).

La simulation est moins fiable dans le domaine de l'agriculture (25.8% d'erreur relative).

Une correction de comptage a été communiquée de la part du GRD. En effet, le système mis en place actuellement pour la statistique place certains « services généraux » dans cette catégorie, bien qu'ils ne soient pas liés aux ménages. Des efforts ont déjà été entrepris pour corriger cette lacune, pris en compte dans la « correction communiquée par le GRD ». Cette note est à considérer pour un éventuel suivi de la planification.

Ces chiffres sont disponibles au Tableau 15.

Saisie de données sur la consommation et production d'électricité dans le cadre du processus Cité de l'Energie et de la planification						
Total						
Consommation finale d'énergie électrique sur le territoire						
		dont:				
	Total	Ménages	Agriculture et horticulture	Industrie, arts et métiers	Services	Transports
Consommation d'électricité totale sur le territoire	510'778'528	192'562'545	4'652'968	93'243'557	203'029'486	17'289'972
Correction communiquée par le GRD		-1'300'000			1'300'000	
Total	510'778'528	191'262'545	4'652'968	93'243'557	204'329'486	17'289'972
Simulation	509'885'891	212'080'901	5'855'136	91'292'136	185'510'862	15'146'855
Différence	-892'637	20'818'357	1'202'168	-1'951'421	-18'818'624	-2'143'117
Erreur Relative	-0.2%	10.9%	25.8%	-2.1%	-9.2%	-12.4%

Tableau 15: Données du GRD (écriture noire) comparées aux résultats de la simulation (en rouge).

8.2 Annexe 2 – Analyse détaillée du scénario futur

Détails chiffrés du scénario futur pour tous les bâtiments

	Nbre BAT	Nbre BAT	Nbre BAT	Nbre BAT		EF (GWh)	EF (GWh)	EF (GWh)	EF (GWh)	% EF	% EF	% EF	% EF
	2017	2025	2035	2050		2017	2025	2035	2050	2017	2025	2035	2050
Mazout	4'211	2'892	1'475	1'229		376.2	241.5	104.9	78.2	43.4%	28.8%	12.9%	9.3%
Gaz	2'822	2'186	1'514	1'473		275.0	194.9	110.9	95.1	31.7%	23.3%	13.6%	11.3%
Bois	311	570	851	909		21.0	43.1	65.2	67.4	2.4%	5.1%	8.0%	8.0%
CAD	471	1'383	2'449	3'219		68.4	126.9	189.2	217.2	7.9%	15.1%	23.3%	25.7%
PAC	1'876	4'089	6'640	8'269		54.2	189.7	331.2	376.9	6.2%	22.6%	40.7%	44.7%
SolTh	0	0	0	0		3.3	3.9	4.8	6.1	0.4%	0.5%	0.6%	0.7%
Elec	1'196	679	120	58		61.0	32.8	5.3	2.3	7.0%	3.9%	0.7%	0.3%
Inconnu	55	34	11	6		8.8	5.2	1.6	0.8	1.0%	0.6%	0.2%	0.1%
Nbre Bat - Existant	10'942	10'942	10'942	10'942	Total	868	838	813	844	100%	100%	100%	100%
Nbre Nouveaux Bat	0	0	2'118	4'220	% Renouv.	16%	37%	57%	0%				
Total	10'942	10'942	13'060	15'162	% Baisse	100%	97%	94%	97%	100%	100%	100%	100%
Conso EF_EI Bat						349.5	369.4	397.4	447.1				
Conso EF_EI Bat						349.5	369.4	397.4	447.1				
Conso EF_EI (Chauff + PAC)						75.6	83.8	94.5	103.7				
Conso EF_EI Mobilité						3.0	11.5	20.2	29.0				
Total						777.7	834.0	909.5	1'026.9				

Tableau 16: Détails du scénario futur pour tous les bâtiments

Evolution de la demande en énergie finale électrique pour tous les bâtiments

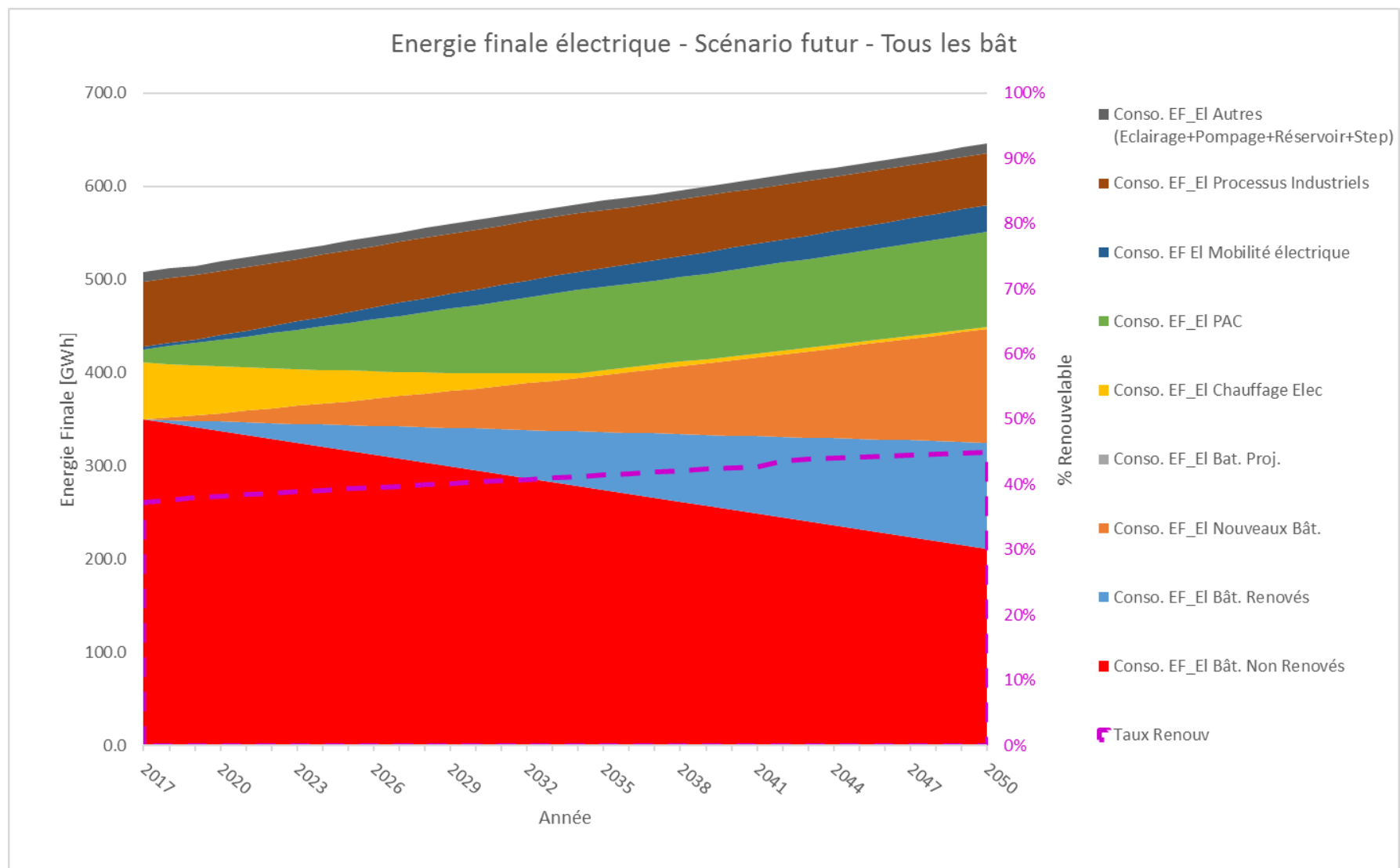


Figure 35 : Evolution de la demande en énergie finale électrique pour tous les bâtiments selon le scénario prévu (répétition de la Figure 22).

Evolution de la demande en énergie finale thermique pour tous les bâtiments

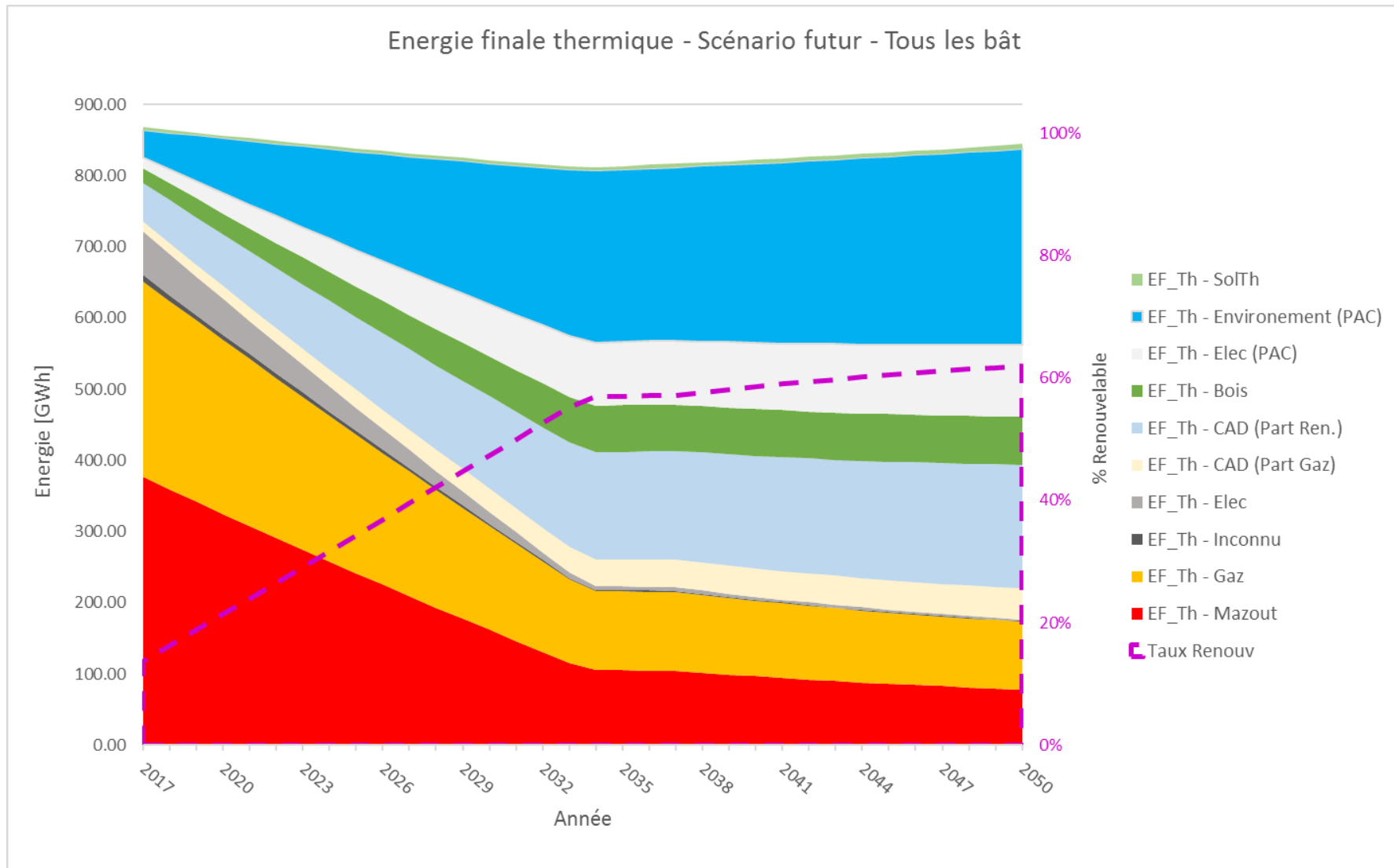


Figure 36 : Evolution de la demande en énergie finale thermique pour tous les bâtiments selon le scénario prévu (répétition de la Figure 23).

Evolution de la demande en énergie primaire pour tous les bâtiments

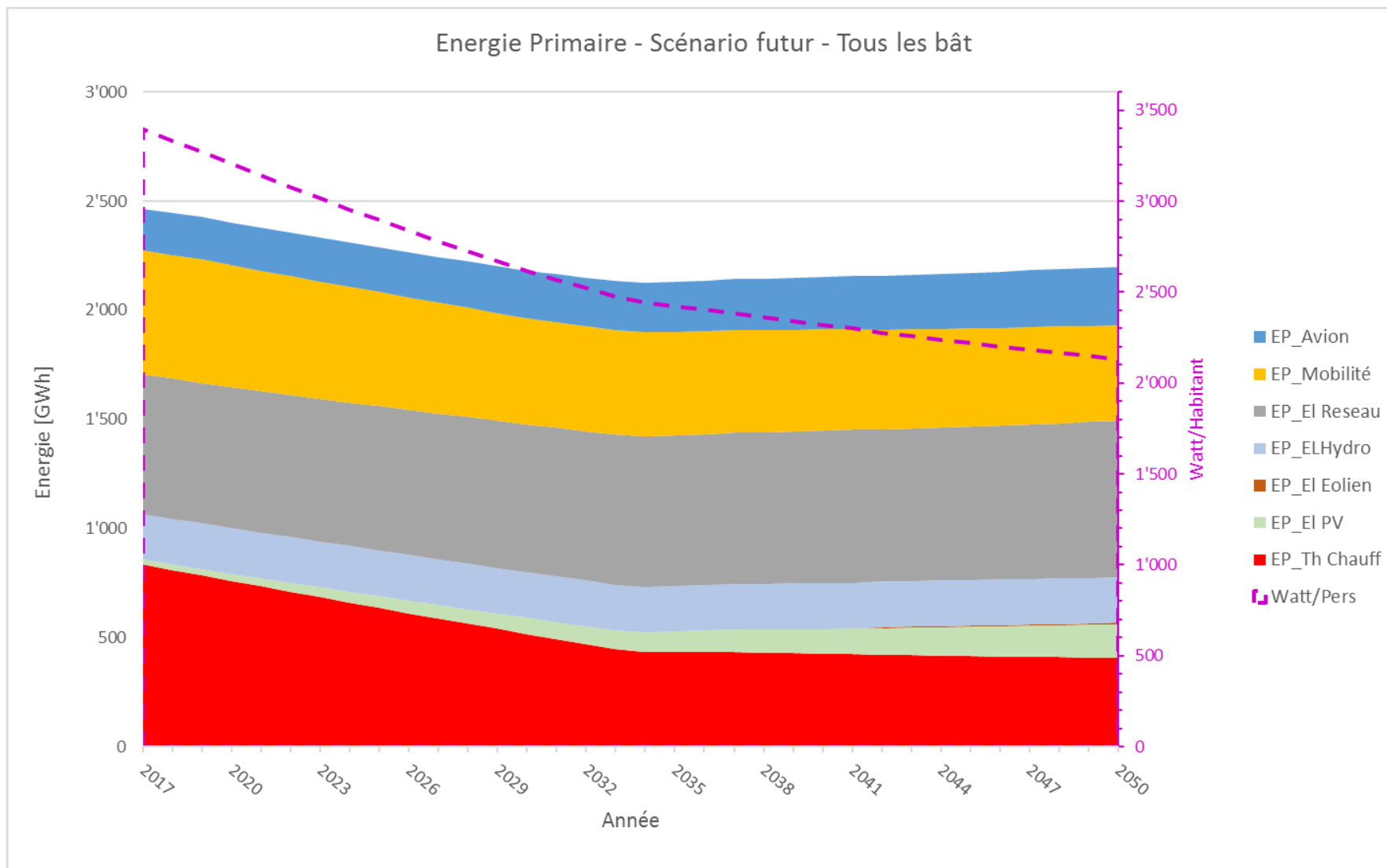


Figure 37 : Evolution de la demande en énergie primaire pour tous les bâtiments selon le scénario prévu.

8.3 Annexe 3 – Méthodologie de travail

La méthode utilisée est basée sur l'exploitation systématique des données récoltées et énumérées ci-après. Elles sont agrégées et analysées pour chaque bâtiment.

D'après les données "Bâtiment" du RegBL, on extrait :

- La surface nette de plancher de tout le bâtiment
- L'âge du bâtiment

D'après les données "Appartement" du RegBL, on attribue à chaque bâtiment :

- la surface affectée à l'habitation
- la consommation énergétique des logements selon les catégories de bâtiment harmonisées I ou II de la norme SIA2024 (Habitat Collectif & habitat individuel)

D'après les données du REE, on attribue à chaque bâtiment :

- la surface du bâtiment affectée à une des catégories "agriculture", "industrie", "service" ou "transport" selon un critère de répartition basé sur le code NOGA
- la consommation énergétique de cette surface selon les catégories de bâtiment harmonisée III à XII de la norme SIA2024, ou de nouvelles catégories (voir Hypothèse 1).

Hypothèse 1 : Selon notre expérience et les catégories harmonisées de la SIA2024 ont été étendues en créant 5 catégories nouvelles (Annexes, Hôtel, Industrie Lourde, Agri/Horticulture et Garage)

Remarques :

- Les consommations énergétiques font référence aux besoins en énergie électrique (Appareils, Eclairage et Ventilation), thermique (chauffage et ECS) et en froid (Climatisation)
- Les domaines de valeur "standard" et "existant" décrit dans la SIA2024 sont sélectionnés conformément à cette même norme (bâtiments des années 1980 = « standard » ; bâtiments plus vieux = "existant")

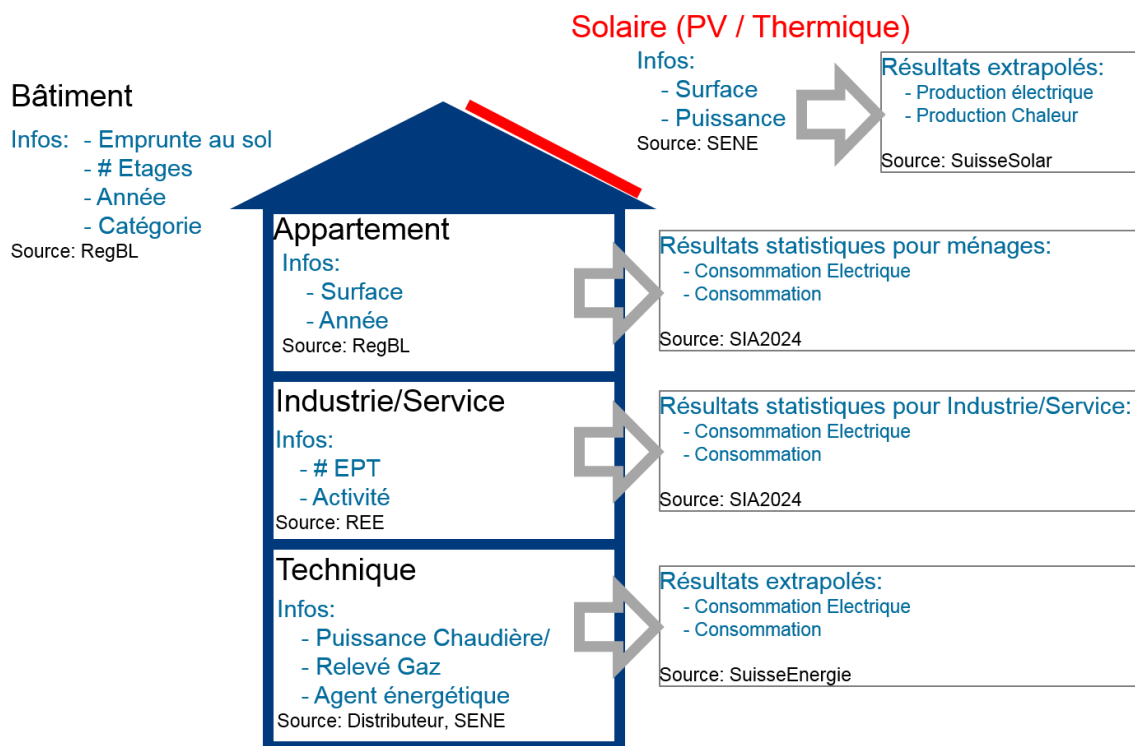


Figure 38: La méthode utilisée vise à affecter à chaque bâtiment une consommation en fonction de son occupation et des activités qui s'y pratiquent. En associant à chacun les chaudières répertoriées la source de chaleur de chaque bâtiment peut être déduite. On quantifie également la production locale d'énergie grâce au registre des panneaux solaires.

Les estimations de consommation ainsi récoltées sont ensuite exploitées de manière géolocalisée sur des cartes ou agrégées pour en tirer un bilan à l'échelle de tous les bâtiments ou de ceux de l'agglomération.

La conversion en énergie primaire est réalisée avec les facteurs suivants

Energie Thermique	
Mazout	1.239
Gaz Naturel	1.064
Bois	1.149
CAD (selon mix actuel)	2.367
Energie électrique	
Mix électrique du réseau selon le mix énergétique (voir Tableau 14)	2.016
Solaire thermique	1.605
Prod. solaire photovoltaïque	1.399
Prod. éolienne	1.161
Prod. Hydraulique	1.199

Tableau 17 : Facteur de conversion en énergie primaire (source Données des écobilans dans la construction 2009/1 :2016, 2016, KBOB).

9 GLOSSAIRE

CAD	Chauffage à distance. Réseau de distribution de chaleur approvisionné par une ou plusieurs centrales thermiques auquel l'utilisateur se raccorde pour bénéficier d'une part de l'énergie produite.
CCF	Couplage Chaleur-Force, génère simultanément de l'électricité et de la chaleur
COP	Coefficient de performance. Rapport entre l'énergie (électrique) nécessaire pour faire fonctionner une pompe à chaleur et la chaleur reçue.
EP	Energie primaire. L'énergie primaire est la somme entre l'énergie finale, et l'énergie requise pour mettre à disposition cette énergie finale (extraction, transformation, transport, livraison etc...).
ECS	Eau chaude sanitaire. Part de l'eau à usage domestique réchauffée et distribuée dans un bâtiment.
EF	Energie finale livrée et facturée au consommateur. Part de l'énergie primaire disponible pour le consommateur, somme de l'énergie utile et des pertes.
EF_Th	Energie finale thermique.
EF_EI	Energie finale électrique.
EU	Energie utile, part de l'énergie finale réellement exploitée par l'utilisateur pour son besoin
EU_Th	Energie utile thermique.
EU_EI	Energie utile électrique.
Energie renouvelable	Ce terme regroupe aussi bien l'énergie hydraulique traditionnelle que les nouvelles énergies renouvelables telles que l'éolien, l'énergie solaire, la géothermie ou encore la biomasse. Ces sources d'énergie sont toutes des ressources durables, dont le renouvellement à court terme se fait par elles-mêmes ou dont l'utilisation ne conduit pas à l'épuisement de cette même ressource.
GRD	Gestionnaire de réseau de distribution. Entreprise qui a la charge de la gestion du réseau électrique et/ou gazier au sein d'un périmètre géographique défini.
GWh	Gigawattheure.
MoPEC	Modèle de prescriptions énergétiques des cantons édicté par l'ensemble des services de l'énergie afin d'harmoniser les législations cantonales en matière d'utilisation de l'énergie dans le bâtiment (isolation, valeurs limites, ...). Tous les cantons prévoient, à plus ou moins long terme, d'implémenter les articles du MOPEC dans leur législation.
MWh	Mégawattheure.

PAC	Pompe à chaleur. Machine, généralement électrique, permettant de transférer, de la chaleur d'un environnement vers un autre.
PV	Photovoltaïque. Relatif à la production d'énergie électrique à partir de l'énergie de rayonnement du soleil.
REE	Registre des entreprises et établissements. Comprend toutes les entreprises et tous les établissements de droit privé et public établis et générant une activité économique sur le territoire suisse
RegBL	Le Registre fédéral des bâtiments et logements. Relevé de tous les bâtiments avec usage d'habitation et de logement et de la majorité des autres. Contient des indications de base des bâtiments (surface, années de construction, adresse, ...)
SBP	Surface brute de plancher. Somme de toutes les surfaces d'un bâtiment utilisable pour l'habitation ou le travail.
SIA	Société suisse des ingénieurs et architectes. Constitué d'un réseau interdisciplinaire unique qui publie une collection reconnue de normes, de règlements, de directives et de recommandations concernant la construction.
SRE	Surface de référence énergétique. Somme de toutes les surfaces de planchers des étages et des sous-sols qui sont inclus dans l'enveloppe thermique et dont l'utilisation nécessite un conditionnement
SGV	Sonde géothermique verticale. Tube inséré dans un forage souterrain permettant l'écoulement d'un liquide nécessaire à transférer de l'énergie thermique du sous-sol vers la surface ou inversement.
TP	Transports publics