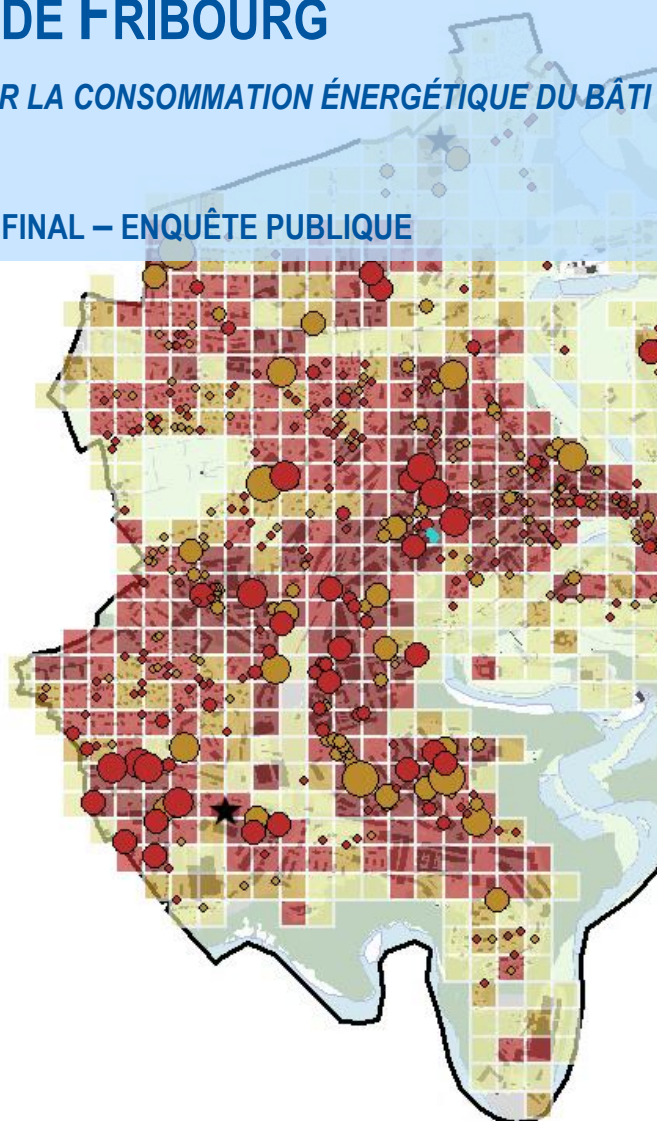


PLANIFICATION ÉNERGÉTIQUE TERRITORIALE VILLE DE FRIBOURG

ETUDE SUR LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE DU BÂTI

RAPPORT FINAL – ENQUÊTE PUBLIQUE



AOUT 2018

Impressum

Donneur d'ordre

Commune de Fribourg

M. Dominique Riedo, Chef du secteur Energie et Développement durable

Rue Joseph-Piller 7

1700 Fribourg

Tél. : +41 26 351 75 56

Dominique.riedo@ville-fr.ch

Mandataires

Greenwatt SA

M. Jean-Daniel Cramatte

Route de Chantemerle 1

1763 Granges-Paccots

Tél. : +41 840 20 30 40

Jean-daniel.cramatte@greenwatt.ch

Navitas Consilium SA

M. Gabriel Ruiz

Rue Marconi 19

1920 Martigny

Tél. : +41 27 722 19 62

gabriel.ruiz@ncsa.ch

Version

Version 3

Auteurs

Mathias Pernet, Sébastien Rappaz

Rellecteurs

Jean-Daniel Cramatte, Soizic Dubois (Greenwatt)

Dominique Riedo (Ville de Fribourg)

Gabriel Ruiz (NCSA)

Validation et suivi des mises à jour					
Version	Date	Identifiant et Visa			Descriptif succinct des mises à jour
		Auteur	Relecteur	Visa	
0	03.04.2018	MP	Jean-Daniel Cramatte (Greenwatt)		-
1	06.06.2018	MP	Soizic Dubois (Greenwatt)		Intégration des remarques de Greenwatt
2	28.06.2018	MP	Soizic Dubois (Greenwatt)		Intégration des remarques de Greenwatt selon note NCSA du 28.06.2018
3	30.07.2018	MP/SR	Soizic Dubois (Greenwatt) Riedo Dominique (Ville de Fribourg) Gabriel Ruiz (NCSA)		Intégration des remarques de Greenwatt et Ville de Fribourg selon note NCSA du 30.07.2018

TABLE DES MATIERES

Table des matières	3
Table des illustrations	6
Nomenclature et définitions	8
Préambule	10
1 Confidentialité	10
2 Introduction	11
3 Contexte	12
3.1 Contexte national	12
3.1.1 Enjeux énergétiques	12
3.1.2 Stratégie fédérale 2050	13
3.2 Contexte cantonal	13
3.2.1 Stratégie énergétique cantonale	13
3.3 Contexte local et périmètre de l'étude	15
Partie A : Consommations énergétiques actuelles	17
1 Consommations de chaleur	19
1.1 Vecteurs énergétiques	20
1.2 Affectation des bâtiments	21
1.3 Époque de référence	22
1.4 Niveaux de température d'approvisionnement	23
1.5 Densité des besoins de chaleur	24
1.6 Installations existantes	25
1.7 Process industriels	26
2 Identification des preneurs potentiels de froid	26
3 Consommation d'électricité	28
Partie B : Ressources locales et potentiel d'efficacité énergétique.....	31
1 Énergie éolienne	33
1.1 Valorisation actuelle	33
1.2 Évaluation du potentiel	33
2 Énergie solaire	33
2.1 Valorisation actuelle	33
2.2 Évaluation du potentiel	33
3 Énergie hydroélectrique	34
3.1 Valorisation actuelle	34
3.2 Évaluation du potentiel	34
4 Énergie hydrothermique	35

4.1	Valorisation actuelle _____	35
4.2	Évaluation du potentiel _____	35
4.2.1	Eaux de surface	35
4.2.1.a	Cours d'eau	35
4.2.1.b	Lac.....	35
4.2.2	Nappes phréatiques	35
5	Géothermie.....	36
5.1	Valorisation actuelle _____	37
5.2	Évaluation du potentiel _____	37
5.2.1	Géothermie faible profondeur.....	37
5.2.2	Aquifères profonds	37
5.2.3	Géothermie profonde	37
6	Air ambiant.....	37
6.1	Valorisation actuelle _____	38
6.2	Évaluation du potentiel _____	38
7	Biomasse	38
7.1	Valorisation actuelle _____	38
7.2	Évaluation du potentiel _____	38
7.2.1	Bois énergie	38
7.2.2	Déchets ménagers	39
7.2.3	Déchets organiques	39
7.2.4	Boues d'épuration	40
8	Rejets thermiques	40
8.1	Valorisation actuelle _____	40
8.2	Évaluation du potentiel _____	40
8.2.1	Chaleur des eaux usées.....	40
8.2.1.a	Récupération de chaleur dans les collecteurs	41
8.2.1.b	Récupération de chaleur après traitement des eaux usées.....	41
8.2.2	Rejets thermiques industriels	41
9	Energies de réseaux.....	41
9.1	Réseau de gaz _____	41
9.2	Réseaux de chauffage à distance _____	42
10	Promotion de l'efficacité énergétique	42
	potentiels énergétiques de la région et Diagramme de Sankey	45
	Partie C : Scénarios.....	49
1	Besoins énergétiques futurs	50
1.1	Développement futur du territoire et explication des calculs _____	52
1.2	Besoins futurs _____	54

2	Concepts d’approvisionnement énergétiques	55
2.1	Planification énergétique et concepts d’approvisionnement	55
2.2	Secteurs d’étude technico-économique	56
2.2.1	Concepts énergétiques du scénario d’approvisionnement retenu	57
2.3	Mise en œuvre du scénario énergétique	60
3	Synthèse et bilan du scénario d’approvisionnement	61
4	Conclusion	67
	Bibliographie	68
	Annexes	69

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1: Répartition de la consommation d'énergie suisse en 2016 par secteur d'utilisation (OFEN, 2017)	12
Figure 2: Consommation finale d'électricité en 2016 par secteur (OFEN, 2017)	12
Figure 3: Répartition de la consommation de chaleur en 2016 par secteur (OFEN, 2017)	12
Figure 4 : Evolution démographique de Fribourg depuis 2000	16
Figure 5 : Nature de l'énergie consommée, pourcentage de l'énergie finale.	17
Figure 6 : Répartition des postes de consommations de l'énergie finale.	17
Figure 7 : Impact de chacun des postes de consommation sur les indicateurs d'énergie primaire, énergie primaire non renouvelable et d'émission de gaz à effet de serre (GES).	17
Figure 8 : Nature de la chaleur consommée, pourcentage de l'énergie finale	19
Figure 9 : Répartition des postes de consommations de chaleur	19
Figure 10 : Impact de chacun des postes de consommation sur les indicateurs d'énergie primaire, énergie primaire non renouvelable et d'émission de gaz à effet de serre (GES).	19
Figure 11 Marquage 2016 des chauffages à distance.	20
Figure 12 : Répartition par vecteur énergétique pour la consommation totale de chaleur finale.	20
Figure 13 : Répartition de la consommation par vecteur énergétique pour (de haut en bas) le chauffage et l'ECS.	20
Figure 14 : Cartographie par bâtiment des vecteurs énergétiques principaux pour le chauffage.	20
Figure 15 : Cartographie de l'affectation principale des bâtiments selon la classification SIA.	21
Figure 16 : Répartition de la surface de référence énergétique (haut) et de la consommation de chaleur (bas) par affectation principale des bâtiments (classe SIA).	21
Figure 17 : Epoques de références pour les bâtiments.	22
Figure 18 : Répartition de la SRE et besoins spécifiques des logements en fonction des époques de construction des bâtiments.	22
Figure 19 : Cartographie des niveaux de températures estimés pour les systèmes de chauffage des bâtiments.	23
Figure 20: Répartition de la consommation de chaleur finale par niveau de température pour le chauffage.	24
Figure 21 : Carte des densités de besoins de chaleur hors process actuels par maille hectométrique	24
Figure 22 : Densité de puissance des chaudières à assainir entre 2017 et 2025 (mazout et gaz)	25
Figure 23 : Graphique de la puissance cumulée par agent énergétique et par période d'assainissement	26
Figure 24: Identification des preneurs de froid et classification de leurs besoins	27
Figure 25 : Répartition des services fournis par l'électricité consommée	28
Figure 26 : Consommation électriques pour la production de chaleur	28
Figure 27 : Marquage électrique de la commune (2015)	29
Figure 28 : Nature de l'électricité consommée en énergie primaire (2015)	29
Figure 29: Fonctionnement d'une PAC électrique (source : Suisseenergie)	32
Figure 31 : Découpage du territoire communal en zones urbaines	50
Figure 32 : Projets de développement urbain	51
Figure 33 : Méthode de simulation des besoins futurs	52

Figure 34 : parcelles constructibles actuellement vides _____	53
Figure 35 : Densités des besoins de chaleur futurs (2035). _____	54
Figure 36 : Découpage des concepts d’approvisionnement pour les scénarios de travail _____	55
Figure 37 : Secteurs d’étude technico économique _____	56
Figure 38 : Concepts énergétiques du scénario retenu _____	58
Figure 39 : Approvisionnement des besoins de chaleur (énergie utile) actuel et à l’horizon 2035, selon le scénario retenu. Le graphique de droite représente la part d’énergie primaire renouvelable des besoins de chaleur. _____	62
Figure 40 : Postes de consommation électrique et approvisionnement en énergie utile. Le graphique de droite représente la part d’électricité renouvelable en énergie primaire selon le mix 2015 ou 2017 pour les consommations actuelles _____	63
Figure 41 : Principes de fonctionnement d’une thermopompe/frigopompe à absorption (Borel, 1991). _____	73
Figure 42 : Schéma de principe d’un système PAC + stock de glace + solaire thermique _____	74

NOMENCLATURE ET DÉFINITIONS

AE : Agent énergétique

CAD : Chauffage à distance

CCF : Couplage chaleur-force, produisant électricité et chaleur

COP : Coefficient de performance

ECS : Eau chaude sanitaire

EH : Equivalent-habitant

EnDK : Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie

EU : Eaux usées

GES : Gaz à effet de serre

GGP : Géothermie grande profondeur

kW_c: kW crête, puissance de production électrique d'une installation solaire photovoltaïque dans des conditions standards (irradiation de 100W/m²)

MoPEC : Modèle de prescriptions énergétiques des cantons

OFEN : Office Fédéral de l'Energie

OFEV : Office Fédéral de l'Environnement

PAC : Pompe à chaleur

PDCom énergies : Plan Directeur Communal des Energies

RCU : Règlement Communal d'Urbanisme

PV : Photovoltaïque

RegBL : Registre des bâtiments et logements

REE : Registre des entreprises et établissements

SBP : Surface brute de plancher

SGV : Sondes géothermiques verticales

SIA : Société suisse des ingénieurs et architectes

SIG ou SIT : Système d'information géographique ou Système d'information territoriale

SRE : Surface de référence énergétique (surface de l'ensemble des pièces chauffées au sens de la SIA 416/1)

ST : Solaire thermique

UIOM : Usine d'incinération des ordures ménagères

Définitions :

- **Besoins (énergie utile) :** quantité d'énergie requise pour assurer une prestation, indépendamment du système de conversion qui va la fournir (besoin effectif de chaleur pour chauffer une habitation p.ex.). Equivaut à l'énergie dont dispose effectivement l'utilisateur une fois l'énergie finale transformée par ses propres appareils de conversion. $E_{\text{besoin}} < E_{\text{consommée}}$
- **Consommation (énergie finale) :** énergie facturée au consommateur (mazout, bois, gaz, électricité, ...) pour satisfaire la prestation énergétique requise (besoins). Les pertes de transformation (rendement de chaudière p.ex) et de distribution sont prises en compte. $E_{\text{besoin}} + E_{\text{pertes}} = E_{\text{consommée}}$
- **Énergie primaire :** L'énergie primaire comprend l'énergie consommée mais également l'énergie utilisée pour l'exploitation et l'approvisionnement de la ressource concernée.
- **Energie de process :** correspond à toute consommation énergétique non liée au conditionnement des locaux ou à la production d'eau chaude sanitaire. Il s'agit de toute consommation énergétique entrant directement dans la fabrication industrielle d'un produit.

Cas particulier des serres : bien que les consommations de chaleur d'une serre agricole soient essentiellement dédiées au maintien d'une certaine température minimale, cette énergie est considérée dans la présente étude comme une l'énergie de process en raison de ses particularités (appel de puissance, courbes de charge) et de son but qui est la production d'un bien de consommation.

- **Gaz à effet de serre :** Les gaz à effet de serre sont l'ensemble des gaz émis dans l'atmosphère contribuant dans des proportions plus ou moins grandes au réchauffement climatique. Le CO₂ étant le gaz à effet de serre émis en plus grande quantité et étant le plus connu de grand public, les émissions de gaz à effet de serre sont généralement exprimées en tonnes équivalentes de CO₂ (t_{eq,CO2}).
- **Production de froid :** La production de froid regroupe deux types de productions.
 - o Le froid pour le rafraîchissement : Il s'agit de la production de froid à des fins de climatisation des locaux. Ce type de froid a la caractéristique de n'être nécessaire que durant la période estivale. Notons qu'un bâtiment peut être rafraîchi de manière active (groupe de froid impliquant une consommation énergétique) ou de manière passive (ventilation naturelle et autres procédés n'impliquant qu'une consommation d'énergie minime pour alimenter les pompes de circulation ou ventilateurs).
 - o La production de froid pour les process : Elle regroupe toutes les productions de froid non liées au conditionnement des locaux. Il peut s'agir non seulement de process industriels, mais également d'autre nature, comme la production de glace dans les patinoires ou la production de froid dans les locaux frigorifiques des centres commerciaux.
- **Taux de pénétration d'un vecteur énergétique :** Le taux de pénétration traduit le pourcentage des besoins énergétiques satisfaits grâce au vecteur étudié. C'est l'équivalent d'un taux de raccordement pour un CAD.

PRÉAMBULE

1 CONFIDENTIALITÉ

Les bases de données utilisées pour réaliser cette étude sont en grande partie confidentielles et soumises à la protection des données. Les données issues de cette étude ne peuvent être rendues accessibles qu'à condition qu'aucun élément ne permettant d'identifier (de manière directe ou indirecte) des personnes ne soit présent.

A titre indicatif, les résultats concernés sont les suivants :

- Les agents énergétiques ;
- Les affectations ;
- Les époques de références ;
- Les niveaux de température ;
- Les puissances et délais d'assainissement des chaudières ;
- Les consommations annuelles de chaleur et d'électricité ;
- Les densités des besoins de chaleur actuels et futurs ;
- Les priorités des rénovations.

La version du rapport présentée ici a été modifiée afin d'être en conformité avec les conditions d'utilisation de ces données.

Certaines données, paragraphes et annexes ont été supprimés et des cartes ont été floutées. Les cartes mentionnées dans le rapport et dans les annexes ne sont pas publiées.

2 INTRODUCTION

Le contexte énergétique global actuel est marqué par d'importants défis : réchauffement climatique, disponibilité des ressources naturelles, évolution des sociétés (démographie, urbanisation, modes de vies) qui implique des changements drastiques des modes d'approvisionnement et de consommation énergétiques. Pour relever ces défis des actions sont nécessaires à tous les niveaux de gouvernance et si les opportunités ne manquent pas, les chemins qui mènent à leur réalisation ne sont pas évidents à tracer pour les collectivités publiques. C'est là précisément le rôle de la planification énergétique territoriale.

La Ville de Fribourg (ci-après désignées « la Commune ») a décidé de se doter d'une planification énergétique territoriale et a mandaté Greenwatt SA pour piloter cette étude. Dans ce contexte et d'entente avec la Commune, Navitas Consilium SA a été mandaté par Greenwatt SA afin d'identifier les besoins et les ressources caractérisant son territoire et de constituer des scénarios traduisant différentes stratégies de développement énergétique. Dans cette optique, **cette étude propose** :

- Un premier bilan du territoire en termes de besoins en énergie, d'approvisionnement ainsi qu'en termes de ressources énergétiques et infrastructures disponibles ;
- Une évaluation géoréférencée des besoins de chaleur actuels et à l'horizon 2035 de l'ensemble des bâtiments du territoire communal ;
- Une évaluation des ressources énergétiques et des installations à disposition à une échelle locale ;
- Deux scénarios qualitatifs : un scénario tendanciel et un scénario volontariste quant au développement durable et réaliste de l'approvisionnement et de l'utilisation de l'énergie sur son territoire d'ici à 2035.
- Une quantification de l'approvisionnement futur sur la base du scénario retenu.

Cette étude détermine les zones du territoire propices pour :

- La valorisation des ressources locales et renouvelables disponibles : solaire, géothermie, eaux usées, bois, entres autres ;
- Promouvoir l'efficacité énergétique ;
- La réduction de la dépendance vis-à-vis des énergies fossiles et nucléaire ;
- L'utilisation des infrastructures existantes et le développement d'infrastructures énergétiques pour valoriser les énergies locales ;
- L'adéquation offre-demande en fonction des projets planifiés et de la densification urbaine.

Sur la base de cette étude de planification énergétique, **la Commune** pourra :

- Disposer d'une connaissance approfondie de son territoire à l'échelle de chaque bâtiment ;
- Identifier, confirmer ou infirmer, des projets d'infrastructures énergétiques telles que des réseaux de chauffage à distance. Les informations correspondantes à ces projets serviront à la Commune comme éléments de discussion avec leurs promoteurs, ou pour mener des études technico-économiques ciblées ;
- Déterminer, grâce aux scénarios développés, l'évolution souhaitable de l'approvisionnement et de l'utilisation de l'énergie sur son territoire, se traduisant par le choix d'une politique énergétique ;
- Intégrer à son Règlement Communal d'Urbanisme (RCU) les éléments qu'elle souhaite rendre contraignant et/ou incitatif, selon les dispositions légales en vigueur. Pour ce faire, elle pourra s'appuyer sur les cartes des secteurs énergétiques proposées et les recommandations en termes de vecteur énergétique à promouvoir.
- Elaborer un règlement de subvention énergie pour inciter et soutenir les actions des citoyens.

3 CONTEXTE

3.1 CONTEXTE NATIONAL

3.1.1 ENJEUX ÉNERGÉTIQUES

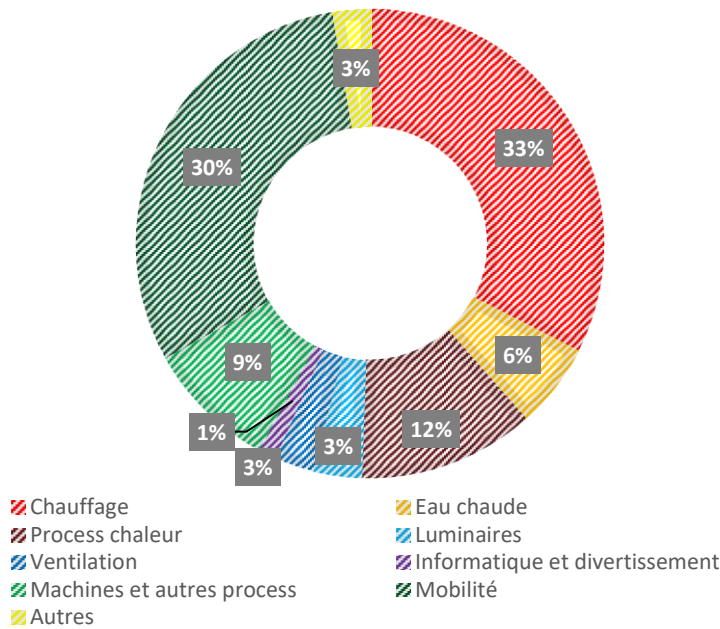


Figure 1: Répartition de la consommation d'énergie suisse en 2016 par secteur d'utilisation (OFEN, 2017)

En 2016, 51 % de la consommation d'énergie était utilisée sous forme de chaleur pour le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire et les process industriels. Le reste de l'énergie consommée est en majorité de nature électrique, sauf dans le cas du secteur de la mobilité où les combustibles fossiles représentent 95% de la consommation.

Hors mobilité et agriculture, la chaleur représente 76% de la consommation annuelle d'énergie et l'électricité (hors chaleur) 24%.

Comme le montre la Figure 2, 28% de la consommation d'électricité sert à produire de la chaleur (chauffage, eau chaude sanitaire ou process). Quant à la consommation de chaleur, elle est majoritairement dédiée au chauffage.

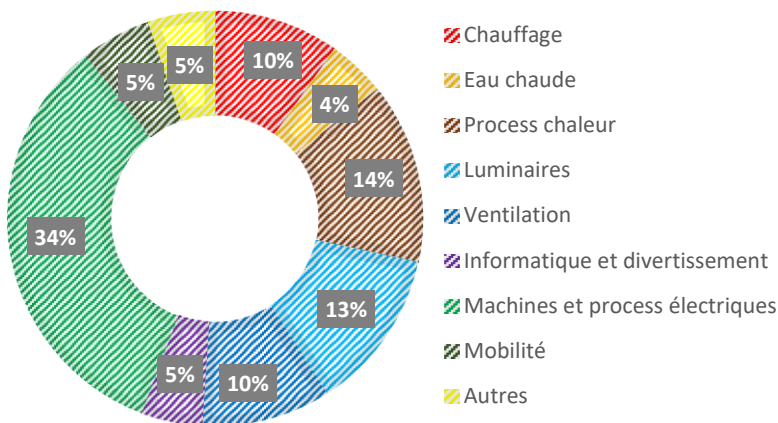


Figure 2: Consommation finale d'électricité en 2016 par secteur (OFEN, 2017)

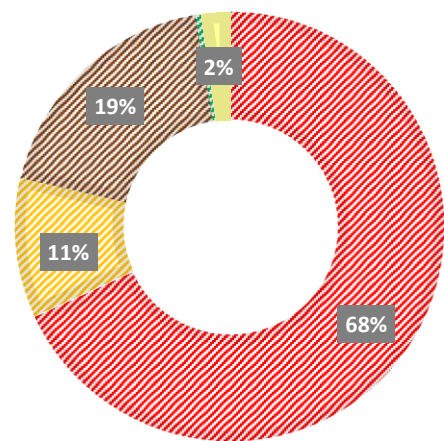


Figure 3: Répartition de la consommation de chaleur en 2016 par secteur (OFEN, 2017)

Pour résumer, la consommation d'énergie pour la chaleur représente **73% de la consommation totale** hors mobilité.

3.1.2 STRATÉGIE FÉDÉRALE 2050

Suite à la décision prise en 2011 d'abandonner progressivement l'énergie nucléaire, le Conseil Fédéral a élaboré la Stratégie énergétique 2050. Celle-ci fixe notamment des objectifs¹ en termes de réduction de la consommation moyenne d'énergie par personne de -16% à l'horizon 2020 et -43% à l'horizon 2035 par rapport à 2000. Pour l'électricité, ces objectifs sont respectivement de -2% et -13%. Parallèlement, la production d'électricité d'origine renouvelable est appelée à se développer fortement, les valeurs indicatives prévoient une multiplication par un facteur 4 à l'horizon 2035 par rapport à 2015².

Les principes que les différents acteurs impliqués - des autorités aux consommateurs en passant par les distributeurs d'énergie - doivent observer sont les suivants :

- Toute énergie est utilisée de manière aussi économe et efficace que possible ;
- La consommation énergétique globale est couverte dans une proportion importante par des énergies renouvelables présentant un bon rapport coût-efficacité ; cette proportion sera accrue de manière continue ;
- Les coûts d'utilisation de l'énergie sont, autant que possible, couverts selon le principe de causalité.

En vue de la mise en œuvre de cette stratégie, le Parlement a procédé à une révision de la loi sur l'énergie et adopté un premier paquet de mesures. Ce projet a fait l'objet d'un référendum accepté à plus de 58% par la population le 21 mai 2017.

3.2 CONTEXTE CANTONAL

Selon la loi fédérale sur l'énergie, les cantons ont une responsabilité générale de coordination avec la Confédération pour la mise en œuvre des mesures de politique énergétique. Plus particulièrement, ils sont tenus d'intervenir et mettre en œuvre les mesures nécessaires dans les domaines :

- Des bâtiments
- De la sécurité d'approvisionnement
- De l'information et du conseil au public et aux autorités.

Afin de coordonner les actions entre les cantons, la Conférence des Directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK) a élaboré, en 2000, le MoPEC, modèle de prescriptions énergétiques des cantons. Le MoPEC constitue une sorte de "boîte à outils" législative dans laquelle les cantons sont invités à puiser pour élaborer leurs propres législations. Les prescriptions du MoPEC sont compatibles avec les normes SIA concernant l'énergie et les installations techniques et la législation cantonale s'inspire d'un bon nombre de thèmes du MoPEC (spécificités du MoPEC 2014 expliquées à l'Annexe I.)

3.2.1 STRATÉGIE ÉNERGÉTIQUE CANTONALE

La modification de la loi sur l'énergie entrée en vigueur en août 2013 concrétise les engagements du Conseil d'Etat formulés en septembre 2009 dans le cadre de l'élaboration de sa nouvelle stratégie énergétique qui vise à atteindre la société à 4'000 Watts d'ici 2030, en visant à plus long terme la société à 2'000 W d'ici à 2'100. Les mesures envisagées concernent principalement le domaine du bâtiment, l'exemplarité des collectivités publiques et les gros consommateurs. Afin d'atteindre ces objectifs, les lignes directrices de la stratégie proposée **d'ici à 2030** sont les suivantes :

- Economiser 400 GWh dédiés à la production de chaleur. Il s'agit d'économiser l'énergie nécessaire au chauffage des bâtiments, à la production d'eau chaude sanitaire et aux procédés de fabrication ;
- Produire 600 GWh de chaleur à base d'énergie renouvelable ;

¹ La stratégie énergétique 2050 après la votation finale au Parlement, OFEN, 2016

² Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien - Ausgabe 2015, OFEN, 2016

- Economiser 350 GWh d'électricité ;
- Produire 200 GWh de courant vert.

Cette stratégie est consignée dans un document appelé « Stratégie énergétique – Etat de Fribourg, rapport 2010-2015 »³ disponible sur le site du Canton. (Etat de Fribourg, 2016), ainsi que dans les autres documents stratégiques suivants :

- Rapport n° 160 ; planification énergétique du canton de Fribourg (29.09.2009)
- Plan sectoriel de l'énergie (juillet 2017)
- Plan Directeur Cantonal (état au 04.02.2014)

Cette stratégie repose sur divers documents légaux dont les principaux sont la Loi sur l'énergie du 9 juin 2000 (LEn) et son règlement d'application, le Règlement sur l'énergie du 5 mars 2001 (REn).

La LEn insiste en particulier sur :

- L'utilisation des énergies renouvelables dans les nouveaux bâtiments, que ce soit pour la production d'eau chaude sanitaire, la production d'électricité ou la climatisation de confort ;
- La production sur site d'au moins 50% de l'eau chaude sanitaire par une source d'énergie renouvelables pour les constructions nouvelles ;
- L'obligation des gros consommateurs (consommation annuelle de chaleur supérieure à 5 GWh et/ou consommation annuelle d'électricité supérieure à 0,5 GWh) à prendre des mesures d'efficacité énergétique ;
- L'interdiction du montage ou du renouvellement des chauffages électriques pour le chauffage des bâtiments et de l'eau chaude sanitaire, sauf cas particuliers inscrits dans le REn ;
- L'obligation progressive d'utiliser du courant vert dans les bâtiments cantonaux et communaux ;
- Les conditions relatives à la possibilité d'obliger le raccordement des bâtiments à un réseau de chaleur ;
- L'obligation d'établir un certificat énergétique pour tous les nouveaux bâtiments ou en cas de rénovation massive ;
- L'obligation d'alimenter les nouvelles installations de climatisation (ou installations assainies) par des énergies renouvelables produites sur site.

Le règlement d'application de la LEn indique notamment les points suivants :

- Les bâtiments à construire et les extensions (surélévations, annexes, etc.) doivent être érigés et équipés de sorte que les énergies non renouvelables ne couvrent pas plus de 80 % des besoins de chaleur admissibles pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire ;
- Tous les bâtiments à construire doivent respecter le standard SIA 380/1 dans les conditions normales d'utilisation au minimum ;
- Les solutions standards en matière d'approvisionnement à base d'énergie renouvelable⁴ ;
- Les systèmes d'émission de chaleur neufs ou mis à neuf doivent être dimensionnés et exploités de manière que les températures de départ ne dépassent pas 50 degrés Celsius, ou 35 degrés Celsius pour les chauffages au sol, lorsque la température extérieure atteint la valeur servant au dimensionnement ;

³ <https://www.fr.ch/sde/files/pdf87/service-energie-ra-2015-fr-web.pdf>

⁴ Les solutions standard remplissant les prérequis en termes d'énergie renouvelable sont listées à l'art. 9c du REn.

- L'installation d'un nouveau chauffage électrique fixe n'est autorisée que dans la mesure où :
 - Il s'agit d'un cas particulier pour lequel la personne requérante peut démontrer qu'une autre solution n'est techniquement pas réalisable ou économiquement disproportionnée ;
 - Il s'agit d'un chauffage de secours.
- L'installation d'un chauffage électrique d'appoint visant à compléter un chauffage principal insuffisant pour couvrir la totalité du besoin de puissance n'est pas autorisée.
- Les bâtiments publics neufs ou entièrement rénovés dont la demande de permis de construire a été déposée après le 1^{er} janvier 2002 doivent respecter le label Minergie au minimum, sauf cas particuliers cités à l'art. 23 ;
- Les conditions de subventionnement énergétique pour chaque type d'installation.

De plus, la LEn insiste sur l'obligation pour les communes d'établir un plan communal des énergies (PCEn) et donne des informations sur la marche suivre pour qu'une Commune puisse rendre contraignants des éléments de ce plan : elle doit les introduire dans les instruments d'aménagement local prévus à cet effet au sens de la loi sur l'aménagement du territoire et les constructions, autrement dans le Plan d'Aménagement Local (LEne, art. 8).

De plus, il est stipulé que les communes peuvent introduire certaines obligations pour la construction, la transformation ou le changement d'affectation sur les territoires lui appartenant (LEn, art. 9).

3.3 CONTEXTE LOCAL ET PÉRIMÈTRE DE L'ÉTUDE

L'exploitation d'une nouvelle ressource renouvelable implique la recherche de sites appropriés pour être exploitée localement. La notion de « site approprié » est un élément central d'une planification énergétique territoriale dans le sens où les énergies sont produites localement en fonction de besoins et de leur cohérence avec le territoire. Parallèlement, les textes légaux amènent une pression supplémentaire dans le choix d'approvisionnement énergétique des bâtiments.

La Commune est par ailleurs en phase de révision du Plan d'Aménagement Local (PAL), ce qui lui donne l'opportunité d'inscrire de nouveaux éléments dans le Règlement Communal d'Urbanisme (RCU). Ces éléments peuvent concerner entre autres des aspects énergétiques et peuvent être identifiés à l'aide d'une démarche telle que cette étude de planification énergétique territoriale. La révision du PAL donne donc à la Commune l'occasion d'orienter sa politique énergétique en fonction des objectifs qu'elle se fixe.

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude de planification énergétique territoriale. Le territoire étudié est celui de la Commune de Fribourg. La population comptait **38'288** habitants permanents au 31 décembre 2016 (OFS, 2018). L'évolution de cet effectif est décrite dans le graphique ci-après.

L'étude ayant été réalisée sur la période 2017-2018, **l'année de référence des données est généralement 2016, ou 2015 pour certaines données** (marquage électrique et consommation électrique détaillée notamment).

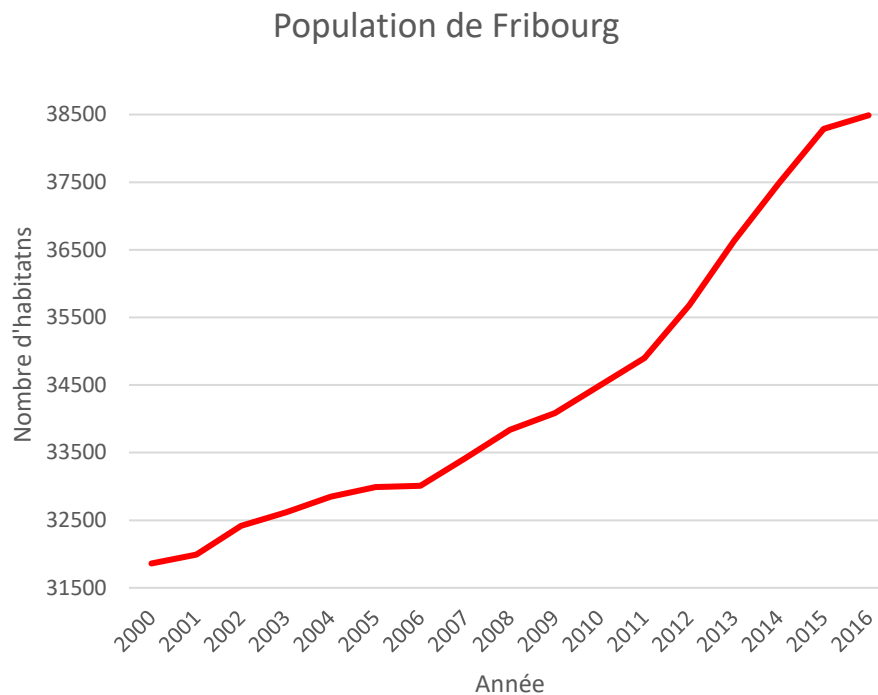


Figure 4 : Evolution démographique de Fribourg depuis 2000

Outre la Ville et le Canton, les acteurs principaux identifiés et influençant directement le développement énergétique de la commune sont :

- Groupe E : producteur et distributeur d'électricité,
- Groupe E Celsius producteur et distributeur de chaleur à travers FRICAD et de gaz

Si l'on extrapole les statistiques suisses de l'énergie 2016 décrites au chapitre 3.1.1 à la ville de Fribourg, la mobilité n'étant pas abordée, cette étude traite ~70% de la consommation d'énergie.

L'analyse menée dans cette étude porte sur la réduction des besoins de chaleur ainsi que sur le changement d'agent énergétique en vue d'améliorer le bilan environnemental lié à la consommation de chaleur. Ainsi, les secteurs du chauffage et de l'ECS sont analysés quantitativement de manière approfondie. Bien que le secteur de l'électricité soit abordé moins précisément, il fait tout de même l'objet d'une brève analyse et d'une série de recommandations listées en fin d'étude.

Partie A : CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES ACTUELLES

La première partie de cette étude a permis de caractériser et cartographier les besoins et les consommations énergétiques actuels du territoire (année de référence 2016). C'est sur la base de cet état des lieux détaillé que des stratégies réalistes sont élaborées quant à l'utilisation future de l'énergie sur l'ensemble du territoire.

SYNTHÈSE DES CONSOMMATIONS ÉNERGÉTIQUES ANNUELLES⁵

NB. DE BÂTIMENTS DANS LE CADASTRE :	5'145	PART DE BÂTIMENTS CHAUFFÉS ⁶ :	75 %	CONSOMMATION ANNUELLE TOTALE D'ÉNERGIE FINALE :	694 GWh
SURFACE DE RÉFÉRENCE ÉNERGÉTIQUE (SRE) TOTALE :	3.43 mio m2			NB. D'HABITANTS AU 31 DÉCEMBRE 2016 :	38'288

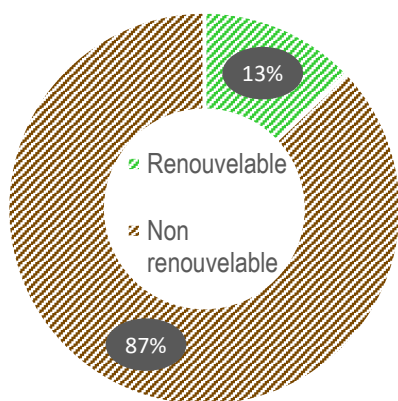


Figure 5 : Nature de l'énergie consommée, pourcentage de l'énergie finale.

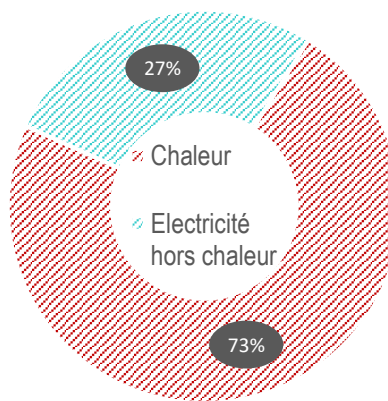
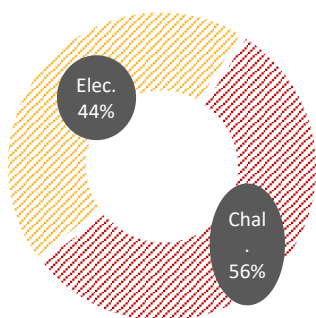
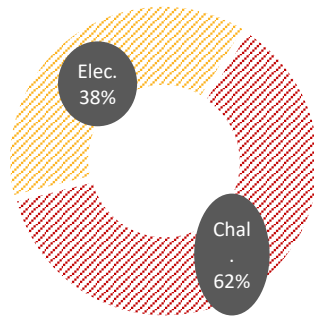


Figure 6 : Répartition des postes de consommations de l'énergie finale.

ÉNERGIE PRIMAIRE
1'035 GWh
27 MWh/hab



ÉNERGIE NON RENOUVELABLE
885 GWh
23 MWh/hab



ÉMISSIONS DE GES
136 Kt_{eq,CO2}
3.6 T_{eq,CO2}/hab

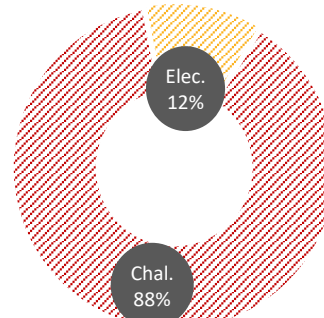


Figure 7 : Impact de chacun des postes de consommation sur les indicateurs d'énergie primaire, énergie primaire non renouvelable et d'émission de gaz à effet de serre (GES).

⁵ Hors mobilité

⁶ Les bâtiments restants sont des dépendances, des bâtiments sous-terrain, des garages ou encore des dépôts non chauffés.

Les besoins énergétiques sont estimés sur la base d'un modèle statistique en fonction de l'affectation principale et la période de référence des bâtiments. Les services énergétiques considérés sont le chauffage des locaux, la préparation de l'eau chaude sanitaire ainsi que les applications électriques standard (éclairage, électroménager, pompes de circulation, etc.). Les consommations sont estimées sur la base des besoins en appliquant des facteurs de conversion (i.e. rendement des installations) par agent énergétique. Lorsque cela est possible, les consommations réelles par bâtiment sont géoréférencées et remplacent les valeurs estimées. Dans ce cas, les besoins sont alors également adaptés sur la base des facteurs de conversion types. Une note méthodologique complète est disponible à l'Annexe IV. Les bases de données utilisées sont :

- Le cadastre de bâtiments fourni par la ville ;
- La liste des consommations des bâtiments raccordés au chauffage à distance et au gaz fournie par Groupe-E Celsius ;
- La liste des consommations électriques par point de livraison fournie par Groupe-E (pour l'année 2015)
- La liste des installations de chauffage fournie par la ville ;
- Le registre des bâtiments communaux comprenant les agents énergétiques pour le chauffage et l'ECS,

Les consommations de gaz par point de livraison fournies par Groupe E Celsius n'ont pas pu être géoréférencées avec une précision suffisante pour déduire les besoins des bâtiments correspondants. A défaut ces données ont servi à valider les résultats obtenus à l'échelle du territoire.

Pour les bâtiments dont les données présentées ci-dessus sont inexploitablement directement ou inexistantes, les besoins sont estimés sur la base des informations contenues dans le Registre Fédéral des Bâtiments et Logements (RegBL) et le Registre des Entreprises et Etablissements (REE). Elles peuvent ensuite être complétées sur la base d'informations sur les affectations éventuellement renseignées dans le cadastre. Les affectations, les époques de référence et les agents énergétiques des bâtiments ont été contrôlés et validés par la Commune. Il se peut toutefois que certaines approximations subsistent en raison de l'impossibilité de contrôler manuellement chaque bâtiment du cadastre. Les besoins et consommations énergétiques actuels (énergie utile, finale et primaire, ainsi qu'émissions GES en résultant) sont détaillés par agent énergétique à l'Annexe V.

1 CONSOMMATIONS DE CHALEUR

SYNTHÈSE DES CONSOMMATIONS DE CHALEUR

NB. DE BÂTIMENTS CHAUFFÉS :	3'839	SRE :	3.43mio m ²
ENERGIE FINALE PAR AN :	505.57GWh	ENERGIE UTILE PAR AN :	454.3 GWh

NATURE ET RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE FINALE POUR LA CHALEUR

ENERGIE POUR LE CHAUFFAGE :	438 GWh/an	ENERGIE POUR L'ECS :	68 GWh/an
-----------------------------	------------	----------------------	-----------

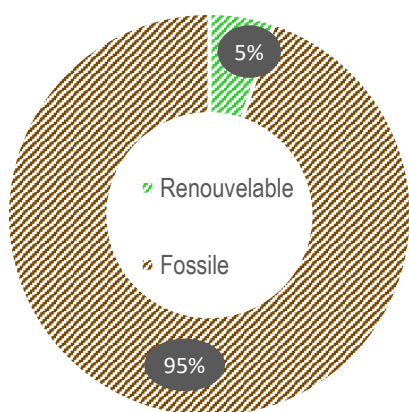


Figure 8 : Nature de la chaleur consommée, pourcentage de l'énergie finale

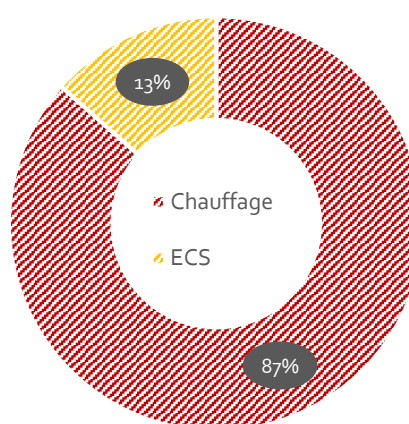


Figure 9 : Répartition des postes de consommations de chaleur

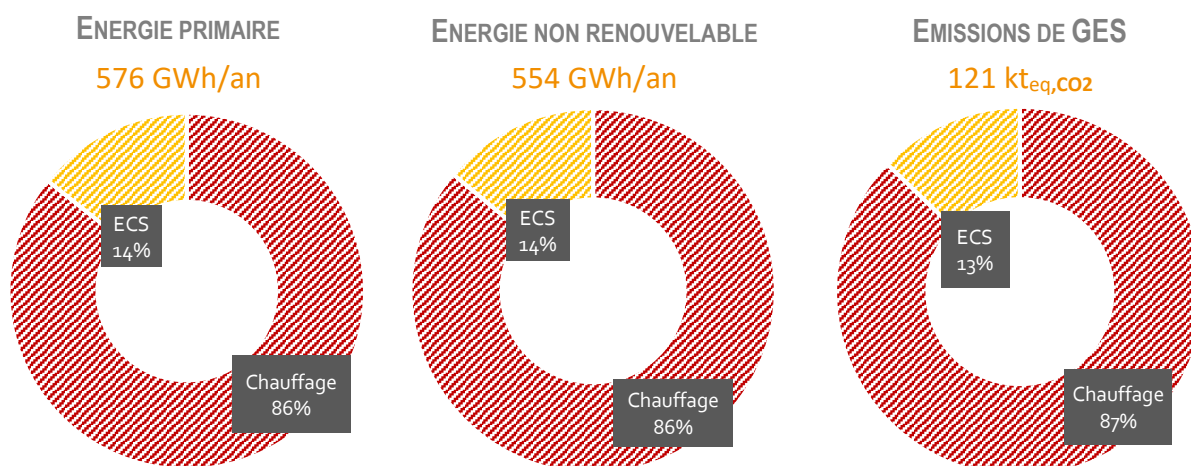


Figure 10 : Impact de chacun des postes de consommation sur les indicateurs d'énergie primaire, énergie primaire non renouvelable et d'émission de gaz à effet de serre (GES).

Afin d'établir une base pour l'élaboration de stratégies énergétiques pertinentes, les caractéristiques énergétiques de chaque bâtiment ont été déterminées et cartographiées et sont présentées dans ce chapitre. Pour chacune des caractéristiques analysées ci-dessous, des extraits de cartes et des graphiques illustrent les résultats obtenus. Des cartes complètes au format A3 sont disponibles à l'Annexe X.

1.1 VECTEURS ÉNERGÉTIQUES

Ci-dessus sont illustrées les consommations énergétiques globales. Afin d'apporter davantage de précisions, la consommation de chaleur est décomposée entre vecteurs énergétiques ci-dessous. Quant à la consommation d'électricité, elle est étudiée au chapitre 0. Le mix de l'approvisionnement énergétique pour la production de chaleur a une importance prépondérante pour effectuer une analyse pertinente des consommations énergétiques d'un territoire et de leur impact sur l'environnement.

CONSOMMATION DE CHALEUR FINALE PAR VECTEUR ÉNERGÉTIQUE

CHAUFFAGE : 438 GWh/an ECS : 68 GWh/an TOTAL : 506 GWh/an

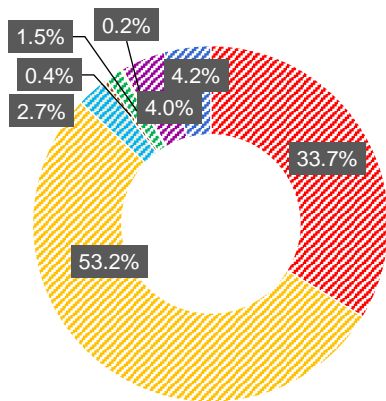


Figure 11 Marquage 2016 des chauffages à distance.

Figure 12 : Répartition par vecteur énergétique pour la consommation totale de chaleur finale.⁷

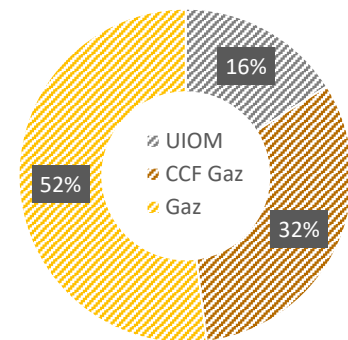


Figure 13 : Répartition de la consommation par vecteur énergétique pour (de haut en bas) le chauffage et l'ECS.

- Mazout
- Bois
- Chaleur a distance
- Gaz
- Pompe a chaleur
- Autre agent énergetique
- Electricite
- Capteur solaire

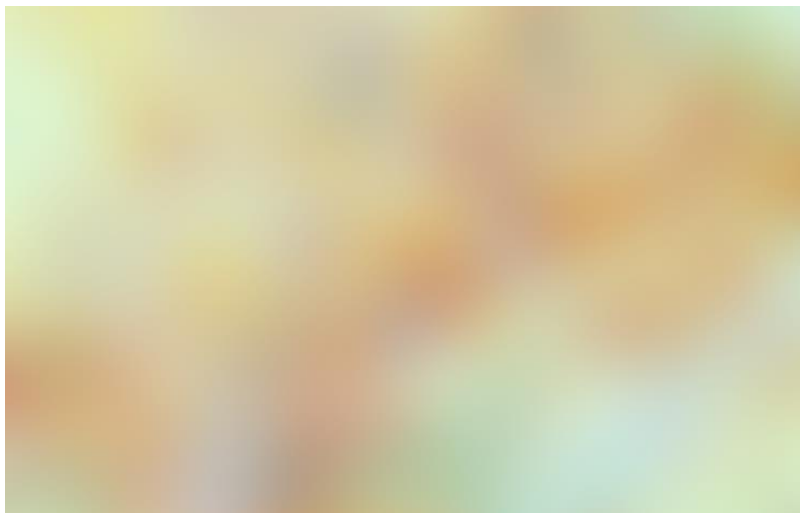
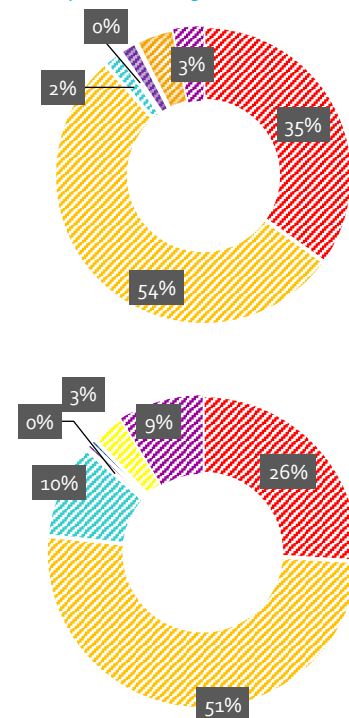


Figure 14 : Cartographie par bâtiment des vecteurs énergétiques principaux pour le chauffage.



⁷ La dénomination "Autre agent énergétique" est issue des catégories à choix dans le RegBL lorsque l'administration communale renseigne les agents énergétiques des bâtiments. Elle signifie le plus souvent que l'agent énergétique exact n'est pas connu.

Les vecteurs énergétiques pour la production de chaleur ont donc été quantifiés et cartographiés. Il apparaît que le gaz naturel et le mazout sont de loin les deux agents énergétiques les plus utilisés actuellement (>86%). Ce sont des combustibles fossiles, par définition non renouvelables, qui émettent de grandes quantités de gaz à effet de serre.

1.2 AFFECTATION DES BÂTIMENTS

L'affectation principale des bâtiments donne une information sur son utilisation/occupation et, par conséquent, sur ses consommations énergétiques. Il est donc utile de s'intéresser de manière détaillée à cette caractéristique.

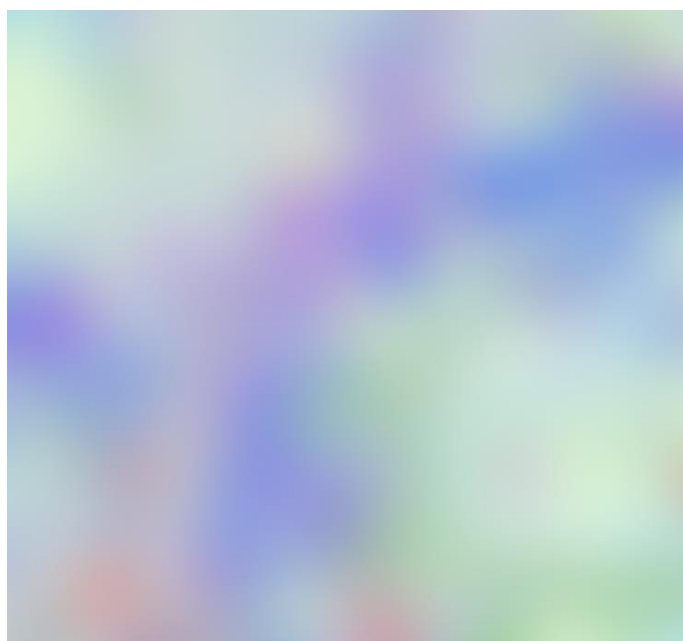
AFFECTATION PRINCIPALE DES BÂTIMENTS

SRE TOTALE:

3.43mio m²

PART DE SRE - LOGEMENT :

73 %



- Logements collectifs
- Ecoles
- Lieux de rassemblement
- Depots
- Affectations particulieres
- Maisons individuelles
- Commerces
- Hopitaux
- Instal. sportives
- Administration
- Restauration
- Industries
- Piscines couvertes

Figure 15 : Cartographie de l'affectation principale des bâtiments selon la classification SIA.

La commune étant également le chef-lieu du canton, elle concentre un grand nombre d'emploi et donc de bâtiments destinés à d'autres usage que de l'habitat. Ceci explique pourquoi la part de logements ne représente que 63% des bâtiments et 73% de la SRE totale. Ceux-ci ont des besoins de chaleur représentant environ les trois quarts des besoins de chaleur totaux de la commune.

Comme l'illustre la Figure 16, les logements sont très majoritaires sur l'ensemble de la commune. Ils représentent 73% de la SRE communale pour 63% des bâtiments, ce qui montre que les maisons individuelles sont très nombreuses.

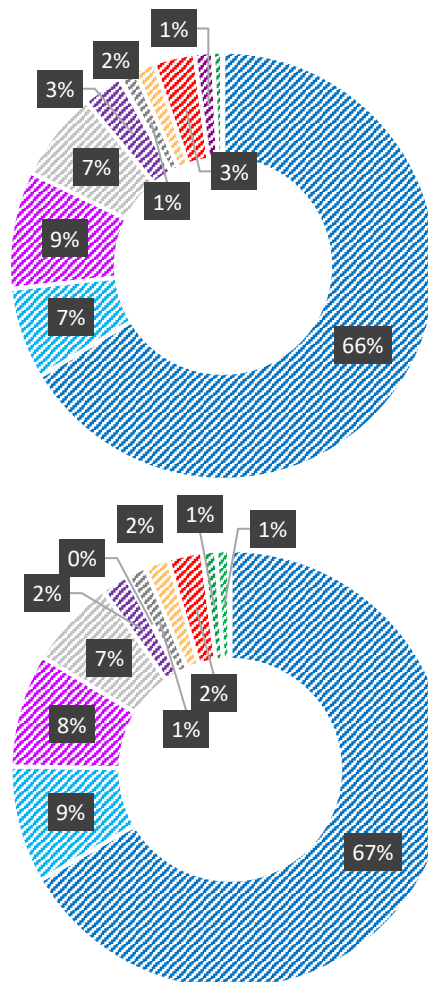


Figure 16 : Répartition de la surface de référence énergétique (haut) et de la consommation de chaleur (bas) par affectation principale des bâtiments (classe SIA).

1.3 ÉPOQUE DE RÉFÉRENCE

L'époque de référence des bâtiments est un élément central de l'analyse de l'état des lieux pour les consommations de chaleur. Cet indicateur permet de déduire plusieurs éléments (besoins spécifiques de chauffage par m² de SRE, potentiel de rénovation, systèmes de distribution de chaleur, etc.) qui seront déterminants lors de l'élaboration des concepts énergétiques. Deux paramètres sont utilisés pour déterminer l'époque de référence :

- Époque de construction
- Époque de rénovation lorsqu'une rénovation ultérieure à l'année 2'000 est indiquée dans le RegBL

L'époque de référence des bâtiments est donc l'époque de rénovation pour les bâtiments rénovés à partir de l'année 2000 et l'époque de construction pour tous les autres.

ÉPOQUES DE RÉFÉRENCE ET POTENTIEL DE RÉNOVATION

SRE TOTALE: **3.43mio m²** CHALEUR UTILE (SANS PROCESS) : **454 GWh/an** BESOINS SPÉCIFIQUES MOYENS **132 kWh/m²/an**

BÂTIMENTS DONT L'ANNÉE DE RÉFÉRENCE ≤ 2'000

PART DE BÂTIMENTS CHAUFFÉS
(BAT. CHAUFFÉS ≤ 2'000 / TOTAL BAT. CHAUFFÉS) :

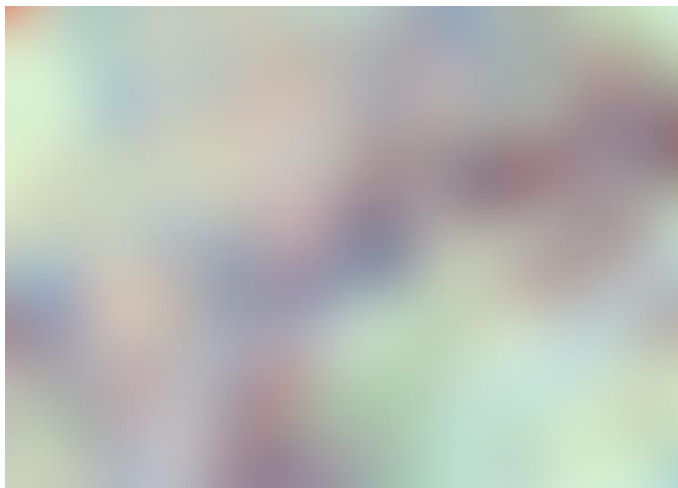
64 %

PART DE LA SRE TOTALE:

66 %

PART DES BESOINS DE CHALEUR
POUR LE CHAUFFAGE ET L'ECS:

72.3 %



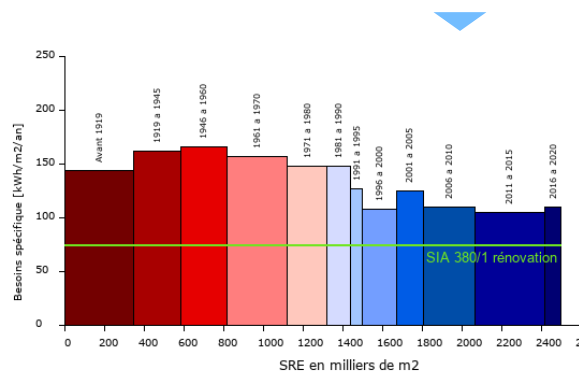
- Période inconnue
- Avant 1919
- 1919 a 1945
- 1946 a 1960
- 1961 a 1970
- 1971 a 1980
- 1981 a 1990
- 1991 a 1995
- 1996 a 2000
- 2001 a 2005
- 2006 a 2010
- 2011 a 2015

La norme SIA 380/1 en vigueur table sur une valeur moyenne limite de besoins spécifiques de chaleur d'environ **60 kWh/m²/an** (contre une moyenne de 132 aujourd'hui) pour le chauffage et l'ECS **des logements collectifs neufs**. Pour un bâtiment rénové, 125% de cette valeur est admise, soit 75 kWh/m²/an. Elle est basée sur une moyenne des valeurs limites correspondant aux habitats collectifs et individuels. La majorité des bâtiments étant construits avant les années 2000, il est judicieux d'analyser de plus près le potentiel de rénovation.

Figure 17 : Epoques de références pour les bâtiments.

Figure 18 : Répartition de la SRE et besoins spécifiques des logements en fonction des époques de construction des bâtiments.

La surface de chaque rectangle de la Figure 18 représente les besoins de chaleur cumulés pour chaque époque de référence pour les bâtiments résidentiels. L'axe horizontal représente le cumul de m² de SRE par époque de construction. L'axe vertical représente la moyenne pondérée selon la SRE des besoins spécifiques des bâtiments pour chaque période de construction. Les valeurs utilisées sont un croisement entre les données de consommation mesurées et ramenées à l'énergie utile, et les estimations basées sur des données statistiques de chaque période de construction pour les bâtiments pour lesquels les données de consommation n'étaient pas disponibles.



A titre informatif, les besoins spécifiques considérés par défaut pour les catégories d'affectation logement collectifs et maisons individuelles (correspondant la figure ci-dessus) sont données à l'Annexe IV.

La surface se situant au-dessus du trait vert représente la quantité d'énergie qu'il serait possible d'économiser si tous les bâtiments étaient **construits** selon les normes énergétiques actuelles (SIA). Le potentiel de rénovation (norme SIA + 25 %) représente quant à lui près de **34% des besoins de chaleur actuels totaux** (45% des besoins des logements uniquement).

1.4 NIVEAUX DE TEMPÉRATURE D'APPROVISIONNEMENT

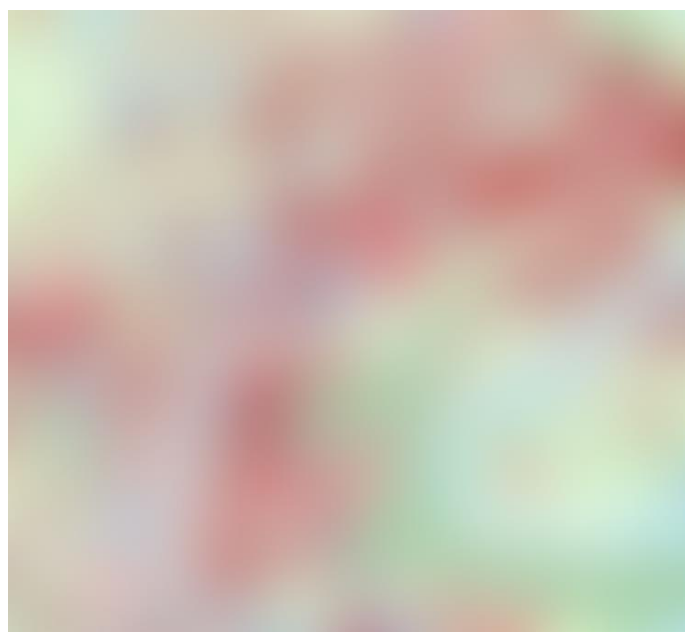
Les niveaux de température nécessaires pour les systèmes de chauffage en place dans les bâtiments existants conditionnent l'accès aux énergies renouvelables, car ces dernières ne sont généralement pas exploitables avec un rendement satisfaisant pour produire de la chaleur à haute température (bois-énergie excepté). Les niveaux de température dans les systèmes de chauffage des bâtiments dépendent de trois paramètres principaux :

- Le type de chauffage (chauffage au sol, radiateurs muraux, etc.)
- L'isolation du bâtiment
- L'affectation du bâtiment

Les chauffages au sol utilisent généralement des circuits de distribution de chaleur ayant une température d'approvisionnement de 30 à 40°C, voire moins de 30°C pour les plus performants. Les radiateurs conventionnels nécessitent, par contre, des températures allant de 50 à 80 °C. Concrètement, moins les bâtiments sont isolés, plus la température de distribution du système de chauffage est élevée. Ainsi, le niveau de température pour le conditionnement du bâtiment est estimé sur la base de son époque de construction, de rénovation et de son affectation. En revanche, la production d'ECS dépend uniquement des contraintes sanitaires. Il est en effet indispensable d'atteindre des températures proches des 60 °C afin d'éviter tout risque de légionellose. Les niveaux de température pour les besoins de process ne sont pas pris en compte, ils sont à déterminer au cas par cas et selon les besoins d'une étude spécifique.

RÉPARTITION DES NIVEAUX DE TEMPÉRATURE DANS LES BÂTIMENTS (CF. ANNEXE IV)

PART DE BÂTIMENT AVEC CHAUFFAGE AU SOL	PART DE BÂTIMENT AVEC RADIATEURS À 55°C (MOYENNE)	PART DE BÂTIMENT NÉCESSITANT 70°C OU PLUS
SRE : 13.5 %	SRE : 35.5 %	SRE : 51 %
CHALEUR UTILE : 10 %	CHALEUR UTILE : 31.6 %	CHALEUR UTILE : 58.4 %



■ 40 C ■ 55 C ■ 70 C

Les niveaux de température sont assez diversifiés. 49% de la SRE est chauffée à basse (40°C) ou moyenne température (55°C). Ce taux est de 47% pour les logements et de 55% pour les autres affectations. Comme ils équipent des bâtiments plus anciens (ayant des enveloppes moins performantes en moyenne), les systèmes à 70°C et plus engendrent plus de 58% des besoins de chaleur totaux.

Figure 19 : Cartographie des niveaux de températures estimés pour les systèmes de chauffage des bâtiments.

La répartition des niveaux de température est assez inhomogène. La majorité des bâtiments à faible ou moyen niveau de température sont essentiellement des bâtiments de logement collectifs. Les bâtiments de la vieille ville et du quartier de la gare représentant une part importante de la surface chauffée à haute température.

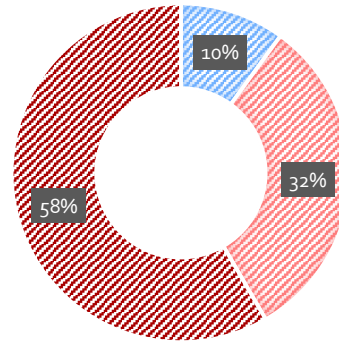


Figure 20: Répartition de la consommation de chaleur finale par niveau de température pour le chauffage.

1.5 DENSITÉ DES BESOINS DE CHALEUR

La densité des besoins de chaleur utile est un élément déterminant pour la rentabilité des énergies de réseau. En effet, plus la quantité d'énergie vendue annuellement par mètre de conduite du réseau est grande, plus la rentabilité est élevée car l'investissement est plus rapidement amorti. A noter que la notion de zone propice est à considérer à la lumière des époques de références et des agents énergétiques actuels afin de proposer une analyse plus pertinente.

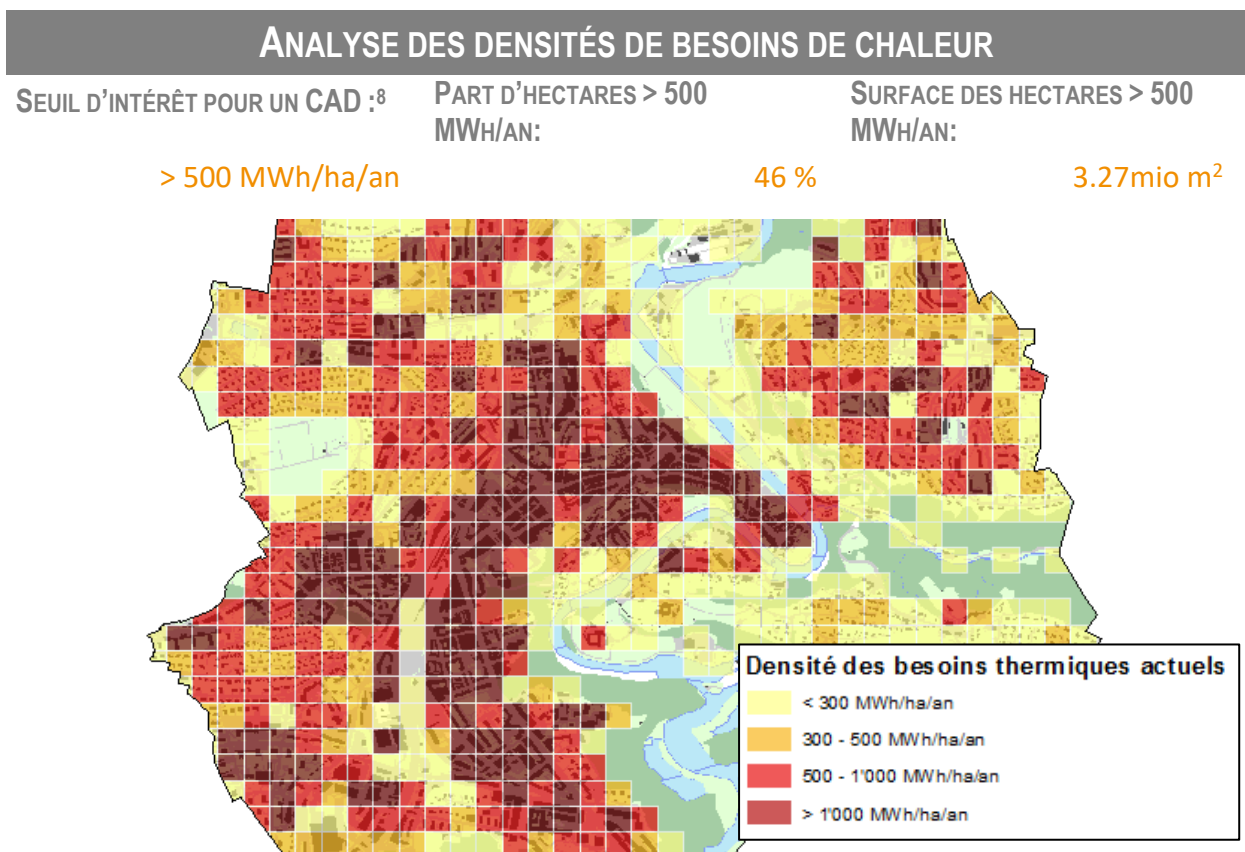


Figure 21 : Carte des densités de besoins de chaleur hors process actuels par maille hectométrique

⁸ Seuil généralement admis pour des CAD classiques alimenté au gaz, au bois ou au mazout avec une distribution de la chaleur entre 60 et 80 °C. Ce seuil représente une consommation de 2 MWh/m_{conduite}/an et 250 m de conduite par hectare. Il est important de garder en tête qu'il s'agit de moyennes statistiques permettant de cibler, dans un premier temps, quelles sont les zones pour lesquelles il est judicieux d'étudier de manière plus détaillée les différentes possibilités de construction d'un nouveau CAD. Pour l'extension d'un CAD existant, le seuil peut se situer plus bas.

Comme l'illustre la [Figure 21](#), près de la moitié du territoire bâti présente une densité de besoins de chaleur potentiellement intéressantes pour l'implantation de réseaux de chaleur. Ces zones peuvent être identifiées comme potentiellement intéressantes pour l'implantation (ou extension) d'un réseau de chaleur. Une analyse des solutions d'approvisionnement énergétique traitant entre autres des possibilités de déploiement de réseaux thermiques fait l'objet de la 0

Scénarios.

Les besoins liés aux process ne sont pas pris en compte ici car l'approvisionnement des process se fait souvent de manière irrégulière et à température très élevée, ce qui ne convient pas pour un réseau de chaleur. Par conséquent, l'implantation d'un réseau de chaleur sera davantage conditionnée par les besoins pour le chauffage et l'ECS. Par ailleurs, il n'existe plus, sur le territoire de la Commune, de tels process nécessitant des besoins de haute température, hormis ceux de l'entreprise X qui sont traités dans la Partie B :8.2.2.

1.6 INSTALLATIONS EXISTANTES

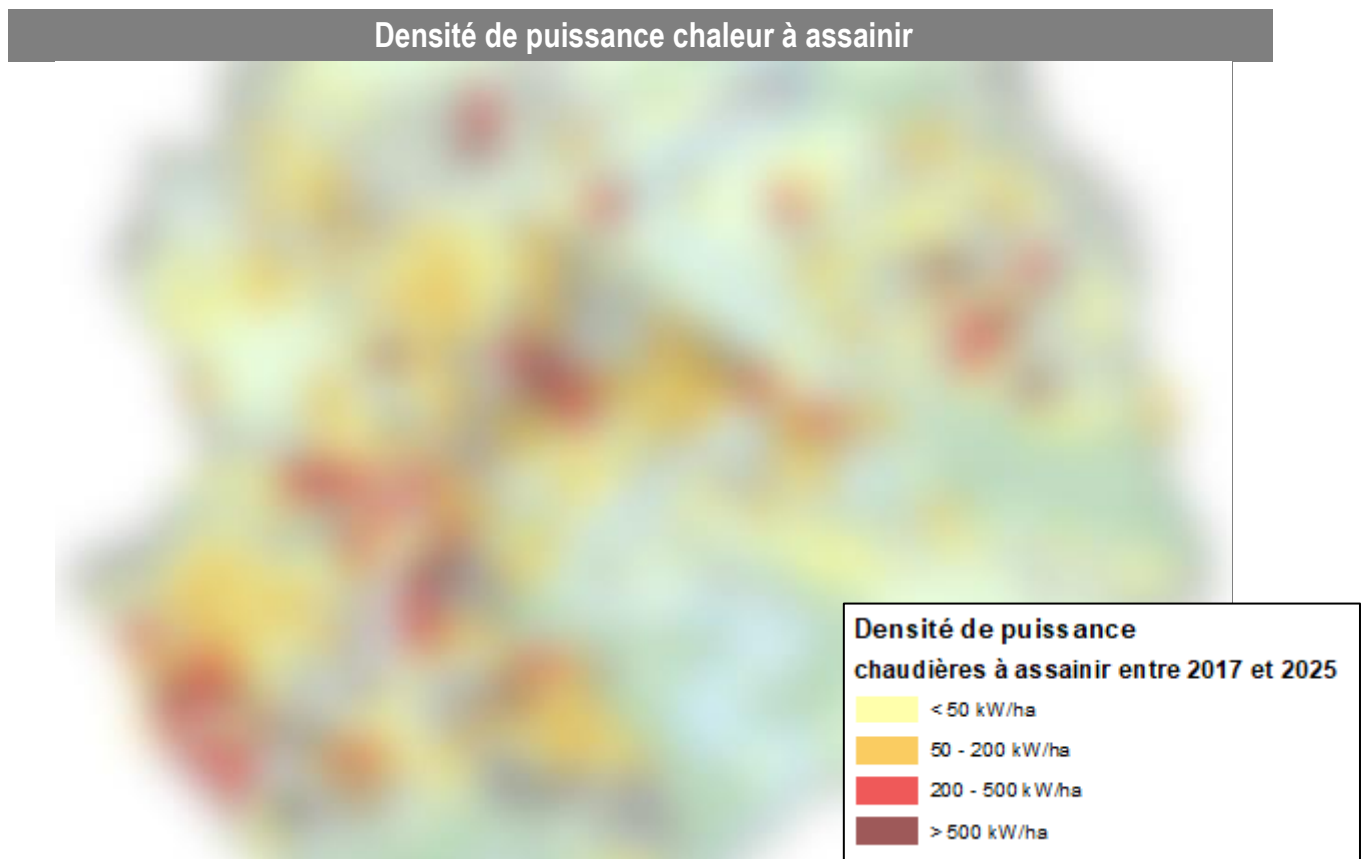


Figure 22 : Densité de puissance des chaudières à assainir entre 2017 et 2025 (mazout et gaz)

La puissance cumulée des chaudières qui ont pu être spatialisées est de 234 MW sur un total de 303 MW d'après les données transmises par la Commune. Comme le montre la Figure 22, l'essentiel de la puissance à assainir d'ici à 2025 se situe sur un axe entre le Sud-ouest et le Nord-est. Le graphique de la Figure 23 montre la répartition de la puissance par agent énergétique et par période d'assainissement estimée. Même si le gaz est l'agent énergétique le plus représenté (164 MW), la puissance cumulée des chaudières à mazout reste conséquente (139 MW), tout comme les consommations de chaleur qui y sont liées. Lors d'un assainissement, les chaudières individuelles à mazout sont les cibles prioritaires pour un raccordement à un CAD. Globalement le potentiel de remplacement des énergies fossiles est important.

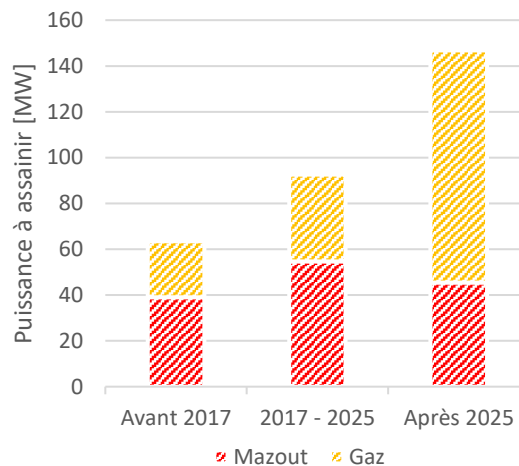


Figure 23 : Graphique de la puissance cumulée par agent énergétique et par période d'assainissement

La spatialisation des installations de production de chaleur existantes, de leur puissance et de leur date d'installation permet d'identifier le potentiel de substitution des énergies fossiles par des énergies renouvelables. Elles sont également une indication précieuse dans l'établissement de stratégies impliquant le déploiement de CAD. Les données intégrées proviennent du registre Cantonal et du fichier du ramoneur communal. Ces bases de données contiennent des informations concernant les agents énergétiques, les puissances ainsi que les dates d'installation des chaudières. L'année d'assainissement est estimée sur la base de la date d'installation à laquelle une durée de vie type de 25 ans est ajoutée.

1.7 PROCESS INDUSTRIELS

En raison de l'indisponibilité des données, les consommations énergétiques des processus industriels ne sont pas comptabilisées dans cette étude. Les rejets thermiques liés aux activités industrielles sont néanmoins traités à la Partie B :8.2.2.

2 IDENTIFICATION DES PRENEURS POTENTIELS DE FROID

Certaines solutions d'approvisionnement peuvent être améliorées grâce à la mise en place d'un réseau basse température permettant la valorisation d'une ressource pour la production mutualisée de froid (pour rafraîchissement ou process) et de chaleur. C'est pourquoi il est intéressant d'identifier les preneurs de froid présumés sur le territoire d'étude. Cette identification se fait sur la base du secteur d'activité renseigné dans le Registre des Entreprises et des Etablissements (REE). Les résultats sont donc à prendre avec précaution, car la méthode d'identification se base sur des critères généraux. La carte produite (Annexe X) comporte un haut niveau d'incertitude car elle est issue d'une interprétation basée sur le type d'activité du bâtiment du REE et qui peut avoir évolué ou ne représenter qu'une partie de celui-ci.

Selon ces informations, 77 bâtiments ont été identifiés comme preneurs de froid potentiels (climatisation et process froid confondus). Une concentration de besoins de froid intéressante se situe par ailleurs dans le quartier de la gare, essentiellement dans les centres commerciaux et les supermarchés. Ce regroupement de puissances importantes peut engendrer des rejets de chaleur intéressants pour certains systèmes énergétiques pouvant être approvisionnés en partie grâce à la récupération de chaleur (cf. Partie B :8 traitant des rejets thermiques). Comme expliqué ci-dessus, cette carte n'est pas exhaustive, elle peut ne pas représenter tous les bâtiments ayant réellement des besoins de froid ou, à l'opposé, représenter un bâtiment comme en faisant partie alors que seule une partie de celui-ci est concernée.



Figure 24: Identification des preneurs de froid et classification de leurs besoins

3 CONSOMMATION D'ÉLECTRICITÉ⁹

Afin d'en faciliter l'analyse, la consommation électrique a été décomposée comme suit :

- La production de chaleur, elle-même composée de la production d'ECS, du chauffage et des processus industriels (cf. chap. A.1). La chaleur produite par le biais de l'électricité peut être produite par des résistances électriques (chauffages électriques directs) ou par des pompes à chaleur (PAC) auquel cas les performances énergétiques sont bien meilleures (cf. partie B sur les ressources);
- Le rafraîchissement (ex : climatisation électrique) et la production de froid industriel (compresseurs). Les données disponibles ne permettant pas de quantifier cette consommation (cf. chap. A.2), l'électricité liée à ce poste de consommation est comprise dans la catégorie « hors chaleur » décrite ci-dessous,
- La consommation d'électricité « hors chaleur ». Elle est constituée de toutes les consommations électriques des ménages, des bâtiments (éclairage, électroménager, etc.), des infrastructures communales (éclairage public, traitement de l'eau, etc.) et des processus industriels (pompes, machines, etc.) qui ne sont pas directement liés à la production de chaleur. Comme décrit ci-dessus pour des raisons de disponibilité de données, les consommations d'électricité liées au rafraîchissement des locaux ou à la production de froid industriel sont intégrées dans cette catégorie.

RÉPARTITION DE LA CONSOMMATION ÉLECTRIQUE			
CONSOMMATION TOTALE :	204.4 GWh/an	HORS CHALEUR :	188.5 GWh/an
CHAUFFAGE ÉLECTRIQUE :	13.7 GWh/an	PAC :	2.2 GWh/an
INFRASTRUCTURES COMMUNALES ¹⁰ :	11.6 GWh/an	ECLAIRAGE PUBLIC ¹¹ :	1.7 GWh

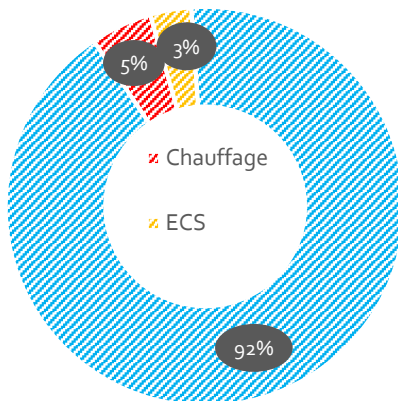


Figure 25 : Répartition des services fournis par l'électricité consommée

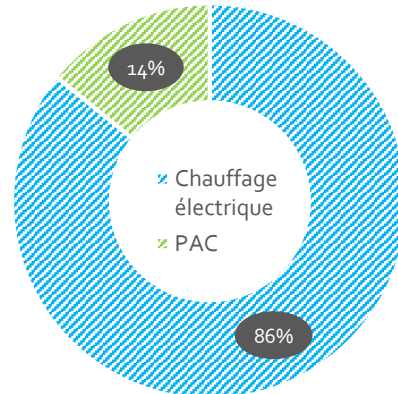


Figure 26 : Consommation électriques pour la production de chaleur

L'absence de données concernant les consommations d'électricité pour les process industriels augmente la part de la consommation électrique hors chaleur. Figure 26 (86% de la consommation électrique pour la chaleur).

⁹ Les données utilisées principalement dans cette partie proviennent de l'année calendaire 2015.

^{10, 11} Inclus dans « Hors chaleur »

MIX ÉLECTRIQUES PROPOSÉS SUR LE TERRITOIRE

La commune est approvisionnée par Groupe E. Les informations communiquées par le distributeur donnent une consommation globale séparée en 5 secteurs :

- Ménages ;
- Agriculture et horticulture ;
- Industrie, arts et métiers ;
- Services ;
- Transports.

Pour chaque secteur, la part renouvelable et, au sein de celle-ci, la part labellisée « Naturemade Star » sont identifiées. Ces valeurs fournissent des ratios qui sont appliqués au marquage électrique de base de Groupe E (2015) afin d'illustrer au mieux la situation communale. La consommation du secteur des transports n'est pas comptabilisée étant donné que la mobilité n'est pas abordée dans cette étude.

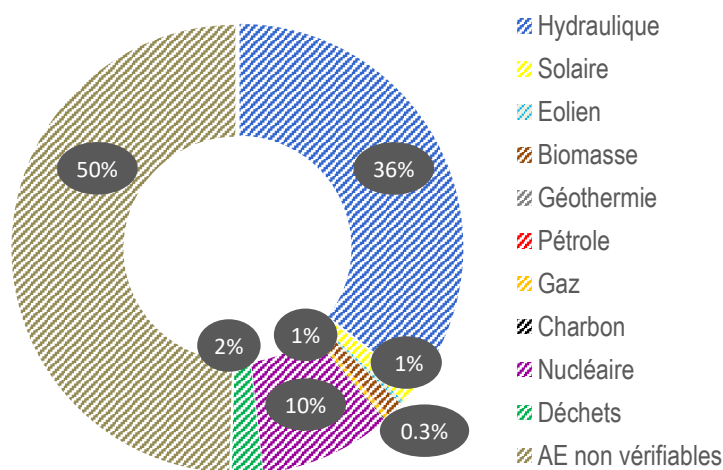


Figure 27 : Marquage électrique de la commune (2015)

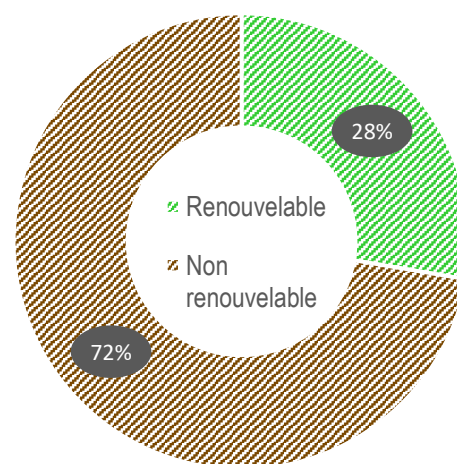


Figure 28 : Nature de l'électricité consommée en énergie primaire (2015)

La plupart des communes fribourgeoises consomment beaucoup plus d'électricité qu'elles ne sont capables d'en produire. Le territoire de la Ville de Fribourg se distingue néanmoins grâce à deux centrales hydroélectriques qui produisent près de 30% de la consommation de la Ville (60 GWh annuels d'électricité cf. Ressources 3.1).

Afin d'augmenter la part d'énergie produite localement et d'améliorer le mix distribué, plusieurs axes sont possibles :

- Renouveler et établir de nouveaux contrats d'importation d'électricité renouvelables avec les producteurs suisses ou étrangers.
- Adapter l'infrastructure aux contraintes d'intermittence et de production décentralisée (stockage, intelligence du réseau)
- Continuer à investir dans de grandes installations de production renouvelables (éoliennes, solaires, hydrauliques, etc.).
- Augmenter la production locale d'électricité renouvelable en multipliant notamment les petites installations décentralisées.

Ce dernier point concerne directement la planification énergétique car il s'agira d'établir des pistes permettant de cibler quels sont les potentiels les plus intéressants à valoriser sur le territoire communal.

Il est important de mentionner qu'entre 2015 (année de référence des données électriques) et 2017, le mix énergétique distribué sur le territoire de la Commune a sensiblement évolué. La grande majorité de l'électricité distribuée est d'origine

renouvelable grâce à la stratégie mise en place par Groupe E pour favoriser les énergies renouvelables. **En 2017 c'est désormais près de 85% de l'électricité distribuée sur le territoire qui provient de ressources renouvelables¹¹.**

Actuellement, et dans une volonté de montrer l'exemple, **la Ville de Fribourg a choisi d'alimenter ses bâtiments à 100% avec de l'électricité d'origine renouvelable** dont une grande part produite localement. C'est pourquoi, sur les quelques 14 GWh consommés annuellement par la commune, en 2018, elle consomme 10 GWh de la centrale de l'Oelberg (sise sur le territoire communal) et 4 GWh du produit « PLUS » de Groupe E 100% renouvelable (le produit PLUS en 2017 se composait ainsi : 89% hydraulique, 5% solaire, 3% déchets, 3% d'énergies renouvelables subventionnées).

¹¹ Le mix électrique 2017 distribué sur la Ville de Fribourg a été estimé comme tel : 85% de courant renouvelable (90.5% hydraulique, 6% solaire PV, 2% biomasse, 1.5% éolien)

Partie B : RESSOURCES LOCALES ET POTENTIEL D'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

Dans cette partie, les différentes ressources présentes sur le territoire et permettant d'assurer un approvisionnement énergétique futur sont analysées. Sont traitées aussi bien les ressources renouvelables locales sur le territoire que les différentes infrastructures de réseaux comme le gaz ou les réseaux thermiques existants ou en projet. Chacune des ressources possède des propriétés propres concernant la production d'énergie thermique ou électrique. Le Tableau 1 résume les différentes utilisations possibles pour chacune des ressources.

Les potentiels identifiés devront faire l'objet d'approfondissements de nature technico-économiques.

Ressource	Sous-catégorie ressource	Type d'utilisation/production				Remarques
		Chaleur directe ou combustion	Chaleur avec PAC	Électricité	Rafrâissement	
Énergie éolienne	-	-	-	X	-	-
Énergie solaire	-	X	-	X	X	Production simultanée de chaleur et d'électricité via panneaux hybrides, production de froid par adsorption.
Hydroélectricité	-	-	-	X	-	-
Hydrothermie	Cours d'eau	-	X	-	X	-
	Lac	-	X	-	X	-
	Nappes	-	X	-	X	-
Géothermie	Faible profondeur	-	X	-	X	-
	Aquifères profonds	X	Parfois	Parfois	-	-
	GGP	X	-	X	-	-
Biomasse	Méthanisation	X	-	X	-	Production d'électricité possible par CCF
	Bois-énergie	X	-	X	-	Production d'électricité possible par CCF
Rejets thermiques	Eaux usées	-	X	-	Parfois	-
	Rejets industriels	X	Parfois	Parfois	Parfois	-
Réseau de gaz	-	X	Parfois	X	-	Production d'électricité possible par CCF
CAD	30 – 120°C	X	Parfois	-	-	-
	< 20 °C	-	X	-	X	-

Tableau 1 : Synthèse des ressources et de leur utilisation

Afin de pouvoir interpréter les résultats exposés dans ce chapitre, il est nécessaire de connaître quelles technologies permettent de valoriser chacune des ressources citées dans le tableau ci-dessus.

Les panneaux solaires thermiques produisent de la chaleur pour l'ECS ou le chauffage, et les panneaux photovoltaïques produisent de l'électricité à partir de l'irradiation solaire.

La biomasse est utilisée dans des chaudières de différents types selon la valorisation visée (combustion de la matière). Les chaudières peuvent être remplacées par des couplages chaleur-force (CCF) permettant de produire simultanément de la chaleur et de l'électricité.

Le réseau de gaz peut alimenter des chaudières (combustion), des CCF ou encore des pompes à chaleur à gaz témoignant d'un rendement plus élevé qu'une chaudière à gaz (un rendement de 150% est considéré dans cette étude). Avec l'état de la technique actuelle, les pompes à chaleur à gaz sont généralement des installations centralisées pour plusieurs bâtiments.

Pour la géothermie, l'hydrothermie, les chauffages à distance et les rejets thermiques, ce sont des échangeurs qui permettent de récupérer la chaleur. Les technologies permettant de soutirer la chaleur à basse température dans l'environnement (eau, air, sol) nécessitent parfois l'utilisation d'une pompe à chaleur (PAC). Le principe d'une PAC consiste à relever le niveau de température d'une ressource afin d'obtenir les températures nécessaires pour une utilisation dans les systèmes de chauffage (30-35°C pour les chauffages au sol et 55-70°C pour des radiateurs muraux) et pour l'ECS (55-60°C). Pour élever ces températures, les PAC utilisent de l'énergie électrique (ou du gaz). En fonction des niveaux de température en jeu, la quantité d'électricité nécessaire pour la production de chaleur varie. Cette quantité est représentée par le coefficient de performance (COP). Un COP de 4 par exemple, signifie qu'une unité d'énergie électrique permet de produire, 4 unités de chaleur (cf. *Figure 29*, ci-dessous). Ainsi plus le COP d'une installation est élevé, moins la consommation électrique sera importante pour une même production de chaleur. Il existe par ailleurs différents types de PAC réversibles permettant de produire de la chaleur en hiver et du froid en été.

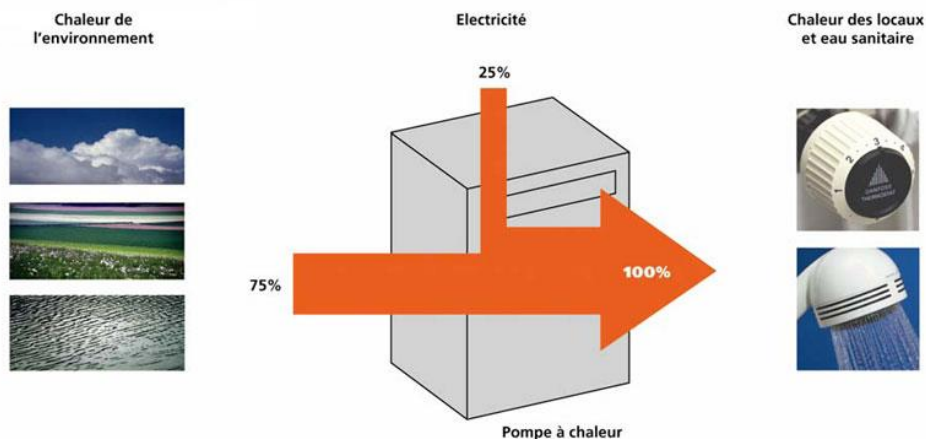


Figure 29: Fonctionnement d'une PAC électrique (source : Suisseenergie)

1 ÉNERGIE ÉOLIENNE

1.1 VALORISATION ACTUELLE

Aucune valorisation actuelle de l'énergie éolienne n'a été identifiée sur le territoire communal.

1.2 ÉVALUATION DU POTENTIEL

Le plan sectoriel de l'énergie du canton de Fribourg identifie les sites de développement des éoliennes, le territoire de la Commune n'en fait pas partie.

En revanche, il peut être relevé que, sur la commune voisine de La Sonnaz, un périmètre intéressant pour la production d'électricité éolienne a été identifié et fait partie des sites favorables retenus dans la planification des parcs éoliens du canton.

2 ÉNERGIE SOLAIRE

L'irradiation solaire peut être valorisée de deux manières différentes :

- Par une production d'électricité grâce à des panneaux photovoltaïques (PV).
- Par une production de chaleur grâce à des panneaux solaires thermiques (ST)

Les panneaux ST produisent de la chaleur qui peut être utilisée pour la production d'ECS, pour les besoins de chauffage ou pour des besoins de process. L'inconvénient de cette technologie est que la production maximale intervient en été alors que les besoins les plus importants sont en hiver pendant la période de chauffage. Ainsi une partie de la chaleur est soit perdue, soit stockée (stockage journalier et/ou stockage saisonnier).

Les panneaux PV produisent un courant électrique qui est ensuite transformé dans un onduleur. L'électricité qui n'est pas consommée sur place peut ainsi être injectée sur le réseau (ou stockée temporairement dans des batteries). Ainsi l'ensemble de la production est en permanence exploitée.

2.1 VALORISATION ACTUELLE

Les données sur la production PV actuelles ont été fournies par Groupe E. Les installations ST existantes (état dans le courant de l'année 2015) ont été répertoriées sur la base des agents énergétiques renseignés dans le RegBL et des données sur les permis attribués transmises par la Ville. Ces dernières ne sont pas exhaustives et parmi les 82 installations répertoriées seules 27 ont pu être géolocalisées (auxquelles s'ajoutent 8 installations inscrites dans le RegBL). Par ailleurs, la surface des installations n'est mentionnée que dans une minorité des cas (31 installations sur 82).

Une carte représentant les installations existantes localisées est disponible à l'Annexe X.

2.2 ÉVALUATION DU POTENTIEL

Le rayonnement solaire annuel moyen sur la commune se situe dans la moyenne suisse et est relativement homogène sur l'ensemble du territoire (~1'200 kWh/m²/an). Les cartes de l'irradiation solaire ainsi que celles des productions thermiques et électriques par bâtiment sont disponibles à l'Annexe X. Les chiffres ci-dessous synthétisent le potentiel solaire pour l'ensemble des toitures. Les données de rayonnement solaire proviennent de Meteotest et les potentiels sont calculés sur la base des hypothèses développées par Navitas Consilium SA (Annexe IV). Le potentiel futur est estimé proportionnellement à l'accroissement attendu de la SRE (cf. Partie C :1).

PRODUCTION PHOTOVOLTAÏQUE EXISTANTE	
NOMBRE D'INSTALLATIONS	PRODUCTION ANNUELLE
91	2000 MWh _{él} /an

SURFACES SOLAIRES THERMIQUES RÉPERTORIÉES	
NOMBRE D'INSTALLATIONS	PRODUCTION ESTIMÉE
35	900 MWh _{th} /an

Tableau 2 : Installations existantes de production d'énergie solaire répertoriées

POTENTIEL SOLAIRE ESTIMÉ POUR L'ENSEMBLE DES TOITURES					
	SURFACE DE PANNEAUX	PRODUCTION ÉLECTRIQUE (PV)	PRODUCTION THERMIQUE	PANNEAUX HYBRIDES	
				PROD. ÉLEC	PROD. THERMIQUE
BATI ACTUEL	PV: 540'000 m ² TH: 238'000 m ²	78 GWh _{el} / an	107 GWh _{th} / an ¹²	35 GWh _{el} / an	96 GWh _{th} / an
BATI FUTUR (Vision 2035) ¹³	PV: 690'000 m ² TH: 307'000 m ²	100 GWh _{el} / an	138 GWh _{th} / an	45 GWh _{el} / an	124 GWh _{th} / an

Tableau 3 : Potentiel maximal de production d'énergie solaire

Les surfaces de panneaux décrites au Tableau 3 (thermique et PV) ne doivent pas être additionnées. Ce sont les mêmes surfaces qui peuvent accueillir soit des panneaux thermiques, soit des panneaux PV. Cependant, la surface disponible pour le PV est plus importante car elle concerne aussi des bâtiments où une installation solaire thermique n'a pas lieu d'être. Pour les hypothèses de calcul détaillées, se référer à l'Annexe IV.

Il est intéressant de noter également qu'une carte présente à l'annexe X identifie les bâtiments ayant de grandes toitures, dont la surface maximale pour l'installation de panneaux solaire est supérieure à 200 m². En outre, en couvrant totalement de panneaux solaires les surfaces des toits dont la surface des installations peut être supérieure à 500 m², la production annuelle maximale pourrait être de plus de 20 GWh, soit plus de 10% de la consommation annuelle de la Ville de Fribourg.

Pour la suite de l'étude, un taux limite d'exploitation de 50% est appliqué sur la ressource maximale identifiée ci-dessus. Ceci tient compte du fait que tous les toits ne peuvent pas être exploités. Pour plus d'informations, voir l'Annexe IV. Les chiffres ci-dessus correspondent à des panneaux polycristallins car il s'agit de la technologie la plus répandue à ce jour.

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'OFEN¹⁴ 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.

3 ÉNERGIE HYDROÉLECTRIQUE

3.1 VALORISATION ACTUELLE

La Sarine qui traverse Fribourg est exploitée depuis longtemps pour la production d'hydroélectricité au fil de l'eau. Le barrage de Maigrange capte l'eau de la rivière et alimente les deux centrales de Maigrange et Oelberg, produisant respectivement 3'807 et 59'287 MWh par an.

Sur le réseau d'eau potable, une micro-turbine produit environ 200 MWh d'électricité en turbinant les eaux de la source d'Hoffmatt.

3.2 ÉVALUATION DU POTENTIEL

Les cours d'eau de surface s'écoulant sur le territoire communal sont déjà bien exploités. Cependant, l'Office Fédéral de l'énergie estime qu'il existe un potentiel pour la petite hydraulique dans le secteur du Creux-du-Loup, avec un

¹² Les valeurs présentées sont celles d'une production d'ECS avec des panneaux vitrés. Elles correspondent au potentiel de production consommé pour satisfaire les besoins de l'ECS pour le bâtiment. Le surplus estival n'est donc pas considéré.

¹³ Pour le futur, le potentiel estimé des toitures des futures constructions est additionné au potentiel actuel. Le surplus de production potentielle n'est pas pris en compte dans les calculs du potentiel futur.

¹⁴ Plateforme de l'OFEN : www.facade-au-soleil.ch

potentiel de 1.281 kW/m, au sud de la ville, à la limite avec la commune de Marly. Cette estimation est effectuée globalement et peut identifier un éventuel potentiel, à étudier.

La STEP de Fribourg se situant au pied d'une pente raide et ayant un débit intéressant, il peut exister un potentiel de turbinage des eaux usées, profitant de la déclivité du réseau d'évacuation des eaux. Ce potentiel, correspondant à une puissance de 156 kW en première estimation, mériterait d'être étudié de manière plus approfondie.

4 ÉNERGIE HYDROTHERMIQUE

L'énergie hydrothermique peut provenir de 3 sources différentes : les cours d'eau, les lacs et les nappes phréatiques. Cette ressource nécessite généralement l'utilisation d'une pompe à chaleur (PAC) afin de relever le niveau de température pour satisfaire les besoins de chauffage et/ou de production d'ECS. La température de ce type de ressource (ente 4 et 18°C généralement) offre la possibilité de la valoriser à la fois pour la production de chaleur et pour satisfaire des besoins de rafraîchissement, ce qui peut être un atout particulièrement intéressant pour des bâtiments ou des zones où les besoins de froid sont importants.

4.1 VALORISATION ACTUELLE

Aucune installation d'énergie hydrothermique n'est répertoriée à ce jour. Il est possible que des installations de type PAC sur nappe existent mais les données traitées ne permettent pas les identifier elles n'apparaissent donc pas dans les bilans

4.2 ÉVALUATION DU POTENTIEL

4.2.1 EAUX DE SURFACE

4.2.1.a Cours d'eau

La Sarine traverse la ville de Fribourg et passe à proximité de bâtiments ayant des besoins de chaleur ou de refroidissement. Pour le tronçon situé entre le lac de la Gruyère et le pont de Zaehringen, L'EAWAG estime le potentiel de valorisation thermique de la Sarine à près de 3'000 GWh pour la chaleur et plus de 2'000 GWh pour le froid¹⁵. Ces valeurs donnent un ordre de grandeur du potentiel disponible au niveau de la ville de Fribourg. Comparé aux besoins énergétiques actuels de la ville, on peut dire que le potentiel hydrothermique de la Sarine est non limitant. En effet, ce n'est pas le potentiel de la ressource mais les contraintes technico-économiques qui dicterons les possibilités de recours à cette ressource. Groupe E Celsius envisage d'alimenter le CAD en partie avec la chaleur de la Sarine via une ou plusieurs installations de PAC. D'autres installations de type individuelles ou en micro réseau avec production de chaleur décentralisée et refroidissement sont à envisager pour les nouvelles constructions aux abords de la rivière.

4.2.1.b Lac

Le lac de Pérolles, fait partie intégrante du lit de la Sarine, il est traité comme tel par l'EAWAG. Le potentiel du point 4.2.1a prend en compte de cette surface d'eau.

4.2.2 NAPPES PHRÉATIQUES

Il n'existe pas d'étude d'ensemble sur la présence de nappes phréatiques exploitables à des fins hydrothermiques dans cette région. Cependant, une part considérable du territoire communal est en secteur Au, ce qui indique l'existence de réserves d'eaux souterraines. Il existe au moins un pompage d'eau présentant un débit conséquent, la source des Pilettes sur le site de l'ancienne brasserie du Cardinal. Le potentiel de débit est de 200 l/min et pourrait être valorisé dans le cadre du projet Bluefactory en développement sur le même emplacement. Une carte des secteurs de protection des eaux est disponible à l'Annexe X.

¹⁵ <https://thermdis.eawag.ch/fr/potential>, Eawag - Institut Fédéral Suisse des Sciences et Technologies de l'Eau

5 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 ¹⁶:

- **La géothermie faible profondeur ou très basse enthalpie** : La géothermie basse température¹⁷ 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. 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.

Pour satisfaire des besoins de chaleur importants ou pour mettre en place des CAD, il est possible de mettre en parallèle plusieurs SGV, formant ainsi un champ de sondes. Dans ce cas, il est également possible de stocker l'énergie solaire en été ou, éventuellement, la chaleur provenant de rejets thermiques industriels.

- **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). En fonction de la profondeur et de la composition du sous-sol, la température de l'eau des aquifères peut varier entre 25 et 100°C. 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.

En fonction de sa température, cette eau peut être valorisée directement ou à l'aide d'une PAC. Étant 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.).

- **La géothermie grande profondeur (GGP)** : La géothermie grande profondeur fait référence à des forages allant de 3'000 à plus de 5'000 m. On distingue deux types d'installations : les installations hydrothermales et pétrothermales.
 - **Installations hydrothermales** : Elles exploitent l'eau stockée dans les nappes souterraines de grande profondeur. Dans ce cas, mis à part la profondeur des forages, la technique d'exploitation est identique à celle de la géothermie moyenne profondeur.
 - **Installations pétrothermales** : 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 150-200°C environ (voire davantage si le forage est plus profond que 5'000m) en fonction de la profondeur et de la nature du sous-sol. À défaut de trouver des zones karstiques adéquates, la technique dite de « stimulation hydraulique » permet de créer des fissures ou d'en

¹⁶ La valorisation des nappes phréatiques peut parfois être considérée comme une sorte de géothermie. Dans ce rapport elle est détaillée dans le chapitre sur l'hydrothermie (cf. Partie B :4.2.2).

¹⁷ La notion de basse température se réfère à la température du sous-sol à la profondeur de forage et, par extension, à la température d'utilisation de la ressource. Le gradient géothermique (augmentation de la température avec la profondeur) est d'environ 3°C/100 m de profondeur.

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.

La géothermie grande profondeur peut également permettre de produire de l'électricité si l'eau atteint une température d'au moins 100°C. 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 (Association des entreprises électriques suisses, 2013).

5.1 VALORISATION ACTUELLE

Actuellement, les besoins annuels de chaleur satisfaits grâce à des sondes géothermiques verticales (SGV) couplées à des PAC sol-eau sur l'ensemble de la Commune sont estimés à **3 GWh** (0.7% des besoins de chaleur hors process)¹⁸. À ce jour, il n'y a aucune exploitation de la géothermie moyenne ou grande profondeur sur le territoire.

5.2 ÉVALUATION DU POTENTIEL

5.2.1 GÉOTHERMIE FAIBLE PROFONDEUR

D'après les données du Canton, seules deux petites zones sont sous le coup d'une interdiction de forage : au nord, dans la région du cimetière de St-Léonard et à l'est, en bordure du Gottéron. Une carte de l'admissibilité des SGV se trouve à l'Annexe X.

Les surfaces disponibles pour l'implantation de SGV ont donc été identifiées, puis un potentiel maximal a été calculé pour chacune d'entre elles. Les hypothèses utilisées pour ce potentiel maximum sont décrites à l'Annexe IV.

Le potentiel maximal obtenu pour l'installation de PAC sol/eau est de **259 MW** pour une production annuelle de chaleur de **595 GWh**. Toutefois, ces chiffres devront être considérés avec précaution lors de l'élaboration des stratégies, car bon nombre de ces surfaces libres ne seraient en réalité pas exploitables pour des raisons autres que techniques. Afin de prendre ce paramètre en compte, un taux limite d'exploitation est appliqué à ce potentiel maximal comme dans le cas de la ressource solaire. Ce taux vaut en général 25%, mais il peut varier en fonction de la configuration spécifique de la zone concernée.

5.2.2 AQUIFÈRES PROFONDS

Aucun aquifère profond n'est répertorié sur le territoire.

5.2.3 GÉOTHERMIE PROFONDE

Un projet de géothermie grande profondeur (Projet GP Fribourg) en ville de Fribourg est à l'étude actuellement. Il est prévu de produire de la chaleur uniquement. Le projet est mené par le canton sur la parcelle du projet Bluefactory en cas de succès l'énergie sera valorisée sur le réseau FRICAD III se trouvant déjà sur le site.

6 AIR AMBIANT

L'exploitation de la chaleur de l'air ambiant est possible grâce à l'utilisation de PAC de type air/eau. Les performances de ce type d'installation dépendent principalement de la température extérieure. Ainsi, plus il fait froid, moins la PAC sera performante, plus la consommation d'électricité sera importante.

Ces équipements peuvent être la source de nuisances sonores, il est important de choisir un appareil peu bruyant, de choisir un emplacement adéquat ainsi qu'une installation dans les règles de l'art.

Les progrès techniques de ces dernières années permettent cependant d'installer des PAC dans des climats froids et d'atteindre des coefficients de performance annuelle (COPA) supérieurs à 3. De même les progrès en matière de

¹⁸ *Étant donné que le RegBL ne fait pas de distinction entre les différents types de PAC, les besoins alimentés par des PAC qui y sont référencés sont distribués entre PAC sol-eau (SGV) et PAC air-eau. La répartition est la suivante : 40% des besoins sont considérés comme satisfaits par des SGV et 60% par des PAC air-eau.*

réduction du bruit de fonctionnement sont importants. Il est de plus en plus courant de trouver des équipements qui émettent moins de 40 dB(A).

6.1 VALORISATION ACTUELLE

Actuellement, les besoins annuels de chaleur satisfaits grâce à des PAC air-eau sur l'ensemble de la commune sont estimés à **4.5 GWh** (1% des besoins de chaleur hors process)¹⁹.

6.2 ÉVALUATION DU POTENTIEL

La chaleur de l'air ambiant peut être exploitée grâce à des pompes à chaleur air-eau. Même si cette technologie est moins efficace que les PAC sur SGV (ou les PAC eau-eau), elle permet une production de chaleur grâce à une consommation électrique réduite en comparaison aux chauffages électriques standards. A condition d'utiliser une électricité majoritairement renouvelable (la PAC peut, par exemple, être en partie alimentée par des panneaux PV sur le toit du bâtiment), le gain est encore plus important par rapport à l'utilisation d'énergies fossiles. Par ailleurs, les coûts d'installation sont plus faibles 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.

7 BIOMASSE

7.1 VALORISATION ACTUELLE

Les besoins actuels de chaleur couverts par le bois énergie sont estimés à environ **1.4 GWh/an** (0.3% des besoins actuels de chaleur hors process), essentiellement dans des installations individuelles pour satisfaire des besoins de chauffage.

7.2 ÉVALUATION DU POTENTIEL

7.2.1 BOIS ÉNERGIE

Le bois énergie peut être utilisé sous différentes formes :

- Plaquettes forestières
- Pellets
- Bois de feu

Il peut par ailleurs être valorisé de manière décentralisée grâce à des chaudières individuelles, ou de manière centralisées grâce à :

- Une chaudière de taille importante ;
- Un couplage chaleur-force.

Le couplage chaleur-force (CCF) peut utiliser deux procédés : la combustion ou la méthanisation. La combustion consiste à brûler le bois pour produire de la vapeur qui est turbinée pour la production d'électricité. Suite à cela, une partie majoritaire de la chaleur contenue dans la vapeur est valorisée par l'intermédiaire d'un échangeur pouvant alimenter un CAD. La méthanisation, procédé plus expérimental, consiste à produire du biogaz à partir du bois. Le CCF fonctionne ensuite selon le principe d'un CCF à gaz.

La commune fait partie de l'arrondissement forestier de la Sarine et de la corporation Forêts-Sarine. Au sein de cette corporation, le potentiel encore disponible dans les forêts publiques est de **6'864 m³** de plaquettes, soit environ **4'800 MWh/an**. Pour ce qui est des forêts privées, le potentiel restant s'élève à **11'219 m³** de plaquettes, soit environ **7'850**

¹⁹ Etant donné que le RegBL ne fait pas de distinction entre les différents types de PAC, les besoins alimentés par des PAC qui y sont référencés sont distribués à part égale entre PAC sol-eau (SGV) et PAC air-eau.

MWh/an. Au niveau de l'arrondissement, c'est un peu moins de 50'000 m³ de copeaux qui sont valorisés et d'après une étude interne de 2017, il serait possible de valoriser durablement 34'000 m³ de copeaux supplémentaires annuellement²⁰ soit environ 23'800 MWh/an. Au niveau cantonal, le potentiel encore disponible estimé en fin 2014 se situe entre 23'000 et 60'000 m³ de bois fort (Etat de Fribourg, 2014). L'importation de bois reste envisageable dans la mesure où l'impact du transport reste proportionnellement faible.

La Commune de Fribourg est située dans le périmètre du plan de mesure de protection de l'air qui prévoit d'appliquer des valeurs limites plus sévères pour les émissions d'oxydes d'azote et de particules solides pour les installations alimentées au bois. Afin de respecter ce plan de mesures et les limitations des émissions prévues par l'Ordonnance sur la protection de l'air (OPair), il est recommandé d'exploiter cette ressource prioritairement dans des grandes installations possédant un système de rinçage et de filtration des fumées permettant de minimiser les rejets de polluants. Ces installations peuvent alimenter le réseau de chauffage à distance et être situées en dehors des zones denses soumises aux taux d'immissions les plus élevés. Dans les zones moins denses et dépourvues d'un réseau CAD, l'installation d'un chauffage à bois est une option à envisager afin de se passer des énergies fossiles à condition de respecter les prescriptions de l'OPair.

7.2.2 DÉCHETS MÉNAGERS

Lors de l'incinération des ordures ménagères, la chaleur peut être récupérée pour approvisionner un réseau de chaleur. Une part de la chaleur récupérée peut également alimenter une turbine, ce qui permet la production d'électricité.

Les déchets ménagers de la commune sont actuellement acheminés à la SAIDEF. La chaleur produite par leur incinération est valorisée par l'intermédiaire de FRICAD. La part des déchets valorisés à la SAIDEF provenant de Fribourg s'élevait en 2016 à **8'962.5 tonnes**, ce qui équivalait à un potentiel d'environ **24'302 MWh/an** de chaleur et **6'075 MWh/an** d'électricité.

L'hypothèse d'une augmentation de la production de déchets ménagers proportionnels à celle de la surface bâtie implique un potentiel supplémentaire de **7'000 MWh/an** de chaleur et **1'800 MWh/an** d'électricité à l'horizon 2035. Cependant la tendance au tri des déchets et à la réduction des emballages pourrait compenser partiellement cette augmentation.

La SAIDEF traite les déchets des Communes Fribourgeoises, Vaudoises et même Bernoises pour une faible part. L'usine d'incinération située à Posieux livre actuellement via Fricad I et Fricad II : 55 GWh/an d'électricité et 70 GWh/an de chaleur, le potentiel total pour la chaleur est d'environ 160 GWh/an, celui-ci pourra être exploité avec la mise en place de Fricad III.

7.2.3 DÉCHETS ORGANIQUES

Les déchets organiques sont composés des déchets de cuisine, de jardinage, de déchets agricoles (légumes, fumier, lisier, etc.) et éventuellement de déchets industriels (issus de l'industrie agro-alimentaire, par exemple). Ces déchets peuvent être méthanisés afin de produire du biogaz. Il en résulte également un compost de bonne qualité qui peut être utilisé comme engrais. Le biogaz ainsi produit peut être utilisé de différentes manières :

- Combustion sur place pour une production de chaleur couplée éventuellement à une production d'électricité (CCF).
- Injection dans le réseau de distribution de gaz. Une telle opération nécessite un nettoyage du biogaz afin d'en éliminer les impuretés.
- Utilisation pour des véhicules fonctionnant au gaz.

La collecte des déchets verts ainsi que des points de collecte actuellement en place permettent de récolter une partie des déchets organiques. La quantité collectée sur la commune est actuellement d'environ 2'700 tonnes, la moitié de ces déchets sont acheminés à la société Fricompost à Posieux où ils sont valorisés par compostage (1'200 t en 2017)

²⁰ http://www.fr.ch/sff/fr/pub/organisation_sff/organigramme/arrondissements/arrondissement1/bois-energie.htm

et transformés en terreau et, l'autre moitié est transportée à Aarberg pour méthanisation où ils sont valorisés en biogaz (1'300 t en 2017, soit environ 0.2 GWh d'électricité et 0.4 GWh de chaleur par combustion dans un CCF).

En considérant qu'une part des déchets organiques issus des ménages, des restaurants et des cantines n'est actuellement pas valorisée dans les installations mentionnées ci-dessus, un ramassage ou une collecte de ceux-ci devrait être étudié afin d'en améliorer le bilan. Les estimations de Greenwatt, présentent un potentiel de déchets méthanisables sur place de 6'000 t/an, soit, après méthanisation et combustion dans un CCF, une production de 0.8 GWh d'électricité et 1.6 GWh de chaleur.

A l'horizon 2035, l'augmentation tendancielle (estimation proportionnelle à l'augmentation de population) de 1'500 tonnes, ne suffit pas pour envisager une valorisation locale. Dans tous les cas, l'installation d'une centrale de méthanisation sur le territoire communal nécessiterait une étude technico-économique prenant en compte de nombreux paramètres supplémentaires.

7.2.4 BOUES D'ÉPURATION

Les boues produites dans les stations d'épuration (STEP), résultant du traitement biologique des eaux usées, peuvent être valorisées par l'intermédiaire de la biométhanisation qui permet de produire du biogaz, ou par incinération. Les boues déshydratées sont acheminées à la SAIDEF pour être incinérées d'où la chaleur est valorisée au travers de FRICAD pour le chauffage d'une partie de la commune de Fribourg.

Les gaz de digestion de la STEP communale sont valorisés grâce à la cogénération ou dans une chaudière (production annuelle d'environ 1,92 mio de m³) deux autres CCF fonctionnant au gaz sont installés. Ce système permet à la STEP de couvrir jusqu'à 45% de ses propres besoins en énergie électrique et contribue à couvrir ces besoins de chaleur. Le biogaz non utilisé sur place est injecté dans le réseau de gaz urbain (1,56 mio de m³ en 2016 soit environ 10 GWh/an²¹). Le potentiel supplémentaire, en considérant une augmentation de production de boues proportionnelle à l'augmentation de la surface bâtie, est de 0,5 mio de m³ par an en 2035 soit environ 3.5 GWh.

La centrale est également alimentée par les gaz de digestion du petit lait provenant directement de Crema et du sang des abattoirs de Micarna.

Une étude technico-économique pourrait évaluer la possibilité d'aménager l'installation de digestion afin de valoriser d'autres produits organiques : déchets verts actuellement compostés, feuilles mortes et déchets de taille des parcs publics, déchets issus de l'agriculture ou de l'industrie agro-alimentaires. Cette étude évaluerait également les ressources dans un périmètre élargi et tiendrait compte des prescriptions en matière de co-substrats issus des STEP.

8 REJETS THERMIQUES

8.1 VALORISATION ACTUELLE

Aucune installation de valorisation de rejets thermiques n'a été formellement répertoriée et caractérisée à ce jour. Cependant, des études de valorisation de récupération de chaleur sur les eaux usées ont déjà été effectuées (CREM et PLANAIR) et un potentiel de rejets thermiques issus certaines industries ont été identifiés. Un micro CAD a été identifié, utilisant les rejets de chaleur de X, il permet de chauffer certains bâtiments voisins. L'existence d'un potentiel résiduel sur ce micro CAD est inconnue.

8.2 ÉVALUATION DU POTENTIEL

8.2.1 CHALEUR DES EAUX USÉES

L'ECS, une fois utilisée, est envoyée dans le réseau d'évacuation des eaux usées (EU) alors qu'elle contient encore une quantité d'énergie qui pourrait être valorisée. Ainsi, il est possible de récupérer une partie de cette chaleur perdue à l'aide d'installations de différents types :

²¹ Hypothèse : 70% de méthane dans le biogaz produit

- Échangeurs de chaleur dans le bâtiment (uniquement possible dans les bâtiments de grande taille) ;
- Pose d'échangeurs de chaleur dans les conduites d'eaux usées. Pour des raisons techniques et de rentabilité économique, les conduites éligibles sont les conduites rectilignes d'au moins 20m, un diamètre minimal de 50cm et un débit par temps sec minimum de 15l/s ;
- En sortie de STEP, après le traitement des eaux usées, des échangeurs de chaleur récupèrent la chaleur des eaux épurées dont la température est généralement égale à la température en entrée de STEP.

La valorisation des rejets peut se faire de manière monovalente, bivalente ou multivalente (cf. Annexe IV) mais dans tous les cas une PAC est nécessaire. Ce type d'installation est donc à privilégier pour des bâtiments ne nécessitant pas des niveaux de température trop élevés.

8.2.1.a Récupération de chaleur dans les collecteurs

La récupération de chaleur sur les conduites d'eaux usées est une technique intéressante car elle permet généralement de valoriser de l'énergie thermique située directement à proximité de bâtiments d'habitation ou administratifs. Il faut néanmoins prêter attention à ne pas trop abaisser la température à l'entrée de la STEP de manière à perturber le traitement biologique.

Un certain nombre de collecteurs, dont les caractéristiques correspondent aux minimas requis pour valoriser l'énergie des eaux usées, ont été identifiés (cf. carte dédiée à l'Annexe X). L'absence d'information concernant les débits et les températures ne permet pas d'évaluer de potentiel chiffré d'énergie exploitable.

8.2.1.b Récupération de chaleur après traitement des eaux usées

Une étude du CREM effectuée en 2013 estimait que le potentiel de production de chaleur issue des eaux usées de la STEP de Fribourg serait de 46 GWh par an²². L'exploitation de cette chaleur au travers d'un CAD permettrait un approvisionnement en chaleur et en ECS pour certains quartiers proches de la STEP. La mise en œuvre d'un tel système est actuellement à l'étude par Groupe E Celsius (potentiel retenu de 34 GWh/an) pour l'alimentation du nouveau quartier des Hauts de Schiffenen. Suite à cette étude, le potentiel et les particularités d'un tel système pourront sûrement être précisés.

8.2.2 REJETS THERMIQUES INDUSTRIELS

Cette même étude a estimé les rejets thermiques issus des 200 industries classées parmi les plus gros consommateurs énergétiques du canton. A l'échelle cantonale, l'étude évalue les rejets d'eau chaude entre 10 et 50°C à 6.2 GWh/an, les rejets de vapeur d'eau entre 80 et 100°C à 4.2 GWh/an et les rejets d'effluents gazeux exploitables à environ 5.6 GWh/an. A l'échelle communale seule un site industriel a été identifié. Le potentiel de récupération de chaleur a été estimé à 845 MWh/an, il sera valorisé prioritairement en interne.

Des preneurs de froid ont également été identifiés, ce qui implique généralement des rejets de chaleur. La température des rejets dépend du type d'utilisation du froid (rafraîchissement ou process froid) et de la nature des process.

9 ENERGIES DE RÉSEAUX

9.1 RÉSEAU DE GAZ

Le réseau de gaz de Groupe E Celsius approvisionne l'ensemble du territoire. D'après les données du fournisseur, le réseau fournit, en 2016, 285 GWh, dont 218 GWh pour le chauffage. Le gaz fournit au CAD n'est pas compris. Les consommations par adresses n'étant pas à disposition, elles ont pu être estimées grâce aux données du RegBL, puis globalement validées par le fournisseur. La consommation estimée pour le chauffage des bâtiments est de 241 GWh/an. Cette différence de 10% avec la consommation réelle n'est pas significative, elle est probablement due en partie aux hypothèses de calcul des besoins de chaleur et en partie aux variables climatiques. Le gaz permet de satisfaire 53% des besoins de chaleur pour le chauffage des bâtiments (chauffage + ECS).

²² CREM, 2013 ; Valorisation des rejets de chaleur ; Service de l'énergie SdE, Etat de Fribourg

D'origine fossile, le gaz naturel émet, à quantité d'énergie égale, 20% de CO₂ en moins que le mazout. De plus, le gaz permet de s'affranchir de la problématique de la livraison par camion. Enfin, du biogaz peut être injecté dans le réseau afin d'améliorer le bilan environnemental de ce vecteur énergétique. Le potentiel de production locale existe mais il est limité au regard de la consommation actuelle. Dans ce sens, l'industrie gazière suisse s'est fixé pour objectif d'atteindre environ 30% de gaz renouvelable en 2030 (Association Suisse de l'Industrie Gazière, 2017). La part de biogaz dans le réseau était d'environ 1% en 2016 et ce, principalement en recourant à l'achat de certificats étrangers. L'objectif de 30% paraissant à ce jour fort optimiste, le taux de biogaz dans le réseau à l'horizon 2035 a été fixé à 10%, en accord avec la Ville de Fribourg.

Le gaz devrait être utilisé prioritairement pour les process industriels ainsi que pour la mobilité de par sa flexibilité d'utilisation et les niveaux de température pouvant être atteints lors de sa combustion. Néanmoins, pour les raisons évoquées dans le paragraphe ci-dessus, le gaz peut être considéré à court ou moyen terme comme un agent énergétique de transition et son utilisation, devrait être encouragée en remplacement du mazout lors d'un changement de chaudière, lorsqu'aucune alternative renouvelable n'est envisageable. De plus, Il peut également servir d'appoint à certaines énergies renouvelables, pour des systèmes individuels (par ex. solaire thermique) ou pour des CAD afin de couvrir les pointes de puissance.

9.2 RÉSEAUX DE CHAUFFAGE À DISTANCE

Plusieurs réseaux de chauffage à distance existent sur le territoire de la commune. Actuellement aucun CAD n'est majoritairement approvisionné avec des énergies renouvelables. Dans ces conditions l'inscription de l'obligation de raccordement dans le règlement de construction n'est pas autorisée par la loi. Le projet de développement du réseau FRICAD III par Groupe E Celsius devra permettre d'augmenter la part de renouvelable. En effet il prévoit l'interconnexion des îlots de CAD dans l'agglomération de Fribourg ainsi que l'implantation de nouvelles productions d'énergie thermique renouvelable (cf. Annexe XI).

10 PROMOTION DE L'EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE

La promotion de l'efficacité énergétique peut passer par de nombreux axes qui sont repris dans le scénario d'approvisionnement (cf. 0

Scénarios), soit :

- Le développement des projets de réseaux énergétiques, qui permettent un approvisionnement durable de manière efficiente et à grande échelle ;
- La régulation ou le changement des installations de chaleur individuelles afin d'atteindre de meilleurs rendements. Lorsque cela est possible le remplacement d'une installation fossile devrait se faire par une technologie utilisant des ressources locales et renouvelables ;
- La rénovation énergétique des bâtiments, permettant d'atteindre de fortes économies d'énergie ;
- Le remplacement des équipements électriques (en fin de vie prioritairement) par des équipements présentant une meilleure classe d'efficacité énergétique (moteurs électriques, lumières, électroménager, électronique,...) ;
- La mise en place d'intelligence dans la gestion des équipements et des bâtiments ;
- La mise en place du suivi énergétique et de l'optimisation énergétique ;
- L'adoption d'éco-gestes afin de ne pas gaspiller l'énergie.

Une série d'actions, organisées selon 3 axes, est donnée dans le tableau suivant à titre d'exemple :

Projets de réseaux énergétiques	Installations de chaleur individuelles	Rénovation
Etudier la faisabilité des projets identifiés et leurs modes de financement	Favoriser les études (devis) pour un changement de système énergétique	Favoriser les audits énergétiques avec estimation du coût des travaux et leur rentabilité
Motiver le raccordement des bâtiments dans les Secteurs recommandés	Motiver le remplacement de système énergétique des bâtiments selon la stratégie retenue	Planifier la rénovation des bâtiments publics
Cibler les bâtiments concernés selon le délai d'assainissement de leur chaudière		Cibler les bâtiments prioritaires à une rénovation
Favoriser l'association de la rénovation et du changement de leur système de chauffage		
Aider financièrement les actions recommandées (rénovation, changement de système de chauffage, installations PV, ...)		
Informers des programmes de subventionnement et réaliser des campagnes de sensibilisation		
Fournir des conseils personnalisés	Communiquer sur la stratégie énergétique retenue et les recommandations pour chaque bâtiment	

Tableau 4 : Exemples d'actions recommandées pour chaque axe

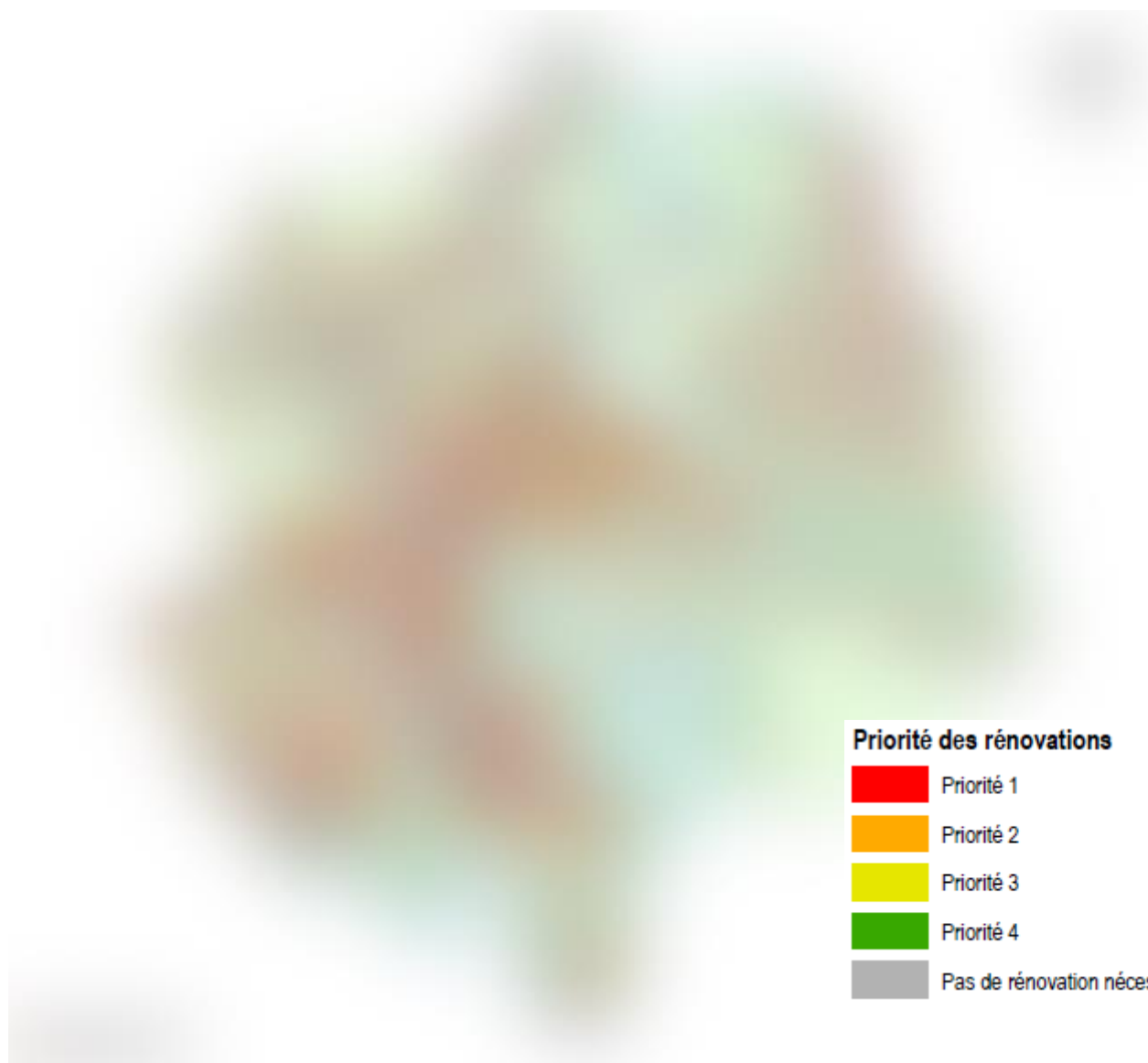
Afin d'identifier les opportunités concrètes de rénovation, les bâtiments les plus intéressants pour la rénovation sont identifiés selon 3 critères :

- Leur époque de construction : seuls les bâtiments construits avant l'an 2000 sont considérés car il est quasiment certain qu'ils n'ont pas été construits d'après les standards SIA ou Minergie actuels ;

- Leurs besoins de chaleur spécifiques par m² ;
- Leurs besoins de chaleur totaux (afin de prioriser les grands consommateurs).

L'attribution des priorités découle de la pondération des besoins de chaleur totaux par les besoins de chaleur spécifiques. Ainsi, un grand bâtiment (ayant des besoins totaux de chaleur importants) ne sera pas forcément plus intéressant à rénover qu'un bâtiment de taille plus réduite ayant des besoins spécifiques plus élevés. La figure 30 montre que la majorité des bâtiments devraient être rénovés, selon une périodicité à moyen terme.

La carte des bâtiments classés selon les priorités de rénovation est disponible à l'Annexe X.



POTENTIELS ÉNERGÉTIQUES DE LA RÉGION ET DIAGRAMME DE SANKEY

Le tableau suivant résume les potentiels énergétiques identifiés sur le territoire communal décrits dans les chapitres précédents. Sauf mention particulière, le potentiel énergétique correspond au potentiel mobilisable identifié (énergie pouvant être techniquement exploitée). Les valeurs sont toutefois à prendre avec précaution car elles dépendent de sources très hétérogènes et de qualité variable, prenant en compte ou non les possibles variations saisonnières. De plus, les potentiels identifiés n'intègrent pas tous les critères limitants l'exploitation. Par exemple, à ce stade, les considérations économiques liées à leur exploitation ne sont pas prises en compte. **Des études d'impact et technico-économiques sont donc recommandées afin d'affiner les potentiels socialement, environnementalement, économiquement et techniquement exploitables.**

Nature de l'énergie	Potentiel énergétique (2016)	Remarques	Energie déjà exploitée
Electricité			
Eolien	36 GWh/an (Parc éolien des collines de Sonnaz)	Potentiel maximal identifié sur le territoire d'une commune limitrophe (projet encore loin d'abouti).	-
Solaire PV en toiture	78 GWh/an	Potentiel mobilisable en tenant compte des toitures intéressantes, bien exposées (cf. hypothèses).	2 GWh/an
Hydroélectricité sur les cours d'eau	62 GWh/an	Le développement de nouvelles centrales est considéré comme nul.	62 GWh/an
Hydroélectricité sur le réseau d'eaux usées	Puissance estimée 156 kW	Potentiel mobilisable dont la faisabilité doit tout particulièrement être précisée par une étude plus détaillée.	-
Déchets ménagers via CCF	6 GWh/an pour les déchets provenant de la Ville 55 GWh/an pour les déchets incinérés à la SAIDF	Basé sur les quantités de déchets connus. Le potentiel peut évoluer selon les quantités de déchets produites et collectées.	6 GWh/an 55 GWh/an
Déchets organiques via CCF	0.8 GWh ²³	Actuellement sur le potentiel de 6'000 tonnes identifié, 2'500 tonnes sont collectés par la Ville. Une moitié est compostée et l'autre moitié est valorisée en biogaz hors du territoire.	0.2 GWh/an ²⁴ hors du territoire

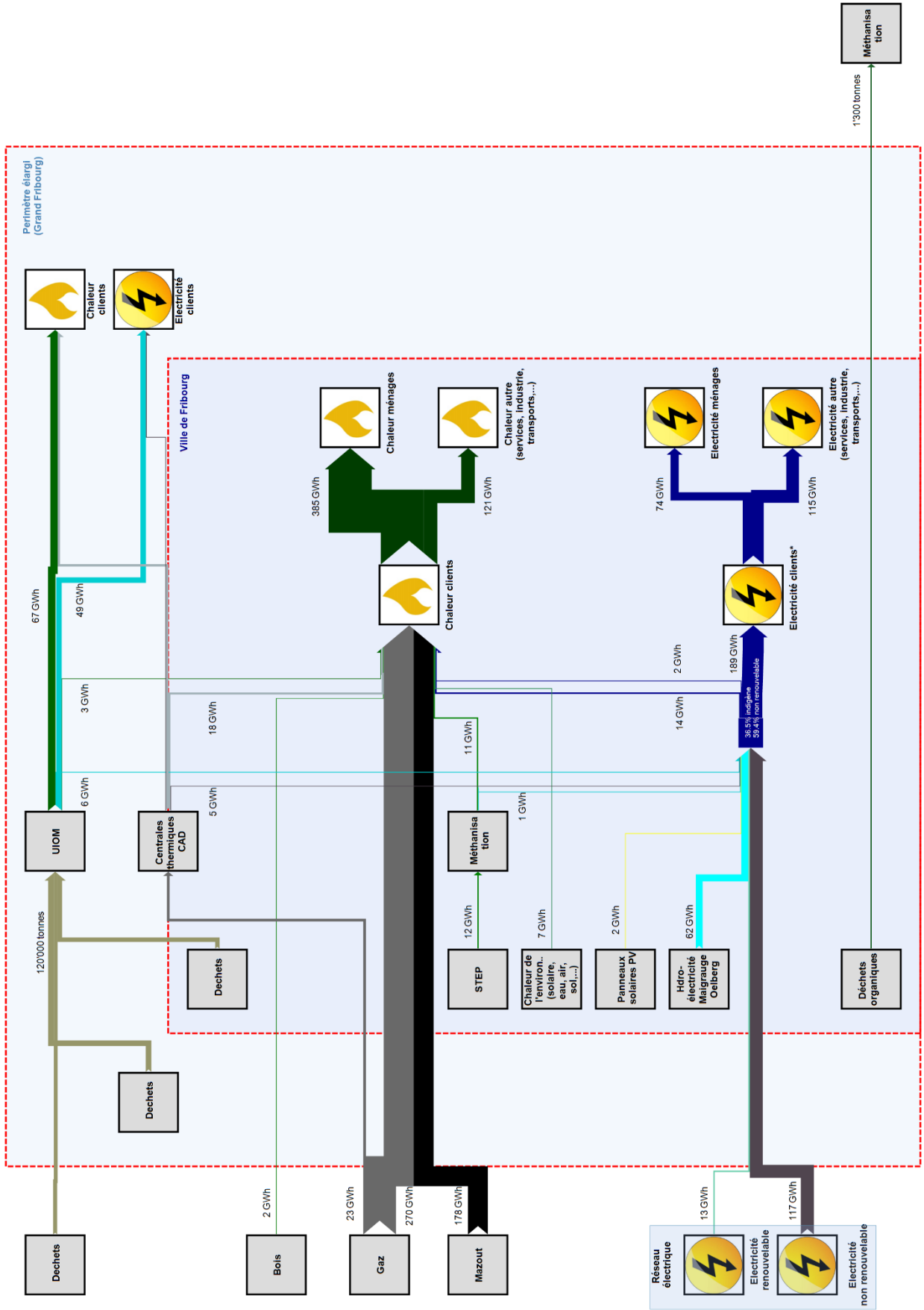
²³ D'après le document « Utilisez l'énergie de vos déchets ! », OFEN ; 1 tonne de déchets méthanisables correspondent à 100 m³ de biogaz qui, valorisé dans un CCF fournit environ 150 kWh d'électricité et 300 kWh de chaleur.

²⁴ En 2017, 1200 t de déchets organiques sont compostés et 1300 t sont méthanisés à Aarberg

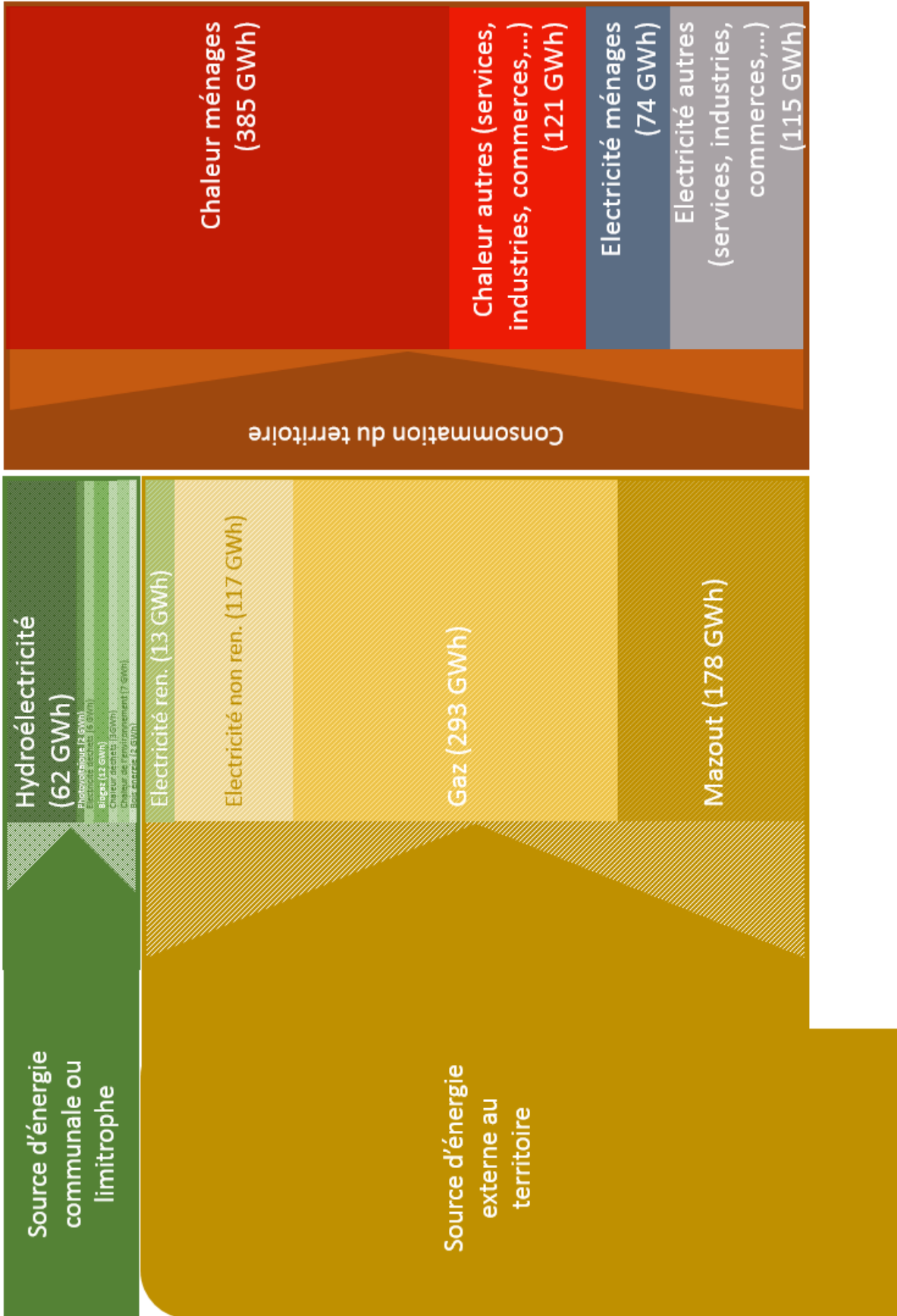
Chaleur			
Solaire TH en toiture	107 GWh/an	Potential mobilisable en tenant compte des toitures intéressantes, bien exposées et des bâtiments ayant des besoins de chaleurs (cf. hypothèses).	0.9 GWh/an
Hydrothermie sur la Sarine y compris lac de Pérolles	3000 GWh/an (estimation EAWAG) sur la Sarine	Le potentiel global et théorique identifié par EAWAG sur la Sarine. La faisabilité de cette exploitation nécessite une étude plus détaillée.	-
SGV	595 GWh/an	Potential mobilisable maximal qui tient compte des surfaces construites. Ceci-dit toute étude (mesure) plus précise sur la nature du sous-sol peut modifier ce potentiel (cf. hypothèses).	4.5 GWh/an
Déchets organiques via CCF	1.6 GWh/an	Actuellement sur le potentiel de 6'000 tonnes identifié, 2'500 tonnes sont collectés par la Ville. Une moitié est compostée et l'autre moitié est valorisée en biogaz hors du territoire.	0.4 GWh/an
Bois-énergie	12.6 GWh/an (au sein de la corporation Forêt-Sarine) 23.8 GWh/an (en considérant tout le 1 ^{er} arrondissement forestier)	Le potentiel maximal identifié basé sur différents facteurs liés à l'exploitation forestière. Le potentiel réaliste peut s'avérer inférieur à cette estimation selon les facteurs d'exploitation retenus.	1.3 GWh/an
Boues d'épuration	12.3 GWh/an	Potential basé sur la production actuelle de boues d'épuration (1.92 mio de m ³). 1.56 mio de m ³ de biogaz introduit dans le réseau de gaz	10 GWh/an
Déchets ménagers via CCF	24 GWh/an pour les déchets provenant de la Ville 160 GWh/an pour les déchets incinérés à la SAIDEF	Basé sur les quantités de déchets connus. Le potentiel peut évoluer selon les quantités de déchets produites et collectées.	24 GWh/an 70 GWh/an via FRICAD I et II
STEP	46 GWh/an de chaleur	Potential théorique dépendant de nombreux paramètres techniques (distance aux usagers, température des besoins, COP des PAC...). La faisabilité de cette exploitation mérite particulièrement une étude plus détaillée.	-

Tableau 4 : Potentiels énergétiques de la région et part exploitée.

Diagramme de Sankey Ville de Fribourg 2016



* La composition de l'électricité renouvelable distribuée aux clients est dépendante de leur contrat. Le mix électrique est défini, le mix distribué aux clients en termes de parts d'électricité renouvelable et non renouvelable indépendamment de la composition de l'énergie renouvelable. Il est supposé que l'énergie locale est distribuée sur la ville, d'un point de vue contractuel ce n'est pas le cas.



Partie C : SCÉNARIOS

L'approche par scénario permet à la planification énergétique de donner une vision détaillée de l'approvisionnement énergétique à moyen-long terme. Le scénario est établi en deux étapes.

- La première étape consiste à simuler les besoins énergétiques futurs en fonction de paramètres d'évolution urbaine. En effet, faire de la planification sur la base de la situation actuelle, c'est prendre le risque d'avoir un train de retard.
- La deuxième étape consiste à établir des concepts énergétiques spatialisés permettant de satisfaire les besoins calculés lors la première phase. Ces concepts intègrent des solutions d'approvisionnement favorisant autant que possible les ressources renouvelables locales disponibles tout en proposant un éventail de solution techniques possible et en identifiants les opportunités du territoire

Le scénario retenu ainsi que des extraits de cartes correspondants sont présentés au chapitre 2 de cette partie. Par ailleurs toutes les cartes sont disponibles au format A3 à l'Annexe X

1 BESOINS ÉNERGÉTIQUES FUTURS

Des besoins énergétiques futurs sont calculés sur la base de l'état des lieux décrit dans la partie A du présent rapport et d'une estimation de la réserve de zone à bâtir disponible. Des paramètres concernant la rénovation, les normes de construction ou encore les taux de saturation sont fixés pour chacun des deux scénarios en fonction des zones urbaines. Ces zones urbaines sont découpées de manière à avoir des caractéristiques de développement urbain relativement homogènes au sein d'une même zone. Pour ce faire, les éléments suivants ont été analysés :

- Plan d'affectation (aménagement du territoire)
- Caractéristiques du bâti
- Développements futurs (plans de quartier ou plans de développement)

La configuration de la commune a permis une décomposition en cinq zones urbaines dont les frontières sont définies principalement par des changements de caractéristiques du bâti (affectation des bâtiments, époque de référence, etc.).

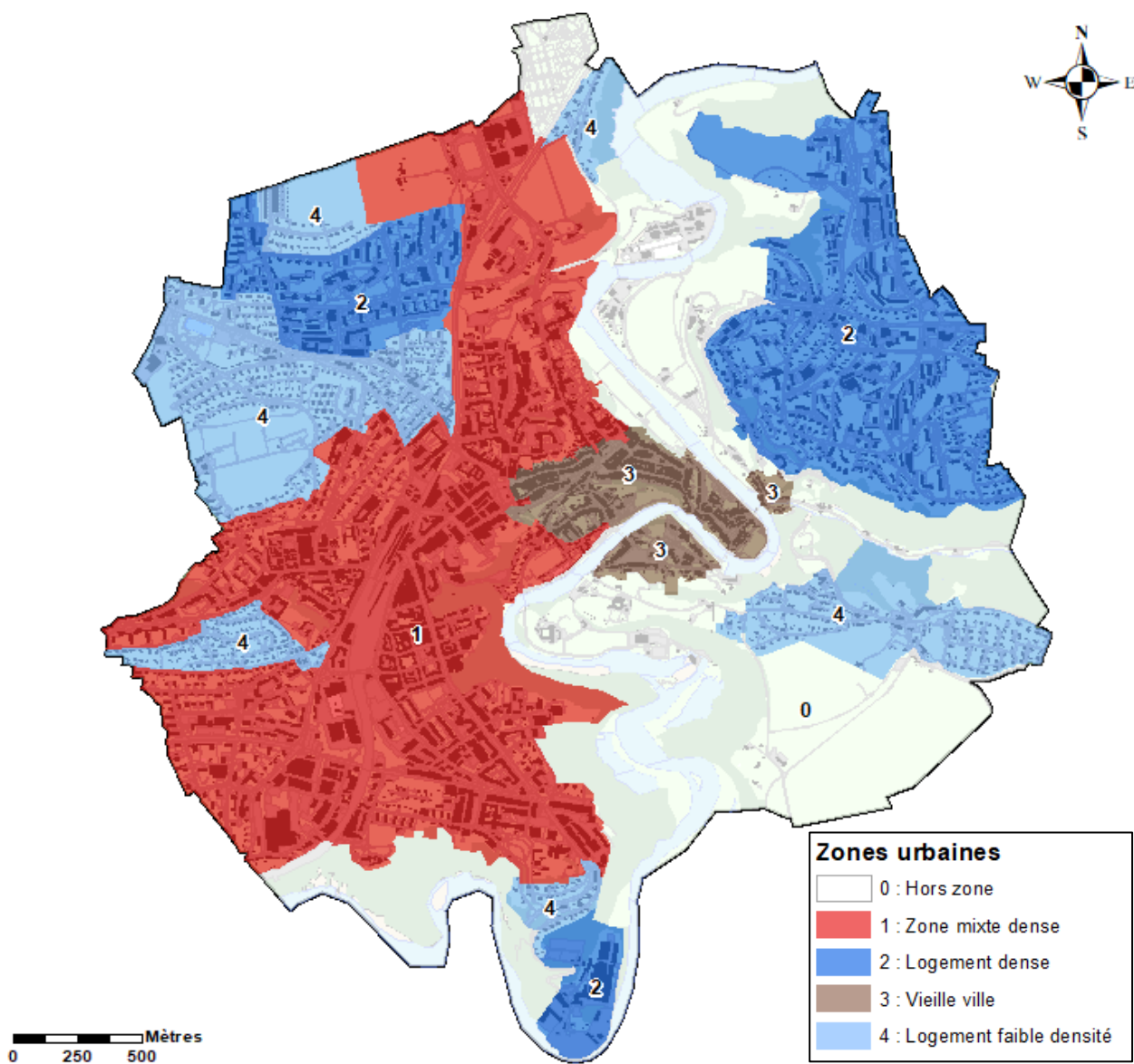


Figure 30 : Découpage du territoire communal en zones urbaines

Les besoins énergétiques (chaleur et électricité) des projets de développement urbain connus ont été calculés d'après les informations des dossiers de mise à l'enquête fournies par le service d'urbanisme et intégrés aux bilans énergétiques. Les caractéristiques des projets se trouvent à l'Annexe IX. Une représentation de l'étendue de ces projets est disponible ci-dessous.



Figure 31 : Projets de développement urbain

1	parcette 6483	13	parcette 8087		
3	parcette 7069	14	parcette 10015		
4	parcette 7070 (Condensateur)	15	parcette 10046		
5	parcette 7086 (Condensateur)	16	parcette 10156	23	parcette 14319
6	parcette 7100 (Parc de la Fondrie)	17	parcette 10219	24	parcette 14405
8	parcette 7117	18	parcette 10248	25	parcette 14452
9	parcette 7209	19	parcette 10262	26	parcette 7036 (Arsenaux)
10	parcette 7210	20	parcette 11127	27	parcette 7037 (Arsenaux)
11	parcette 7350	21	parcette 14104	28	parcette 7106 (Arsenaux)
12	parcette 7362	22	parcette 14188	33	parcette 7202 (Tour de l'esplanade)

1.1 DÉVELOPPEMENT FUTUR DU TERRITOIRE ET EXPLICATION DES CALCULS

Afin de simuler au mieux l'évolution des besoins énergétiques, les paramètres de développement urbain sont adaptés à la configuration du territoire. Ainsi, un jeu de paramètres de développement urbain est appliqué à chaque zone urbaine (cf. figure 33).

Les besoins actuels couplés à ces paramètres permettent de calculer les besoins futurs pour les bâtiments existants ainsi que pour les parcelles constructibles. Cette démarche est illustrée ci-dessous.

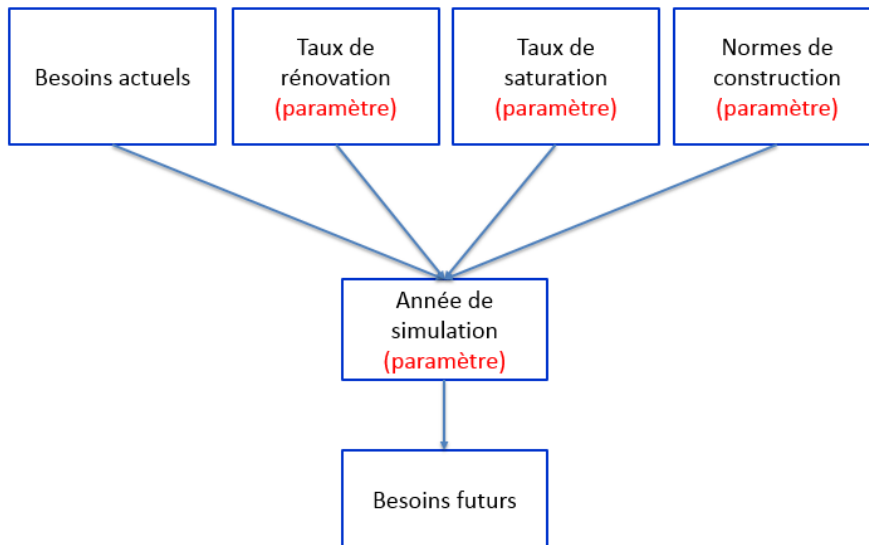


Figure 32 : Méthode de simulation des besoins futurs

- L'année de simulation retenue pour cette étude est **2035**. L'année 2020 prévue par la Confédération pour l'application d'une première série de mesure (Horizon 2020, Concept SuisseEnergie 2013-2020) est trop proche pour être considérée dans une étude de planification énergétique territoriale. L'année 2050 (Stratégie Energétique 2050) semble quant à elle trop lointaine. L'année 2035 a été choisie en fonction des années de référence des bilans de la société à 2'000 Watts (2035 et 2050) et du temps d'amortissement d'un réseau thermique ici considérée à 20 ans (4 à 5 ans pour la mise en œuvre et environ 15-20 ans pour le retour sur investissement). D'autre part, ce délai permet une révision du Plan d'affectation (révision des zones à bâtir).
- La saturation des zones à bâtir d'ici à 2035 est estimée en fonction des caractéristiques propres à chaque zone.
- Les normes de construction à choix sont les normes SIA, Minergie ou Minergie-P.
- Les taux de rénovation ont été déterminés en accord avec les partenaires d'étude et la Ville.

Les besoins énergétiques futurs sont calculés en fonction des divers paramètres décrits ci-dessus et résumés dans le Tableau 5, ainsi que de paramètres appliqués aux différentes zones du plan d'affectation (disponibles à l'Annexe VIII). Des besoins sont calculés sur les parcelles constructibles actuellement vides, ainsi que sur certaines parcelles partiellement construites. Les paramètres de sélection de ces dernières sont décrits à l'Annexe IV. La figure 34 montre les parcelles constructibles actuellement vides.

Zone urbaines	Taux de saturation prévu en 2035	Standard énergétique pris en compte
0	20%	Minergie
1	60%	Minergie
2	60%	Minergie
3	60%	Minergie
4	40%	Minergie

Tableau 5 : Paramètres de simulation des besoins futurs par zone urbaine



Figure 33 : parcelles constructibles actuellement vides

Les besoins de chaleur futurs pour l'ECS et les besoins électriques hors chaleur futurs ne changent qu'en fonction de la surface de référence énergétique prévue (traduisant l'augmentation de la population). L'augmentation de la SRE dépend des coefficients d'utilisation des sols et des taux de saturation fixés. Le comportement humain n'étant pas pris en compte, les besoins de chaleur futurs pour l'ECS et les besoins électriques hors chaleur futurs par m² de SRE ne fluctuent donc pas, quels que soient les autres paramètres considérés.

Le Tableau ci-dessous, décrit les taux de rénovation considérés.

Taux annuel de rénovation	
Rénovation de l'enveloppe	1%/an
Rénovation des installations techniques et de l'enveloppe (chaudière, enveloppe)	1.8%/an

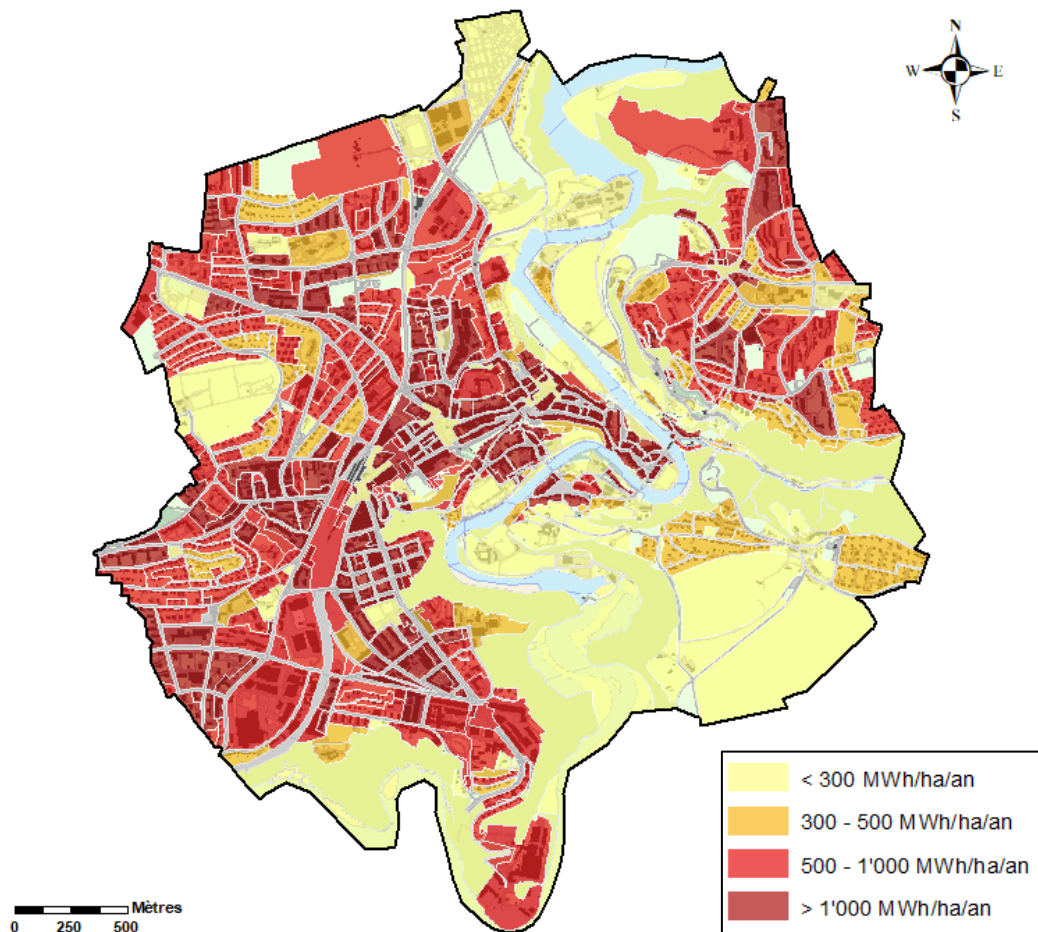
Tableau 6 : Taux de rénovation annuel des bâtiments estimé selon les scénarios

1.2 BESOINS FUTURS

Sur la base des paramètres présentés ci-dessus, les besoins énergétiques futurs (*Tableau*) ainsi que la densité des besoins de chaleur (*Figure 35*) ont été simulés. On constate que la réduction des besoins de chauffage dû à la rénovation permet de compenser une grande partie des besoins de chaleur des nouvelles constructions.

		Scénario		
Existant en 2016	SRE [m ²]	3.43 mio		
	Besoins en 2015 [GWh/an]	ECS	Chauffage	Electricité
		61	393	188
Existant en 2035	SRE rénovée d'ici à 2035 [m ²]	0.62 mio Soit 18 % du bâti existant ou l'équivalent de 17 bâtiments de logements collectifs par année		
	Besoins en 2035 [GWh/an]	ECS	Chauffage	Electricité
		60	342	186
Nouvelles constructions en 2035	SRE supplémentaire d'ici à 2035 [m ²]	0.99 mio		
	Besoins en 2035 [GWh/an]	ECS	Chauffage	Electricité
		18	35	26
Total de l'existant 2035 et des nouvelles constructions	SRE [m ²]	4.42 mio		
	Besoins totaux en 2035 [GWh/an]	ECS	Chauffage	Electricité
		78	377	212

Tableau 7 : Détail de l'évolution des besoins futurs



2 CONCEPTS D'APPROVISIONNEMENT ÉNERGÉTIQUES

2.1 PLANIFICATION ÉNERGÉTIQUE ET CONCEPTS D'APPROVISIONNEMENT

Un ensemble de concepts énergétiques a été imaginé en prenant en compte la situation énergétique, des ressources locales disponibles et de l'évolution de la demande. Ces concepts représentent des solutions d'approvisionnement énergétique utilisant diverses technologies et favorisant autant que possible l'utilisation des ressources renouvelables locales disponibles. Le but de ces concepts énergétiques est de donner une vision stratégique, par secteurs, permettant à la commune de se diriger vers ses objectifs énergétiques.

Si les concepts énergétiques proposés dans les scénarios d'approvisionnement visent à valoriser les ressources renouvelables du territoire en adéquation avec leur disponibilité et la demande, il n'est pas considéré que tous les bâtiments d'un secteur adoptent cette recommandation. En effet, certains bâtiments ne sont pas propices à l'utilisation du concept proposé, et pour ceux qui le sont, un certain taux de transition (taux de pénétration) est considéré.

Dans un premier temps, deux scénarios d'approvisionnement énergétiques de travail ont été élaborés et présentés à la Commune. Ces deux scénarios proposent chacun 8 concepts spatialisés sur la base du même découpage montré ci-dessous. Ils ont servi de base de discussion, ont permis d'investiguer plus avant la faisabilité des concepts envisagés et de préciser le niveau d'ambitions de la Commune.

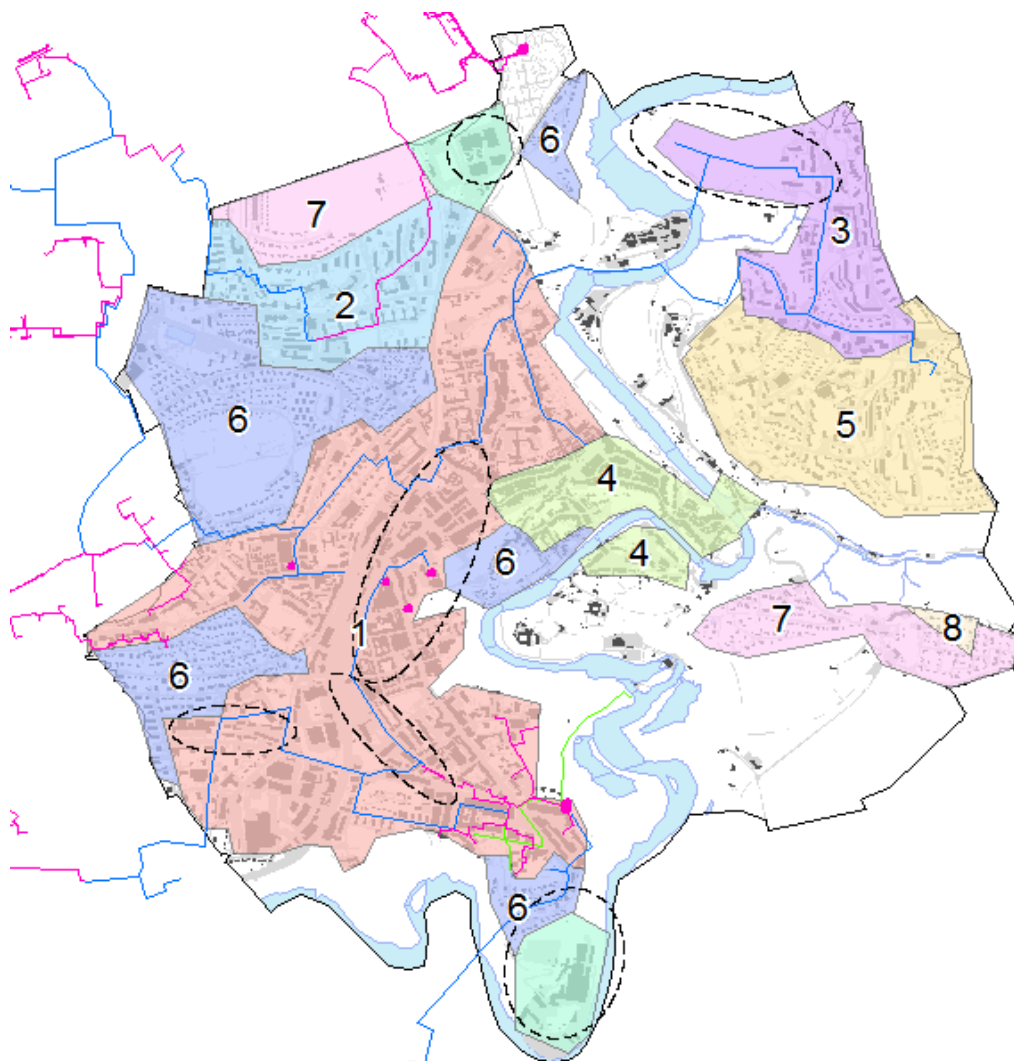


Figure 35 : Découpage des concepts d'approvisionnement pour les scénarios de travail

2.2 SECTEURS D'ÉTUDE TECHNICO-ÉCONOMIQUE

En complément de la présente étude de planification énergétique territoriale, une étude technico-économique sur des secteurs à fort enjeux a été menée. Dans ce contexte, les secteurs d'intérêt ont été identifiés et les données de base nécessaires à la caractérisation des besoins énergétiques, transmises. Les secteurs retenus pour l'étude technico-économique sont montrés ci-dessous.



Figure 36 : Secteurs d'étude technico économique

Le *Tableau 8* résume les critères qui ont motivé la sélection des quartiers pour l'étude technico économique. Deux autres secteurs ont été envisagés : le quartier des hauts de Schiffenen au Nord et celui de la Pisciculture au sud. Ils n'ont pas été retenus car pour le premier, le concept énergétique est déjà avancé (CAD avec récupération des rejets thermique de la STEP) et pour le second, l'horizon temporel de réalisation est plus éloigné que celui de cette étude.

Les scénarios préliminaires élaborés dans le cadre de cette étude ont été pris en compte dans l'étude technico-économique. Celle-ci a proposé plusieurs variantes d'approvisionnement en quantifiant les impacts pour le cas où tous les besoins substitués (bâtiments existants) et tous les besoins des nouvelles constructions sont couverts par un seul concept d'approvisionnement.

Secteur	Critères	
Beaumont	<ul style="list-style-type: none"> • Forte densité de besoins • Proximité immédiate d'un CAD • Développement urbains prévus 	<ul style="list-style-type: none"> • Potentiel de substitution important • Ressources renouvelables à proximité directe (rejets thermique et eaux souterraines)
Arsenaux		<ul style="list-style-type: none"> • Bien-fonds partiellement en mains publiques
Centre		<ul style="list-style-type: none"> • Potentiel de substitution important • Travaux de voirie à venir • Potentiel de récupération de chaleur sur groupe de froid (centres commerciaux)
St-Léonard		<ul style="list-style-type: none"> • Potentiel de récupération de chaleur sur groupe de froid (patinoire)

Tableau 8 : Critère de sélection des quartiers d'étude technico-économique

2.2.1 CONCEPTS ÉNERGÉTIQUES DU SCÉNARIO D'APPROVISIONNEMENT RETENU

La carte ci-dessous (*figure 38*) représente les concepts énergétiques imaginés pour le scénario retenu. Quatre secteurs ont été définis : les secteurs A et B, sont concernés par le déploiement de réseaux de CAD avec des horizons de déploiement de à court ou moyen terme pour le secteur A et à moyen ou long terme pour le secteur B. Le secteur D concerne la vieille ville dans laquelle l'impossibilité technique de déploiement de grande envergure du réseau de CAD et l'accès limité aux ressources renouvelables a motivé l'adoption d'un concept basé sur le gaz comme agent de transition ; le secteur C couvre le reste du territoire propice à la mise en œuvre de systèmes individuels de valorisation des énergies renouvelables locales. Les recommandations d'approvisionnement pour chacune des zones, concernant les constructions existantes et les futurs bâtiments, sont décrites dans le *Tableau 9*.

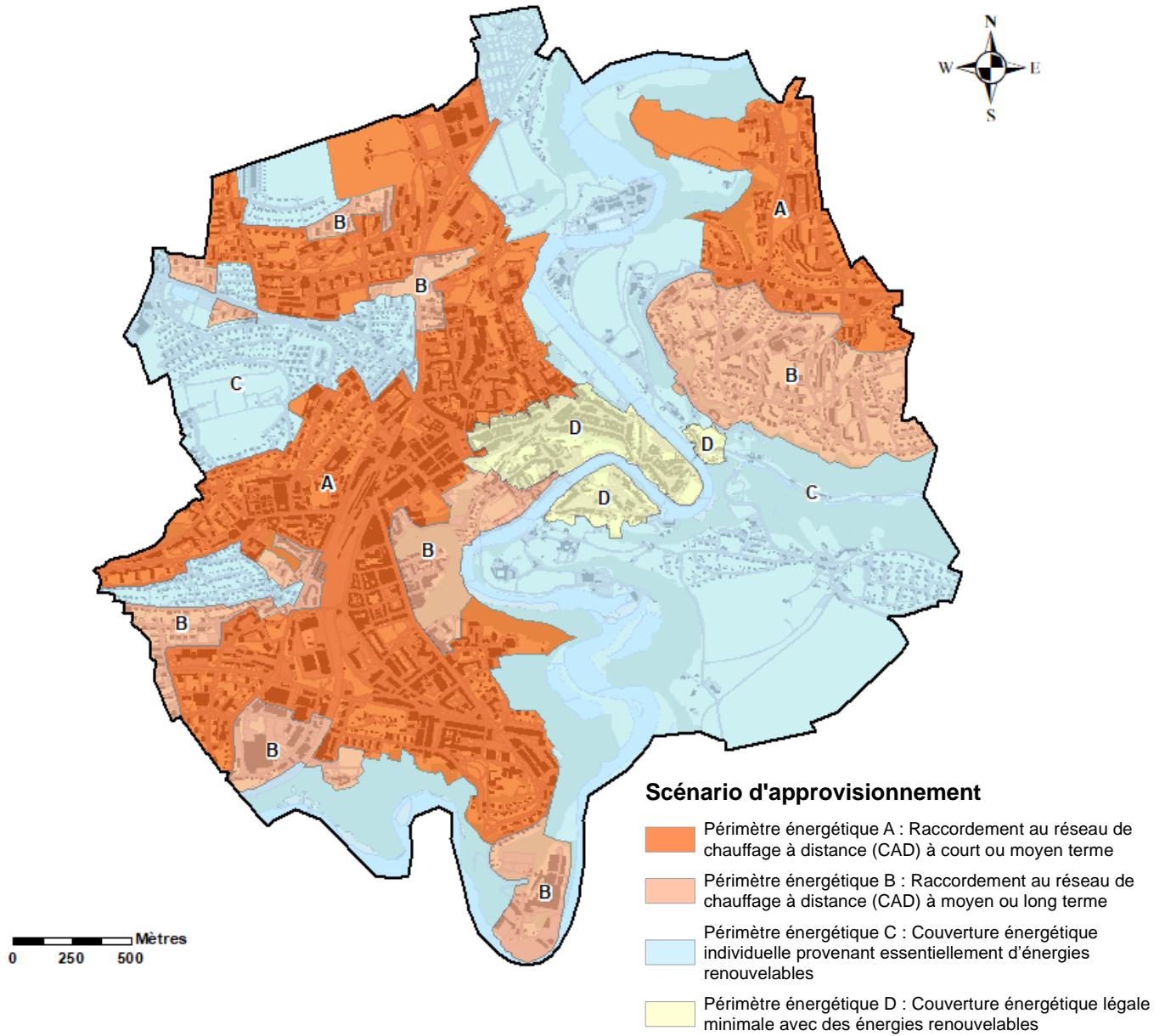


Figure 37 : Concepts énergétiques du scénario retenu

	Nouvelles constructions	Constructions existantes	Taux de raccordement	Précisions / Remarques
A	CAD		30%	<p>Secteur à obligation de raccordement au CAD : les bâtiments neufs et existants doivent couvrir leurs besoins de chaleur et d'ECS en se raccordant au réseau CAD. Si lors de la délivrance du permis d'occuper du bâtiment ou lors du changement de chaudière, l'avancement ne permet pas la fourniture d'énergie au point de raccordement, le distributeur alimente le raccordement sous une autre forme (par ex. contracting). La mise en service définitive du raccordement doit intervenir dans les 5 ans.</p> <p>Seuls les bâtiments dont les besoins sont couverts à 75% au moins par des énergies renouvelables peuvent déroger à l'obligation de raccordement. (bois-énergie autorisé pour les installations équipées d'un système d'épuration des fumées permettant de respecter les exigences de la législation sur la protection de l'air applicables aux installations d'une puissance supérieure à 500kW)</p>
B	CAD		17%	<p>Secteur à obligation de raccordement au CAD : les bâtiments neufs et existants doivent couvrir leurs besoins de chaleur et d'ECS en se raccordant au réseau CAD. Si lors de la délivrance du permis d'occuper du bâtiment ou lors du changement de chaudière, l'avancement ne permet pas la fourniture d'énergie au point de raccordement, le distributeur alimente le raccordement sous une autre forme (par ex. contracting). La mise en service définitive du raccordement doit intervenir dans les 10 ans.</p> <p>Seuls les bâtiments dont les besoins sont couverts à 75% au moins par des énergies renouvelables peuvent déroger à l'obligation de raccordement (bois-énergie autorisé pour les installations équipées d'un système d'épuration des fumées permettant de respecter les exigences de la législation sur la protection de l'air applicables aux installations d'une puissance supérieure à 500kW)</p>
C	Solutions individuelles de production d'énergie renouvelable ou CAD		-	<p>Dans ce secteur les bâtiments doivent couvrir leurs besoins de chaleur essentiellement par la production individuelle d'énergie renouvelables (par ex. thermie solaire, géothermie à faible profondeur, hydrothermie sur nappe et eau de surface, aérothermie, bois-énergie, dans la mesure où les normes de qualité de l'air peuvent être respectées) en fonction des contraintes et opportunités locales. Dans ce secteur, le raccordement au CAD est autorisé et doit être étudié au cas par cas.</p>
D	Solutions individuelles de production d'énergie renouvelable ou CAD	Solutions individuelles de production d'énergie renouvelable, CAD ou substitution du mazout par le gaz	-	<p>Dans ce secteur, pour les nouvelles constructions ou reconstructions, l'accent est à mettre sur les solutions individuelles de production d'énergie renouvelable (par ex. thermie solaire, géothermie à faible profondeur, hydrothermie sur nappe et eau de surface, aérothermie, bois-énergie autorisé pour les installations équipées d'un système d'épuration des fumées permettant de respecter les exigences de la législation sur la protection de l'air applicables aux installations d'une puissance supérieure à 500kW) en fonction des contraintes et opportunités locales. Concernant le parc existant, le réseau de gaz déjà en place doit permettre de substituer une partie des installations fonctionnant au mazout afin de mitiger les émissions dans la mesure où une solution individuelle à base d'énergie renouvelable n'est pas possible. Dans ce secteur, le raccordement au CAD est autorisé et doit être étudié au cas par cas.</p>

Tableau 9 : Détails des concepts énergétiques du scénario retenu

2.3 MISE EN ŒUVRE DU SCÉNARIO ÉNERGÉTIQUE

La mise en œuvre du scénario énergétique retenu pour la vision 2035 sur l'ensemble de la Ville, dans les 4 secteurs énergétiques retenus nécessitera de prendre en compte les contraintes liées au développement des équipements nécessaires. L'exploitation des énergies renouvelables et le développement des réseaux doit se faire de manière ambitieuse mais pragmatique et dans le respect du cadre légal en vigueur. La Ville de Fribourg sera particulièrement attentive concernant les points suivants :

- **Compétitivité** : Le développement des énergies renouvelables doit être favorisé. Néanmoins, des mesures ne peuvent être ordonnées que si elles sont réalisables sur le plan technique, sur le plan de l'exploitation et économiquement supportables ;
- **Bois énergie** : La Ville de Fribourg fait partie du plan de mesures concernant la protection de l'air, à ce titre les installations alimentées au bois doivent respecter des valeurs limites en matière d'émission d'oxydes d'azote et de particules solides plus sévères que dans les périmètres non concernés afin d'être subventionnables selon le plan de mesures cantonal concernant la protection de l'air²⁵. Les installations doivent respecter les exigences de la législation sur la protection de l'air. Dans les zones les plus denses et soumises aux taux d'émissions les plus élevés, toutes les installations devront respecter les exigences applicables aux installations d'une puissance supérieure à 500 kW.
- **Pompes à chaleur air-eau** : Ces installations peuvent générer des nuisances sonores. Il est important de s'assurer du bon respect des normes en la matière et du respect de l'état de l'art lors du choix de l'équipement et lors de son installation. Dans tous les cas l'ordonnance sur la protection du bruit doit être respectée.
- **Vestiges archéologiques** : La réalisation de fouilles lors du développement du CAD peut aboutir à la découverte de vestiges archéologiques. Le développement de ce réseau prendra en compte le respect des procédures en la matière le cas échéant.
- **Substance protégée** : La ville de Fribourg présente un grand nombre de sites et bâtiments protégés. Lors du développement du scénario énergétique une grande attention sera portée au respect du patrimoine. Concernant les fouilles aux abords et à l'intérieur des sites, des précautions particulières doivent être prises afin de ne pas mettre en péril le patrimoine (Le réseau de gaz a été mis en place sur tout le périmètre sans atteinte au patrimoine, il en doit en être de même pour le réseau de CAD). L'installation de panneaux solaires sera soumise aux procédures en vigueur (Directive concernant l'intégration architecturale des installations solaires thermiques et photovoltaïques), une attention particulière sera portée s'agissant de la bonne intégration de ces équipements.

²⁵ DAEC - Protection de l'air – révision du plan de mesures – Mesure M3 : Installations alimentés au bois

3 SYNTHÈSE ET BILAN DU SCÉNARIO D'APPROVISIONNEMENT

Bilan du scénario d'approvisionnement

Besoins de chaleur

L'application du scénario aux besoins énergétiques simulés permet de donner une image de l'approvisionnement futur. Le graphique de la Figure 38 permet de visualiser l'évolution de l'approvisionnement énergétique pour les besoins de chaleur sur la base du scénario d'approvisionnement retenu. La substitution des installations existantes par des énergies renouvelables locales tient compte du taux de rénovation des installations techniques ainsi que de la disponibilité spatiale et de la concurrence entre les ressources.

Pour l'approvisionnement futur le scénario tient compte de l'hypothèse des 10% de biogaz dans le réseau (cf. Partie B :9.1). La part de biogaz d'origine locale ou la part importée est difficile à estimer, c'est pourquoi la distinction n'est pas faite.

La consommation de bois du scénario (31 GWh/an) dépasse le potentiel local identifié et implique donc l'importation de bois au-delà du 1^{er} arrondissement forestier.

Dans le scénario, les besoins couverts par un raccordement au CAD représentent 21% du total (contre 4% aujourd'hui). La composition du CAD considérée est dérivée des données fournies par Groupe E Celsius reproduites à l'Annexe XI. Deux bilans détaillés en termes d'énergie finale, énergie primaire, énergie primaire non renouvelable et émission de GES sont donnés à l'Annexe VI²⁶. L'un sur la base du marquage électrique 2017 de la ville de Fribourg, l'autre sur la base d'un marquage 100% renouvelable afin de montrer l'impact du choix de l'approvisionnement électrique sur le bilan énergie-climat. Le changement de mix électrique entre 2015 et 2017 a permis d'améliorer sensiblement le bilan énergie-climat.

Une synthèse comparative (actuel 2016 vs. 2035) de l'approvisionnement des besoins en chaleur est donnée à l'Annexe VII.

²⁶ A noter que la part d'énergie désignée par « Autre agent énergétique » dans le tableau de l'Annexe VI est comptabilisée dans la part mazout de la Figure ci-dessous pour en simplifier la lecture.

Bilan du scénario d'approvisionnement

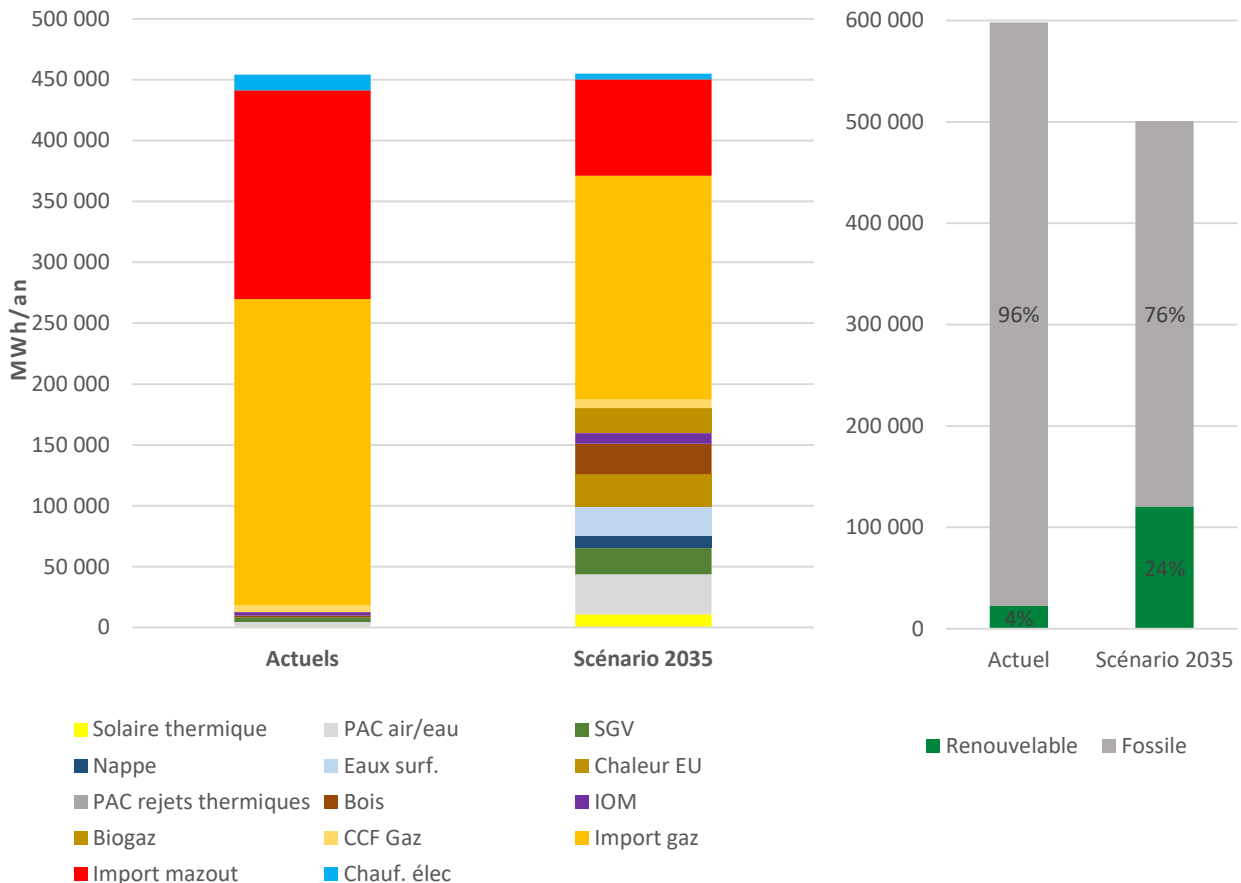


Figure 38 : Approvisionnement des besoins de chaleur (énergie utile) actuel et à l'horizon 2035, selon le scénario retenu. Le graphique de droite représente la part d'énergie primaire renouvelable des besoins de chaleur.

On constate, ici encore, que les besoins de chaleur des nouvelles constructions sont compensés par la réduction des besoins du parc existant dû à la rénovation. La part d'énergie renouvelable du scénario d'approvisionnement est exprimée en énergie primaire. Ceci permet une prise en compte plus complète des impacts énergétiques (énergie grise). En effet, même une installation de chauffage généralement qualifiée de renouvelable (par exemple une chaudière à bois, ou une SGV) implique pour sa fabrication et son exploitation l'utilisation de ressources non renouvelables. L'énergie primaire permet de tenir compte de cet état de fait.

La substitution d'une part importante des énergies fossiles par des ressources renouvelables ainsi qu'une réduction de près de 100 GWh/an en énergie primaire sont mises en lumière dans le graphique de droite.

Néanmoins les énergies fossiles constituent encore une part considérable de l'approvisionnement énergétique à l'horizon 2035. Le renouvellement des installations devra se poursuivre au-delà de cet horizon.

Besoins en électricité

Le graphique ci-dessous décrit l'évolution des consommations et des productions électriques pour les situations évaluées (actuelle, scénario 2035). Pour chacune d'entre elles, la colonne de gauche représente la répartition des consommations par poste alors que celle de droite représente l'approvisionnement en électricité. Est considérée comme électricité importée celle qui n'est pas produite sur le territoire communal. Bien que le courant produit localement ne soit pas forcément consommé sur le territoire communal, cette représentation permet de visualiser la contribution du territoire à la production indigène de courant. La représentation ci-dessous montre ainsi qu'environ 33% de l'électricité est issue de production locale à ce jour. Cette proportion passera à quelques 40% en 2035.

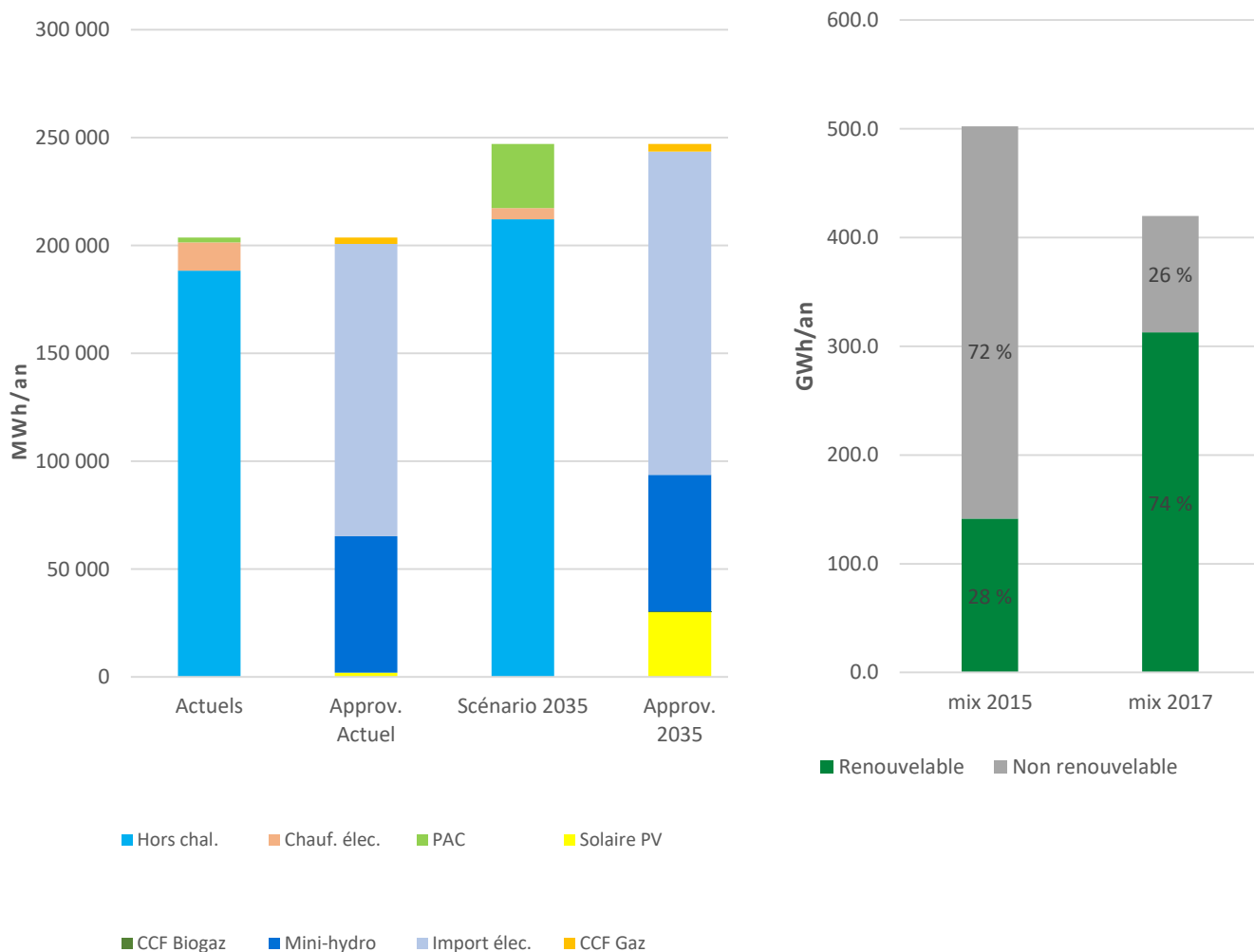


Figure 39 : Postes de consommation électrique et approvisionnement en énergie utile. Le graphique de droite représente la part d'électricité renouvelable en énergie primaire selon le mix 2015 ou 2017 pour les consommations actuelles

On constate une augmentation globale de la demande en électricité hors chaleur en lien avec la construction de nouveaux bâtiments. La part du chauffage électrique direct est fortement réduite mais la consommation des PAC augmente sensiblement pour atteindre 12% de la consommation d'électricité totale. Côté approvisionnement en

l'absence de données précises concernant un éventuel potentiel hydraulique supplémentaire, le solaire photovoltaïque apparaît comme la principale source de nouvelle production électrique locale, il permettrait de couvrir 12% des consommations.

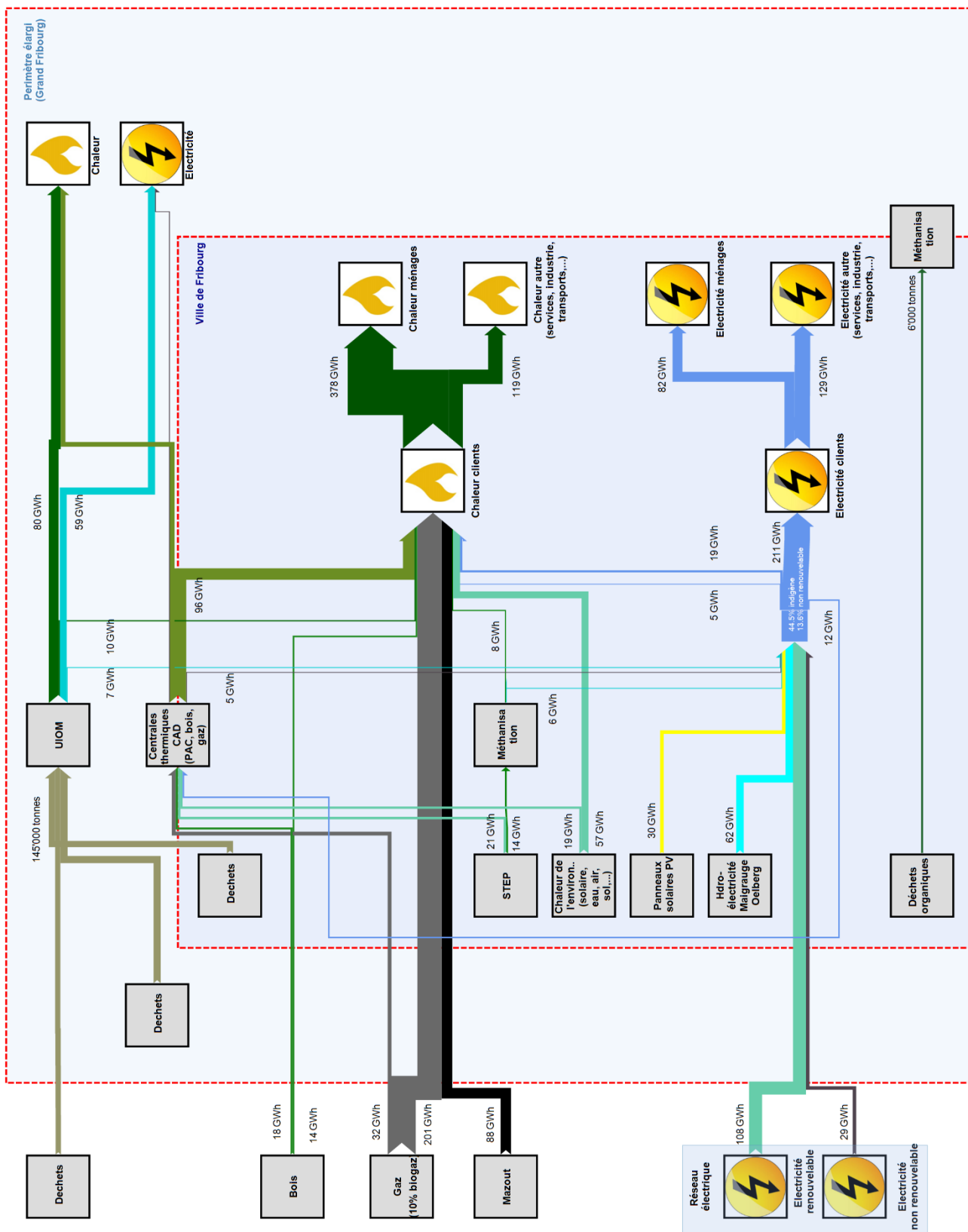
De plus, la partie droite de la figure 40 met en lumière l'importance du changement de mix électrique entre 2015 et 2017 sur la quantité d'électricité consommée et la part d'énergie renouvelable de la Ville pour la partie électrique en énergie primaire (prise en compte l'énergie grise). Dès lors il est important de poursuivre dans cette voie et de s'assurer que le mix électrique distribué soit composé majoritairement d'énergies renouvelables.

Considérant les paragraphes précédents et afin d'aider la commune dans ses choix stratégiques futurs, quelques recommandations peuvent être formulées quant aux possibilités d'approvisionnement électrique issues des énergies renouvelables étudiées (cf. Partie B :Ressources locales et potentiel d'efficacité énergétique) :

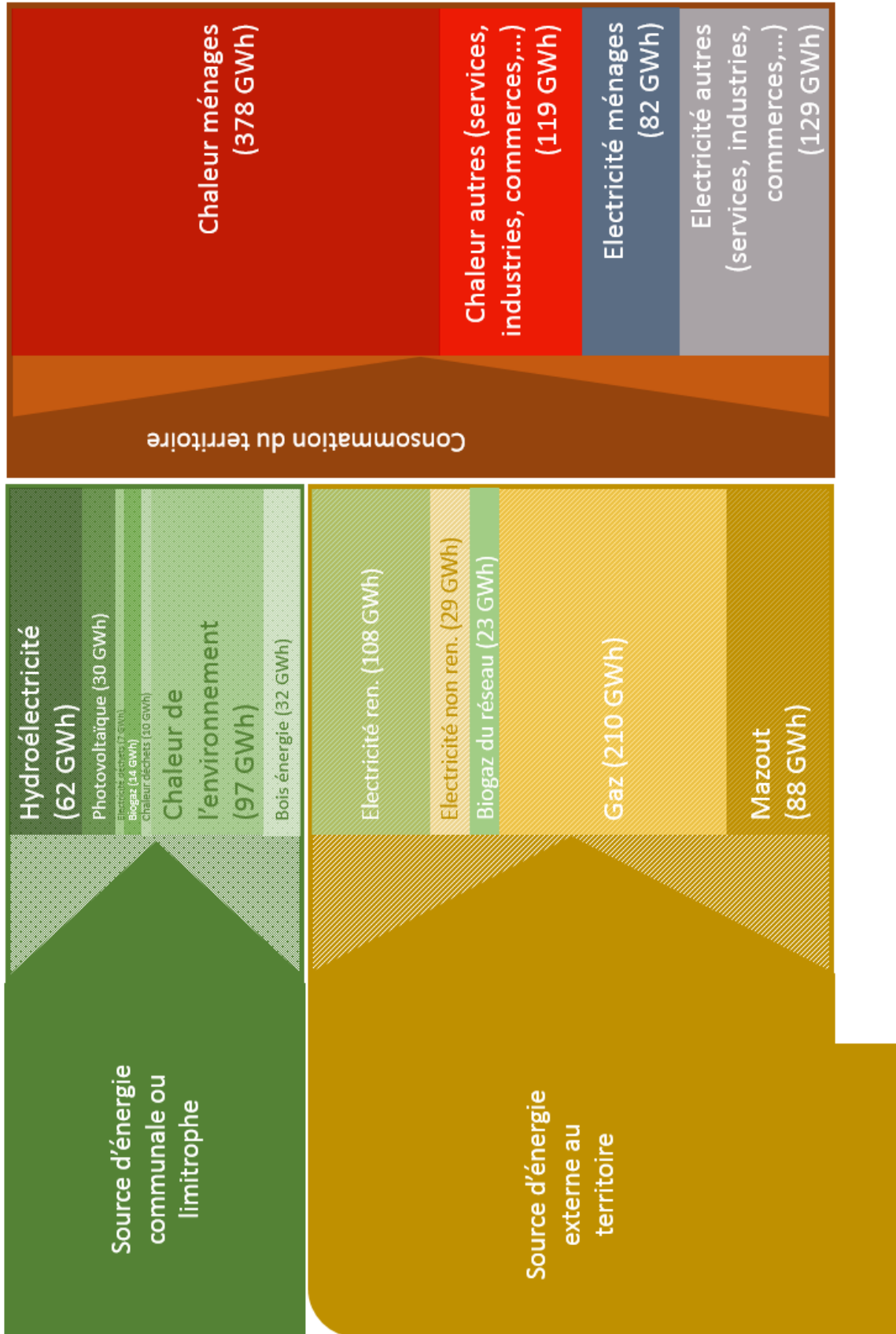
- Eolien : la commune pourrait encourager et promouvoir la création du parc éolien sur le secteur des collines de Sonnaz, tout en tenant compte des enjeux environnementaux ;
- Hydroélectricité : le potentiel de turbinage des eaux usées à la hauteur de la STEP de Fribourg devrait être étudié sous un angle technico-économique et mis en place en conséquence ;
- Solaire : les toitures favorables à l'installation de panneaux solaires sont nombreuses, et, l'installation de centrales solaires d'envergure devrait être encouragée ou facilitée pour les grandes toitures, ce qui permettrait d'augmenter plus rapidement la part d'électricité d'origine solaire dans le mix de la commune.
- Biogaz : Aménagement de la digestion des boues d'épuration pour valoriser d'autres produits organiques ou méthanisation de tous les déchets organiques dans une installation dédiée.
- Hors du territoire communal : une ville de la taille de Fribourg dépend largement d'apports énergétiques extérieurs à son territoire et pourrait augmenter sa participation dans des entreprises régionales ayant des projets d'augmentation de la production électrique d'origine renouvelable : parcs éoliens, projet hydroélectrique Morat-Schieffenen, géothermie moyenne ou grande profondeur, grandes installations solaires PV.

Globalement et dans une logique d'exemple, la commune doit promouvoir l'installation de centrales de production d'électricité d'origine renouvelable sur les bâtiments et les infrastructures en main publiques. Des études complémentaires d'ordre technico-économique sont vivement conseillées. Cette recommandation est d'autant plus porteuse si le critère de rentabilité financière à court terme n'est pas le facteur limitant, ce qui permet de viser des objectifs de durabilité énergétique sur le long terme.

Diagramme de Sankey Ville de Fribourg 2035



* La composition de l'électricité renouvelable distribuée aux clients est dépendante de leurs contrats. Le mix électrique présenté ici reflète le mix distribué aux clients en termes de parts d'électricité renouvelable et non renouvelable indépendamment de la composition de l'énergie renouvelable. Il est supposé que l'énergie locale est distribuée sur la ville. Ce point de vue contractuel n'est pas forcément le cas.



4 CONCLUSION

Au terme de cette étude, la Ville dispose des éléments suivants

- Un état des lieux des besoins et consommations énergétiques permettant d'établir la base d'un suivi énergétique ;
- Un inventaire qualitatif et quantitatif des ressources de son territoire ;
- Un scénario tendanciel d'évolution des besoins énergétiques ;
- Une stratégie énergétique spatialisée, spécifiant les secteurs de développement des énergies de réseau et les ressources à valoriser en priorité ;
- Une quantification des impacts de la stratégie à l'horizon 2035.

Sur cette base elle pourra justifier son PCEn, fixer ou ajuster ses objectifs par exemple en termes de réduction des consommations et des émissions de GES, ou encore établir un plan de mesure pour mener à bien la stratégie. Ce rapport et les annexes qui le complète peuvent également servir de base de communication avec les différents acteurs.

BIBLIOGRAPHIE

- Association des entreprises électriques suisses. (2013). *Electricité géothermique*.
- Association Suisse de l'Industrie Gazière. (2017). *Notre avenir énergétique*. Lausanne, statistiques annuelles de l'ASIG.
- Borel, L. (1991). *Thermodynamique et énergétique, Volume I*. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Bundesamt für Energie. (2014). *Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2013 nach Verwendungszwecken*.
- Etat de Fribourg. (2014). *Situation et potentiel du bois énergie dans le Canton de Fribourg*.
- Etat de Fribourg. (2014). *Stratégie énergétique - Etat de Fribourg, Rapport périodique 2010-2013*.
- Girardin et al. (2009). *EnerGis: A geographical information based system for the evaluation of intergrated energy*.
- Groupe E. (2015, 2017). *Nos offres*. (<http://www.groupe-e.ch/particuliers/courant-vert/nos-offres>)
- OFEN : *Loi sur l'énergie (2014)*, *Marché international du biogaz utilisé comme combustible (2013)*
- OFEV : *Déchets 2016 quantités produits et recyclées*
- OFS. (2018). *Bilan de la population résidante permanente*. Récupéré sur Administration fédérale admin.ch: https://www.pxweb.bfs.admin.ch/pxweb/fr/px-x-0102020000_201/-/px-x-0102020000_201.px
- PLCO. (2015). *CAD FRICAD*. Récupéré sur PLCO - Pipelines Constructions SA: <http://www.plco.ch/fr/references/reseaux-de-chauffage-climatisation-a-distance/20-cad-fricad>
- SAIDEF : *Rapport de gestion*
- Société suisse des ingénieurs et des architectes. (2010). *SIA 384/6:2010 - Sondes géothermiques*.
- SuisseEnergie : *Le biogaz de STEP (2006)*, *Energies renouvelables (2015)*, *Biomasse (2017)*

ANNEXES

I.	Spécificités du MoPEC 2014.....	70
II.	Facteurs KBOB 2014.....	71
III.	Concepts énergétiques majeurs et/ou novateurs.....	73
IV.	Hypothèses de calcul et explications.....	76
V.	Bilan détaillé de la situation actuelle.....	77
VI.	Bilans détaillés du scénario retenu.....	78
VII.	Synthèse comparative des besoins énergétiques.....	80
VIII.	Paramètres de simulation par zone du plan d'affectation.....	82
IX.	Paramètres des projets de développement urbain.....	83
X.	Cartes.....	84
XI.	Groupe E Celsius – Projet Agglomération Fribourg.....	85
XII.	Greenwatt - Rapport de mesure des rejets thermiques.....	85

I. SPÉCIFICITÉS DU MoPEC 2014

Le MoPEC 2014 poursuit les objectifs suivants :

- Faire en sorte que les exigences imposées aux bâtiments en matière d'énergie soient proches de celles du standard MINERGIE® (exigences aujourd'hui équivalentes au standard SIA 380/1) ;
- Edicter des prescriptions uniquement dans les cas où leur effet est significatif au plan énergétique ;
- Prescrire des objectifs (plutôt que des procédures à suivre) ;
- Elaborer des prescriptions qui soient applicables ;
- Définir des exigences légales mesurables ;
- Laisser une certaine marge de manœuvre aux cantons, afin qu'ils puissent tenir compte de différences au plan énergétique (les besoins et les ressources disponibles étant différents d'un canton à l'autre).

Le MoPEC 2008 définissait les exigences requises des installations de production de chaleur : lors d'une nouvelle construction ou transformation importante d'un bâtiment, le 80 % au plus de la demande d'énergie thermique admissible (chauffage et eau chaude sanitaire (ECS)) peut être couverte par des agents énergétiques non renouvelables, soit un minimum de 20% d'énergie renouvelable.

Le MoPEC 2014 laisse l'édiction de ces prescriptions aux cantons sur la base de l'art. 9, al. 3 de la Loi sur l'énergie (OFEN, 2014), mais définit néanmoins des lignes directrices.

Il fixe par ailleurs des lignes directrices relatives à la consommation d'électricité, principalement celle des nouveaux bâtiments :

Chaque bâtiment doit couvrir une partie de ses besoins en électricité grâce à sa production propre de courant, soit par une installation intégrée au bâtiment (en toiture ou en façade), soit par une installation située à proximité immédiate.

[...]

Le choix du type de production de courant est laissé libre. La quantité d'électricité à produire est évaluée sur la base de la surface de référence énergétique. En règle générale, cette électricité sera produite par des installations photovoltaïques (PV). Si aucune installation de production d'électricité n'est réalisée, il faudra s'acquitter d'une taxe de compensation. Le canton ou la commune règle les détails de cette procédure.

Encore une fois, l'édiction précise de ces prescriptions incombe aux cantons.

II. FACTEURS KBOB 2014

Ökobilanzdaten im Baubereich		KBOB / eco-bau / IPB 2009/1 :2014				Données des écobilans dans la construction			
ID-Nummer Ne clients-isation	ENERGIE [Bibliographie meeza, version 2.2+]	Bezug Grösse	UBP*13 UBP	Primärenergie Energie primaire gesamt globale	nicht erneuerbar non renouvelable	Treibhausgas- emissionen Emissions de gaz à effet de serre		Référence	ENERGIE [Bibliographie meeza, version 2.2+]
						kg CO ₂ -equiv	kg CO ₂ -equiv		
41	Brennstoffe								Combustibles
41.001	Heizöl EL	Endenergie MJ	61.4	1.23	1.22	0.0827	0.2977	Energie finale	Mazout EL
41.002	Erdgas	Endenergie MJ	38.0	1.07	1.06	0.0633	0.2279	Energie finale	Gas naturel
41.003	Propan/Butan	Endenergie MJ	52.2	1.17	1.16	0.0779	0.2804	Energie finale	Propane/butane
41.004	Kohle Koks	Endenergie MJ	132	1.67	1.67	0.122	0.4392	Energie finale	Coke de houille
41.005	Kohle Brikett	Endenergie MJ	126	1.19	1.19	0.111	0.3996	Energie finale	Briquelette de houille
41.006	Stückholz	Endenergie MJ	18.5	1.06	0.9523	0.00915	0.0113	Energie finale	Bûches de bois
41.010	Stückholz mit Partikelfilter	Endenergie MJ	17.1	1.06	0.9548	0.00319	0.0115	Energie finale	Bûches de bois avec filtre à particules
41.007	Heizschmelz	Endenergie MJ	19.7	1.14	0.9639	0.00293	0.0105	Energie finale	Particules de bois
41.011	Heizschmelz mit Partikelfilter	Endenergie MJ	17.8	1.15	0.9664	0.00297	0.0107	Energie finale	Particules de bois avec filtre à particules
41.008	Pellets	Endenergie MJ	22.7	1.21	0.197	0.00955	0.0344	Energie finale	Graoules (pellets)
41.012	Pellets mit Partikelfilter	Endenergie MJ	21.5	1.22	0.200	0.00959	0.0345	Energie finale	Graoules (pellets) avec filtre à particules
41.009	Biogas	Endenergie MJ	30.8	0.338	0.308	0.00366	0.1318	Energie finale	Biogaz
42	Fernwärme								Chauffage urbain
42.001	Heizzentrale Öl	Endenergie MJ	90.0	1.68	1.67	0.112	0.4032	Energie finale	Centrale de chauffage, pétrole
42.002	Heizzentrale Gas	Endenergie MJ	54.1	1.53	1.51	0.0874	0.3146	Energie finale	Centrale de chauffage, gaz
42.003	Heizzentrale Holz	Endenergie MJ	28.7	1.66	1.03	0.0121	0.0436	Energie finale	Centrale de chauffage, bois
42.004	Heizkraftwerk Holz	Endenergie MJ	24.5	1.41	0.9596	0.0104	0.0374	Energie finale	Centrale à cogénération, bois
42.005	Heizzentrale EWP Luft/Wasser (JAZ 2.8)	Endenergie MJ	55.9	2.19	1.22	0.0282	0.0943	Energie finale	Centrale de chauffage PACE, air/eau (COPA 2.8)
42.006	Heizzentrale EWP Abwasser (JAZ 3.4)	Endenergie MJ	41.7	1.94	0.904	0.0192	0.0691	Energie finale	Centrale de chauffage PACE, eaux usées (COPA 3.4)
42.007	Heizzentrale EWP Grundwasser (JAZ 3.4)	Endenergie MJ	37.7	1.11	0.954	0.0149	0.0556	Energie finale	Centrale de chauffage PACE, eaux souterraines (COPA 3.4)
42.008	Heizzentrale EWP Erdsonde (JAZ 3.9)	Endenergie MJ	46.4	2.04	1.03	0.0210	0.0756	Energie finale	Centrale de chauffage PACE, sonde géothermique (COPA 3.9)
42.009	Heizzentrale Geothermie	Endenergie MJ	19.0	1.53	0.165	0.00595	0.0214	Energie finale	Centrale de chauffage, géothermie
42.010	Heizkraftwerk Geothermie	Endenergie MJ	13.5	0.593	0.129	0.00431	0.0155	Energie finale	Centrale à cogénération, géothermie
42.011	Keilrichtverbrennung	Endenergie MJ	2.21	0.622	0.637	0.00094	0.0034	Energie finale	Incinération des ordures ménagères
42.012	Blockheizkraftwerk Diesel	Endenergie MJ	32.2	0.628	0.617	0.0402	0.1447	Energie finale	Centrale à cogénération, diesel
42.013	Blockheizkraftwerk Gas	Endenergie MJ	23.5	0.609	0.600	0.0353	0.1271	Energie finale	Centrale à cogénération, gaz
42.014	Blockheizkraftwerk Biogas	Endenergie MJ	20.6	0.238	0.214	0.0223	0.0803	Energie finale	Centrale à cogénération, biogaz
42.015	Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft	Endenergie MJ	8.02	0.0824	0.0703	0.00592	0.0213	Energie finale	Centrale à cogénération, biogaz agricole
42.016	Fernwärme Durchschmitt Netze CH	Endenergie MJ	25.3	0.869	0.546	0.0301	0.1084	Energie finale	Chauffage à distance, moyenne réseau CH
42.017	Fernwärme mit Nutzung Kehrichtwärme, Durchschmitt Netze CH	Endenergie MJ	20.5	0.712	0.451	0.0247	0.0889	Energie finale	Chauffage à distance de l'incinération des ordures, moyenne réseau CH
43	Nutzwärme								Chaleur utile
43.001	Heizkessel Heizöl EL	Nutzwärme ² MJ	66.0	1.30	1.29	0.0887	0.3193	Chaleur utile ²	Chaudière, mazout EL
43.002	Heizkessel Erdgas	Nutzwärme ² MJ	41.9	1.17	1.16	0.0691	0.2488	Chaleur utile ²	Chaudière, gaz naturel
43.003	Heizkessel Propan / Butan	Nutzwärme ² MJ	57.2	1.27	1.27	0.0847	0.3049	Chaleur utile ²	Chaudière, propane/butane
43.004	Heizkessel Kohle Koks	Nutzwärme ² MJ	196	2.04	2.02	0.180	0.6480	Chaleur utile ²	Chaudière, coke de houille
43.005	Heizkessel Kohle Brikett	Nutzwärme ² MJ	187	1.53	1.51	0.163	0.5668	Chaleur utile ²	Chaudière, briquette de houille
43.006	Heizkessel Stückholz	Nutzwärme ² MJ	30.5	1.69	0.993	0.00556	0.0200	Chaleur utile ²	Chaudière, bûches de bois
43.010	Heizkessel Stückholz mit Partikelfilter	Nutzwärme ² MJ	28.4	1.70	0.997	0.00562	0.0202	Chaleur utile ²	Chaudière, bûches de bois avec filtre à particules
43.007	Heizkessel Holzschmelz	Nutzwärme ² MJ	28.5	1.56	0.999	0.00545	0.0196	Chaleur utile ²	Chaudière, particules de bois
43.011	Heizkessel Holzschmelz mit Partikelfilter	Nutzwärme ² MJ	25.8	1.56	1.02	0.00550	0.0198	Chaleur utile ²	Chaudière, particules de bois avec filtre à particules
43.008	Heizkessel Pellets	Nutzwärme ² MJ	30.3	1.56	0.261	0.0132	0.0475	Chaleur utile ²	Chaudière, graoules (pellets)
43.012	Heizkessel Pellets mit Partikelfilter	Nutzwärme ² MJ	28.8	1.56	0.264	0.0132	0.0475	Chaleur utile ²	Chaudière, graoules (pellets) avec filtre à particules
43.009	Heizkessel Biogas	Nutzwärme ² MJ	34.2	0.372	0.339	0.0400	0.1440	Chaleur utile ²	Chaudière, biogaz

44	Nutzwärme am Standort erzeugt, inkl. erneuerbare Energien ³	Nutzwärme ²	MJ	44.7	1.77	0.969	0.0211	0.0760	Chaleur utile produite sur place, y compris énergies renouvelables ²
44.001	Elektrowärmepumpe Luft / Wasser (JAZ 2.8)	Nutzwärme ²	MJ	44.7	1.77	0.969	0.0211	0.0760	Pompe à chaleur électrique air-eau (COPA 2.8)
44.002	Elektrowärmepumpe Erdsonden (JAZ 3.9)	Nutzwärme ²	MJ	32.9	1.57	0.709	0.0153	0.0851	Pompe à chaleur électrique sondes géothermiques (COPA 3.9)
44.003	Elektrowärmepumpe Grundwasser (JAZ 3.4)	Nutzwärme ²	MJ	36.8	1.65	0.810	0.0167	0.0801	Pompe à chaleur électrique eaux souterraines (COPA 3.4)
44.004	Flachkollektor für Raumheizung EFH	Nutzwärme ²	MJ	29.7	1.62	0.282	0.0116	0.0418	Collecteurs solaires plan, eau chaude maison individuelle
44.005	Flachkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Nutzwärme ²	MJ	26.3	1.85	0.237	0.0108	0.0389	Collecteurs solaires plan, chaleur et eau chaude maison individuelle
44.006	Flachkollektor für Warmwasser MFH	Nutzwärme ²	MJ	11.9	1.24	0.0931	0.00451	0.0162	Collecteurs solaires plan, eau chaude immeuble localif
44.007	Röhrenkollektor für Raumheizung und Warmwasser EFH	Nutzwärme ²	MJ	21.7	1.74	0.201	0.00911	0.0328	Collecteurs solaires à tubes, chaleur et eau chaude maison individuelle
44.008	Kleinblockheizkraftwerk, Erdgas	Nutzwärme ²	MJ	19.6	0.504	0.502	0.0308	0.1109	Centrale à cogénération, petite, gaz
	Obener Heizwert								¹ Pouvoir calorifique supérieur
	Inkl. Verteilungsverluste (Wärme am Ausgang Wärmeerzeuger)								² y compris pertes de distribution (Chaleur à la sortie du producteur de chaleur)
	Regionale Sicht 2000-Watt-Gesellschaft								³ Point de vue régional de la société à 2000 watt
45	Elektrizität vom Netz								Electricité du réseau
45.001	Atomkraftwerk	Erdenergie	MJ	126	4.22	4.21	0.00655	0.0236	Centrale nucléaire
45.002	Erdgasblockkraftwerk GUD	Erdenergie	MJ	85.6	2.22	2.22	0.130	0.4680	Centrale combinée gaz naturel G+V
45.023	Braunkohlekraftwerk	Erdenergie	MJ	220	3.95	3.94	0.377	1.3572	Centrale au lignite
45.003	Steinkohlekraftwerk	Erdenergie	MJ	213	3.94	3.91	0.344	1.2384	Centrale au charbon
45.004	Kraftwerk Schwindl	Erdenergie	MJ	287	3.73	3.72	0.272	0.9792	Centrale, pétrole
45.005	Kehrichtverbrennung	Erdenergie	MJ	8.97	0.0189	0.0163	0.0202	0.0073	Incinération des ordures ménagères
45.006	Heizkraftwerk Holz	Erdenergie	MJ	71.0	3.73	0.141	0.0285	0.1026	Centrale à cogénération, bois
45.007	Blockheizkraftwerk Diesel	Erdenergie	MJ	181	3.27	3.25	0.228	0.8208	Centrale à cogénération, diesel
45.008	Blockheizkraftwerk Gas	Erdenergie	MJ	122	2.94	2.94	0.186	0.6696	Centrale à cogénération, gaz
45.009	Blockheizkraftwerk Biogas	Erdenergie	MJ	105	0.83	0.851	0.114	0.4104	Centrale à cogénération, biogaz
45.010	Blockheizkraftwerk Biogas, Landwirtschaft	Erdenergie	MJ	63.9	0.192	0.156	0.0495	0.1782	Centrale à cogénération, biogaz agricole
45.011	Photovoltaik	Erdenergie	MJ	50.7	1.58	0.345	0.0284	0.0950	Photovoltaïque
45.012	Photovoltaik Schrägdach	Erdenergie	MJ	46.4	1.54	0.307	0.0236	0.0850	Photovoltaïque toiture inclinée
45.013	Photovoltaik Flachdach	Erdenergie	MJ	41.9	1.54	0.308	0.0241	0.0868	Photovoltaïque toiture plate
45.014	Photovoltaik Fassade	Erdenergie	MJ	63.0	1.72	0.463	0.0353	0.1271	Photovoltaïque façade
45.015	Windkraft	Erdenergie	MJ	20.6	1.29	0.094	0.00733	0.0264	Energie éolienne
45.016	Wasserkraft	Erdenergie	MJ	12.3	1.20	0.0298	0.00350	0.0126	Energie hydraulique
45.017	Pumpspeicherung	Erdenergie	MJ	137	4.06	3.49	0.0518	0.1865	Accumulation par pompage
45.018	Heizkraftwerk Geothermie	Erdenergie	MJ	28.8	3.36	0.191	0.00858	0.0309	Centrale à cogénération, géothermie
45.019	CH-Produktionsmix	Erdenergie	MJ	62.0	2.48	1.80	0.00766	0.0276	Mix de production CH
45.022	Mix zertifizierte Stromprodukte CH	Erdenergie	MJ	13.0	1.21	0.0339	0.00398	0.0143	Mix de produits certifiés CH
45.020	CH-Verbraucher	Erdenergie	MJ	106	3.14	2.69	0.0385	0.1386	Mix consommateur CH
45.021	ENTSO-E-Mix (ehemals UCTE-Mix)	Erdenergie	MJ	152	3.18	2.88	0.145	0.5220	Mix ENTSO-E (anc. mix UCTE)
46	Elektrizität am Standort erzeugt, inkl. erneuerbare Energien ³								Electricité produite sur place, y compris énergies renouvelables ²
46.001	Photovoltaik	Erdenergie	MJ	37.9	1.42	0.288	0.0221	0.0796	Photovoltaïque
46.002	Photovoltaik Schrägdach	Erdenergie	MJ	34.0	1.38	0.264	0.0195	0.0702	Photovoltaïque toiture inclinée
46.003	Photovoltaik Flachdach	Erdenergie	MJ	29.9	1.38	0.265	0.0200	0.0720	Photovoltaïque toiture plate
46.004	Photovoltaik Fassade	Erdenergie	MJ	48.8	1.54	0.404	0.0301	0.1084	Photovoltaïque façade
46.005	Windkraft	Erdenergie	MJ	10.6	1.16	0.0707	0.00482	0.0174	Energie éolienne
46.006	Biogas	Erdenergie	MJ	86.9	0.826	0.754	0.101	0.3636	Biogaz
46.007	Biogas, Landwirtschaft	Erdenergie	MJ	49.9	0.157	0.127	0.0431	0.1552	Biogaz agricole
46.008	Kleinblockheizkraftwerk, Erdgas	Erdenergie	MJ	124	3.40	3.39	0.208	0.7488	Centrale à cogénération, petite, gaz
	Regionale Sicht 2000-Watt-Gesellschaft								³ Point de vue régional de la société à 2000 watt

III. CONCEPTS ÉNERGÉTIQUES MAJEURS ET/OU NOVATEURS

PAC thermiques sur CAD

Ces installations conviennent aux bâtiments ayant une bonne performance énergétique. Elles peuvent offrir des prestations de chauffage en été et de rafraîchissement en hiver, grâce à l'inversion du cycle thermodynamique.

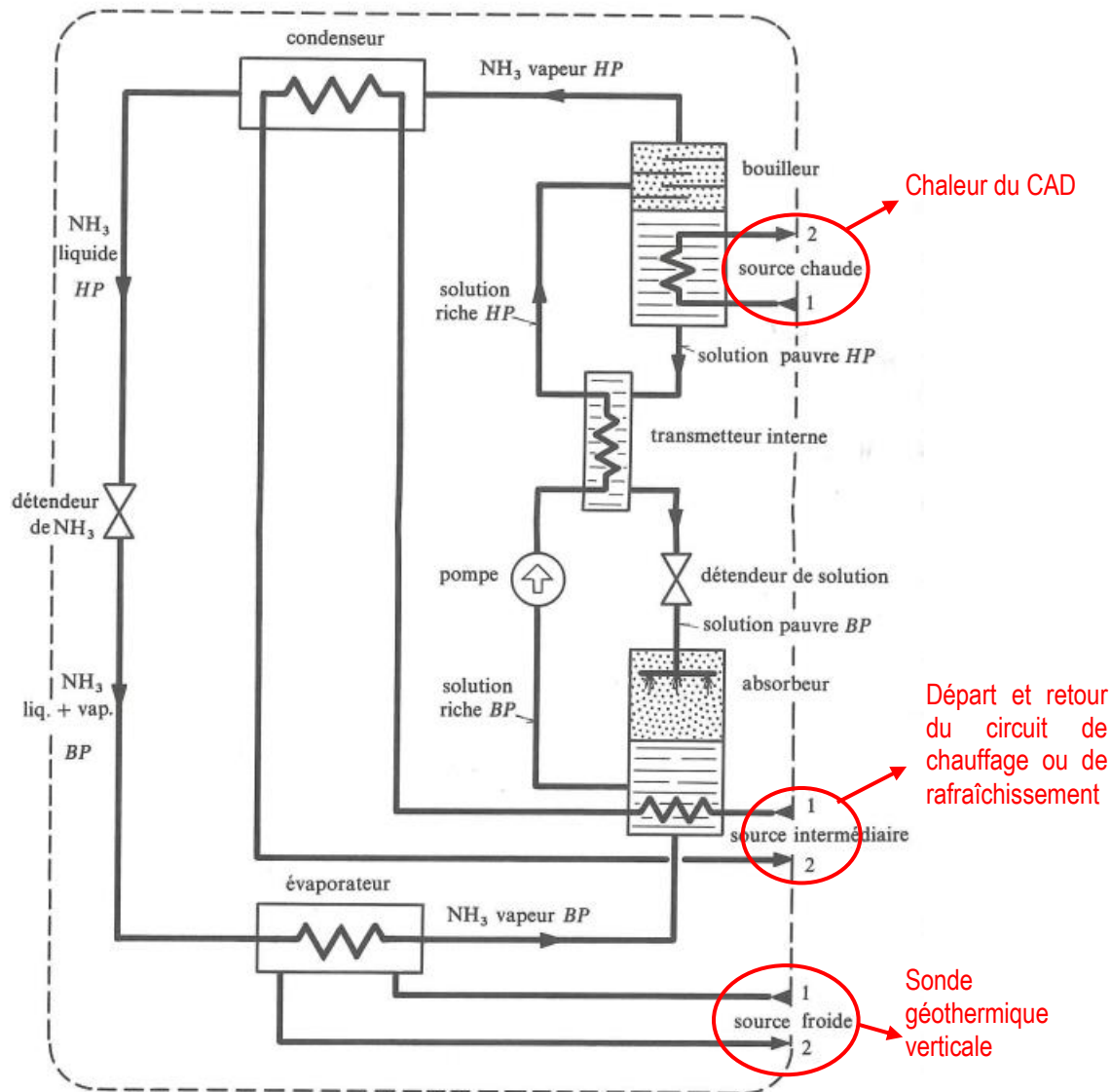


Figure 40 : Principes de fonctionnement d'une thermopompe/frigopompe à absorption (Borel, 1991).

La solution utilisée en général est le bromure de lithium, qui a la capacité d'absorber la vapeur d'eau à basse pression et de la relâcher en étant chauffé (chaleur du CAD). Le chauffage (et la désorption) se fait à plus haute pression que l'absorption.

Il est possible de coupler ces installations à des sondes géothermiques verticales jouant le rôle de source froide. Cela permet donc de puiser la chaleur du sol pour chauffer le bâtiment en hiver et d'injecter la chaleur soutirée au bâtiment dans le sol en été. Le COP de ces machines est estimé à 1.6 en mode chauffage et à 0.7 en mode rafraîchissement.

PAC avec installation solaire thermique et stock de glace

Toutes les informations de ce sous-chapitre proviennent de documents fournis par la société **Energie Solaire SA**, spécialiste de ce type d'installations.

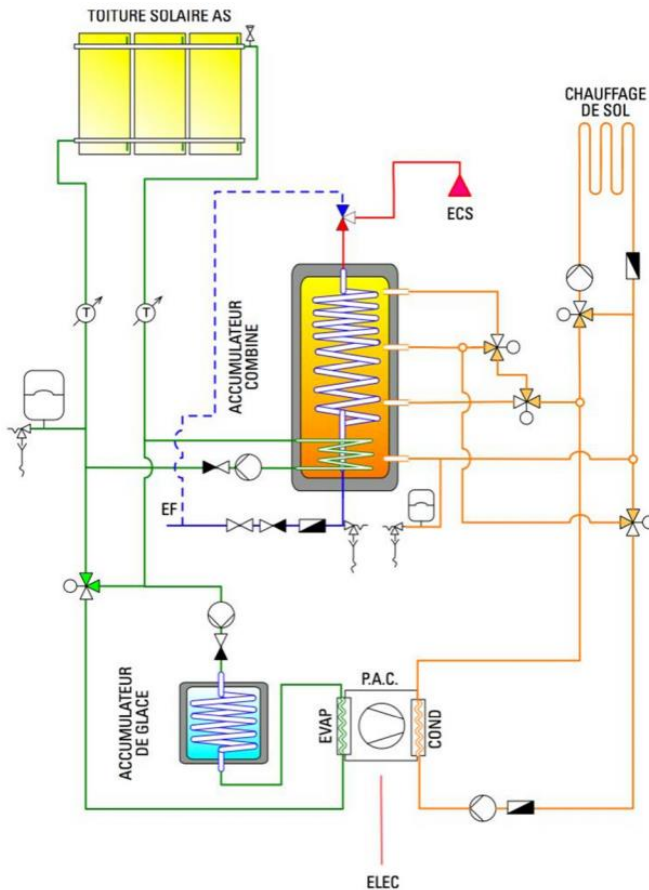


Figure 41 : Schéma de principe d'un système PAC + stock de glace + solaire thermique

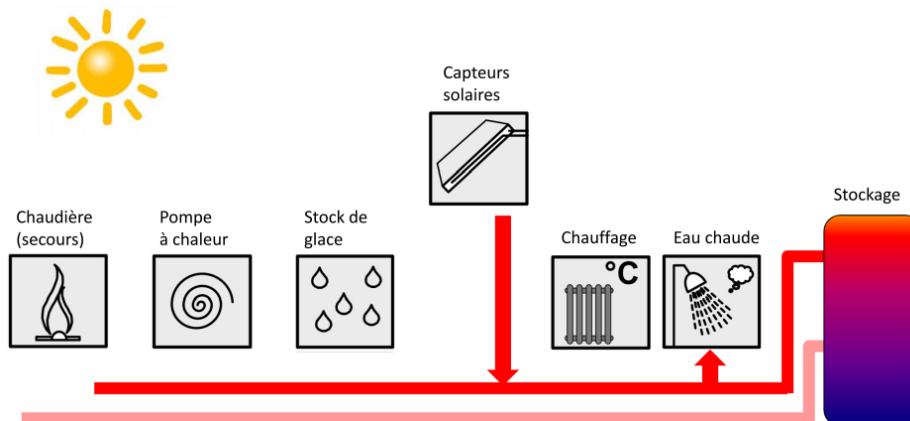
Le principe de ce type d'installation est d'exploiter l'énergie produite par le changement de phase eau/glace. Grâce à la décongélation et à la congélation de l'eau, il est possible de stocker énormément d'énergie dans un espace réduit. L'énergie thermique contenue dans un volume d'eau ramené de 80°C à 0°C (chaleur sensible) est égale à celle contenue dans un volume d'eau équivalent à 0°C dans lequel un changement de phase de l'eau en glace (chaleur latente) est opéré.

Changement de phase eau => glace: Le stock de glace fonctionne comme volume tampon permettant à la PAC de fonctionner avec une source froide à minimum 0°C pendant les heures d'hiver sans ensoleillement, qui ne permettent pas de gains d'énergie par les panneaux solaires thermiques.

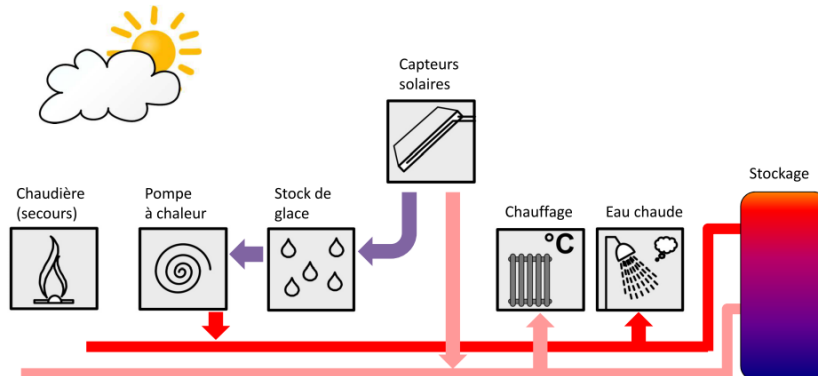
Changement de phase glace => eau: Dès qu'un faible ensoleillement est présent, voir dès que la température ambiante est supérieure à 0°C, les capteurs solaires non vitrés sont mis à profit pour dégeler le volume de glace.

À partir de l'eau/la glace de l'accumulateur de chaleur latente, de la chaleur est prélevée et amenée à une température plus élevée grâce à une pompe à chaleur afin d'être utilisée pour le chauffage ou la production d'eau chaude.

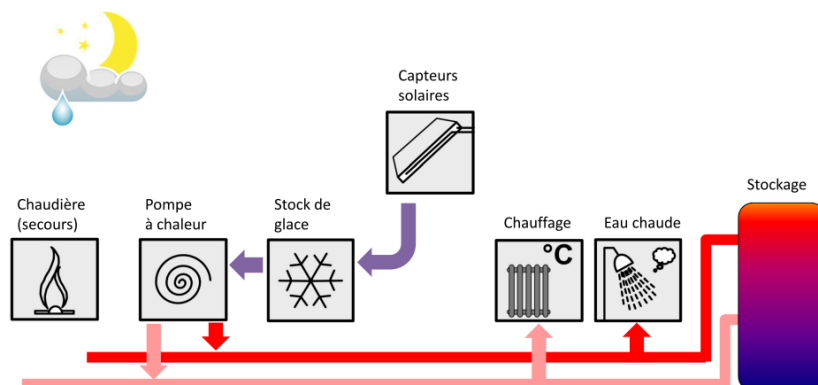
Si l'ensoleillement est important (été), la chaleur provenant des capteurs solaires est stockée dans l'accumulateur combiné puis est utilisée pour l'eau chaude.



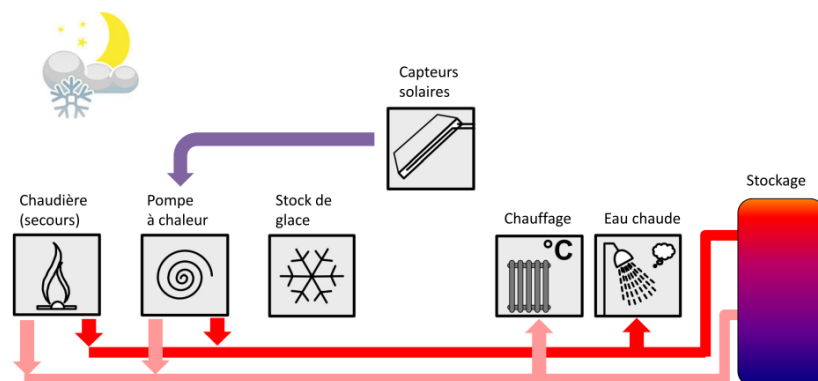
Lorsque l'ensoleillement est nul ou très faible, l'énergie solaire directe et/ou la chaleur ambiante captée par les capteurs sert à maintenir liquide le contenu du réservoir de glace jusqu'à une température maximale de 20°C. L'énergie solaire restante est utilisée (si nécessaire) par le circuit de chauffage basse température. La pompe à chaleur utilise l'énergie du stock de glace pour produire l'eau chaude.



En cas d'absence totale d'ensoleillement et s'il y a demande de chaleur, la PAC est enclenchée et puise de la chaleur dans l'accumulateur de glace afin de subvenir aux besoins de chauffage et d'eau chaude.



Si les conditions extérieures le permettent, la sortie de l'évaporateur de la PAC est dirigée dans les capteurs solaires sans vitrage afin de capter de la chaleur ambiante à basse température. S'il fait trop froid dehors, seule la chaleur latente de l'accumulateur de glace est utilisée par la PAC jusqu'à congélation totale du stock. Si nécessaire, une chaudière de secours (généralement à gaz) permet d'assurer la couverture des besoins restants (très faibles).



IV. HYPOTHÈSES DE CALCUL ET EXPLICATIONS

V. BILAN DÉTAILLÉ DE LA SITUATION ACTUELLE

	Energie utile [GWh/an]		Energie finale [GWh/an]		Energie primaire [GWh/an]		Energie primaire non renouvelable [GWh/an]		Emissions de GES [kt/an]		
Couverture des besoins de CHALEUR	Mazout	153.2	33.7%	170.2	33.7%	199.1	34.6%	197.6	35.7%	48.9	40.4%
	Gaz	241.7	53.2%	268.6	53.1%	282.8	49.1%	280.4	50.7%	60.1	49.6%
	Electricité	20.6	4.5%	15.9	3.2%	42.4	7.4%	28.0	5.1%	1.4	1.1%
	Electrique direct	13.1	2.9%	13.7	2.7%	33.5	5.8%	24.3	4.4%	1.1	0.9%
	PAC	7.6	1.7%	2.20	0.4%	8.9	1.5%	3.8	0.7%	0.3	0.2%
	Air - eau	3.8	0.8%	1.3		4.5		2.1		0.1	
	Sol - eau	3.8	0.8%	0.9		4.4		1.7		0.2	
	Eau - eau	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Chaleur de l'environnement	-	0.0%	5.4	1.1%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Air ambient	-	0.0%	2.5	0.5%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Sol	-	0.0%	2.8	0.6%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Eaux sout. / de surface	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Bois	1.4	0.3%	1.8	0.4%	2.1	0.4%	0.4	0.1%	0.1	0.1%
	Capteur solaire	0.9	0.2%	0.9	0.2%	1.1	0.2%	0.1	0.0%	0.0	0.0%
	CAD	18.4	4.0%	21.6		24.5	4.2%	23.3	4.2%	4.9	4.0%
	Autre agent energetique	18.1	4.0%	21.3	4.2%	23.6	4.1%	23.4	4.2%	5.8	4.8%
TOTAL	454.3		505.7		575.6		553.1		121.1		

Part d'énergie primaire renouvelable :

	Energie utile [GWh/an]		Energie finale [GWh/an]		Energie primaire [GWh/an]		Energie primaire non renouvelable [GWh/an]		Emissions de GES [kt/an]		
Détail du mix CAD	Mazout	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Gaz	15.4	84.0%	18.3	84.9%	22.1	90.5%	21.8	93.7%	4.6	100.0%
	Chaudière	9.6	52.4%	11.9	55.0%	18.2	74.4%	18.0	77.1%	3.7	82.0%
	CCF	5.8	31.6%	6.5	29.8%	3.9	16.1%	3.9	16.6%	0.8	18.0%
	Electricité PAC	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Chaleur de l'environnement	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Rejets thermique	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	UIOM	2.9	16.0%	3.3	15.1%	2.3	9.5%	1.5	6.3%	0.0	0.0%
	Bois	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Biogaz	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Autre agent energetique	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	TOTAL CAD	18.4		21.6		24.5		23.3		4.6	

Part d'énergie primaire renouvelable :

	Energie utile [GWh/an]		Energie finale [GWh/an]		Energie primaire [GWh/an]		Energie primaire non renouvelable [GWh/an]		Emissions de GES [kt/an]		
Utilisation de l'électricité	Chaleur	15.3	7.5%	15.9	7.8%	42.4	8.4%	28.0	7.8%	1.4	8.5%
	Direct	13.1	6.4%	13.7	6.7%	33.5	6.7%	24.3	6.7%	1.1	6.7%
	PAC	2.2	1.1%	2.2	1.1%	8.9	1.8%	3.8	1.0%	0.3	1.8%
	Hors chaleur	188.5	92.5%	188.5	92.2%	459.7	91.6%	332.5	92.2%	15.0	91.5%
	Total	203.7		204.4		502.1		360.5		16.4	

Part d'énergie primaire renouvelable :

	Energie utile	Energie finale	Energie primaire	Energie primaire non renouvelable	Emissions de GES
Total général	642.7 GWh/an	694.2 GWh/an	1 035.3 GWh/an	885.6 GWh/an	136.2 kt/an
Total par habitant	16.8 MWh/an	18.1 MWh/an	27.0 MWh/an	23.1 MWh/an	3.6 t/an

Part d'énergie primaire renouvelable :

VI. BILANS DÉTAILLÉS DU SCÉNARIO RETENU

Avec le mix électrique actuel (2017)

	Energie utile [GWh/an]		Energie finale [GWh/an]		Energie primaire [GWh/an]		Energie primaire non renouvelable [GWh/an]		Emissions de GES [kt/an]		
Couverture des besoins de CHALEUR	Mazout	78.9	17.3%	87.7	17.6%	102.6	20.4%	101.8	26.8%	25.2	31.4%
	Gaz	188.4	41.3%	209.3	42.1%	227.4	45.3%	224.9	59.2%	44.9	56.0%
	Gaz naturel	169.6	37.2%	188.4	37.9%	220.4	43.9%	218.5	57.5%	42.2	52.6%
	Biogaz	18.8	4.1%	20.9	4.2%	7.0	1.4%	6.4	1.7%	2.7	3.4%
	Electricité	69.7	15.3%	23.8	4.8%	53.6	10.7%	9.9	2.6%	1.2	1.4%
	Electricité direct	4.9	1.1%	5.2	1.0%	7.7	1.5%	2.1	0.6%	0.2	0.2%
	PAC	64.7	14.2%	18.63	3.7%	45.9	9.1%	7.8	2.0%	1.0	1.2%
	Air - eau	32.9	7.2%	11.0	2.2%	25.7	5.1%	4.5	1.2%	0.6	0.7%
	Sol - eau	21.4	4.7%	5.3	1.1%	15.5	3.1%	2.2	0.6%	0.3	0.4%
	Eau - eau	10.5	2.3%	2.3	0.5%	4.8	1.0%	1.0	0.3%	0.1	0.2%
	Rejets thermiques	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Chaleur de l'environnement	-	0.0%	46.1	9.3%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Rejets thermique	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Bois	11.5	2.5%	13.5	2.7%	17.9	3.6%	3.0	0.8%	0.5	0.7%
	Capteur solaire	11.0	2.4%	11.0	2.2%	13.6	2.7%	1.0	0.3%	0.0	0.0%
	CAD	96.3	21.1%	106.1	21.3%	86.7	17.3%	39.3	10.3%	8.4	10.5%
Autre agent energetique	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	
TOTAL	455.8		497.6		501.8		379.9		80.2		

Part d'énergie primaire renouvelable :

	Energie utile [GWh/an]		Energie finale [GWh/an]		Energie primaire [GWh/an]		Energie primaire non renouvelable [GWh/an]		Emissions de GES [kt/an]		
Détail du mix CAD	Mazout	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Gaz	22.3	23.1%	26.8	25.2%	32.7	37.7%	32.2	81.8%	6.9	82.6%
	Gaz naturel	20.1	20.8%	24.1	22.7%	31.5	36.4%	31.1	79.1%	6.5	77.5%
	Chaudière	14.8	15.4%	18.3	17.2%	28.0	0.3	27.6	0.7	5.8	68.7%
	CCF	5.2	5.4%	5.8	5.5%	3.5	4.1%	3.5	8.9%	0.7	8.8%
	Biogaz	2.2	2.3%	2.7	2.5%	1.1	1.3%	1.0	2.6%	0.4	5.0%
	Chaudière	1.6	1.7%	2.0	1.9%	1.0	1.1%	0.9	2.3%	0.4	4.4%
	CCF	0.6	0.6%	0.6	0.6%	0.2	0.2%	0.1	0.4%	0.1	0.6%
	Electricité PAC	51.1	53.1%	12.0	11.3%	23.4	26.9%	4.8	12.1%	0.6	7.6%
	Air - eau	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Sol - eau	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Eau - eau	24.8	25.7%	6.1	5.8%	11.3	13.0%	2.3	5.9%	0.3	3.7%
	Rejets thermiques	26.4	27.4%	5.9	5.5%	12.0	13.9%	2.5	6.2%	0.3	3.9%
	Chaleur de l'environnement	-	0.0%	18.6	17.6%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Rejets thermique	-	0.0%	20.5	19.3%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	UIOM	9.1	9.4%	10.1	9.5%	0.6	0.7%	0.5	99.4%	0.0	0.4%
Bois	13.8	14.4%	18.1	17.0%	30.0	34.6%	1.9	4.7%	0.8	9.4%	
Autre agent energetique	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	
TOTAL CAD	96.3		106.1		86.7		39.3		8.4		

Part d'énergie primaire renouvelable :

	Energie utile [GWh/an]		Energie finale [GWh/an]		Energie primaire [GWh/an]		Energie primaire non renouvelable [GWh/an]		Emissions de GES [kt/an]		
Utilisation de l'électricité	Chaleur	35.5	14.3%	35.8	14.4%	76.9	19.7%	14.6	14.4%	1.8	20.0%
	Direct	4.9	2.0%	5.2	2.1%	7.7	2.0%	2.1	2.1%	0.2	2.0%
	PAC	30.6	12.4%	30.6	12.3%	69.3	17.7%	12.5	12.3%	1.6	18.0%
	Hors chaleur	212.1	85.7%	212.1	85.6%	314.6	80.3%	86.8	85.6%	7.2	80.0%
Total	247.7		247.9		391.5		101.5		9.0		

Part d'énergie primaire renouvelable :

	Energie utile		Energie finale		Energie primaire		Energie primaire non renouvelable		Emissions de GES	
Total général	667.9	GWh/an	709.7	GWh/an	816.4	GWh/an	466.8	GWh/an	87.4	kt/an
Total par habitant ¹	13.7	MWh/an	14.6	MWh/an	16.7	MWh/an	9.6	MWh/an	1.8	t/an

¹ hypothèse : augmentation proportionnelle à la SRE (+27%)

Part d'énergie primaire renouvelable :

Variante avec mix électrique 100% renouvelable (80% hydro, 20% solaire) :

	Energie utile [GWh/an]		Energie finale [GWh/an]		Energie primaire [GWh/an]		Energie primaire non renouvelable [GWh/an]		Emissions de GES [kt/an]		
Couverture des besoins de CHALEUR	Mazout	78.9	17.3%	87.7	17.6%	102.6	20.9%	101.8	27.6%	25.2	31.6%
	Gaz	188.4	41.3%	209.3	42.1%	227.4	46.4%	224.9	61.1%	44.9	56.2%
	Gaz naturel	169.6	37.2%	188.4	37.9%	220.4	44.9%	218.5	59.3%	42.2	52.8%
	Biogaz	18.8	4.1%	20.9	4.2%	7.0	1.4%	6.4	1.7%	2.7	3.4%
	Electricité	69.7	15.3%	23.8	4.8%	45.8	9.3%	2.1	0.6%	0.9	1.2%
	Electrique direct	4.9	1.1%	5.2	1.0%	6.6	1.3%	0.4	0.1%	0.1	0.2%
	PAC	64.7	14.2%	18.63	3.7%	39.2	8.0%	1.6	0.4%	0.8	1.0%
	Air - eau	32.9	7.2%	11.0	2.2%	21.9	4.5%	0.9	0.3%	0.5	0.6%
	Sol - eau	21.4	4.7%	5.3	1.1%	13.2	2.7%	0.5	0.1%	0.2	0.3%
	Eau - eau	10.5	2.3%	2.3	0.5%	4.1	0.8%	0.2	0.1%	0.1	0.1%
	Rejets thermiques	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Chaleur de l'environnement	-	0.0%	46.1	9.3%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Rejets thermique	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Bois	11.5	2.5%	13.5	2.7%	17.9	3.7%	3.0	0.8%	0.5	0.7%
	Capteur solaire	11.0	2.4%	11.0	2.2%	13.6	2.8%	1.0	0.3%	0.0	0.0%
CAD	96.3	21.1%	106.1	21.3%	83.3	17.0%	35.5	9.7%	8.3	10.3%	
Autre agent energetique	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	
TOTAL	455.8		497.6		490.7		368.3		79.8		

Part d'énergie primaire renouvelable : 25%

	Energie utile [GWh/an]		Energie finale [GWh/an]		Energie primaire [GWh/an]		Energie primaire non renouvelable [GWh/an]		Emissions de GES [kt/an]		
Détail du mix CAD	Mazout	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Gaz	22.3	23.1%	26.8	25.2%	32.7	39.2%	32.2	90.4%	6.9	83.9%
	Gaz naturel	20.1	20.8%	24.1	22.7%	31.5	37.9%	31.1	87.5%	6.5	78.7%
	Chaudière	14.8	15.4%	18.3	17.2%	28.0	0.3	27.6	0.8	5.8	69.8%
	CCF	5.2	5.4%	5.8	5.5%	3.5	4.2%	3.5	9.8%	0.7	8.9%
	Biogaz	2.2	2.3%	2.7	2.5%	1.1	1.4%	1.0	2.9%	0.4	5.1%
	Chaudière	1.6	1.7%	2.0	1.9%	1.0	1.2%	0.9	2.5%	0.4	4.5%
	CCF	0.6	0.6%	0.6	0.6%	0.2	0.2%	0.1	0.4%	0.1	0.6%
	Electricité PAC	51.1	53.1%	12.0	11.3%	20.0	24.0%	1.0	2.8%	0.5	6.2%
	Air - eau	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Sol - eau	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Eau - eau	24.8	25.7%	6.1	5.8%	9.7	11.6%	0.5	1.4%	0.2	3.0%
	Rejets thermiques	26.4	27.4%	5.9	5.5%	10.3	12.4%	0.5	1.4%	0.3	3.2%
	Chaleur de l'environnement	-	0.0%	18.6	17.6%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	Rejets thermique	-	0.0%	20.5	19.3%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%
	UIOM	9.1	9.4%	10.1	9.5%	0.6	0.8%	0.5	94.8%	0.0	0.4%
	Bois	13.8	14.4%	18.1	17.0%	30.0	36.0%	1.9	5.2%	0.8	9.5%
Autre agent energetique	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	-	0.0%	
TOTAL CAD	96.3		106.1		83.3		35.5		8.3		

Part d'énergie primaire renouvelable : 57%

	Energie utile [GWh/an]		Energie finale [GWh/an]		Energie primaire [GWh/an]		Energie primaire non renouvelable [GWh/an]		Emissions de GES [kt/an]		
Utilisation de l'électricité	Chaleur	35.5	14.3%	35.8	14.4%	65.8	19.7%	3.0	14.4%	1.4	20.0%
	Direct	4.9	2.0%	5.2	2.1%	6.6	2.0%	0.4	2.1%	0.1	2.0%
	PAC	30.6	12.4%	30.6	12.3%	59.2	17.7%	2.6	12.3%	1.3	18.0%
	Hors chaleur	212.1	85.7%	212.1	85.6%	269.0	80.3%	18.1	85.6%	5.7	80.0%
	Total	247.7		247.9		334.8		21.1		7.2	

Part d'énergie primaire renouvelable : 94%

	Energie utile		Energie finale		Energie primaire		Energie primaire non renouvelable		Emissions de GES	
Total général	667.9	GWh/an	709.7	GWh/an	759.6	GWh/an	386.4	GWh/an	85.6	kt/an
Total par habitant ¹	13.7	MWh/an	14.6	MWh/an	15.6	MWh/an	7.9	MWh/an	1.8	t/an

¹ hypothèse : augmentation proportionnelle à la SRE (+27%)

Part d'énergie primaire renouvelable : 49%

VII. SYNTHÈSE COMPARATIVE DES BESOINS ÉNERGÉTIQUES

Fribourg – Bilan global des besoins d'énergie

Surface de référence énergétique totale sur la commune [mio m ²]	2015	2035 (valeur estimée)	
	3.43 mio	4.37 moi (+ 27%)	
Besoins de chaleur (MWh/an et évolution)			
Année de simulation : 2035	Situation actuelle	Scénario	
Besoins de chauffage	393'455	377'303	- 4%
Besoins d'ECS	60'803	78'494	+29%
Électricité (hors chaleur)	188'414	212'122	+13%
Approvisionnement - Chaleur (MWh/an et taux de pénétration)			
Solaire	902	10 985	2.4%
PAC air/eau	3'778	32 878	7.2%
SGV	3'778	21 384	4.7%
Nappe		10 483	2.3%
Geoth. moy. prof.		0	0.0%
Geoth. prof.		0	0.0%
Eaux surf.		23 918	5.2%
Chaleur EU		26 374	5.8%
Bois	1'359	24 867	5.5%
CCF Bois		0	0.0%
Biogaz	0 ²⁷	20 431	4.5%
CCF Biogaz		798	0.2%
IOM	2'941	8 794	1.9%
Import gaz	251'333	183 879	40.3%
CCF Gaz	5'806	7 182	1.6%
Import mazout	153'161	78 895	17.3%
Chauf. élec	13'058	4 929	1.1%
Autre AE/AE inconnu	18'140	0	0.0%
TOTAL	454'258	455 797	100.0%
Approvisionnement - Électricité (MWh/an et taux de pénétration)			
Solaire photovoltaïque	2'000	30'000	12.1%
Mini hydro	63'294	63'294	25.6%
CCF Biogaz		399	0.2%
CCF Gaz	2'903	3'591	1.5%
Importation d'électricité	135'479	149'839	760.6%
TOTAL	203'676	247'123	100.0%
Utilisation de l'électricité (MWh/an et part de la demande totale)			
Pompes à chaleur	2'204	29'811	12.1%
Chauffages électriques directs	13'058	5'189	2.1%
Hors chaleur (process inclus)	188'414	212'123	85.8%
TOTAL	203'676	247'123	100.0%

²⁷ La STEP produit environ 12 GWh/an de biogaz dont 10 GWh réinjecté dans le réseau de gaz

Fribourg - Bilan par habitant des besoins énergétiques et puissance par habitant en énergie primaire

Le calcul de l'augmentation de la population est basé sur l'augmentation de la SRE estimée, soit une augmentation de 27%. L'augmentation relative considère une SRE par habitant équivalente en 2015 et en 2035.

	2015	2035 (valeur estimée)
SRE	3.43 mio de m ²	4.37 mio de m ²
Population	38'288	48'626
Besoins énergétiques (KWh/habitant/an)		
Besoins de chauffage	10'276	7'759
Besoins d'ECS	1'588	1'614
Electricité (hors chaleur)	4'921	4'362
Bilan annuel Société à 2000 W (W/hab) en énergie primaire		
Electricité	1'497	918
Combustibles fossiles	1'589	996
Mobilité²⁸	950	627
Valeurs additionnelles²⁹	700	623
Total	4'736	3'164

²⁸ 2450 W par véhicule, taux de 0.52 véhicule/hab et correction de 75% car Fribourg est une ville centre. Baisse de 34% des consommations de carburants. D'après le document : « Les Cités de l'énergie sur la voie de la société à 2000 watts » de SuisseEnergie (2010)

²⁹ Valeurs additionnelles à intégrer dans le bilan local (transport aérien, rail et transport de marchandises, grands émetteurs et tourisme à la pompe). Baisse de 11% des consommations. D'après le document : « Les Cités de l'énergie sur la voie de la société à 2000 watts » de SuisseEnergie (2010)

VIII. PARAMÈTRES DE SIMULATION PAR ZONE DU PLAN D'AFFECTATION

Zone du Plan d'affectation (nom)	IUS (0 si pas de densification)	Répartition des affectation [% de SBP]											
		logement collectif	logement individuel	Administratif	Ecoles	Commerces	Restauration	Lieux de rassemblement	Hopitaux	Industries	Dépôts	Install. Sportives	Piscines couvertes
1 Zone de Ville I	0												
2 Zone de ville II	0												
3 Zone de ville III	2.3	75%		15%		5%			5%				
4 Zone résidentielle protégée 1	0												
5 Zone résidentielle faible densité 1	0.75	75%	25%										
6 Zone résidentielle faible densité 2	0.95	75%	25%										
7 Zone résidentielle à moyenne densité 1	0.9	35%	65%										
8 Zone résidentielle à moyenne densité 2	1.3	35%	65%										
9 Zone résidentielle protégée 2	0												
10 Zone résidentielle à forte densité 1	1.5	85%		5%		5%			5%				
11 Zone résidentielle à forte densité 2	2.3	85%		5%		5%			5%				
12 Zone d'intérêt général I	0												
13 Zone d'intérêt général II (Équibre)	0												
14 Utilité publique normale	0												
15 Utilité publique protégée	0												
16 Activité	0												
17 ZVIG	0												
18 Gare + hangar + voie cff	0												

Zone du Plan d'affectation

X. CARTES

Besoins

1. Affectation principale des bâtiments
2. Agent énergétique pour le chauffage
3. Agent énergétique pour l'eau chaude sanitaire
4. Epoque de référence des bâtiments
5. Niveau de température d'approvisionnement
6. Puissance et délai de remplacement des chaudières
7. Consommation annuelle de chaleur
8. Densité des besoins de chaleur par hectare
9. Densité des besoins de chaleur par zone du plan d'affectation

Ressources

10. Potentiel solaire thermique
11. Potentiel solaire photovoltaïque
12. Surfaces de toitures pour la production PV
13. Installations solaires existantes
14. Secteurs de protection des eaux
15. Admissibilité des sondes géothermiques verticales
16. Réseau de gaz
17. Chauffage à distance
18. Collecteurs avec potentiels
19. Preneurs de froid potentiels

Scénarios

20. Scénario – Densité des besoins de chaleur par hectare
21. Scénario -Densité des besoins de chaleur par zone du plan d'affectation
22. Scénario – Secteurs d'étude technico-économique
23. Scénario - Concepts d'approvisionnement

Autres

24. Parcelles constructibles non bâties
25. Zones urbaines
26. Priorité des rénovations
27. Projets de développement urbain

XI. GROUPE E CELSIUS – PROJET AGGLOMÉRATION FRIBOURG

XII. GREENWATT - RAPPORT DE MESURE DES REJETS THERMIQUES