Plan sectoriel de l'énergie

—

Juillet 2017



ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

Service de l'énergie SdE
Amt für Energie AfE

—

Direction de l'économie et de l'emploi **DEE**
Volkswirtschaftsdirektion **VWD**

Sommaire

1. Introduction 8

2. Fourniture d'énergie 16
2.1 Energie renouvelable 16
2.1.1 Eau 18
2.1.2 Vent 26
2.1.3a Solaire thermique 39
2.1.3b Solaire photovoltaïque 45
2.1.4 Géothermie et chaleur de l'environnement 53
2.1.5 Bois 66
2.1.6 Biomasse / Biogaz 73
2.2 Rejets de chaleur 79
2.2.1 STEP 79
2.2.2 Industrie 84
2.2.3 Usines d'incinération 87
2.3 Energie non renouvelable 91
2.3.1 Energie fossile 95
2.3.1a Charbon 95
2.3.1b Pétrole 97
2.3.1c Gaz 101
2.3.2 Nucléaire 109

3. Utilisation de l'énergie 116
3.1 Electricité 116
3.2 Chaleur 124
3.3 Transports 129

4. Transformation d'énergie 140
4.1 Chaudière 142
4.2 Couplage chaleur-force (CCF) 144
4.3 Pompe à chaleur (PAC) 148
4.4 Pile à combustible 150
4.5 Turbinage 151
4.6 Capteurs thermiques 152
4.7 Capteurs photovoltaïques 156

5. Transport d'énergie 162
5.1 Réseau électrique 162
5.2 Réseau de gaz 171
5.3 Chauffage à distance 174

6. Stockage d'énergie 184

7. Efficience énergétique 194
7.1 Bâtiments 194
7.2 Industrie 199

8. Stratégie énergétique 206

9. Organisation 214



Avant-propos



Olivier Curty, Conseiller d'Etat | Staatsrat
Directeur de l'Economie et de l'emploi (DEE)
Volkswirtschaftsdirektion (VWD)

C'est un document passionnant et très instructif que vous avez sous les yeux. Depuis quelques années en effet, la question énergétique est devenue centrale. Face aux effets déjà mesurables du réchauffement climatique, la nécessité de nous libérer de notre dépendance aux énergies polluantes de source fossile apparaît désormais comme une évidence.

Mais qu'en est-il du canton de Fribourg. Comment compte-t-il apporter sa pierre à l'édifice de la transition en cours ? Avec quelles ressources et par quels moyens ?

Ce Plan sectoriel permet justement de répondre à ces questions, de visualiser concrètement la manière dont l'Etat entend mettre en œuvre sa stratégie énergétique décidée en 2009 déjà, et notamment la valorisation des ressources indigènes et le développement des énergies renouvelables.

Pour cela nous avions besoin d'une planification détaillée et actualisée, qui reflète aussi une judicieuse pesée d'intérêts entre les différentes politiques sectorielles. Les analyses conduites pour l'élaboration de ce document confirment d'ailleurs qu'il est tout à fait possible d'atteindre les objectifs fixés. Les résultats du plan sectoriel ont ainsi été intégrés au nouveau Plan directeur cantonal.

Le dernier plan sectoriel de l'énergie datait de 2002. Cette nouvelle édition représente donc une évolution majeure, notamment en termes de technologies s'agissant des projets éoliens, de géothermie ou du solaire.

Le oui massif (58,2%) donné le 21 mai 2017 par le peuple suisse à la Stratégie 2050 de la Confédération éclaire aussi ce Plan sectoriel d'une lumière particulière. Il a en effet montré que la population soutien pleinement cette transition énergétique, et en particulier les Fribourgeoises et les Fribourgeois qui l'ont plébiscitée avec plus de 63% de votes favorables.

Le Plan sectoriel de l'énergie du canton de Fribourg représente donc une feuille de route qui répond à la fois aux exigences de notre temps, mais aussi aux attentes de notre population, que j'invite à parcourir ce document. Ce document n'est en effet pas seulement destiné aux spécialistes. Ses rédacteurs l'ont aussi rendu didactique grâce à de nombreux schémas explicatifs qui passionneront un large lectorat, et ce n'est pas la moindre de ses vertus.

Au terme de sa lecture, il s'en dégage la conviction que le canton de Fribourg a une vision claire du rôle qu'il entend jouer dans cette transition énergétique si importante pour les générations présentes et futures.

Bonne lecture.





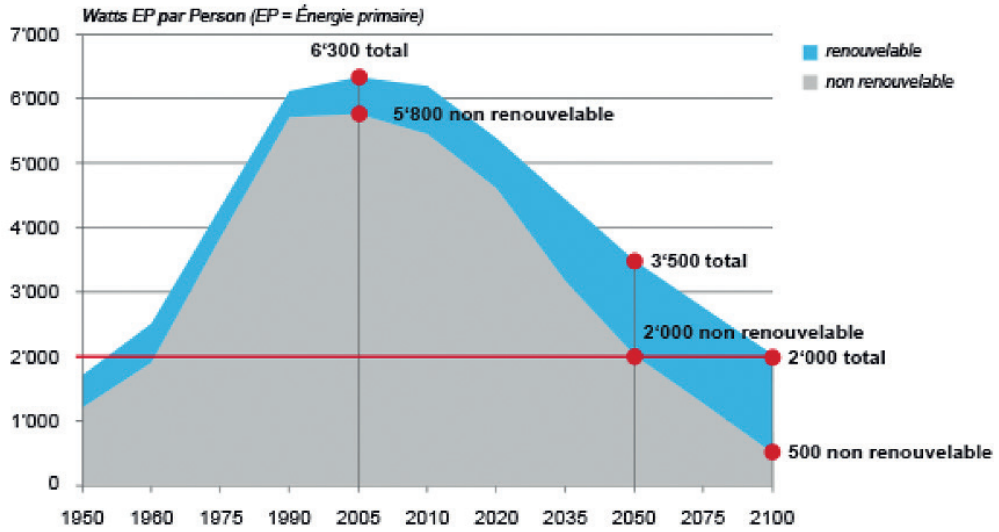
1. Introduction

1. Introduction

Le plan sectoriel de l'énergie est un des principaux instruments cantonaux de planification énergétique, basé d'ailleurs sur une exigence de la loi cantonale sur l'énergie[1]. Il contient un inventaire des infrastructures existantes, évalue le potentiel des énergies à disposition, fixe par source d'énergie les priorités par rapport aux régions qui s'y prêtent, et sert finalement de base au thème « énergie » du plan directeur cantonal qui lie les autorités. Entre autres domaines plus généraux, l'énergie hydraulique, l'énergie éolienne, la géothermie, la biomasse et le bois-énergie, le solaire thermique et photovoltaïque, la valorisation des rejets de chaleur, ainsi que les réseaux d'énergies sont autant de sujets devant être traités dans ce contexte.

Le présent document remplace le plan sectoriel de l'énergie de 2002.

Depuis 2002, la situation énergétique s'est profondément modifiée (voir encadré 1). La stratégie énergétique fribourgeoise définie en 2009 par le Conseil d'Etat vise la société à 4'000 W d'ici à 2030 (actuellement 6000 W) et la société à 2'000 W d'ici à 2100. Elle garde toute son actualité au niveau de la vision. Au niveau opérationnel, il faut tenir compte des derniers événements et décisions relatives à la Stratégie énergétique 2050 de la Confédération et s'engager concrètement dans cette nouvelle phase de transition énergétique. Pour le canton de Fribourg, l'objectif du présent plan sectoriel est d'en conforter les bases sur le plan territorial.



Evolution de la consommation moyenne par personne selon le concept de la société à 2000 watts
Source : SdE, Rapport « Stratégie énergétique »

[1] **Art. 7** Plan sectoriel
1. La Direction établit un plan sectoriel de l'énergie.
2. Le plan sectoriel répertorie notamment les secteurs convenant particulièrement à l'utilisation de certains agents énergétiques et fixe les priorités quant à leurs utilisations.
3. Les résultats du plan sectoriel sont intégrés au plan directeur cantonal.

Le terme de « transition énergétique » en Suisse, fait référence à la période qui s'étend de 2011 à 2035, voire 2050 (voir encadré 2). Durant cette période, notre système énergétique va subir des transformations fondamentales. Le spectre de l'épuisement des ressources fossiles, les risques liés au réchauffement climatique, l'accident nucléaire de Fukushima et les risques géopolitiques transforment profondément le paysage énergétique. Dans ce contexte, il nous faut réduire notre dépendance aux énergies fossiles, tout en renonçant progressivement à l'énergie nucléaire. Simultanément, notre consommation énergétique totale continue de croître, même s'il faut noter que cette augmentation a tendance à se stabiliser.

Pour réussir cette transition énergétique, il faudra, dans un délai très court de 20 à 30 ans :

- combiner les efforts d'efficacité énergétique et de sobriété, tout en maintenant les prestations ;
- stimuler l'adoption de nouvelles sources d'énergie, notamment renouvelables ;
- repenser leur acheminement, leur distribution et leur stockage ;
- adapter les conditions cadres qui régissent le marché actuel de l'énergie.

Les défis sont autant de nature stratégique que socio-économique, environnementale ou climatique. Il s'agit donc :

- de conserver un niveau élevé de sécurité d'approvisionnement, non seulement pour l'électricité en l'absence de centrales nucléaires, mais aussi pour les carburants et les combustibles ;
- de maintenir un prix de l'énergie abordable pour tous ;
- de minimiser l'impact sur la nature et les paysages, tout en respectant les populations concernées ;
- de réduire nos émissions de gaz à effet de serre.

Comme le montre le présent plan sectoriel, des solutions existent. Il sera cependant très compliqué de satisfaire conjointement tous ces critères, parfois contradictoires. Malgré leurs avis divergents, les différents groupes d'intérêts et partis politiques devront trouver des compromis sur les priorités et les pondérations à donner aux différents critères en question.

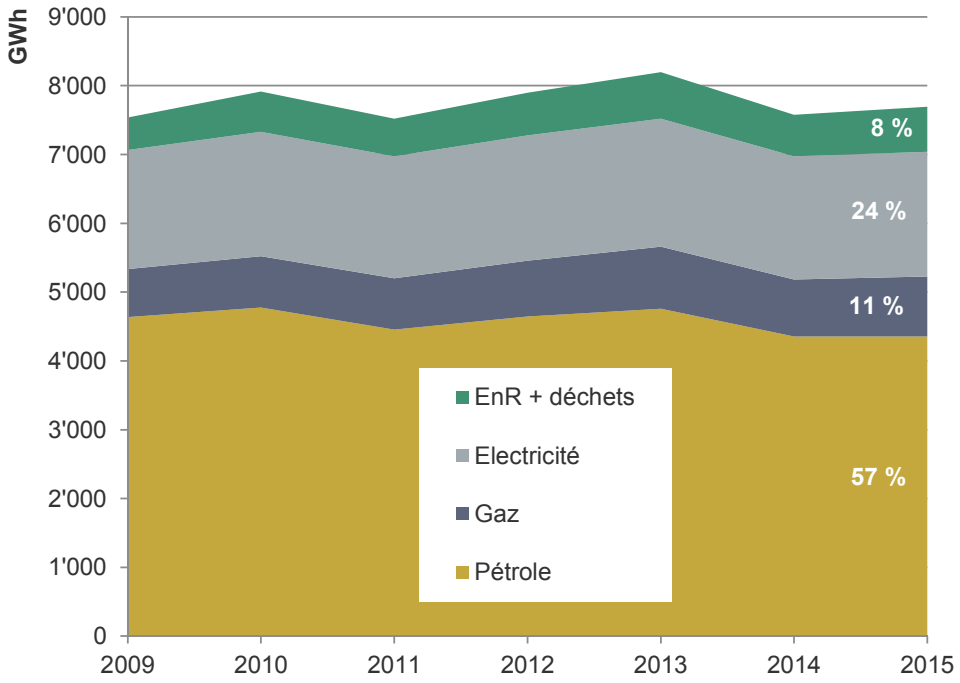
N.B. La stratégie énergétique fribourgeoise de 2009 exprime ses objectifs pour l'an 2030, tandis que la stratégie énergétique 2050 de la Confédération s'est fixé un jalon intermédiaire en 2035. Dans le présent plan sectoriel, on considèrera la période 2030-2035 comme un seul horizon temporel avec ses objectifs propres, qui restent quoi qu'il en soit approximatifs.

Le Service de l'énergie publie périodiquement un rapport décrivant la situation énergétique du canton [1]. Ce document a pour but de suivre l'évolution et l'impact des mesures définies dans la nouvelle stratégie énergétique. Il permet de mesurer l'atteinte des objectifs fixés.

1. Introduction

–

Par exemple, le graphique ci-dessous illustre l’évolution de la consommation d’énergie finale dans le canton:



Sources: OFEN, SdE

Les mesures cantonales prennent place dans le contexte international et la situation en Suisse, qui sont rappelés par les deux encadrés ci-dessous.

Encadré 1 : Contexte international

La consommation mondiale d'énergie n'a cessé d'augmenter durant ces dernières décennies (+40% entre 1990 et 2010) et affiche même une accélération de la croissance au cours de ces dix dernières années (+2,5% en moyenne par an). Selon les dernières projections, cette évolution pourrait se poursuivre avec une progression de plus de 50% entre 2010 et 2040, si rien n'est fait pour inverser cette tendance. En ce qui concerne les émissions de CO_2, le constat est sensiblement le même avec une progression de 49% depuis 1990. Depuis 2010, une liste d'événements et d'éléments marquants se dégage. Parmi ceux-ci, on peut souligner notamment le boom du gaz de schiste aux États-Unis provoquant une chute du prix du gaz naturel, la décision de l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) de ne pas réduire la production, avec comme conséquence une chute brutale du prix du pétrole, l'essoufflement de l'économie en Europe et en Chine qui pèse sur la demande d'énergie dans ces régions, une abondance de charbon bon marché et des prix bas pour les certificats de CO_2 qui permettent de produire de l'électricité à bas prix en Europe, et un marché de l'électricité chamboulé à cause d'une bonne croissance des productions d'électricité d'origines renouvelables (solaire, éolien, biomasse). Au sein de l'Union européenne (UE), la politique énergétique poursuit trois grandes options que sont la sécurité d'approvisionnement, la compétitivité et la durabilité.

Les objectifs chiffrés de l'UE en matière de politique énergétique et climatique sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Objectifs	2020	2030	2050
Emissions de gaz à effet de serre	-20%	-40%	-80% à -95%
Part de l'énergie issue de sources renouvelables	20%	27%	
Amélioration de l'efficacité énergétique	20%	27% à 30%	

La «Feuille de route pour l'énergie à l'horizon 2050 : vers un secteur énergétique sûr, compétitif et «décarboné»» décrit les mesures à prendre pour atteindre ces objectifs. Deux domaines d'action pour la mise en œuvre de la politique énergétique de l'UE sont alors essentiels : d'une part la promotion de l'efficacité énergétique et les économies d'énergie, et de l'autre le développement des énergies renouvelables (énergie éolienne, solaire, hydroélectrique, marine, géothermique et issue de la biomasse, ainsi que les biocombustibles). Dans le domaine de l'efficacité et des économies d'énergie, l'accent est notamment mis sur les éléments suivants :

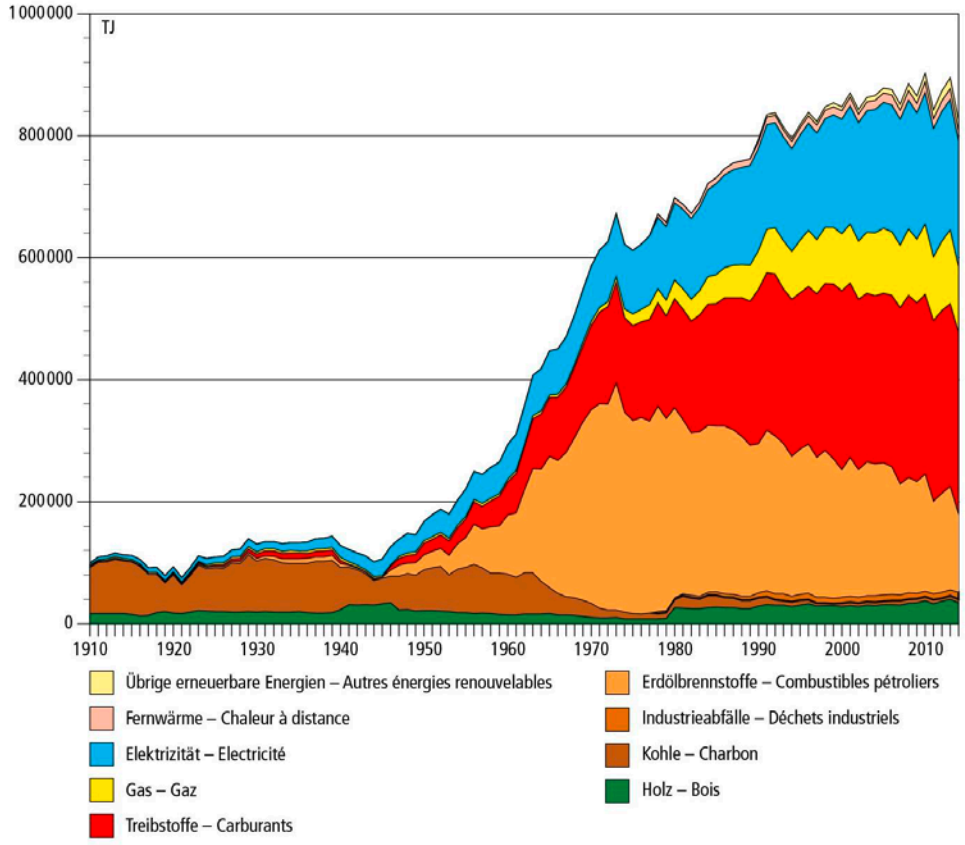
- La rénovation énergétique des bâtiments ;
- La cogénération à haut rendement et les réseaux efficaces de chaleur et de froid ;
- La réalisation d'audits énergétiques des grandes entreprises ;
- Le déploiement de réseaux intelligents et de compteurs intelligents ainsi que l'indication d'informations précises sur les facteurs d'énergie.

1. Introduction

–

Encadré 2 : Situation en Suisse

Depuis la fin de la Seconde Guerre mondiale, la consommation énergétique suisse a affiché une forte augmentation, ceci jusqu'au premier choc pétrolier de 1973. Par la suite, le taux de croissance a progressivement reculé, au fil des années, pour atteindre une tendance à la stabilisation depuis le milieu des années 2000 environ, comme le montre le graphique ci-dessous.

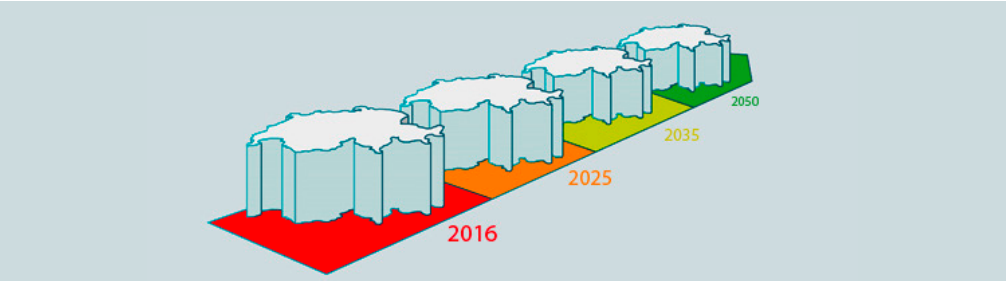


Consommation finale d'énergie en Suisse selon les agents énergétiques. Source : OFEN

Consécutivement à la catastrophe nucléaire de Fukushima le 11 mars 2011, le Conseil fédéral et le Parlement ont pris la décision de principe d'un abandon progressif de l'énergie nucléaire. Ainsi, les cinq centrales nucléaires existantes sur notre territoire devront être mises hors service à la fin de leur durée d'exploitation, sans être remplacées par de nouvelles. Cette décision suppose une transformation radicale du système énergétique suisse. Une révision de la stratégie énergétique de la Confédération a donc été entreprise. Celle-ci, basée sur les perspectives énergétiques 2035, a été revue avec un horizon porté à 2050. Sans mettre en péril ni la sécurité d'approvisionnement élevée dont la Suisse a bénéficié jusqu'à présent ni le caractère peu coûteux de l'approvisionnement énergétique en Suisse, les objectifs de la Stratégie énergétique 2050 ont donc été formulés ainsi :

- la consommation moyenne d'énergie finale par personne doit diminuer de 43% d'ici 2035 par rapport à 2000 ;
- la consommation d'électricité moyenne par personne doit diminuer de 13% d'ici 2035 par rapport à 2000 ;

- la production annuelle moyenne d'électricité issue des nouvelles énergies renouvelables (sans la force hydraulique) doit atteindre au moins 11,4 TWh en 2035 ;
- la production annuelle moyenne théorique d'électricité issue de la force hydraulique doit atteindre au moins 37,4 TWh en 2035.



Les grands axes de la Stratégie énergétique 2050 se résument ainsi :

- réduction de la consommation d'énergie et d'électricité avec l'encouragement de la gestion économe de l'énergie et de l'électricité, en renforçant les mesures d'efficacité ;
- augmentation de la part des énergies renouvelables axées sur une croissance de la force hydraulique et des nouvelles énergies renouvelables ;
- développement des réseaux de transport d'électricité et transformation vers des réseaux intelligents («smarts grids») avec un raccordement de manière optimale au réseau européen ;
- développement des solutions de stockage d'énergie ;
- renforcement de la recherche énergétique ;
- fonction d'exemple de la Confédération, des cantons, des villes et des communes ;
- intensification de la coopération internationale dans le domaine de l'énergie.

Dans ce contexte, le Département de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) a élaboré un premier paquet de mesures reposant sur les principes constitutionnels actuels afin de mettre en œuvre la Stratégique énergétique 2050. Le 30 septembre 2016, le Parlement a adopté ce premier paquet de mesure, lequel inclut une révision complète de la loi sur l'énergie et l'adoption de onze autres lois fédérales. Un référendum contre ce paquet a abouti avec une votation populaire à la clé le 21 mai 2017. Celle-ci a permis au peuple de s'exprimer clairement en faveur de la nouvelle stratégie qui a été acceptée par 58,2 % des voix et même 63,2 % dans le canton de Fribourg. Les modifications législatives entrent donc en vigueur le 1er janvier 2018.

- [1] Service de l'énergie. Stratégie énergétique Etat de Fribourg Rapport 2010-2015. Fribourg, 2016





2. Fourniture d’énergie

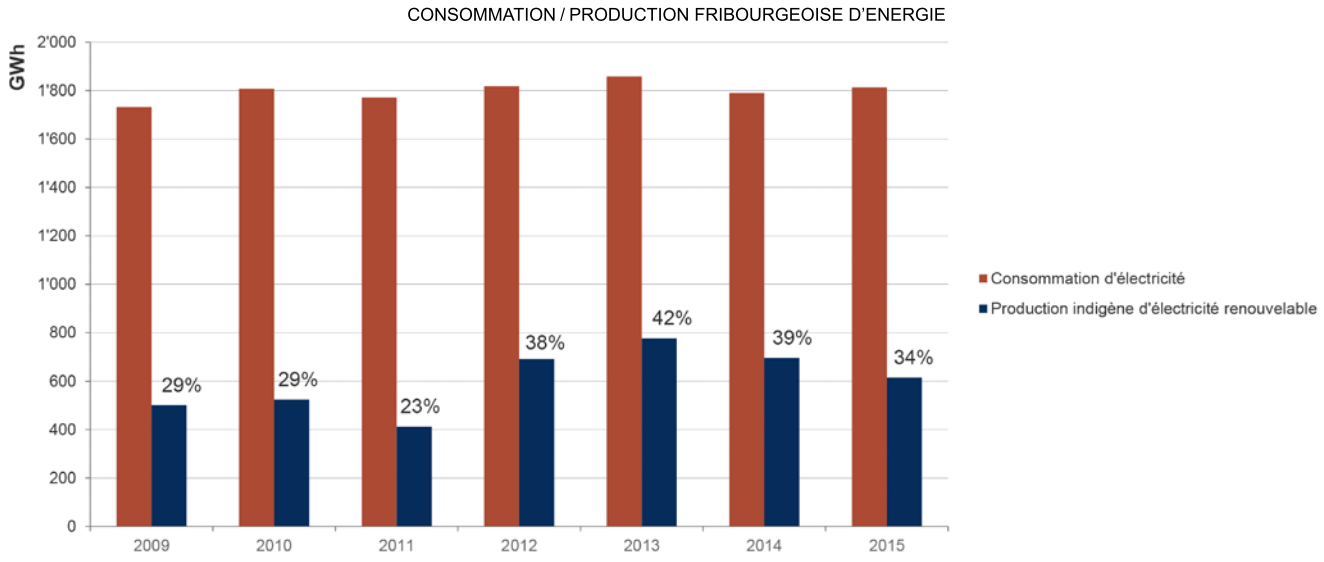
2. Fourniture d'énergie

2.1 Energie renouvelable

Introduction

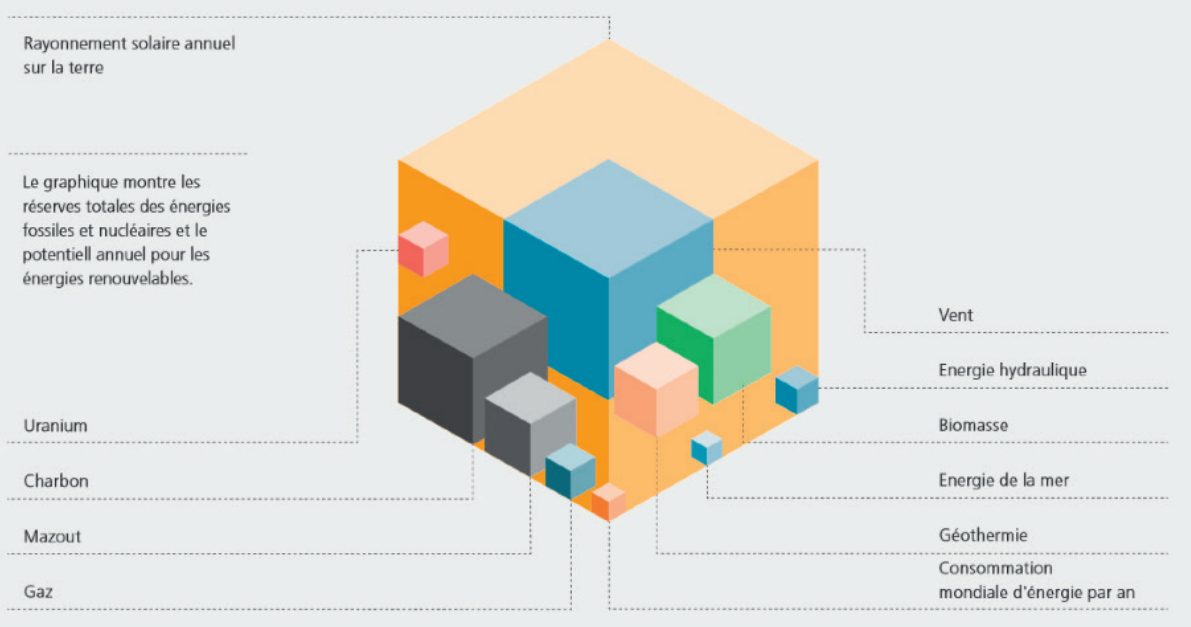
Par définition, une énergie renouvelable désigne une source d'énergie qui se régénère naturellement et dont le processus de renouvellement (par exemple la croissance des arbres pour le bois) est assez rapide pour que la ressource soit considérée comme inépuisable à l'échelle humaine [1]. Les énergies renouvelables [3] comprennent essentiellement le rayonnement solaire, l'énergie du vent (éolien), l'énergie hydraulique, la biomasse (notamment le bois) et la chaleur présente naturellement dans l'environnement (dans l'air, l'eau, le sol). Les énergies renouvelables permettront de faire la transition d'un système énergétique qui puise rapidement dans nos réserves d'énergies fossiles (principalement du pétrole et gaz) et ont un impact fort sur notre environnement et nous rend dépendant de l'étranger vers un système énergétique plus durable, tout en offrant des perspectives à l'économie régionale et suisse [2, 5].

En 2015, la production indigène d'énergie renouvelable dans le canton couvre à peu près un tiers de la consommation d'électricité (34%), 20% de la consommation de l'énergie thermique. Elle est toujours négligeable dans le domaine de la mobilité. En somme, la part renouvelable d'énergie finale dans la consommation énergétique du canton de Fribourg n'est que de 15%.

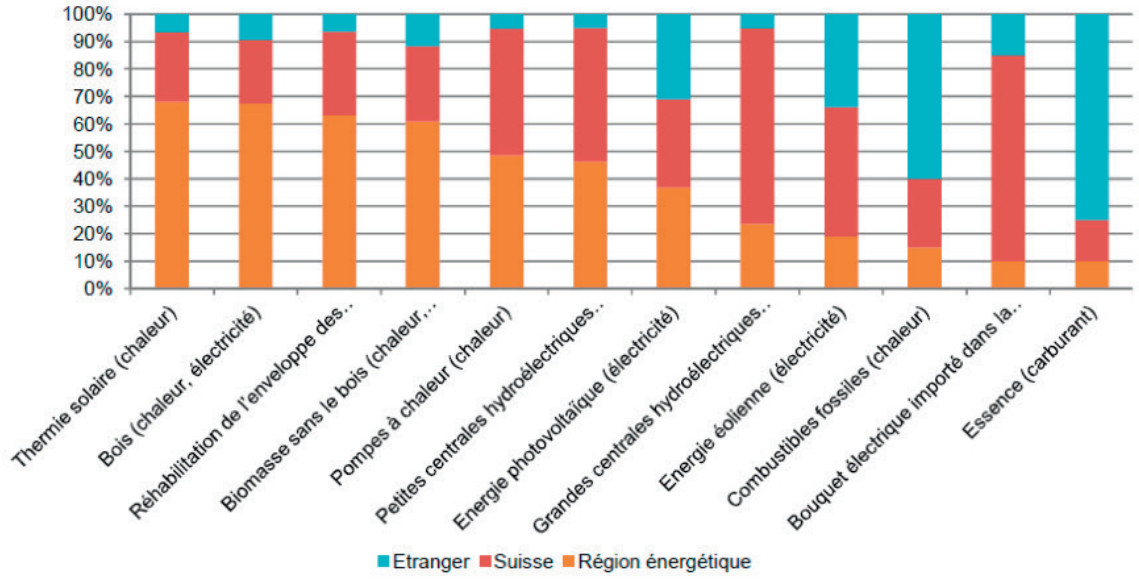


Évolution de la production et de la consommation de 2009 à 2015. Source : SdE / Sstat

Les potentiels des énergies renouvelables sont pourtant bien plus importants que les potentiels des énergies fossiles. De plus, les énergies renouvelables permettent d'augmenter les parts de la création de valeur, particulièrement au niveau régional, comme démontre une étude [2] qui a analysé les facteurs de succès et les potentiels économiques pour le développement des énergies indigènes.



Le potentiel des énergies renouvelables est considérable tant au niveau mondial que régional. Source : Swissolar (2015) [4]



Parts de la création de valeur dans la région énergétique (régions analysées dans l'étude suisse), en Suisse et à l'étranger. Source : RegioSuisse et al. (2012) [2]

Les chapitres suivants traitent des différentes sources d'énergies renouvelables les plus pertinentes dans le canton de Fribourg.

Bibliographie

- [1] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique : 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015
- [2] ARE, BLW, BFE, SECO und RegioSuisse: Regionalökonomische Potenziale und Erfolgsfaktoren für den Aufbau und Betrieb von Energieregionen, September 2012
- [3] Ordonnance sur l’énergie (OEne) du 7 décembre 1998 (Etat le 1er janvier 2016)
- [4] Swissolar, Chaleur et électricité par la force du soleil, 2015
- [5] OFEN, Volkswirtschaftliche Bedeutung erneuerbarer Energien in der Schweiz, janvier 2013

2.1.1 Eau

Evolution et utilisation aujourd’hui

La force de l’eau est utilisée depuis des millénaires pour aider les êtres humains dans leurs tâches. Cependant, la transformation de la force hydraulique en électricité a connu un véritable âge d’or entre 1945 et 1970, lorsque de nombreuses centrales au fil de l’eau ont vu le jour en plaine, et que les plus grands ouvrages d’accumulation ont été bâtis. Jusqu’au début des années 1970, près de 90% de l’électricité produite en Suisse provenait de la force hydraulique. L’augmentation des besoins a suscité d’autres moyens de production (centrales nucléaires) et, en 2016, cette part se monte à environ 56%. Cependant, la force hydraulique s’est constamment développée et reste la principale source d’énergie renouvelable de notre pays [1].

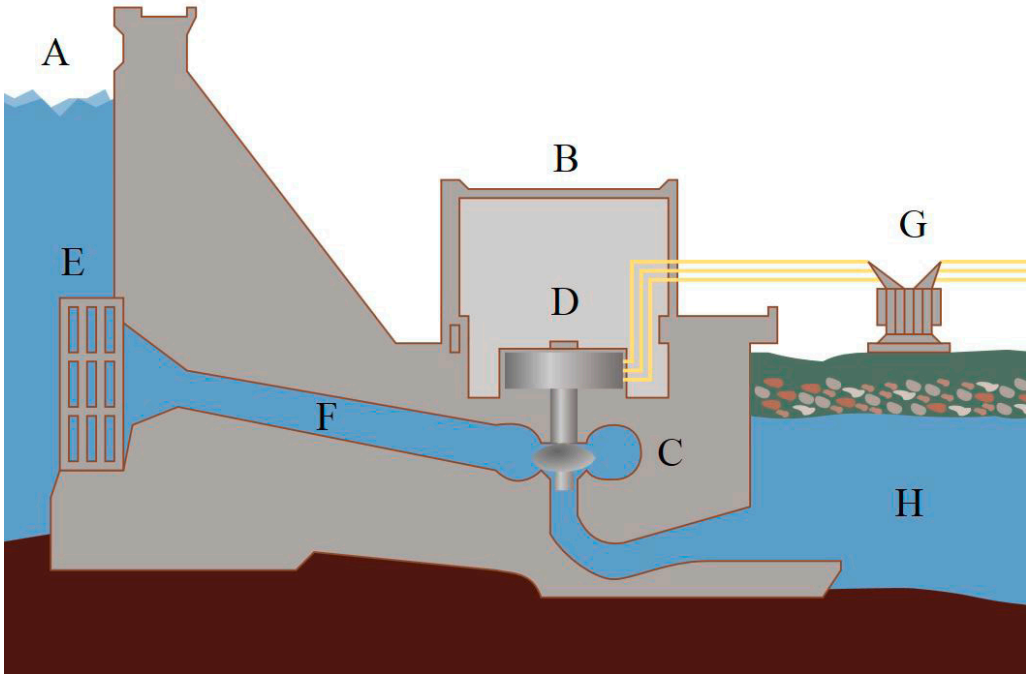


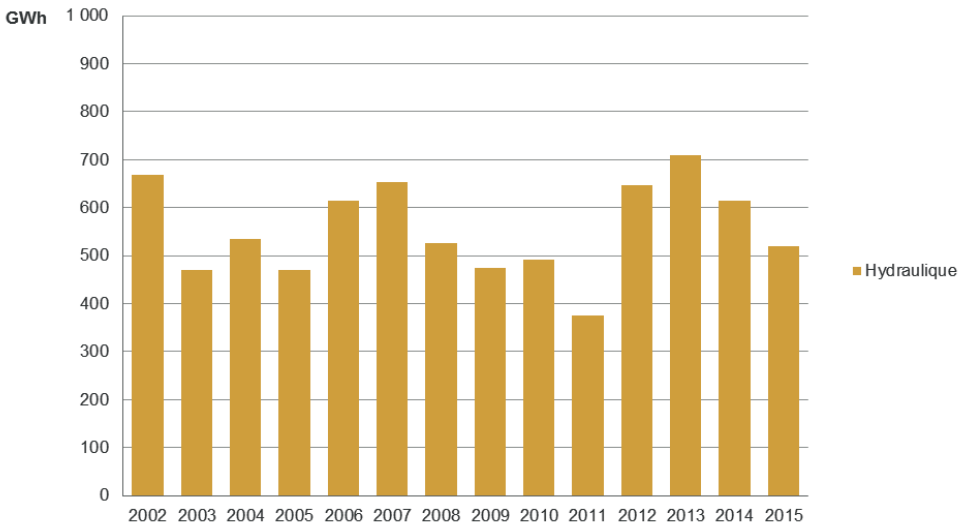
Schéma en coupe d'un barrage hydroélectrique.
> A: réservoir > B: centrale électrique > C: turbine > D: générateur > E: vanne
> F: conduite forcée > G: transformateur et lignes électriques > H: rivière

« Hydroelectric dam-letters » par User:Tomia — Travail personnel. Sous licence CC BY 2.5 via Wikimedia Commons

Une conduite forcée d'eau relie un réservoir à une centrale électrique. A cause de la différence d'altitude entre le plan d'eau et la centrale, l'eau dans la conduite est sous pression. Cette pression est utilisée pour actionner la turbine qui transforme l'énergie potentielle en énergie cinétique. Finalement, l'énergie cinétique est transformée en énergie électrique.

Dans le canton de Fribourg, les initiatives visionnaires de l'ingénieur Guillaume Ritter à la fin du 19ème siècle ont permis la réalisation dès 1910 des premiers grands projets de production d'électricité. Plusieurs centrales hydroélectriques du canton sont alimentées par des conduites forcées. La première à voir le jour dans le canton, en 1910, est celle du barrage de la Maigrauge, en ville de Fribourg, alimentant à partir du lac de Pérolles la centrale de l'Oelberg. La petite hydraulique (centrales d'une puissance inférieure à 10 MW) existe depuis longtemps en Suisse, puisqu'on dénombrait 7'000 petites centrales hydroélectriques au début du XXe siècle. Par exemple, la première centrale hydroélectrique de Charmey a été construite en 1893. Mais la production de courant à moindre coût dans les grandes centrales a entraîné la mise hors service d'un grand nombre de ces installations jusqu'à n'atteindre en 2008 plus que 1'000 unités, produisant le 10% de l'hydroélectricité. Depuis lors, de nouveaux programmes de promotion ont été initiés et ont permis de déposer plus de 1'200 nouveaux projets, dont 466 étaient en exploitation fin 2015 [2].

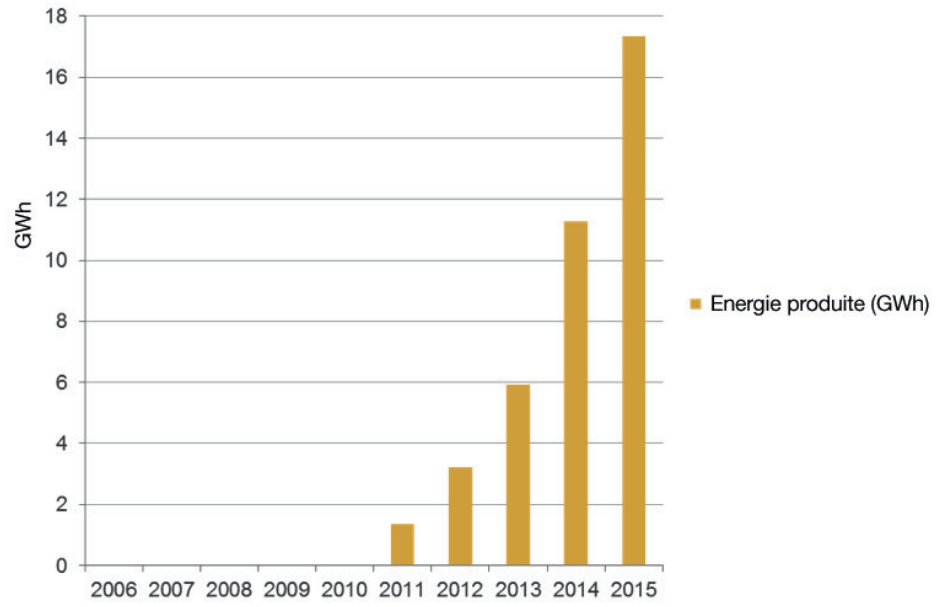
Ces dernières années, les installations hydroélectriques du canton ont produit en moyenne environ 600 GWh d'électricité par an. Cela représente environ 90% de la production indigène d'électricité et le tiers de la consommation totale d'électricité [3].



Production hydroélectrique du canton de Fribourg. Sources : SdE / Sstat

La production annuelle est directement dépendante de la pluviométrie (par exemple 2011 fut une année particulièrement sèche et 2013 particulièrement humide).

Grâce aux nouveaux programmes de promotion à l'échelon fédéral, des projets fribourgeois ont également pu voir le jour : jusqu'en 2015, 11 projets ont été mis en service pour une production de 17 GWh/an [3].



Nouvelles petites centrales hydroélectriques fribourgeoises. Source : SdE

Principaux aménagements hydroélectriques du canton de Fribourg :

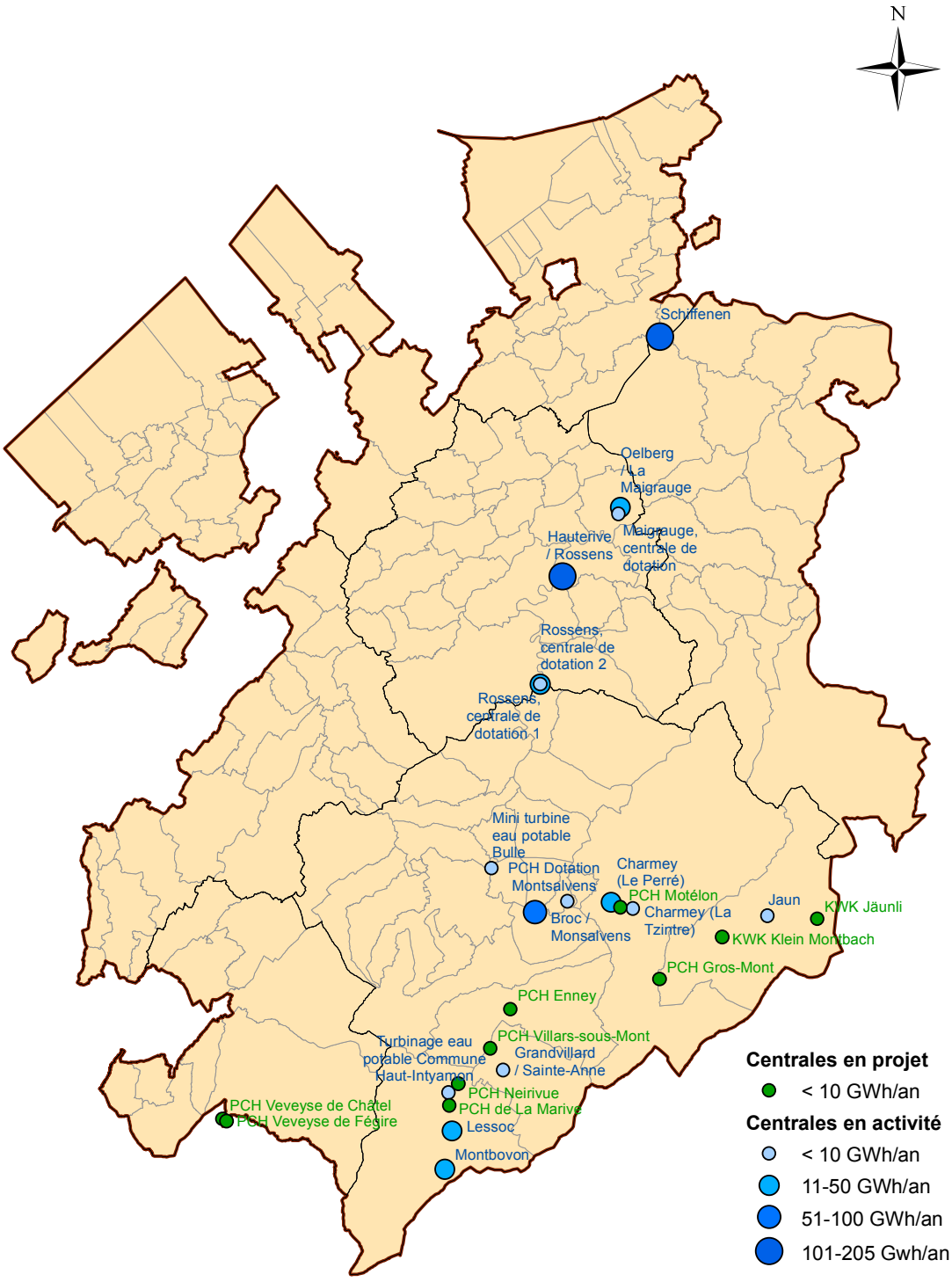
Centrale / barrage	Année de mise en service et de dernière transformation	Puissance [MW]	Energie produite [GWh / an]
Hauterive / Rossens / lac de la Gruyère	1902 / 1948	57.50	205.00
Schiffenen / lac de Schiffenen	1964	49.92	133.40
Broc / Montsalvens / lac de Montsalvens	1921 / 1988	23.50	70.00
Oelberg / La Maigrauge/lac de Pérolles	1910 / 1980	16.90	50.00
Lessoc / lac de Lessoc	1973	8.00	22.00
Charmey (Le Perré)	1893 / 1982 / 2013	4.50	18.90
Montbovon / Rossinière / Lac du Vernex	1896 / 1972	6.36	17.60
Rossens, centrale de dotation 2	2005	1.60	11.00
Grandvillard / Sainte-Anne	1999	2.90	6.50
Maigrauge, centrale de dotation	1870 / 1952	0.55	4.00
Charmey (La Tzintre)	2012	0.86	3.50
Jaun	1982	0.36	2.32
Rossens, centrale de dotation 1	1976	0.67	1.63
Montsalvens dotation	2013	0.20	1.20
Turbinage eau potable commune Haut-Intyamon	2007	0.16	1.20
Mini turbine eau potable Vaucens	2011	0.016	0.11

Une dizaine de projets de petites centrales hydroélectriques sont à l'étude pour une production d'électricité escomptée d'environ 30 GWh/an.



Site de la prise d'eau du projet de Veveyse de Châtel-St-Denis. Source : Greenwatt

Aménagements hydrauliques du canton de Fribourg



La storymap de l'OFEN permet de localiser les centrales hydrauliques de Suisse d'une puissance supérieure à 300 kW ainsi que les cours d'eau qui les alimentent. (http://www.bfe-gis.admin.ch/storymaps/WK_WASTA)

Potentiel

L'augmentation possible de la production passe notamment par la modernisation de certaines installations existantes et la réalisation de nouvelles centrales pour la petite hydraulique. A plus petite échelle, une conduite d'eau potable ou d'eau usée sous pression peut jouer le même rôle qu'une conduite forcée dans le domaine de la grande hydraulique. En effet, en installant une petite turbine à son extrémité, on produit de l'électricité.

Le potentiel de développement est évalué à environ 50 GWh/an, soit une augmentation d'une dizaine de pourcents de la production actuelle [4]. Les perspectives incluent quelques installations de turbinage sur les réseaux d'eau potable, ainsi que dans les processus de traitement des eaux usées. Selon l'étude de l'OFEN de 2012, le potentiel fribourgeois pour la seule petite hydraulique est de 40 GWh/an en fonction des conditions d'utilisation. [5]



Barrage de Schiffenen. Source : Groupe E

« D'autre part, un projet de Groupe E consistant à turbiner l'eau du lac de Schiffenen avant de la déverser dans le lac de Morat par une nouvelle conduite permettrait de produire environ 158 GWh/an sur le canton, avec toutefois une restitution d'environ 55 GWh/an à considérer pour les centrales de l'Aar privées d'une partie des eaux de la Sarine par la déviation vers le lac de Morat. Il doublerait presque la production actuelle de l'aménagement de Schiffenen [7]. De plus, il modèrerait l'impact environnemental des éclusées actuelles dans la Sarine. Il est intéressant de relever qu'un projet similaire est déjà décrit en détail dans le bulletin n° 43 de la Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles de 1953. On peut noter également que cet article mentionne le projet d'usine Schiffenen-Morat dans le plan directeur du bassin de la Sarine établi en 1913 par Hans Maurer, alors ingénieur en chef des Services industriels du canton de Fribourg.

Pour la Suisse entière, le potentiel d'augmentation de la production hydroélectrique inclus dans la Stratégie énergétique 2050 devrait se situer entre 1500 et 3200 GWh/an en fonction des conditions d'utilisation [5]. Dans la nouvelle loi fédérale du l'énergie du 30 septembre 2016, l'objectif indicatif de production hydroélectrique est fixé à 37400 GWh en 2035, ce qui correspond à la valeur minimale de la fourchette du potentiel (augmentation de 1500 GWh/an). En additionnant les potentiels partiels cités ci-dessus et en tenant compte de leurs influences mutuelles, on obtient un potentiel supplémentaire fribourgeois total de 198 GWh/an et de 143 GWh/an à l'échelle de la Suisse. Ce dernier chiffre représenterait une contribution de 9,5% de l'objectif national.
L'eau peut également être utilisée à des fins thermiques pour chauffer des locaux (à l'aide de pompes à chaleur) ou pour refroidir des processus ou des bâtiments {voir le chapitre 2.1.4 Géothermie et chaleur de l'environnement}.

Stratégie

La stratégie voulue par le Conseil d'Etat consiste à :

- Valoriser de manière optimale le potentiel hydraulique du canton ;
- Privilégier les projets présentant peu d'impact environnemental en rapport à la quantité d'énergie produite ;
- Assainir les installations existantes qui créent des atteintes environnementales, selon la planification cantonale.

Il convient pour ce faire de respecter différentes conditions en :

- Assurant que le potentiel hydraulique restant, qui ne porte pas préjudice aux cours d'eau, puisse être exploité de manière efficiente ;
- Préservant de tous projets les cours d'eau non altérés et ceux qui disposent d'un fort potentiel écologique.

L'augmentation possible de la production hydroélectrique doit se faire dans les priorités suivantes :

- Amélioration de l'efficacité énergétique des centrales existantes, autant que possible ;
- Turbinage des eaux potables ;
- Réalisation de nouvelles centrales de petite hydraulique sur les cours d'eaux.

Concernant la grande hydraulique, sa gestion doit être coordonnée notamment avec :

- la planification cantonale de la revitalisation des cours d'eau ;
- la planification cantonale de l'assainissement des éclusées, du charriage et de la migration piscicole ;
- les différentes utilisations de l'eau.

Impact (environnemental, économique, politique)

Impact environnemental :
Le développement de petites centrales et leur dispersion sur le territoire peuvent constituer une menace pour les cours d'eau naturels.

Le rapport intitulé « Evaluation et gestion de la force hydraulique du canton de Fribourg » et validé par le Conseil d'Etat [4] fournit toutes les informations sur les procédures à suivre ainsi que les critères d'exclusion et d'évaluation pour de nouvelles petites centrales hydrauliques. Par ailleurs il contient une carte des cours d'eau exclus. Chaque nouveau projet sera analysé en fonction de ces critères.

Le rapport ne concerne que les nouvelles demandes de concession pour de petits aménagements hydroélectriques (< 10 MW) sur les cours d'eau. En outre, la pose des conduites forcées à l'air libre a un effet négatif sur le paysage. De même, la déviation d'une rivière par une conduite change l'écologie du cours d'eau. Les demandes pour des mini-centrales non raccordées au réseau électriques (p.ex. alpages) sont évaluées au cas par cas, des exceptions aux procédures développées restant envisageables. Le document ne traite pas des aménagements hydroélectriques sur les réseaux (eau potable, eaux usées).

Dans tous les cas, trois procédures se déroulant en parallèle doivent être coordonnées : la demande de concession, la demande de permis de construire et la procédure d'approbation des plans d'installations électriques. Pour les projets dont la puissance installée est supérieure à 3 MW, une étude d'impact sur l'environnement (EIE) est exigée.

Les dernières modifications de lois fédérales imposent de prendre de nouvelles mesures concernant les éclusées, les régimes de charriage et la migration piscicole. Entre 2013 et 2014, plusieurs études ont été effectuées concluant que tous les aménagements situés sur la Sarine devaient subir des assainissements entre 2020 et 2030 [6].

Impact économique :
Avec un volume de plus de 1,8 milliard de francs (calcul basé sur un prix de 5 ct./kWh au départ de la centrale), la force hydraulique occupe une place importante sur le marché suisse de l'énergie.

Rapportée à la production hydraulique fribourgeoise de 600 GWh, cette estimation permet de chiffrer à environ 30 millions de francs par an l'impact économique local. En ce qui concerne les emplois, selon Groupe E environ 100 personnes dans le canton de Fribourg sont directement impliquées dans la production d'énergie hydroélectrique.

Impact politique :
Le développement de la force hydraulique a un impact sur d'autres politiques sectorielles, en particulier dans le domaine de l'environnement, de la protection des eaux et de la faune, ainsi que de la nature et de paysage. Le cadre légal et la stratégie cantonale en tiennent compte.

Bibliographie

- [1] OFEN. Page thématique « Force hydraulique » du site internet. Berne, 2016
- [2] SSES. Revue « Energies Renouvelables » n° 6, décembre 2015
- [3] Service de l'énergie. Stratégie énergétique Etat de Fribourg Rapport 2010-2015. Fribourg, 2016
- [4] Service des ponts et chaussées. Evaluation et gestion de la force hydraulique du canton de Fribourg. Fribourg, 2010
- [5] OFEN. Le potentiel hydroélectrique de la Suisse : Potentiel de développement de la force hydraulique au titre de la stratégie énergétique 2050. Berne, 2012
- [6] Service des ponts et chaussées. Planification stratégique de l'assainissement des cours d'eau. Fribourg, 2014
- [7] Valeurs de projet Groupe E. Fribourg, 2014

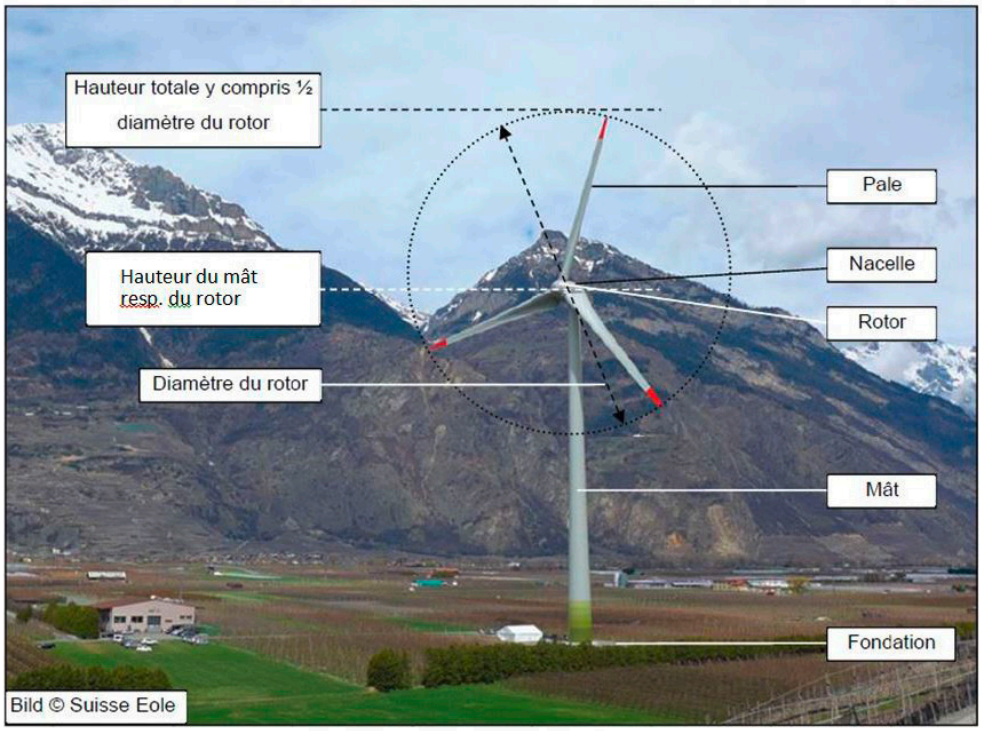
2.1.2 Vent

Evolution et utilisation aujourd'hui

Depuis des siècles, le vent fait avancer l'homme. Il lui a permis de traverser les océans, de moudre le grain et de faire fonctionner des machines. Après l'énergie animale, l'énergie éolienne constitue la forme la plus ancienne utilisée par l'homme, initialement pour la locomotion (pour la voile, puis pour les ballons), puis pour effectuer un travail mécanique (moulins, scieries, pompes). Aujourd'hui, elle est principalement utilisée pour produire de l'électricité. Cette évolution est possible grâce à la constante amélioration de la technologie et à la recherche associée.

Une éolienne utilise l'énergie cinétique du vent et la convertit en énergie mécanique grâce au rotor, puis en énergie électrique au travers du générateur. Au cours des dernières décennies, la technologie et par conséquent la taille et la performance des éoliennes se sont rapidement développées. Le modèle courant d'éolienne en Suisse a un diamètre de 100 mètres, une puissance nominale de 2 à 3 MW et une hauteur de mât entre 80 et 120 mètres en fonction de l'emplacement. Certains projets en développement projettent l'installation d'éoliennes avec des mâts de 150 m. L'utilisation de mâts de grande taille permet de capter les vents puissants et réguliers soufflant au-dessus de la zone proche du sol perturbée par le relief et les obstacles.

A noter que l'éolien est une forme dérivée d'énergie solaire puisque ce sont les différences d'intensité du rayonnement solaire à la surface du globe qui provoquent des variations de température et de pression à l'origine des vents. D'autre part, l'air - même immobile - est aussi une ressource énergétique puisqu'il peut être utilisé comme source de chaleur par les pompes à chaleur {voir le chapitre 4.3 Pompe à chaleur}.



Eléments constitutif d'une éolienne, exemple de l'installation de Charrat (VS).

La première éolienne suisse raccordée au réseau a été mise en service à Langenbruck le 28 avril 1986, soit deux jours après l'accident nucléaire de Tchernobyl. Cette installation a donc envoyé un signal fort, montrant comment il serait possible d'envisager un approvisionnement durable en électricité dans le futur. Bien que de puissance modeste (0,028 MW), elle est toujours en fonction.

De 2001 à 2016, le site du Mont Crosin dans le Jura bernois s'est développé pour devenir le plus grand parc éolien de Suisse avec 16 machines dont plusieurs ont déjà été remplacées. La puissance du parc se monte à 37 MW pour une production annuelle de près de 75 GWh.

Toutefois, le développement de l'éolien en Suisse a été extrêmement lent avec la pose de 34 turbines en tout pour une puissance totale de 60 MW et une production d'électricité en 2015 de 110 GWh (31'430 ménages, soit presque autant que les villes de Neuchâtel et Fribourg réunies) [1].

Ce chiffre ne représente cependant que le 0.15% des besoins nationaux d'électricité, ce qui place la Suisse loin derrière tous ses voisins d'Europe (par exemple l'Autriche qui dispose d'une puissance 25 fois plus grande). Il est d'autant plus modeste en regard du potentiel extrêmement élevé de l'énergie éolienne (voir ci-après). Le site www.wind-data.ch met à disposition la carte de toutes les éoliennes de Suisse en fonction, ainsi que beaucoup d'autres renseignements comme par exemple l'atlas des vents de la Suisse.

La notion de parc éolien est quelque peu subjective et dépend de l'observateur ainsi que du paysage (topographie, végétation, infrastructure). On le décrit usuellement comme un groupe de grandes éoliennes délivrant une quantité d'énergie globale supérieure à 10 GWh par an et dont la distance maximale entre deux éoliennes ne dépasse pas 1.5 km.



Parc éolien de Gütsch (UR). Source : Suisse Eole

Aucune installation éolienne d'importance n'a encore été réalisée dans le Canton.

En 1999, une analyse du potentiel de développement des installations éoliennes a été effectuée. Elle mettait en évidence sept périmètres alors propices à l'exploitation de cette énergie, lesquels ont été inscrits au Plan directeur cantonal de 2002 (Schwyberg, Salette, Corbettaz, Les Plannes, Euschelspass, Vounetz, Gros Plané). Suite au développement technologique de l'énergie éolienne et à la réévaluation de certains critères de ces installations, un nouveau catalogue de critères a été établi en 2008 et documenté dans le cadre du concept pour l'énergie éolienne du Canton de Fribourg. Le Plan directeur cantonal a été révisé : les sites retenus se trouvent plutôt en zones «Préalpes». Deux sites sont jugés favorables (Schwyberg et Les Paccots) et six sites nécessitent des analyses complémentaires.

En 2009, la Stratégie énergétique cantonale [3] désigne le Schwyberg comme prioritaire et indique une production de 36 GWh dès 2012. Ce projet, porté par Groupe E Greenwatt SA, est effectivement le plus avancé, mais il reste bloqué dans de longues procédures juridiques liées à différents recours.



Site éolien potentiel du Schwyberg. Source : SdE

Entre 2012 et 2014, une nouvelle évaluation du potentiel éolien du canton de Fribourg a été réalisée [4] afin d'actualiser l'évolution technologique des machines et de mieux prendre en compte l'application des dispositions légales dans les domaines concernés (aménagement du territoire, bâti et infrastructures,

patrimoine et sites protégés, nature et paysage, environnement, forêts, faune, avifaune, lacs et cours d'eau, militaire, aviation). Les zones potentiellement favorables aux éoliennes ont été retenues uniquement à condition qu'elles respectent les exigences liées aux autres politiques sectorielles. Dans cette étude, aucune pesée des intérêts n'a été faite et l'énergie a dans ce sens systématiquement été considérée au second plan.

En 2016-2017, les recherches se sont poursuivies sur la base de l'évaluation du potentiel éolien établi en 2014. Cette dernière étude [5] avait pour objectif de délimiter les sites favorables au développement éolien sur le territoire cantonal à travers une planification négative (élimination des sites contraints par les critères d'exclusion), puis positive (sélection des sites conciliant au mieux les intérêts publics). La démarche et les résultats sont présentés ci-après.

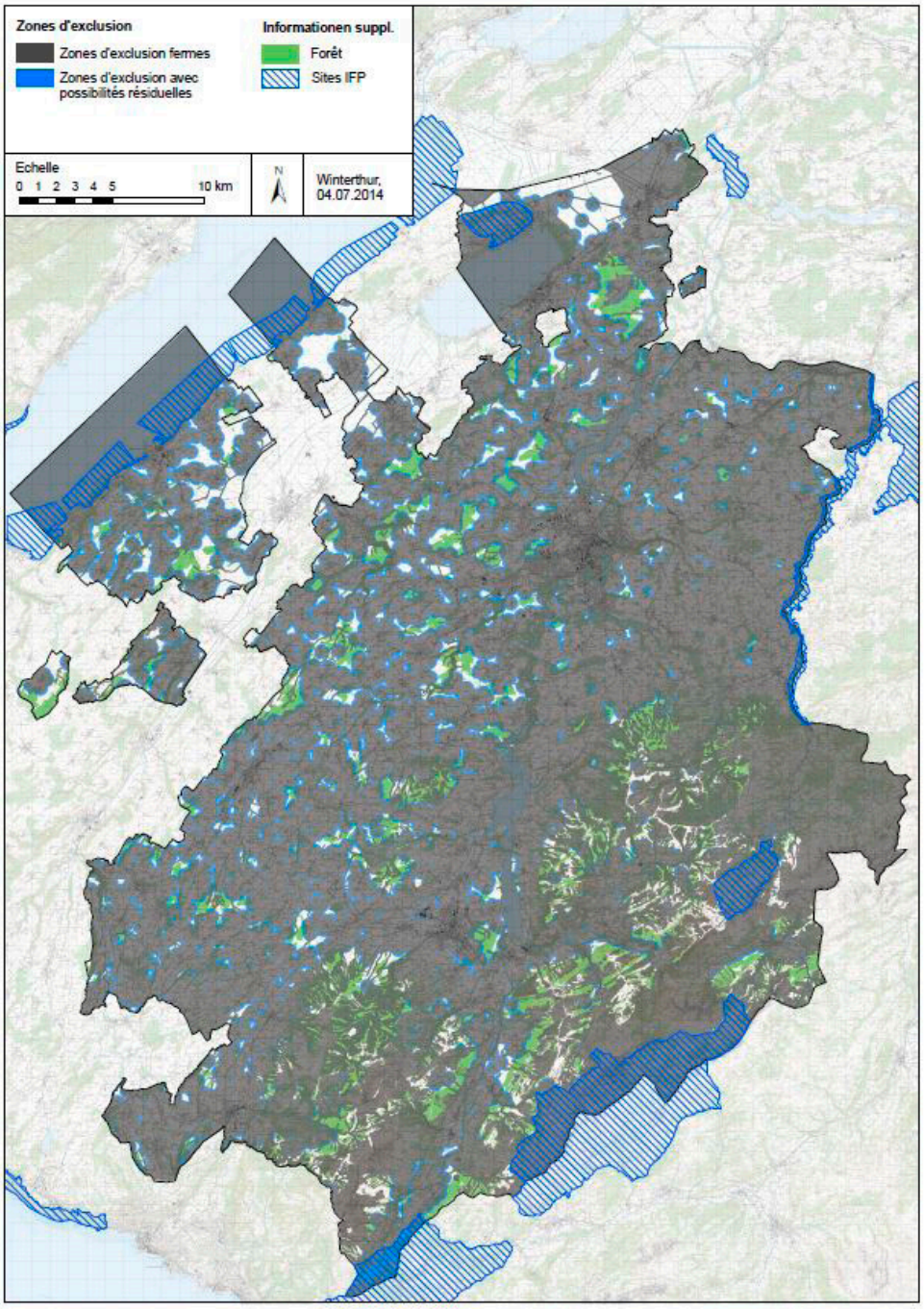
Potentiel

En théorie [2], le potentiel éolien en Suisse correspondrait à 88% de la consommation nationale d'électricité (en 2013). Cependant, de nombreux critères, tant environnementaux, qu'économiques ou sociaux viennent réduire ce potentiel.

Début 2016, quatorze cantons avaient établi une planification éolienne prévoyant une production totale de 3.1 TWh d'ici 2035. 557 turbines bénéficiaient déjà d'une décision positive de subventionnement de la Confédération pour une production de 2 TWh et 334 autres se trouvaient sur une liste d'attente (+1.4 TWh).

Au niveau cantonal, l'étude de 2014 [4] a permis de définir des zones éligibles à des projets éoliens à l'aide de facteurs d'exclusion tenant compte des aspects légaux relatifs aux autres politiques sectorielles ainsi que de critères complémentaires. Contrairement au concept 2008, les zones de forêts ne sont plus systématiquement exclues. Il est plutôt prévu d'analyser au cas par cas les zones forestières protégées au niveau national et les réserves forestières. Des alternatives aux sites forestiers seront examinées, et une pesée d'intérêts entre les sites situés en forêt et les emplacements hors de la zone forestière devra être réalisée afin de confirmer la nécessité du site d'implantation. Dans la mesure où des défrichements seront nécessaires, les conditions d'octroi d'autorisation définies par la loi devront être satisfaites.

La carte suivante résulte de l'analyse de zones : zones d'exclusion (zones gris foncé et bleu) et zones théoriquement éligibles (représentées en blanc et vert).



Sur la base de la carte ci-dessus, la quantité théorique d'énergie éolienne qui pourrait être produite dans le canton de Fribourg – si toutes les surfaces possibles devaient être équipées d'éoliennes – est évaluée à 4.1 – 4.7 TWh, soit plus du double de la consommation annuelle d'électricité du Canton (1.8 TWh). La prise en compte des contraintes techniques et des limitations telles que les aspects sociétaux, paysagers, politiques, d'aménagement du territoire, touristiques, etc. entraine une forte réduction de l'estimation de la production d'énergie propre à chaque site. Néanmoins, un gisement potentiel est présent sur le Plateau fribourgeois comme dans la région des Alpes/Préalpes et ce, presque à part égale.

L'énergie éolienne a donc le potentiel pour devenir un pilier important de la production d'électricité renouvelable. Cette dernière devrait permettre non seulement d'offrir des solutions de remplacement des centrales nucléaires {voir le chapitre 2.3.2 Nucléaire}, mais aussi de réduire la consommation de combustibles fossiles (grâce au chauffage par pompe à chaleur {voir le chapitre 4.3 Pompe à chaleur}) et de carburants fossiles (grâce à la mobilité électrique {voir le chapitre 3.3 Transports}). Ceci en tirant parti des possibilités de stockage de l'électricité {voir le chapitre 6 Stockage d'énergie).

Le format des petites éoliennes répond à une norme IEC qui leur impose en général une hauteur totale inférieure à 30 m. Ces petites éoliennes doivent respecter les mêmes critères environnementaux que les grandes éoliennes, mais en plus elles doivent faire l'objet d'une démonstration de leur rentabilité énergétique. Il s'agit de s'assurer que l'éolienne produise davantage d'énergie qu'il en a fallu pour sa réalisation. S'il faut entre 6 mois et 2 ans pour qu'une grande éolienne produise l'équivalent de l'énergie nécessaire à sa réalisation, une petite éolienne placée dans un lieu peu venté ne pourra pas compenser l'énergie nécessaire à sa production et à son transport (énergie grise), même sur une durée de 20 ans. Le site internet wind-data.ch permet notamment d'effectuer le calcul du rendement énergétique pour tous les types d'éoliennes. En règle générale, les petites éoliennes ne doivent entrer en ligne de compte que dans des situations particulières (p. ex. en cas d'absence de raccordement au réseau électrique).

Les micro-éoliennes domestiques que l'on peut installer sur son toit ne sont en l'état globalement pas rentables, car les conditions de vent sur les bâtiments sont rarement favorables. La quantité d'électricité produite sur leur durée de vie ne permet pas de couvrir les coûts d'investissement élevés. Elles peuvent néanmoins s'avérer pertinentes dans certains cas spécifiques, comme des cabanes de montagne ou des exploitations d'estivage (chalets d'alpage) qui n'ont pas d'accès au réseau électrique.



Micro-éolienne.

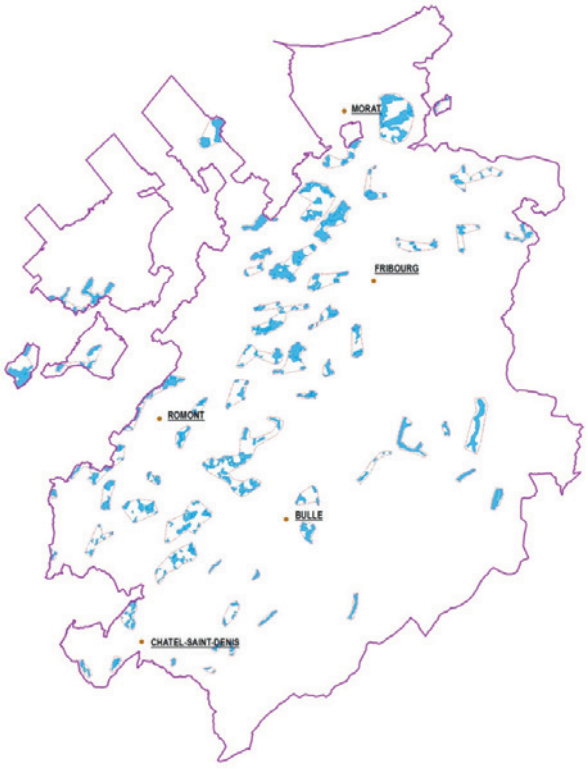
Stratégie

La stratégie énergétique de la Confédération prévoit que l'énergie éolienne couvrira environ 7% de la consommation d'électricité de la Suisse d'ici 2050, soit 4 TWh. En 2035, on table sur une production de 1.5 TWh obtenue avec environ 375 turbines. En 2050, la Confédération estime l'apport du Canton de Fribourg à 250 GWh/an au minimum.

Rapporté à l'échelle du canton (4% de la surface nationale) l'objectif fribourgeois est fixé à une production d'électricité de 160 GWh par an.

L'étude de 2016-2017 [5] présente les conditions retenues pour la détermination des secteurs propices à l'énergie éolienne. A travers une analyse précise du territoire cantonal et un processus d'évaluation de critères par pondération, elle a permis d'identifier les sites éoliens résultant de la meilleure pesée des intérêts multiples, tout en minimisant les impacts sur l'environnement. L'étude s'est déroulée en sept étapes :

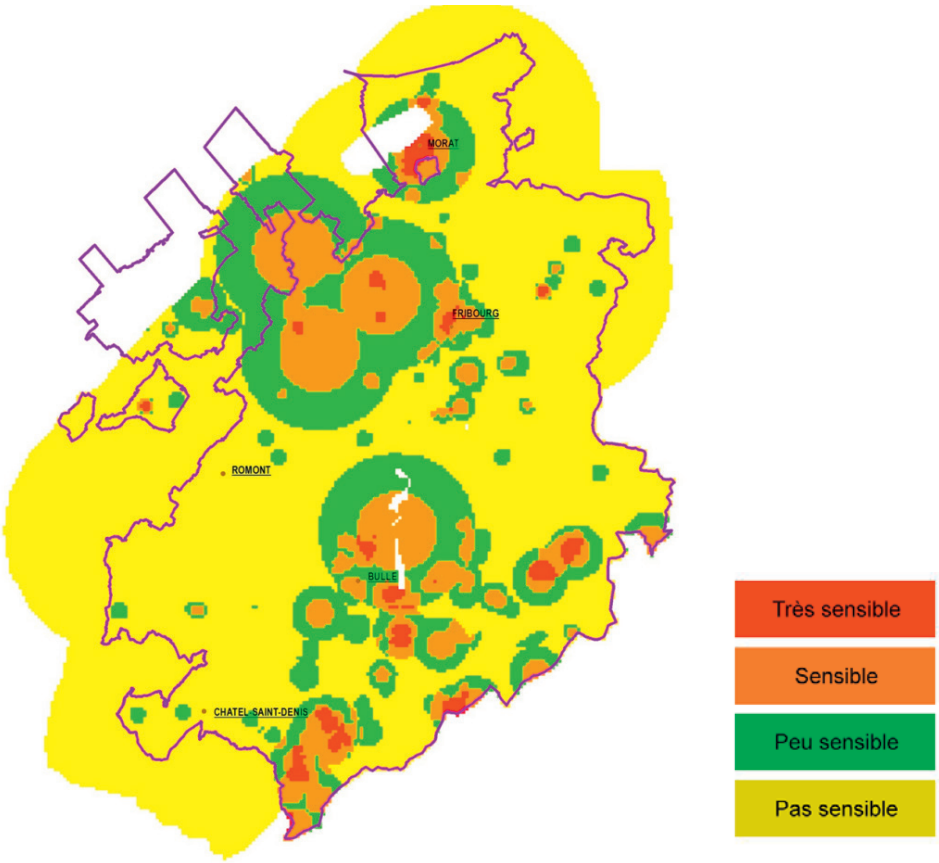
Etape 1 : Délimitation des sites de faisabilité éolienne (SFE)
Cette délimitation se base sur 24 critères d'exclusion retenus dans l'étude de potentiel éolien 2014 [4] complétés par 9 autres nouveaux critères d'exclusion : sites IFP, bâtiments habités et zones à bâtir, servitudes radioélectriques, installations civiles pour la navigation aérienne, installations militaires pour la navigation aérienne, aérodromes et terrains d'aviation, zones IBA – Important Bird Area, secteurs d'exploitation des matériaux, gazoducs HP et stations. Cette planification négative a mis en évidence 59 SFE exempts de toutes contraintes d'exclusion et évalués lors de l'étape 2 relative à la pondération.



Zones potentielles et sites de faisabilité éolienne SFE (en bleu)

Etape 2 : Définition des critères d'évaluation pour les SFE

- L'évaluation des 59 SFE se base sur une grille de 12 critères groupés dans les 4 dimensions suivantes :
- Société (distance aux zones à bâtir et habitations)
- Technique (distances aux radars civils et militaires, infrastructures publiques)
- Economie (vitesse du vent, distance pour le raccordement électrique, qualité et longueurs des accès routiers)
- Nature et paysage (sensibilité par rapport aux aspects suivants : milieux naturels, oiseaux nicheurs, oiseaux migrateurs, chauves-souris, paysage-anthropisation, paysage-typicité).



Exemple de critère : sensibilité relative à la présence de chauves-souris. Source : FRIbat – CCO Fribourg (Centre de Coordination Ouest pour l'étude et la protection des chauves-souris)

Chaque SFE a été évalué de 0 à 3 points sur chacun des 12 critères, sur la base d'une échelle justifiée. Cette étape a également permis d'évaluer le nombre d'éoliennes que chaque site SFE pourrait accueillir.

Etape 3 : Information et participation à la pondération par les acteurs du territoire
La définition du poids de chaque critère et dimension est validée par le groupe de travail du canton à l'issue d'une démarche d'information et de participation des différents acteurs du territoire fribourgeois et suisse permettant à chacun de se prononcer en fonction de ses intérêts relatifs à l'énergie éolienne.

Etape 4 : Sélection des sites de faisabilité éolienne possibles
Suite aux retours des 25 acteurs ayant participés à l'étape 3, chaque site a reçu une note qui a permis de le classer et de lui appliquer deux filtres sélectifs supplémentaires (note finale > 1.5 et nombre d'éoliennes ≥ 6). Les pondérations retenues résultent simplement de la moyenne arithmétique entre les résultats des 25 acteurs.

Grille d'évaluation moyenne des 25 acteurs
Moyenne simple

Dimensions	Poids	
SOCIETE	23,2%	100%
TECHNIQUE	19,6%	
ECONOMIE	20,8%	
NATURE ET PAYSAGE	36,4%	

Critères	Poids	
Distance aux habitations	100%	100%
Radars civils et militaires	46%	100%
Infrastructures publiques	54%	
Vent	48%	100%
Raccordement électrique	25%	
Accès routiers	27%	
Milieux naturels	15%	100%
Oiseaux nicheurs	24%	
Oiseaux migrateurs	20%	
Chauves-souris	21%	
Paysage - Anthropisation	11%	
Paysage - Typicité	9%	

Les sites ressortant de cette analyse sont au nombre de 21 et sont classés selon la note finale obtenue. Ils totalisent 195 éoliennes techniquement réalisables.

Etape 5 : Evaluation et caractérisation des 21 sites et sélection de 7 sites de projet (SP)
Une analyse précise est réalisée « site par site », pour en définir clairement les périmètres (planification positive) et le potentiel de production en relation avec les objectifs de la stratégie énergétique cantonale, qui fixe la production éolienne à 160 GWh/an en 2030. Sept sites éoliens sont ainsi retenus.

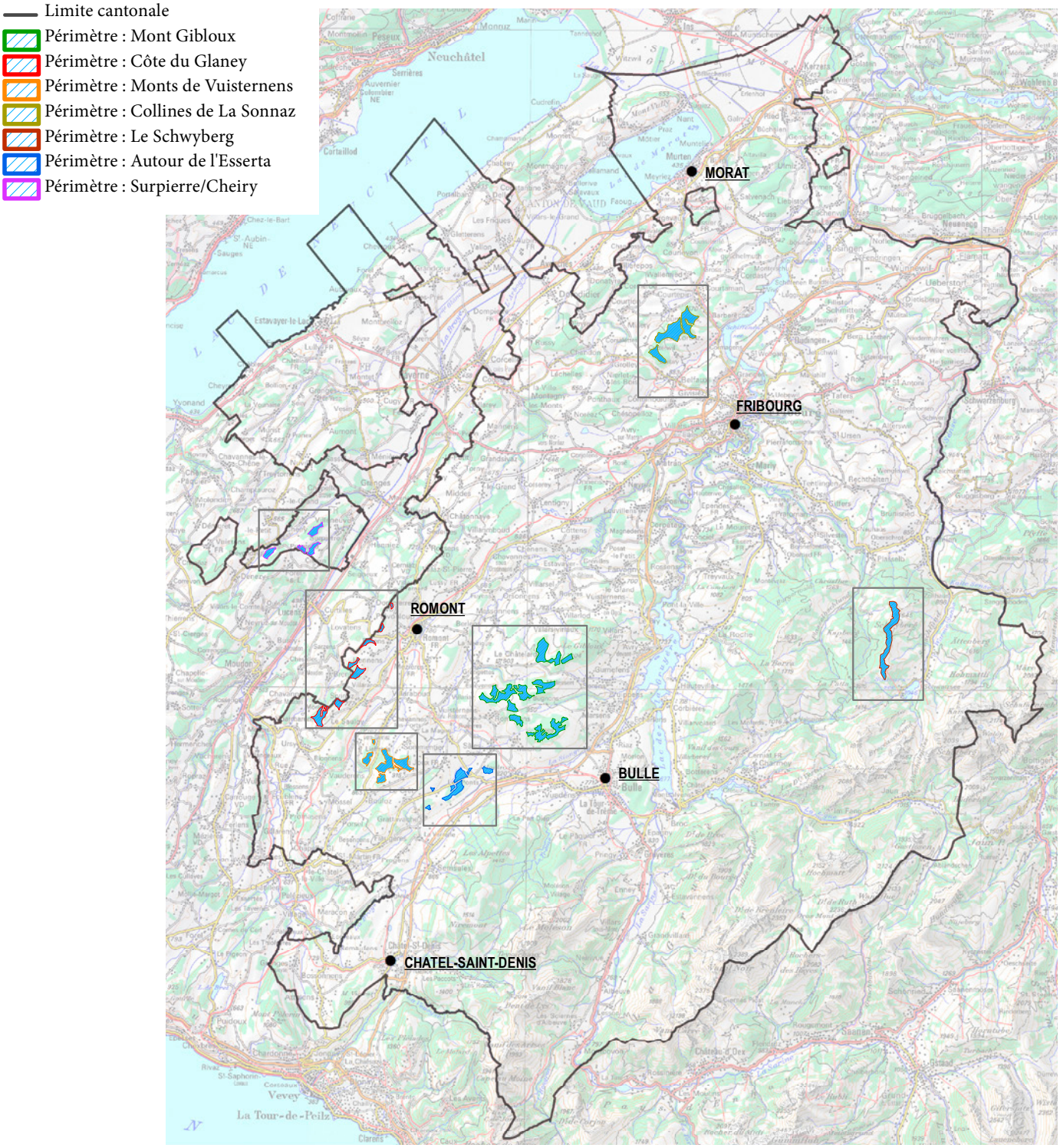
Etape 6 : Analyses des 7 sites de projet (SP)
Des expertises complémentaires sur les 7 SP (biodiversité et compatibilité avec la navigation aérienne civile) sont menées afin de consolider leur faisabilité et de définir un cahier des charges pour leur planification.

Etape 7 : Prise en compte de nouvelles conditions a posteriori

Fin 2016, plusieurs éléments significatifs sont apparus alors que les travaux de réflexion et d'élaboration de l'étude au sein du groupe de travail étaient finalisés. En particulier, l'arrêté du Tribunal Fédéral pour le projet éolien du Schwyberg et l'étude du DDPS pour le développement de l'énergie éolienne à proximité de la Base aérienne de Payerne. Ces éléments ayant un impact sur la définition des sites initialement retenus, ils ont nécessité des compléments d'études faisant l'objet de cette septième étape.

Il en résulte que les sites éoliens retenus dans la planification éolienne 2016-2017, au nombre de sept, sont les suivants :

Nom du site éolien	Communes de site	Nombre éolienne	Production nette calculée (GWh/an)
Massif du Gibloux	Sâles, Le Châtelard, Vuisternens-devant-Romont, Grangettes, Sorens, Pont-en-Ogoz, Vuisternens-en-Ogoz, Le Glèbe	14	82
Côte du Glaney	Siviriez, Ursy, Billens-Hennens, Romont	10	45
Monts de Vuisternens	Vuisternens-devant-Romont, Le Flon, Siviriez	9	47
Collines de la Sonnaz	Misery-Courtion, Belfaux, La Sonnaz, Courtepin, Barberêche	8	36
Le Schwyberg	Plaffeien, Plasselb	9	33
Surpierre-Cheiry	Surpierre, Cheiry, Prévondavaux	7	34
Autour de l'Esserta	Sâles, Vuisternens-devant-Romont, La Verrerie, Vaulruz	9	47



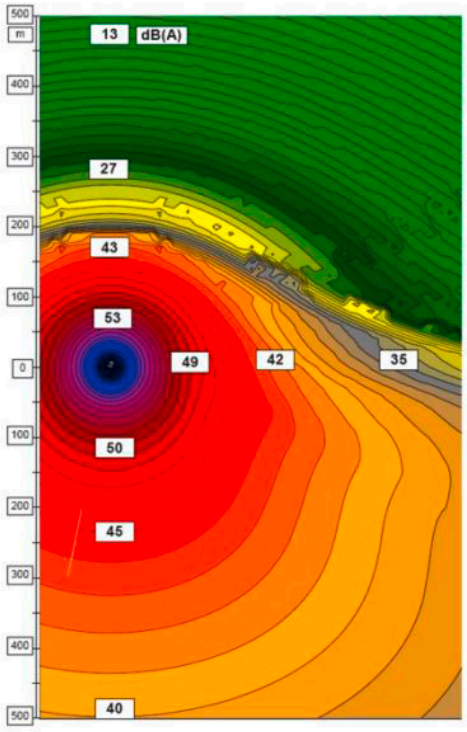
Les 7 sites de projet éolien retenus susceptibles d'accueillir plus de soixante éoliennes

Ceux-ci feront l'objet d'une planification de détails à travers laquelle toutes les études nécessaires et spécifiques devront être menées par les porteurs de projet et les développeurs.

Impact (environnemental, économique, politique)

Impact environnemental :

Les parcs éoliens provoquent des impacts environnementaux, tant lors de la construction que durant leur exploitation. C'est pourquoi tout projet à partir d'une puissance électrique de 3 MW est soumis à une étude d'impact sur l'environnement (EIE). Pour que le projet puisse aller de l'avant, cette étude doit démontrer le respect des exigences légales dans tous les domaines d'impact potentiel, également sur l'homme, les animaux, le paysage et le patrimoine. En plus de la justification du respect des critères d'exclusion cités plus haut, les développeurs devront analyser les éléments suivants durant la planification de détail des projets : les objets naturels et culturels protégés (haies, bosquets), les sites contaminés, les habitats d'espèces sensibles et les aires de rassemblement et corridors de migration, les géotopes d'importance régionale, les sites et objets protégés d'importance régionale ou locale (ISOS, RBC), les voies de communication historiques d'importance régionale ou locale (IVS), les sites archéologiques, les biotopes d'importance locale, les corridors à faune, les activités touristiques (chemins de randonnées ou de raquette, remontées mécaniques…), les distances aux forêts. Les émissions sonores des éoliennes doivent notamment être limitées afin de respecter les limites de l'ordonnance sur la protection contre le bruit. Les éoliennes doivent être peu audibles de la part des riverains et présenter des niveaux acoustiques à l'air libre nettement inférieurs au trafic routier et même plus faibles qu'une simple conversation.



Expansion des émissions sonores d'une éolienne variant fortement selon la topographie et la direction du vent : le point bleu-noir représente l'emplacement de l'installation et les secteurs de chaque couleur sont caractérisés par un niveau sonore équivalent. Source : Suisse Eole

Une méthode d'écobilan, basée sur les unités de charge écologique (UCE), permet d'estimer la charge environnementale de produits et de prestations [1]. L'UCE considère les nuisances, telles que les émissions de gaz à effet de serre et calcule la pollution de l'air, des sols et des eaux, ainsi que les déchets générés. Evalué selon cette méthode, il s'avère que l'éolien génère une électricité parmi les plus écologiques de tous les moyens de production.

Impact économique:
L'investissement d'un parc éolien revient à 5 - 8 millions de francs par éolienne, en fonction de sa taille, de son emplacement et de la complexité de la procédure. En général, 15 à 20% de l'argent investi dans un parc éolien profite aux entreprises régionales (conception, construction, installations électriques, exploitation et maintenance). Quant aux communes, elles voient leurs revenus augmenter (impôts, fermages). En attirant jusqu'à 50 000 visiteurs par an, le parc éolien du Mont-Crosin (Saint-Imier, Jura bernois) génère indirectement environ 1 million de francs de revenus liés aux activités touristiques et fournit un revenu accessoire à une vingtaine de personnes travaillant dans l'hôtellerie, les transports, l'artisanat ou l'agriculture. Toutefois, avec la multiplication de parcs en Suisse, ces effets ne pourront pas être extrapolés aux nouveaux sites. L'éolien crée aussi des emplois durables dans la recherche, la planification, la construction et la maintenance. Selon une étude de McKinsey, la branche devrait employer quelque 10 000 personnes en Suisse à l'horizon 2020, en tenant compte également de l'industrie suisse participant à la fabrication de composants pour des éoliennes installées à l'étranger. Cependant, l'existence d'un marché intérieur favorise le développement d'un savoir-faire local.

Comme pour l'énergie photovoltaïque, l'éolien produit de l'électricité de manière intermittente (pour les éoliennes, quand le vent souffle). Cette intermittence complique la tâche des gestionnaires de réseau qui doivent en permanence équilibrer la production et la demande d'électricité sur leur réseau. Ils devront intégrer un nouveau savoir-faire de prévision météorologique fine, leur permettant de prédire le mieux possible la production à venir des parcs d'éoliennes. D'autre part, les réseaux électriques devront être adaptés {voir le chapitre 5.1 Réseau électrique} et les capacités de stockage augmentées {voir le chapitre 6. Stockage}.

Impact politique :
Le régime particulier que l'on connaît en Suisse en matière de permis de construire est marqué par un contexte unique au monde, caractérisé par un fédéralisme très développé et un droit de recours étendu, ancré dans l'histoire. Lors de la révision générale ou la modification du plan d'aménagement local, le plan directeur communal, non opposable aux tiers, fait l'objet d'une mise en consultation publique. Les riverains touchés et les associations environnementales et groupements d'intérêts bénéficiant du droit de recours peuvent faire opposition au plan d'affectation des zones (enquête publique). Ce droit s'applique également à la procédure de permis de construire. Tout cela implique des procédures longues et un risque élevé pour tout investissement.

Cadre légal

Selon la loi sur l'aménagement du territoire révisée (LAT), tout projet ayant un fort impact sur l'environnement et le territoire doit faire l'objet d'un traitement dans le plan directeur cantonal avant qu'une mise en zone puisse être envisagée au niveau local. Les parcs éoliens entrent dans ce contexte. Par conséquent, le canton de Fribourg traite la question de l'énergie éolienne dans le Plan directeur cantonal et y définit les sites sur lesquels l'exploitation de l'énergie éolienne est appropriée.

Ensuite, la réalisation d'un parc éolien nécessite la modification du plan d'aménagement local. D'autres procédures telles que la demande de permis de construire pour les éoliennes et les routes et chemins d'accès, l'étude d'impact sur l'environnement (EIE), la demande pour d'éventuels défrichements et les demandes de permis pour d'éventuelles mesures de compensation doivent être mises à l'enquête simultanément à la modification du plan d'aménagement local.

Principales bases légales pertinentes :

- Loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT) du 22 juin 1979, RS 700
- Loi sur l'aménagement du territoire et les constructions (LATeC) du 2 décembre 2008, RSF 710.1
- Loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE) du 7 octobre 1983, RS 814.01

Bibliographie

- [1] Suisse Eole. Rapport annuel 2015 et site internet. Liestal, 2016
- [2] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique: 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015
- [3] Rapport N° 160 du Conseil d'Etat au Grand Conseil relatif à la planification énergétique du canton de Fribourg (nouvelle stratégie énergétique). Fribourg, 2009
- [4] Service de l'énergie. Evaluation du potentiel éolien du canton de Fribourg. newenergyscout. Fribourg, 2014
- [5] Service de l'énergie. Etude pour la définition des sites éoliens. Fribourg, 2017
- Etude AGRIDEA. Mandat d'étude sur l'agriculture fribourgeoise et l'énergie.

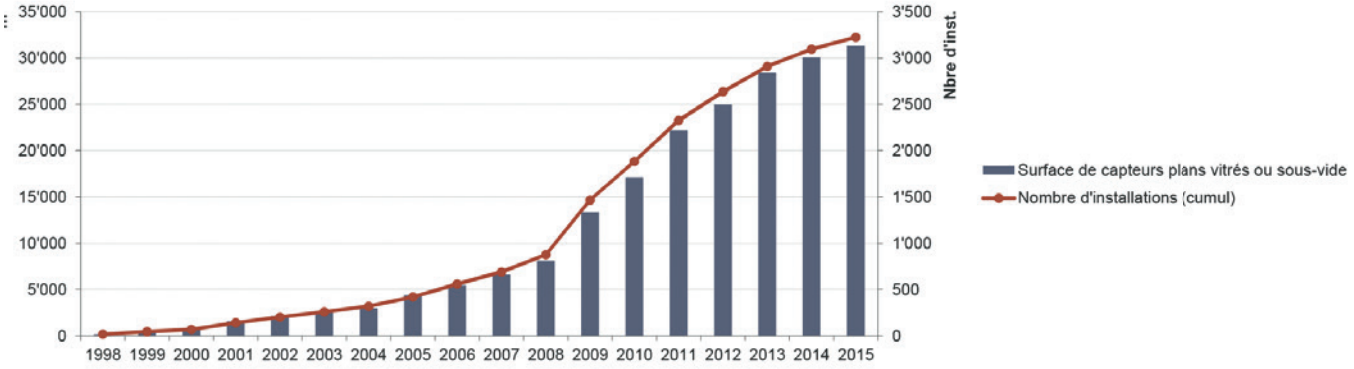
2.1.3 Solaire

2.1.3 a Solaire thermique

Evolution et utilisation aujourd'hui

L'exploitation de l'énergie solaire thermique a progressé chaque année dans le canton de Fribourg au rythme d'au moins 200 nouvelles installations réalisées. Fin 2015, on recensait plus de 3000 installations pour une surface totale de près de 30'000 m^2 de capteurs solaires thermiques, produisant environ 16 GWh de chaleur. Cette dernière est utilisée surtout pour l'eau chaude sanitaire et, dans une moindre mesure, pour le chauffage des bâtiments [1]. En Suisse, on compte env. 150'000 installations solaires thermiques [3]. Depuis quelques années, le solaire thermique est également utilisé dans les processus industriels qui complètent les applications connues pour le séchage du foin et pour le chauffage de l'eau des piscines.

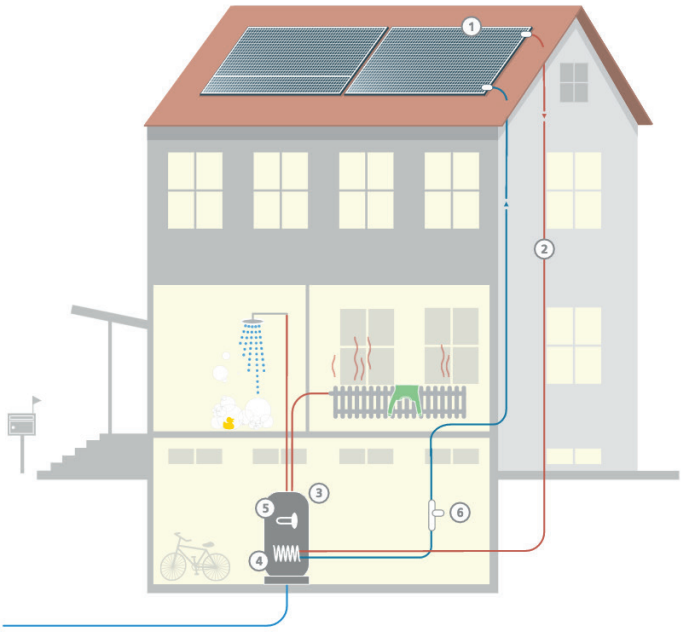
Evolution de la surface des panneaux solaires thermiques installés et du nombre d'installation



Sources: SdE/Sstat

Le dimensionnement de systèmes solaires dépend essentiellement des applications visées (eau chaude sanitaire et / ou chauffage) et des coûts [5]:

- Une surface de capteurs d'environ 4 à 6 m² et un accumulateur de 400 à 500 l permettent de couvrir 60 à 70% des besoins annuels en eau chaude sanitaire d'une maison individuelle;
- En augmentant la surface de capteurs (8 à 15 m² par villa) et la capacité de l'accumulateur, le système solaire peut couvrir un quart de la consommation d'énergie nécessaire pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage. Les installations solaires peuvent être combinées avec les autres systèmes de chauffage en place;
- Dans les bâtiments locatifs, une installation solaire avec une surface d'environ 1 m² par personne peut couvrir 30 à 40% des besoins en eau chaude et est particulièrement rentable. Il existe également des bâtiments locatifs dont les besoins en énergie thermique sont couverts à 100% par le solaire;
- Depuis quelques années, de tels systèmes sont en service dans les domaines des processus industriels et de la climatisation solaire (refroidissement de locaux). La plupart de ces systèmes sont installés dans l'industrie alimentaire, chimique et textile ou encore pour le lavage des voitures. On y trouve des capteurs thermiques plats mais également des capteurs sous vide ou à concentration.

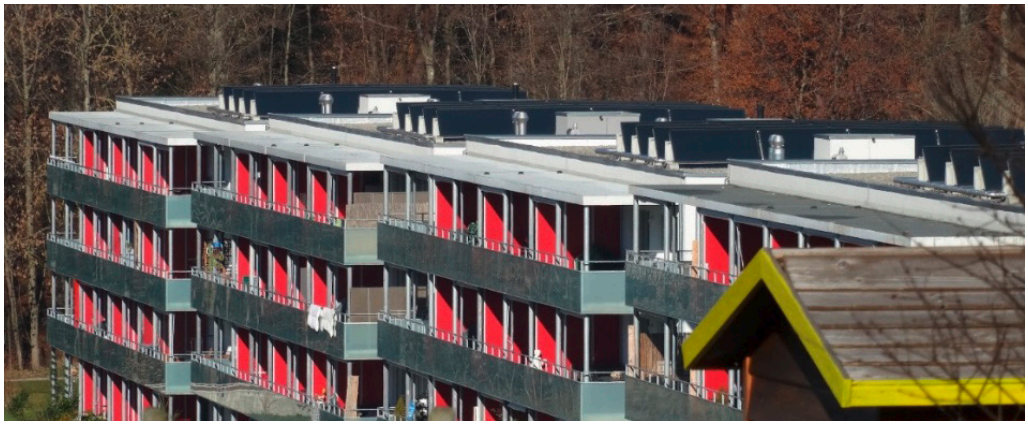


Installation solaire thermique
1 Capteur
2 Tuyauterie
3 Accumulateur
4 Echangeur thermique
5 Chauffage d'appoint
6 Pompe de circulation

Schéma d'une installation solaire thermique pour la production de chaleur d'eau chaude sanitaire et de chaleur de confort. Source : Swissolar 2015 [4]



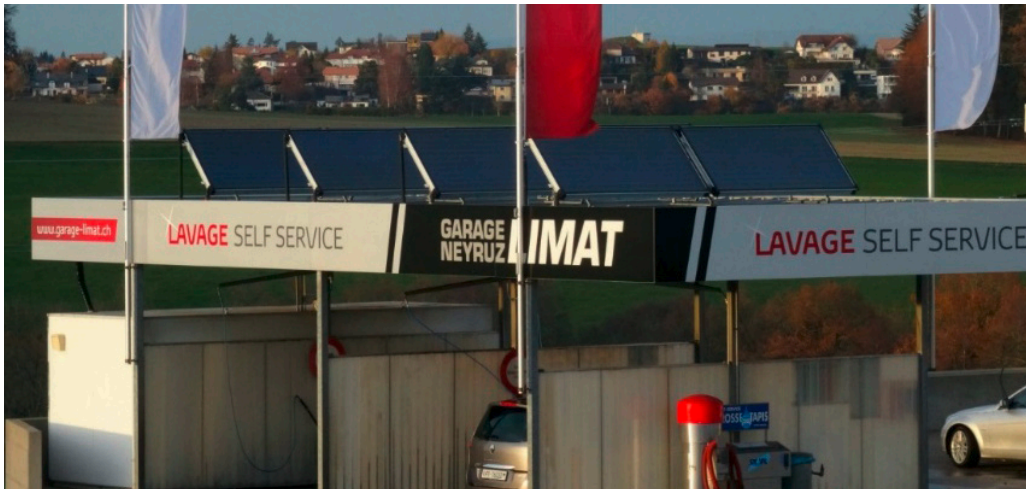
Maison solaire thermique autonome n'est rien de nouveau. Un des bâtiments / propriétaires pionniers en Suisse se trouve à Uttewil (Bösingen). Source : Marcel Gutschner



Les bâtiments locatifs et les capteurs solaires thermiques – un pari gagné d’avance, ici : un ensemble de quatre bâtiments locatifs à Chänelmatt (Guin). Source : Marcel Gutschner



Ce site fabriquant des produits laitiers à Villars-sur-Glâne dispose d’une installation de 580 m² de capteurs à concentration. Ils servent à produire de l’eau à 150 C° pour la stérilisation de crème. Source : Marcel Gutschner



Lavage au solaire à Neyruz. Source : Marcel Gutschner



Bâtiment scolaire à Plasselb. Source : Marcel Gutschner

Il ne faut pas oublier l'application solaire la plus répandue : « le solaire passif ». Cette application ne nécessite aucune installation technique : les surfaces vitrées permettent de bénéficier quasi gratuitement de l'énergie solaire. Une architecture bien conçue aide à réduire les besoins énergétiques et à couvrir ces besoins partiellement ou entièrement par le solaire passif et actif (thermique et photovoltaïque), tout en évitant la surchauffe des locaux.

Potentiel

Une étude [2] comparative réalisée pour des bâtiments d'habitation du canton de Fribourg et de la ville de Zurich montre un important potentiel solaire thermique. L'énergie solaire pourrait fournir pratiquement les trois quarts de la chaleur nécessaire (chaleur de confort et eau chaude sanitaire) à près de la moitié de tous les bâtiments d'habitation situés en zone rurale et à un huitième de ceux situés en ville.

Partant d'un potentiel limité à l'installation d'une surface moyenne de 1 à 2 m^2 par habitant de capteurs solaires posés essentiellement pour l'eau chaude sanitaire et le préchauffage, la production atteindrait alors environ 135 à 270 GWh. La stratégie énergétique 2050 prévoit de quintupler la production de chaleur solaire pour atteindre un peu plus de 4 TWh soit environ 160 GWh pour le canton de Fribourg.

Des systèmes hybrides – photovoltaïque et solaire thermique – sont déjà disponibles sur le marché. Des avancées sur le plan technologique et économique permettraient au solaire d'utiliser l'irradiation solaire et les surfaces de manière encore plus efficace. L'évolution du solaire thermique dépendra également des solutions de stockage (voir le chapitre 6. Stockage) et des systèmes intégrant le photovoltaïque (voir le chapitre 2.1.3b Photovoltaïque).

Stratégie

Le solaire thermique évolue aujourd'hui clairement en-dessous de son potentiel car il peut être intégré dans chaque nouvelle construction d'habitation à des coûts tout à fait raisonnables. Les prescriptions pour la construction et la rénovation des bâtiments sont par ailleurs facilitées pour la réalisation des installations solaires.

La stratégie énergétique 2050 ainsi que le modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC, [6]) devraient poser les conditions-cadres qui permettront, dès 2020, la réalisation de nouveaux bâtiments si possible autonomes pour la chaleur, avec une production raisonnable d'électricité. Dans ce contexte, le solaire thermique devrait jouer un rôle important pour l'approvisionnement énergétique de ces nouveaux bâtiments mais également dans le cadre de projets d'assainissement de bâtiments. La part solaire thermique pourrait ainsi être bien plus importante que le potentiel de production de 160 GWh susmentionné.

De nouvelles applications s'ouvrent dans l'industrie (p.ex. alimentaire) grâce au développement technologique. De plus, la part solaire pourra être augmentée, moyennant de nouvelles solutions de stockage (p.ex. matériau à changement de phase, stockage au sol) ou des concepts architecturaux et énergétiques tenant compte des aspects solaires et de l'efficacité énergétique.

Impacts économique, écologique et politique

Le secteur solaire thermique comptabilise aujourd'hui 850 emplois en Suisse [3]. Cela devrait correspondre à environ 30 emplois dans le canton de Fribourg.

L'exploitation des installations solaires n'engendre aucune émission nocive. Le temps de retour équivalent à l'amortissement énergétique est de 1 à 4 ans [7]. Pendant sa durée de service, une installation fournit dix à trente fois plus que l'énergie nécessaire pour sa fabrication. A la fin de leur service, les installations solaires doivent être traitées et recyclées selon les règles applicables aux matériaux de construction et appareils électroniques.

La loi fédérale sur l'aménagement et son ordonnance ainsi que la loi sur l'aménagement du territoire et des constructions et son règlement d'exécution définissent et facilitent les procédures à respecter pour les installations solaires. La directive [7] concernant l'intégration architecturale des installations solaires précise le cadre légal et le déroulement de la procédure en définissant les mesures et les critères d'intégration des installations. Les projets d'installations solaires qui respectent les critères d'intégration fixés par le droit fédéral ne sont plus soumis à une demande de permis de construire, mais doivent simplement être annoncés à la commune (Art. 18, alinéa 1 de la loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT)). En revanche, les installations solaires prévues sur des bâtiments protégés ou situés dans des zones de protection restent soumises à un permis de construire délivré par la commune.

Bibliographie

- [1] Service de l'énergie. Stratégie énergétique Etat de Fribourg Rapport 2010-2014. Fribourg, 2015
- [2] Office fédéral de l'énergie / Nowak Energie & Technologie SA, Potenzialabschätzung zum solarthermischen Beitrag zur Wärmeversorgung im schweizerischen Wohngebäudepark, 2012
- [3] Swissolar, Fiche d'information: Chaleur solaire, septembre 2015
- [4] Swissolar, Chaleur et électricité par la force du soleil, 2015
- [5] AEE SUISSE Organisation faîtière de l'économie des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, La Suisse possède la chaleur renouvelable et en a besoin, mai 2014

› [6] EnDK, Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC), janvier 2015

› [7] Direction de l'aménagement, de l'environnement et des constructions (DAEC) du canton de Fribourg, Directive concernant l'intégration architecturale des installations solaires thermiques et photovoltaïques, octobre 2015

› Etude AGRIDEA. Mandat d'étude sur l'agriculture fribourgeoise et l'énergie.

2.1.3 b Solaire photovoltaïque

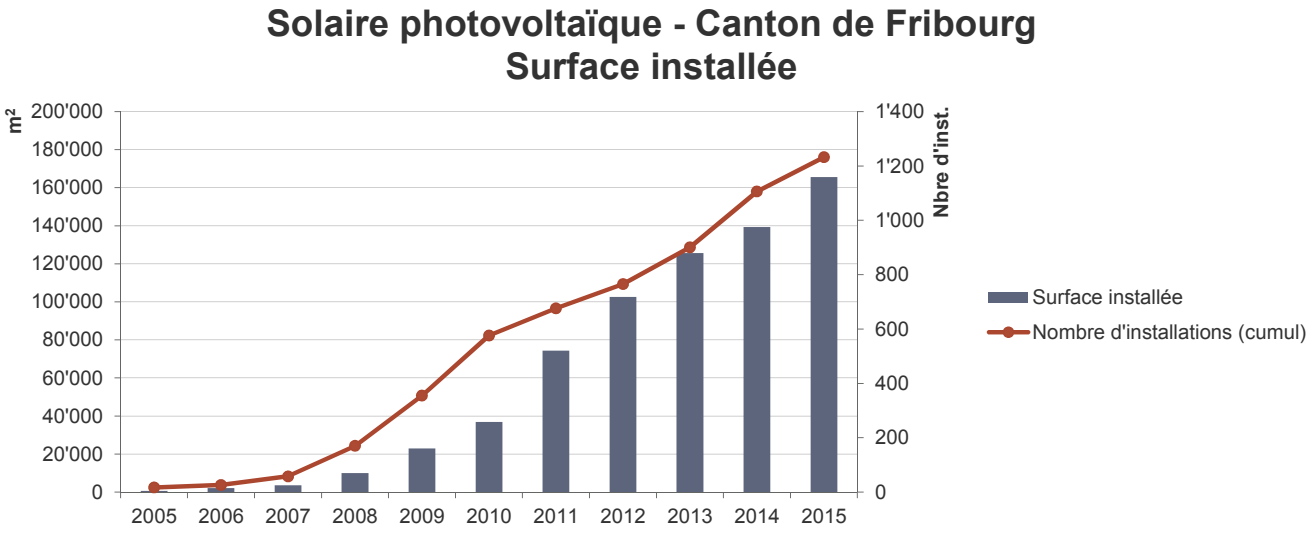
Evolution et utilisation aujourd'hui

Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire photovoltaïque dans le canton de Fribourg a été remarquable avec une production de courant solaire multiplié par 500 depuis l'an 2000 grâce au progrès technologique et aux aides financières mises en place. En l'an 2000, on comptait très peu d'installations photovoltaïques raccordées au réseau, avec une production totale inférieure à 0,1 GWh. Fin 2015, on dénombrait environ 3'000 installations photovoltaïques produisant environ 47 GWh [1]. Cette production représente près de 3% de la consommation d'électricité cantonale actuelle. En Suisse, environ 60'000 installations photovoltaïques avec une puissance totale de 1'350 MW produisent environ 1'280 GWh (état fin 2015, [2]) ce qui correspond à environ 2,2% de la consommation d'électricité.

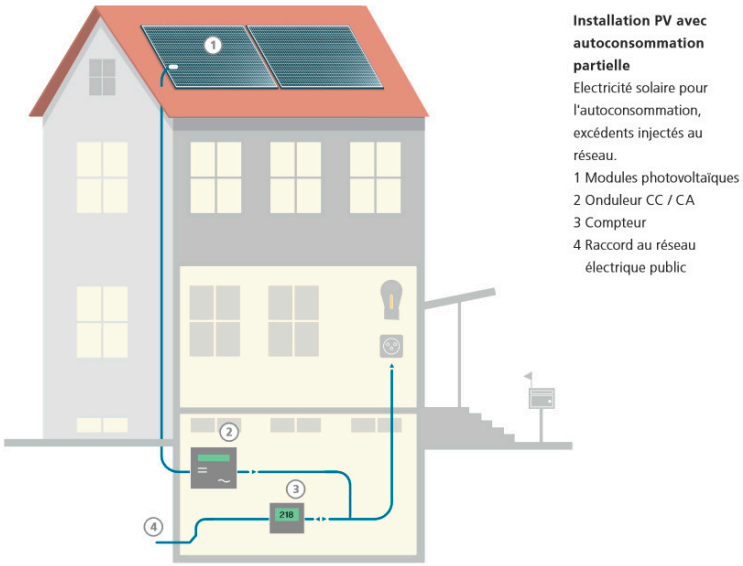


Les Fribourgeois adoptent de plus en plus le photovoltaïque (installation à Giffers). Source : Marcel Gutschner

Les installations RPC et les installations ayant bénéficié de subventions peuvent faire l'objet d'un monitoring précis. A la fin 2015, elles représentaient plus de 165'000m² pour 1232 installations. Leur évolution par rapport à l'année de mise en service est décrite dans le graphique ci-dessous [1]. A noter qu'il existe également d'autres installations non-subventionnées. Le graphique ci-dessous s'avère donc incomplet.



L'évolution de la production d'électricité solaire entre 2005 et 2015 des installations profitant de la RPC et des subsides dans le canton de Fribourg. Elles représentent environ la moitié des installations réalisées dans le canton. Source: SdE 2016 [1]



Installation photovoltaïque avec autoconsommation partielle. Source: Swissolar 2015 [4]

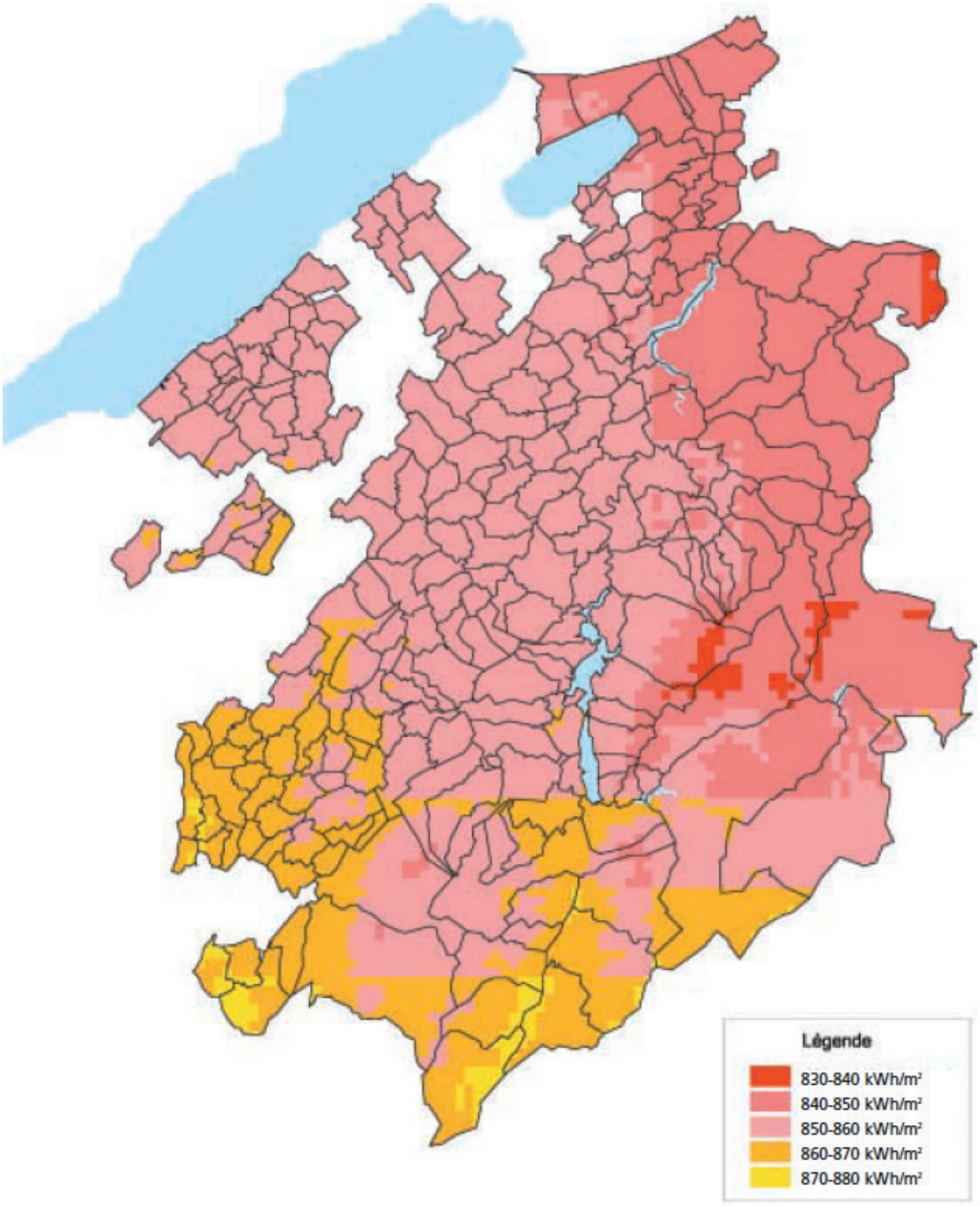
La très grande majorité des installations photovoltaïques (en termes de puissance et production) est intégrée dans les toitures des bâtiments d'habitation, agricoles, industriels, commerciaux et administratifs et est raccordée au réseau. Comme le courant solaire peut être injecté dans le réseau, la

taille du système photovoltaïque n'est, en principe, pas limitée et peut couvrir toute la surface qui s'y prête. Une surface photovoltaïque de 30 m^2 avec une puissance de 5 kW permet de produire l'équivalent de la consommation électrique d'un ménage typique (entre 3'500 et 4'500 kWh par an). Une surface de 1 m^2 en une année suffit pour produire le courant nécessaire pour rouler 15000 km à vélo électrique (1 kWh par 100 km [1]). De petits systèmes solaires avec batterie peuvent assurer l'approvisionnement en électricité dans des sites isolés du réseau.

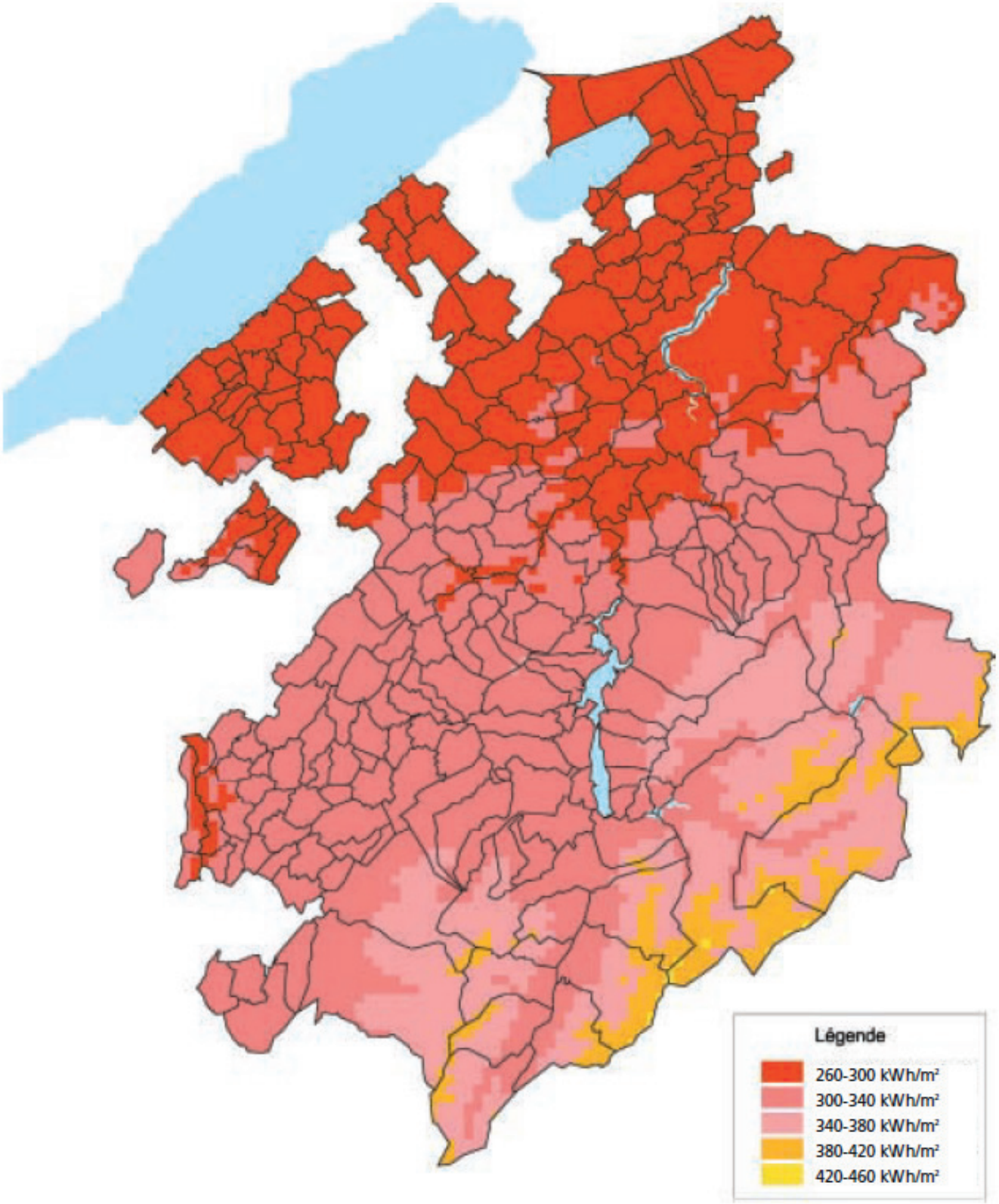


Ce système solaire photovoltaïque assure l'approvisionnement en électricité du chalet Hauta-Chia qui fonctionne comme alpage et buvette. Source : Marcel Gutschner

Rayonnement solaire estival sur une surface horizontale (période avril-septembre)



Rayonnement solaire hivernal sur une surface horizontale (période octobre-mars)





Tuiles solaires sur une maison à St-Aubin. Source : Marcel Gutschner



La quasi-totalité des surfaces en toiture aptes ont été couvertes de modules photovoltaïques sur ce site d'une menuiserie au Mouret. Source : Marcel Gutschner



Les bâtiments agricoles proposent de nombreuses grandes surfaces pour le photovoltaïque, ici une ferme à Echeseby (Noréaz). Source : Marcel Gutschner



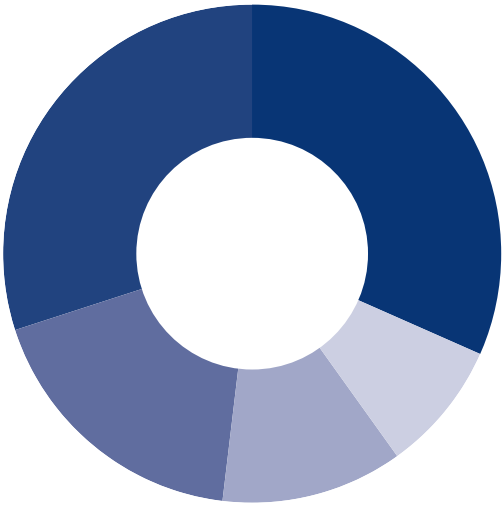
Les éléments photovoltaïques peuvent être intégrés dans les façades comme ici dans la patinoire à Romont. Source : Marcel Gutschner

Potentiel

Plusieurs études de même que des cadastres solaires montrent que le potentiel solaire est énorme. L'étude « Potentiel photovoltaïque dans le canton de Fribourg » réalisée en 1998 [4], qui sert toujours de référence, indique un potentiel entre 560 et 860 GWh. En utilisant toutes les surfaces aptes disponibles aujourd'hui (environ 10 km²) dans le canton de Fribourg et en tenant compte du progrès technologique réalisé entretemps, le potentiel de production de courant solaire peut être estimé à environ 1 TWh (1000 GWh) par an, sans tenir compte de l'utilisation alternative des surfaces par les capteurs thermiques ou hybrides (voir chapitre 2.1.3a Energie solaire thermique). Dans sa stratégie énergétique 2050, la Confédération vise la production d'électricité solaire de 7,03 TWh en 2035 et de 11,12 TWh en 2050. Ceci équivaut à une production d'électricité solaire d'environ 320 GWh resp. 500 GWh pour le canton de Fribourg (référence surfaces bâties, part fribourgeoise environ 4,5% des surfaces bâties en Suisse).

A l'échelle locale, le potentiel de production de courant solaire peut atteindre de 25% à plus de 100% de la consommation d'électricité, selon le tissu urbain. Plus concrètement, la part solaire est moins grande dans les secteurs caractérisés par une urbanisation très dense car les enveloppes des bâtiments (plus

Répartition des surfaces propices (environ 10 km²) estimées pour les installations photovoltaïques par type de bâtiment (référence de base 1998 [4], estimation pour le parc immobilier en 2015)



Bâtiments d'habitation	31%
Bâtiments agricoles	30%
Bâtiments commerciaux, de l'industrie et de l'artisanat	20%
Bâtiments annexes	12%
Bâtiments publics et administratif	7%

hauts) proposent moins de surfaces aptes par habitant et par place de travail. Malgré tout, le solaire photovoltaïque reste fréquemment la technologie la plus prometteuse pour contribuer à la production d'électricité renouvelable locale là où la consommation d'électricité est particulièrement intense.

Les limites du potentiel photovoltaïque sont plutôt liées à la part du courant solaire que le réseau électrique peut absorber qu'aux surfaces disponibles. La question complexe du stockage de l'électricité excédentaire à certaines heures ou durant certaines périodes de l'année, la gestion des besoins en puissance, ainsi que la gestion du réseau sont des points sensibles et essentiels qui devront être traités dans le cadre d'un développement à large échelle de ce type d'équipement (voir chapitres 5.1 Réseau électrique et 6. Stockage d'énergie). **Une combinaison avec d'autres capacités de production NER (Nouvelles Énergies Renouvelables), indépendamment du rayonnement solaire, permettra d'assurer un approvisionnement plus régulier et plus sûr.**



Les milieux agricoles et ruraux possèdent un potentiel photovoltaïque important. Pour le capter, il faut ponctuellement adapter le réseau électrique. Photo prise lors d'une installation photovoltaïque à Etiwil (St-Ursen). Source : Marcel Gutschner

Des systèmes hybrides – solaire thermique et photovoltaïque – sont déjà disponibles sur le marché. Des avancées sur le plan technologique et économique permettraient au solaire d'utiliser l'irradiation solaire et les surfaces de manière encore plus efficace (p.ex. meilleur rendement, nouvelles approches d'intégration dans les bâtiments et les infrastructures, solutions de stockage local, augmentation de l'autoconsommation). On peut également constater que le photovoltaïque est toujours plus et mieux intégré dans les applications thermiques (p.ex. eau chaude sanitaire solaire, pompes à chaleur) pour une utilisation locale de l'énergie produite, en proposant des solutions de système complémentaires ou concurrents au solaire thermique.

Stratégie

Le solaire photovoltaïque permet une utilisation optimale et efficace de l'environnement bâti et une production de courant local, économique et écologique. Les éléments photovoltaïques peuvent être intégrés aux bâtiments et aux infrastructures. En conciliant planification énergétique, urbanisme et aménagement du territoire, le solaire photovoltaïque peut jouer un rôle primordial et omniprésent dans l'approvisionnement énergétique et dans le développement durable.

Les cantons soutiennent ce développement à travers le modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC) [5] qui exige qu'une partie des besoins d'électricité dans les bâtiments à construire soit couverte par une production d'électricité dans, sur ou à proximité du bâtiment. La loi fédérale sur l'aménagement et son ordonnance ainsi que la loi sur l'aménagement du territoire et des constructions et son règlement d'exécution définissent et facilitent les procédures à respecter pour les installations solaires. La directive concernant l'intégration architecturale des installations solaires précise le cadre légal et le déroulement de la procédure en définissant les mesures et les critères d'intégration des installations. Les projets d'installations solaires qui respectent les critères d'intégration fixés par le droit fédéral ne sont plus soumis à une demande de construire, mais doivent simplement être annoncés à la commune (Art. 18, alinéa 1 de la loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT)). En revanche, les installations solaires prévues sur des bâtiments protégés ou situés dans des zones de protection restent soumises à un permis de construire délivré par la commune.

Le développement du photovoltaïque à grande échelle dépendra également de la structure du futur réseau électrique, de nouvelles générations de batteries et d'accumulateurs, d'autres secteurs comme la mobilité (voitures électriques), la production d'hydrogène, etc. (voir chapitres 5 et 6).

Impacts économique, écologique et politique

Le secteur photovoltaïque comptabilise aujourd'hui 5'800 emplois en Suisse [2]. Cela devrait correspondre à environ 100 emplois pour le canton de Fribourg.

Bibliographie

- [1] Service de l'énergie. Stratégie énergétique Etat de Fribourg Rapport 2010-2015. Fribourg, 2016
- [2] Swissolar, Fiche d'information: Electricité solaire, mars 2016
- [3] Swissolar, Chaleur et électricité par la force du soleil, 2015
- [4] Nowak Energie & Technologie SA, Potentiel photovoltaïque dans le canton de Fribourg, 1998
- [5] EnDK, Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC), janvier 2015
- Etude AGRIDEA. Mandat d'étude sur l'agriculture fribourgeoise et l'énergie.

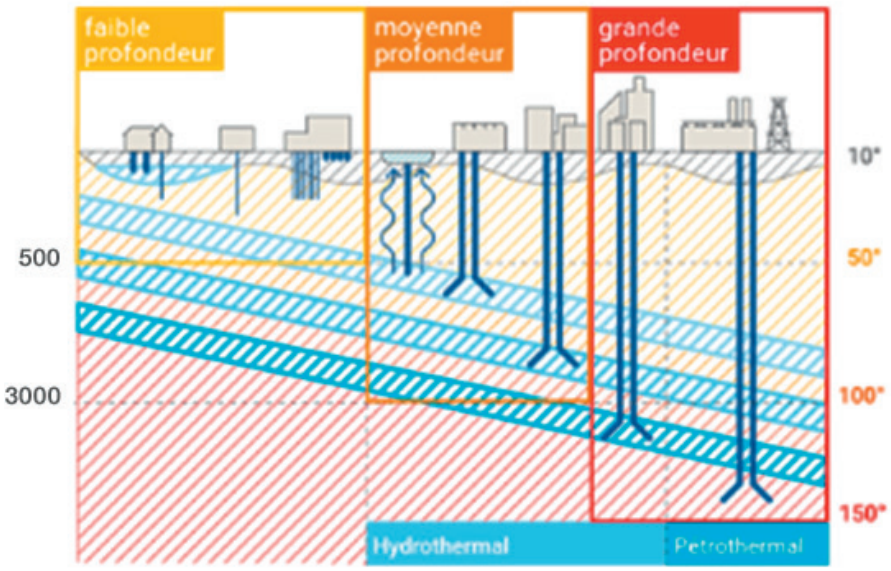
2.1.4 Géothermie et chaleur de l'environnement

Evolution et utilisation aujourd'hui

La géothermie consiste à valoriser l'énergie calorifique de la Terre produite naturellement en son centre, mais également par la désintégration radioactive d'éléments constitutifs de la croute terrestre. Cette chaleur, produite en quantité gigantesque, peut être exploitée pour produire de la chaleur et, quand les conditions le permettent, de l'électricité. La géothermie est une source énergétique indigène considérée comme renouvelable et ne produisant pas de gaz à effet de serre. Elle est utilisable en ruban, c'est-à-dire régulièrement, indépendamment des rythmes journaliers, saisonniers et annuels et ceci durant des décennies au moins.

On distingue différents types de géothermies selon la profondeur :

- La géothermie de faible profondeur (jusqu'à 500 m) ou de basse température, basée essentiellement sur des installations extrayant l'énergie thermique du sous-sol grâce à des sondes géothermiques verticales, des champs de sondes ou des géostructures (par ex. des pieux énergétiques) et utilisant des pompes à chaleur pour le chauffage ;



Source : GEOTHERMIE.CH

- La géothermie de moyenne profondeur (jusqu'à 3000 m), basée sur l'extraction de l'eau à haute température naturellement présente dans le sous-sol. On parle aussi de systèmes géothermiques en aquifère profond ou de géothermie hydrothermale ;

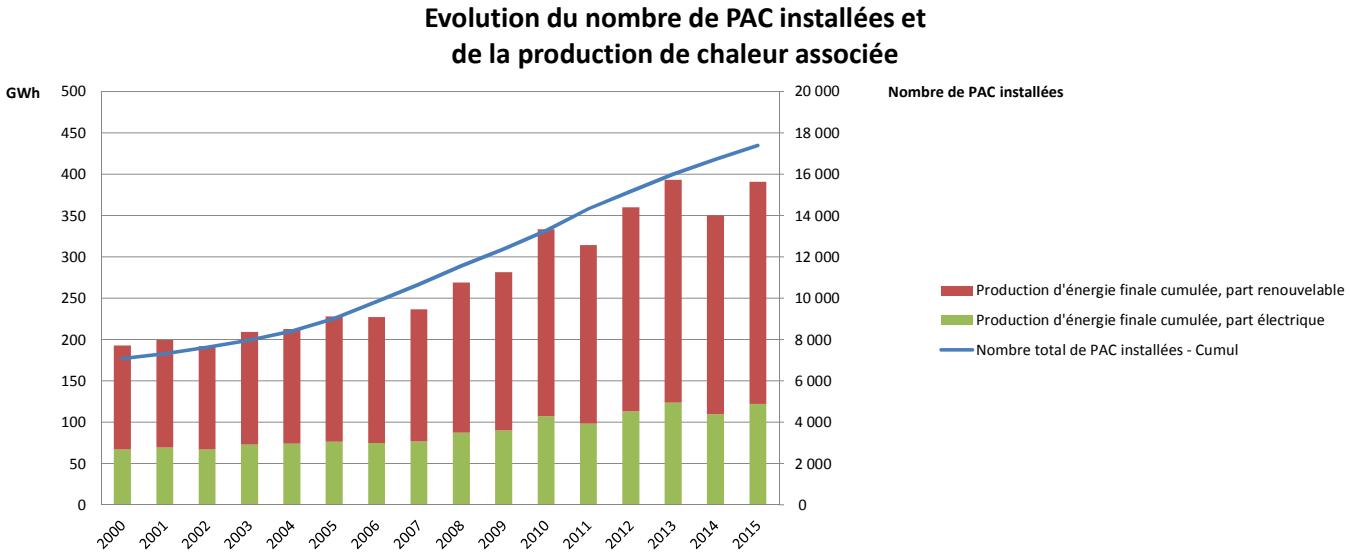
- La géothermie profonde (dès 3000 m) ou à haute énergie qui utilise deux technologies d'extraction de la chaleur : hydrothermale et pétrothermale.

Les systèmes pétrothermaux consistent à injecter de l'eau depuis la surface dans un premier puits de forage puis, une fois réchauffée, de la pomper vers la surface via un second puit. Ces systèmes nécessitent de plus grandes profondeurs, entre 4 et 6 km. On parle aussi de systèmes géothermiques stimulés (SGS) ou de géothermie pétrothermale.

Les deux systèmes (hydrothermal et pétrothermal/SGS) permettent la production d'électricité, pour autant que la profondeur dépasse 3 km en Suisse. Par rapport aux systèmes géothermiques en aquifère profond, les SGS présentent l'avantage de pouvoir être déployés presque partout. Il n'y a actuellement en Suisse ni SGS ni production d'électricité. Par contre, quelques systèmes géothermiques en aquifère profond existent pour le chauffage à distance, mais aucun dans le canton de Fribourg. Ils n'atteignent pas des profondeurs suffisantes et l'eau extraite n'est pas assez chaude pour la production d'électricité.

La géothermie de faible profondeur est par contre très développée en Suisse et spécialement dans le canton de Fribourg où près de 11'000 installations pompes à chaleur avec environ 16'000 sondes géothermiques verticales (SGV) ont été installées depuis la fin des années 1980, permettant de fournir environ 200 GWh de chaleur par an [10].

Le graphique ci-dessous illustre l'évolution des pompes à chaleur (PAC) dans le canton de Fribourg. Les PAC utilisant des sondes géothermiques verticales représentent environ le 70% du total.



Source: SdE

A la fin 2014, 16'708 pompes à chaleur étaient recensées dans le canton, produisant environ 350 GWh de chaleur dont les deux-tiers sont soutirés à l'environnement et le reste est fourni par de l'électricité [SdE].

Face au nombre croissant de demandes de permis de construire pour des forages géothermiques (500 en 2014), une carte a été publiée indiquant où il est possible d'implanter des sondes en tenant compte de la protection des eaux souterraines. Consultable sur le guichet cartographique[1], cette carte est une aide à la

[1] http://map.geo.fr.ch/default.htm?dataTheme=Environnement&theme=CARTES_NATIONALES&lang=fr

décision pour les maîtres de l'ouvrage et les auteurs de projets de construction. Elle permet en outre de simplifier les démarches administratives. Elle est uniquement valable pour les SGV et ne concerne pas les autres systèmes d'exploitation de la chaleur du sous-sol comme l'exploitation de la chaleur des nappes phréatiques, les corbeilles géothermiques, les circuits enterrés, les pieux énergétiques ou la géothermie profonde.



Forage pour une sonde géothermique verticale. Source : GEOTHERMIE.CH

Toujours dans le domaine de la géothermie de faible profondeur, les géostructures énergétiques sont des constructions enterrées équipées en échangeur de chaleur, permettant l'échange thermique avec le sol. Ce sont essentiellement des constructions en béton, soit des pieux et des parois, voire des murs et des dalles en contact avec le sol. A partir de 15 à 20 mètres sous la surface de la Terre, la température devient très rapidement constante, avoisinant sous notre climat une valeur de 9-11°C. Ce niveau de température autorise une utilisation thermique pour le chauffage de bâtiments en hiver et pour le refroidissement en été. Cette technologie est en plein essor à l'étranger, mais encore très peu développée chez nous. La localisation de l'usage de géostructures énergétiques dépend :

- des types de zones constructibles où des constructions d'importance nécessitent la réalisation de géostructures ;
- de la présence de zones à sous-sol défavorable du point de vue des fondations des bâtiments ;
- de la protection des eaux souterraines (exclusion des zones S, à l'exception des zones S3), et des périmètres de protection des eaux.

Les surfaces retenues sont principalement des plaines alluviales et d'anciens marais.



Conduites de circulation de fluide caloporteur fixées à la cage d'armature d'un pieu moulé. Source : [3]

Si les pompes à chaleur permettent de valoriser l'énergie géothermique, elles servent aussi à soutirer de la chaleur à d'autres éléments de notre environnement : l'air et l'eau {voir le chapitre 4.3 Pompe à chaleur}. L'eau peut être utilisée à des fins thermiques, avec ou sans pompe à chaleur, pour chauffer des locaux, mais aussi pour refroidir des processus ou des bâtiments. La source d'énergie peut être un lac, une rivière ou une nappe phréatique. Des installations sont déjà en service (Genève, Neuchâtel, La Tour-de-Peilz, Saint-Moritz, …) et cette technique est appelée à se développer fortement. Des possibilités existeraient dans le canton de Fribourg, par exemple à Estavayer-le-lac ou à Morat.

Une étude de l'EAWAG (Institut de recherche de l'eau du domaine des EPF) estime la puissance thermique soutirable d'un lac à 1 W par m^2 [8]. Par exemple, pour le lac de Morat qui a une surface de 22 km^2, on obtient un potentiel de 22 MW.

Exemple de la friche industrielle de l'ancien arsenal de Bulle :

Les nouveaux bâtiments sont chauffés et refroidis par l'eau de la nappe phréatique. Celle-ci est pompée à une température presque constante de 8 à 12°C puis, à travers un échangeur de chaleur, alimente un réseau «froid» qui porte l'énergie dans chaque bâtiment dans lesquels des pompes à chaleur permettent de produire la chaleur nécessaire pour le chauffage (35 à 40°C) et l'eau chaude sanitaire (60°C). Sans pompe à chaleur, le réseau froid permet de rafraichir « gratuitement » les locaux en été.

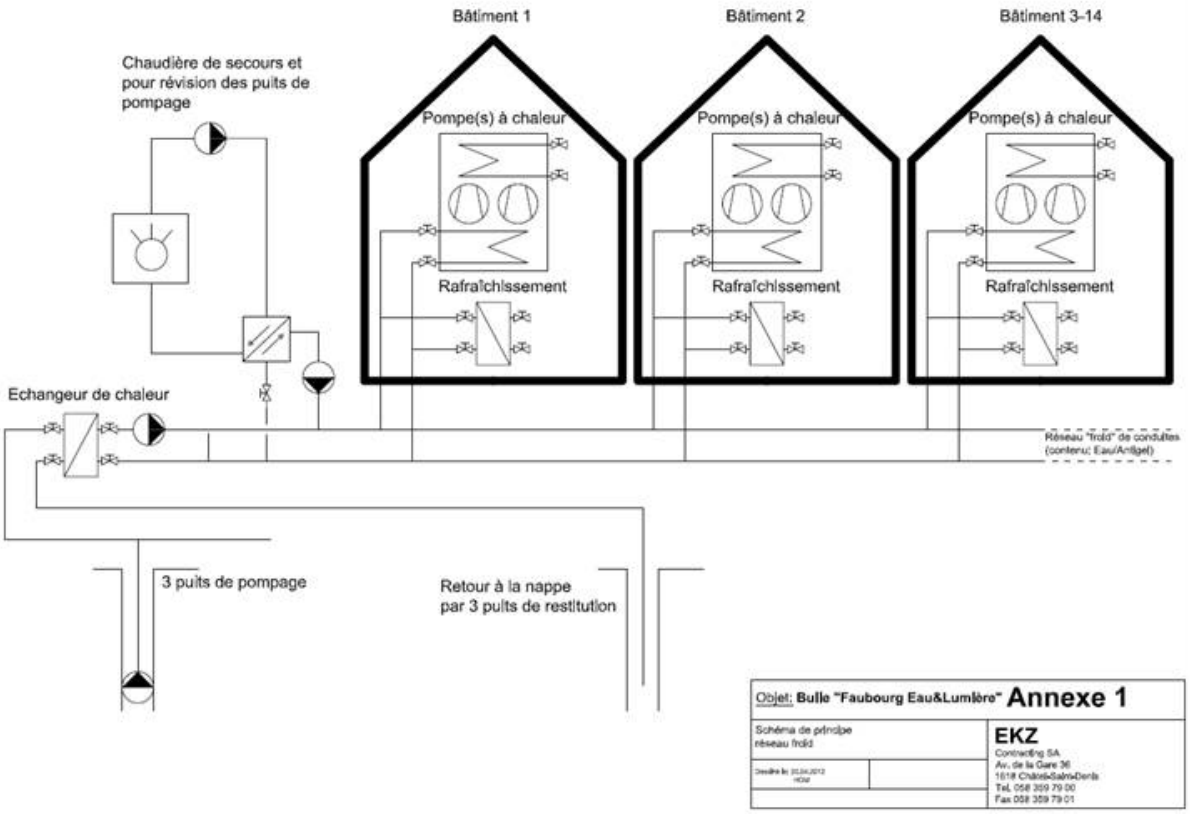


Schéma de principe. Source: EKZ



Echange de chaleur et alimentation du réseau froid. Source: EKZ



Production de chaleur décentralisée: Pompes à chaleur disposées dans chaque bâtiment. Source: EKZ

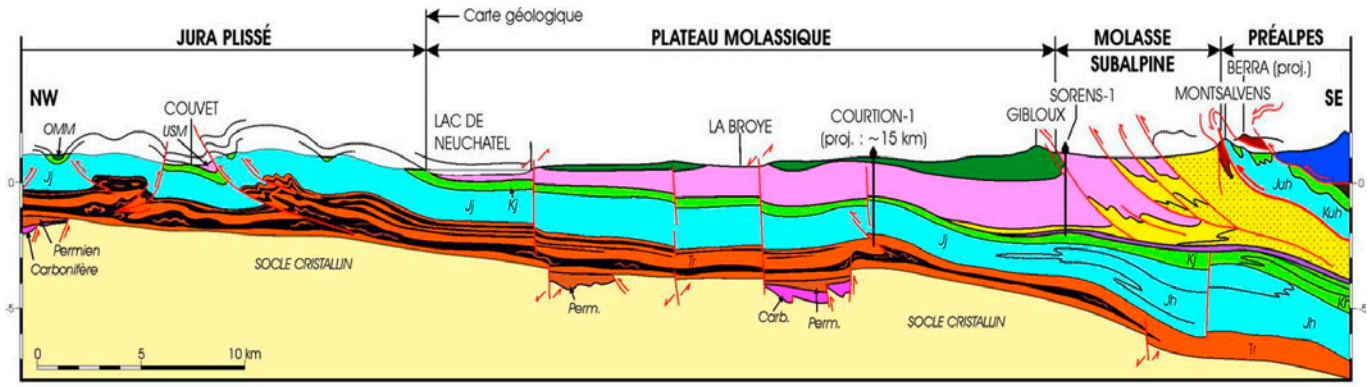
Potentiel

Comme les ressources géothermiques sont quasiment illimitées (elles pourraient par exemple couvrir tous les besoins électriques de la Suisse), le potentiel est avant tout fixé par rapport aux contraintes liées aux consommateurs et aux restrictions légales de construction. Bien que l'énergie électrique puisse se transporter, la valorisation de l'énergie thermique (nécessaire à la viabilité économique d'un projet de géothermie profonde) nécessite quant à elle une certaine proximité des consommateurs et la possibilité d'être raccordée à un réseau de chauffage à distance. Dans ce domaine, potentiel et objectif stratégiques se confondent donc.

Les objectifs de production d'électricité fixés par l'Office fédéral de l'énergie prévoient un apport de la géothermie profonde de 4400 GWh/an dès 2050, ce qui couvrirait environ 7% de la demande nationale. Cet objectif pourrait être atteint par exemple par l'équivalent d'une centaine de centrales de type SGS (source : geothermie.ch).

Dans le cadre de la préparation de la planification énergétique du canton de Fribourg de 2009 [2], les objectifs énergétiques suivants ont été pris en compte pour 2030 :

- Pour les pompes à chaleur : 520 GWh/an de chaleur ;
- Pour la géothermie profonde : 85 GWh/an de chaleur et 42 GWh/an d'électricité vers 2030. Ce dernier objectif pourrait être atteint avec une centrale de type pétrothermal.



Contexte géologique du canton de Fribourg (Source : Université de Neuchâtel – CHYN)

Dans le secteur des géostructures énergétiques (GE), l'étude [3] a mis en évidence les zones favorables de Morat-Kerzers, Courtepin, Schmitten, Tafers, Fribourg agglomération, St. Aubin – Domdidier, Romont région, Bulle région. Des calculs basés sur les résultats d'une enquête du marché de la construction des géostructures ont permis d'estimer le potentiel de développement dans le canton de Fribourg. D'ici une dizaine d'années, les GE seraient à même de produire annuellement 1'600'000 kWh de chaleur et 120'000 kWh de froid, ce qui permettrait de réduire les émissions de CO_2 de l'ordre de 50 tonnes par an.

Stratégie

Plusieurs études ont été effectuées ces dernières années permettant progressivement de mieux définir la stratégie cantonale :

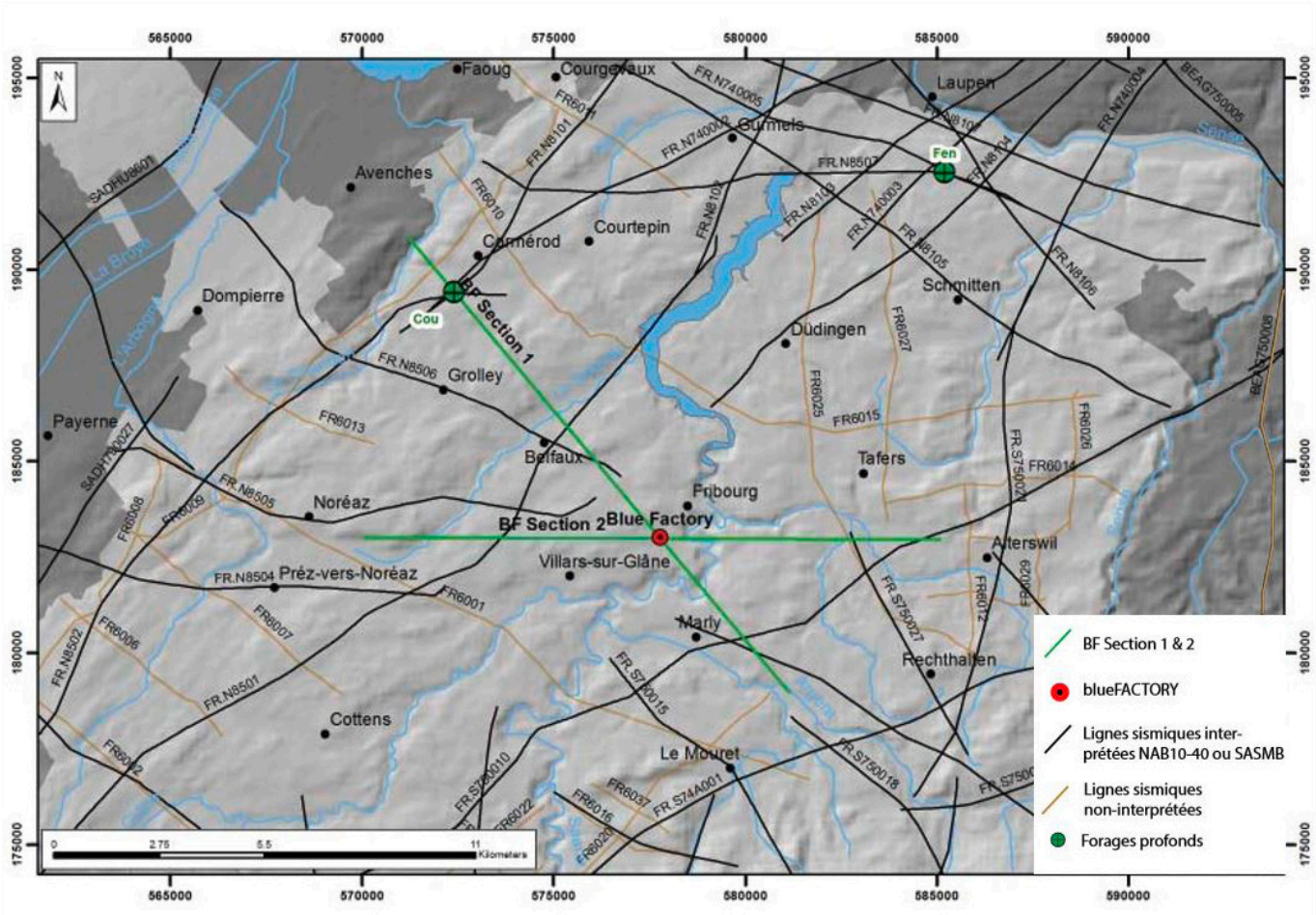
- Etude des possibilités des différentes technologies [3]: les quatre technologies considérées (géostructures énergétiques, sondes géothermiques verticales, aquifères profonds, systèmes géothermiques stimulés) offrent d'intéressantes perspectives de valorisation ;

- Recherche de sites favorables pour la géothermie profonde [4] [5]: les régions de Morat, Bulle et Fribourg ont été investiguées avec la conclusion que les environs de Fribourg présentent un intérêt privilégié ;

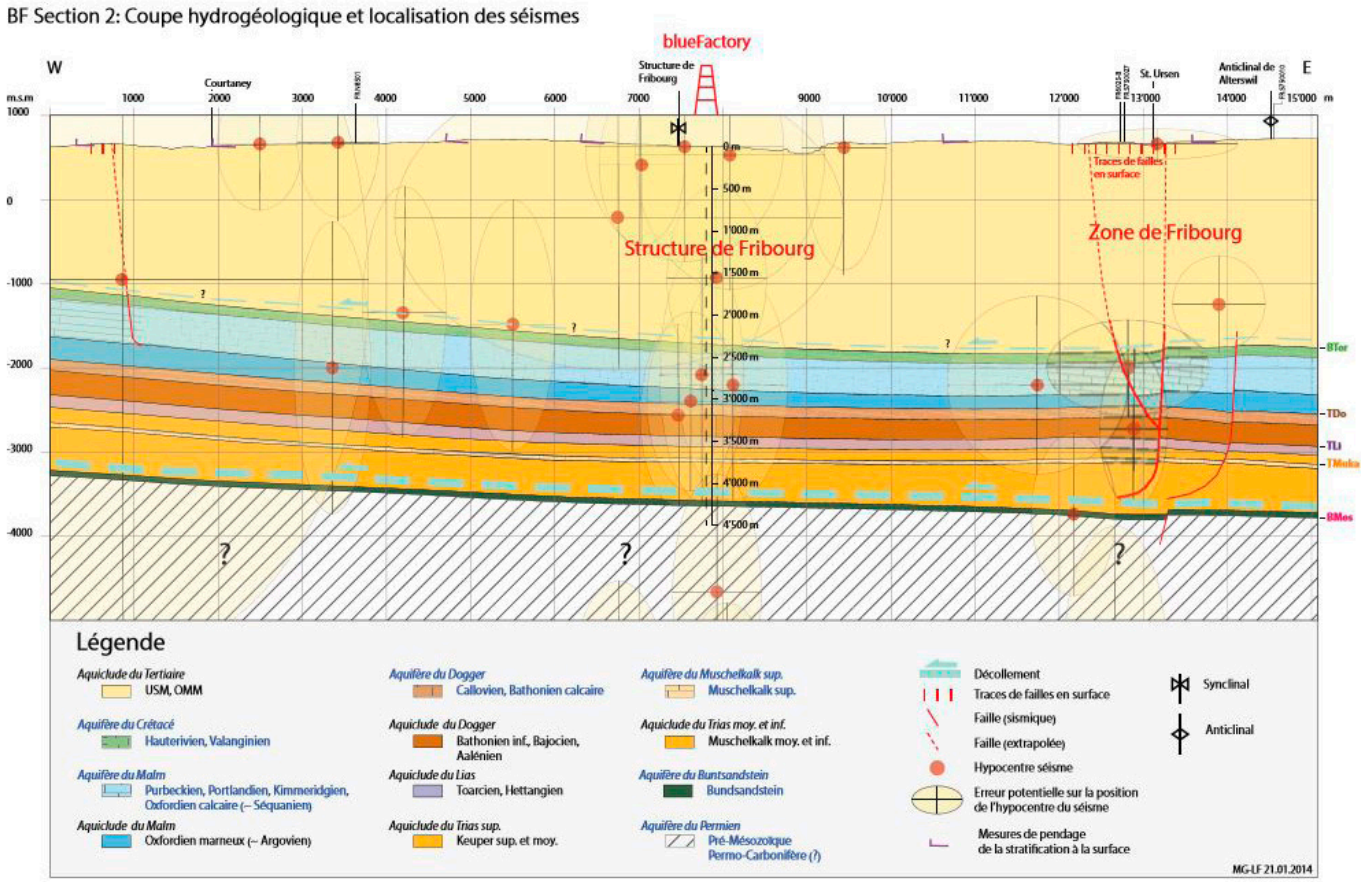
- Construction d'un modèle du sous-sol du canton de Fribourg [11] ;

- Focalisation des études sur le potentiel géothermique de l'agglomération fribourgeoise [6] [7]: ces dernières études concluent à un potentiel de production important, susceptible de jouer un rôle-clé dans la fourniture de chaleur des réseaux de chauffage urbains du chef-lieu et de sa périphérie. La technique hydrothermale prévue, visant un réseau de petites failles, correspond à une approche prudente implémentée en maints endroits, sans engendrer d'activité sismique notoire. Les études se poursuivent [9] et il est trop tôt pour savoir si une production d'électricité sera possible. Les travaux pourraient commencer en 2019, suivis d'une durée d'exploitation de 35 ans.

La stratégie cantonale concernant la géothermie profonde consiste à poursuivre les études et projets visant à développer une installation hydrothermale jusqu'en 2020, ainsi qu'au moins une deuxième installation durant la décennie suivante, en cohérence avec les objectifs relatifs aux réseaux de chaleur.



Exemple de résultats de l’étude [11]: Lignes sismiques et traces de coupes passant par le site de blueFACTORY



Exemple de résultats de l'étude [11]: Coupe géologique à l'emplacement du forage prévisionnel du site de blueFACTORY

Concernant la géothermie de faible profondeur, la stratégie cantonale consiste à fixer des conditions-cadres (législation, subvention, information, formation) suscitant le remplacement toujours plus marqué des chauffages électriques et à énergies fossiles par des pompes à chaleur utilisant des sondes géothermiques verticales, des géostructures énergétiques et des échangeurs de chaleur.

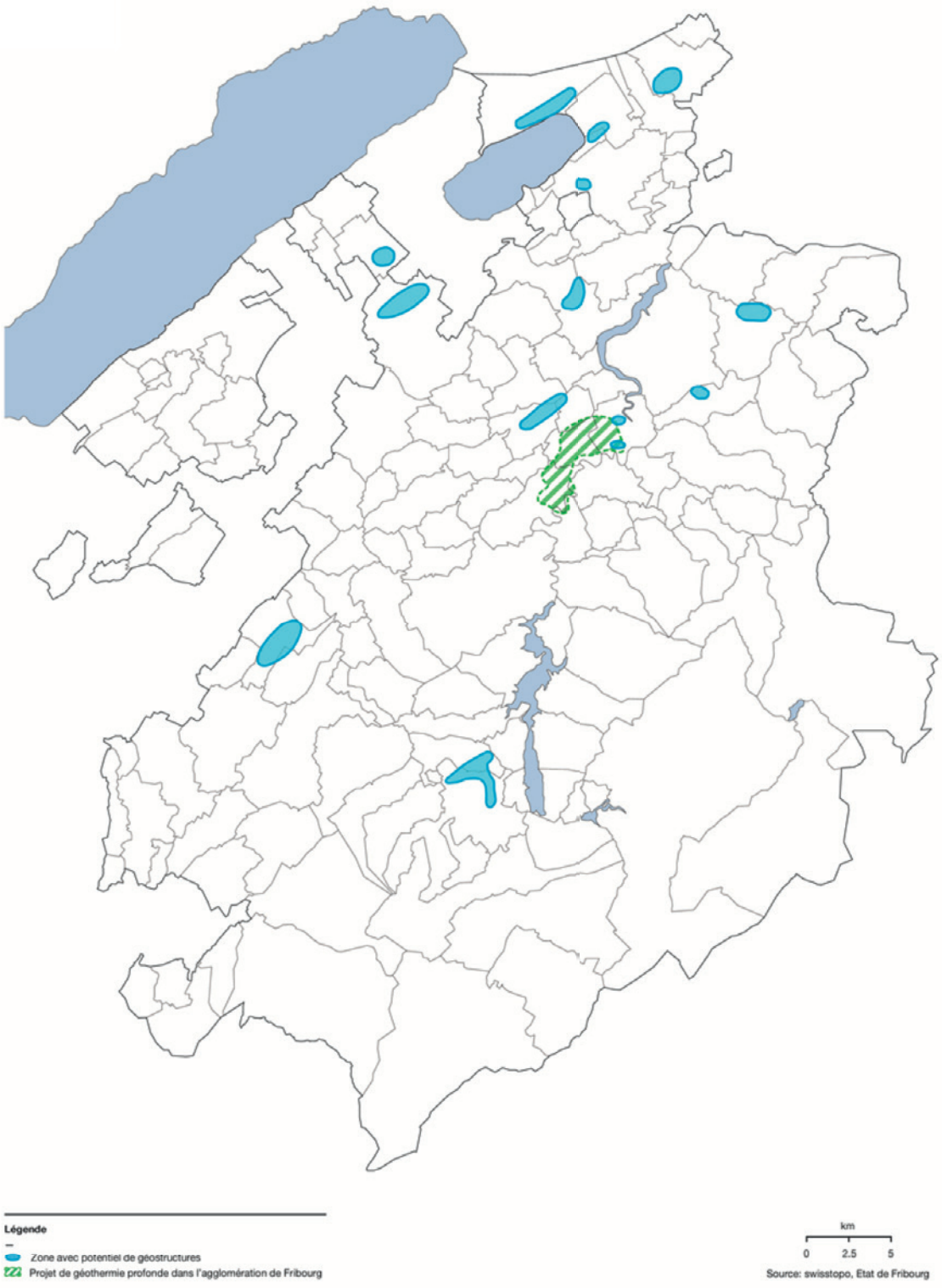
Il s'agit aussi de faciliter le choix de ces techniques pour les bâtiments neufs.

La même stratégie s'applique pour l'utilisation des eaux superficielles et des nappes phréatiques utilisées à des fins thermiques (chauffage et refroidissement).

Plan sectoriel de l'énergie

2. Fourniture d’énergie

–

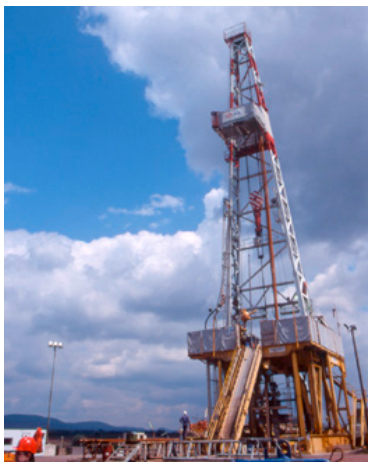


Sources : [3], [6]

Impact (environnemental, économique, politique)

Impact environnemental :

Bien que produisant une énergie renouvelable qui mérite d'être encouragée, les installations géothermiques représentent toutefois un risque pour les ressources en eau souterraine, principalement lors des travaux de forage et de remplissage des trous (risque de pollution de l'eau souterraine depuis la surface, mise en relation d'aquifères superposés), mais également lors de l'exploitation (endommagement des sondes et écoulement du liquide caloporteur). D'autre part, si les caractéristiques géologiques et hydrogéologiques du sous-sol ne sont pas favorables, l'implantation de sondes peut alors avoir des répercussions négatives pour l'exploitant : émission de gaz naturel, eau sous pression à évacuer, perforation ou déformation des sondes (glissements de terrain, cavités géologiques, etc.). Pour les systèmes géothermiques stimulés de grande profondeur, des micro-séismes peuvent se produire lorsque l'eau injectée sous pression agrandit les fissures de la roche.



Forage d'un puit SGS à Soultz-sous-Fôret, Alsace. Source : CREGE

Impact économique :

La quasi-totalité des nouveaux bâtiments d'habitation du Canton se chauffent grâce à des pompes à chaleur (environ 700 par an). Par contre, moins de 10% des renouvellements des systèmes de chauffage existants se font grâce à ces systèmes (moins de 200 sur 2000 par an). [1] (Ces chiffres incluent les PAC air-eau qui ne font pas appel à de la géothermie). Il y a donc un grand potentiel économique à occuper par les PAC dans le domaine de la rénovation. {voir le chapitre 4.3 Pompe à chaleur} Le coût d'une installation géothermique à grande profondeur de type SGS peut être estimé à 80-100 millions de francs, dont une part profitera à l'économie locale (source : geothermie.ch)

Impact politique :

Le développement de projets de géothermie profonde passe obligatoirement par des campagnes de mesures géophysiques, en particulier des mesures par réflexion sismique, qui fournissent de précieux renseignements sur le sous-sol profond et les ressources qu'il renferme allant bien au-delà de la thématique géothermique. Les politiques sectorielles concernées sont :

- L'aménagement du territoire ;
- L'approvisionnement à long terme en ressources minières et hydrocarbures ;

- La gestion environnementale ;
- L'appréciation des risques, notamment géotechniques, de contamination ou les séismes ;
- Les infrastructures de transports routiers et ferroviaires ;
- La politique d'urbanisme ;
- La capacité d'arbitrage en matière de conflits d'intérêt entre différents usages.

Un atout important des mesures géophysiques est qu'elles permettent de fournir des éléments d'appréciation décisifs dans l'ensemble des domaines susmentionnés et par conséquent une nouvelle et importante capacité d'arbitrage et de planification de l'Etat [9].



Véhicules pour mesures de sismique réflexion. Source : SwissTerraPower

Cadre légal

La carte d'admissibilité des SGV du canton de Fribourg est une aide à la planification amenée à évoluer. Elle tient compte essentiellement de la protection des eaux souterraines, et pas du potentiel énergétique ou de la présence d'infrastructures souterraines ou superficielles. Il incombe donc à l'auteur du projet de vérifier si l'implantation et la profondeur des forages sont compatibles avec d'éventuelles installations enterrées.

Par ailleurs, un projet de loi sur l'utilisation du sous-sol est en préparation pour le canton de Fribourg. Il déterminera également les conditions particulières à respecter pour les forages de moyenne et grande profondeur.

Bibliographie

- [1] Service de l'énergie. Stratégie énergétique Etat de Fribourg Rapport 2010-2014. Fribourg, 2015
- [2] Rapport N° 160 du Conseil d'Etat au Grand Conseil relatif à la planification énergétique du canton de Fribourg (nouvelle stratégie énergétique). Fribourg, 2009
- [3] Service de l'énergie. Evaluation du potentiel géothermique du canton de Fribourg. Université de Neuchâtel et CREGE. Fribourg, 2005
- [4] Université de Neuchâtel. Modélisation géologique et étude 3D de la distribution des températures pour la sélection de sites favorables au développement de la géothermie profonde dans le canton de Fribourg. 2012
- [5] Université de Fribourg. Modèle 3D de Géologie profonde Région Fribourg. 2012
- [6] Service de l'énergie. GtP blueFACTORY Rapport final de phase A – Etude préliminaire. SwissTerraPower. Fribourg, 2014
- [7] Service de l'énergie. Projet de géothermie profonde dans le périmètre de la Ville de Fribourg, Rapport de synthèse de l'étude préliminaire (Phase A). Fribourg, 2014
- [8] EAWAG (institut de recherche de l'eau du domaine des EPF). Large lakes as sources and sinks of anthropogenic heat : Capacities and limits. Dübendorf, 2014
- [9] SwissTerraPower. GtP blueFACTORY – Projet de géothermie profonde à Fribourg - Rapport «Préparation du cahier des charges et des éléments de décision en vue de la phase B du projet GtP blueFACTORY». Fribourg, 2016
- [10] Lettre de la DAEC à l'OFEN et l'OFEV du 13.07.2015 concernant la carte d'admissibilité des sondes géothermiques du canton de Fribourg
- [11] Université de Fribourg. Synthèse des données géologiques utiles pour la construction d'un modèle du sous-sol du canton de Fribourg. Dans GeoFocus, volume 39. 2016

2.1.5 Bois

Evolution et utilisation aujourd'hui

Le bois-énergie [1,2] comprend le bois à l'état naturel et en morceaux (bûches, bois déchiqueté, copeaux, sciures, écorces, pellets) et les résidus de l'industrie du bois (p.ex. issu des scieries, des entreprises de charpentes, des menuiseries).

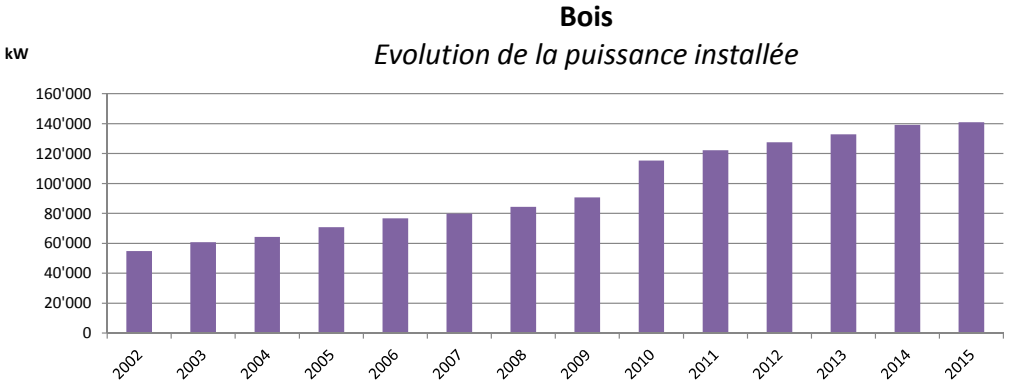
Le bois est utilisé depuis longtemps et a été le principal agent énergétique pendant des millénaires, substitué d'abord essentiellement par le charbon puis par les produits pétroliers durant le 20ème siècle. Depuis les années 1980, l'utilisation du bois-énergie est à nouveau en constante augmentation, soutenue par le progrès technologique et par une politique volontariste au niveau fédéral et cantonal.

Le nombre de nouvelles chaudières subventionnées avec une puissance supérieure à 70 kW reflète bien ce développement : on en comptait 11 en 1980, 55 en 1990, 124 en 2000, 208 en 2010 et 237 en 2014, présentant une puissance totale installée d'un peu plus de 100 MW. Les grandes chaudières au bois sont souvent raccordées à des systèmes de chauffage à distance et réseaux de chaleur. On compte encore environ 4'300 bâtiments, un nombre relativement stable depuis 1990, dotés d'une chaudière à bois individuelle.



Un potentiel important de bois-énergie gît dans les forêts fribourgeoises, ici : la forêt près de Fälgeschür (Tavel). Source : Marcel Gutschner

La puissance totale installée dans le canton de Fribourg est d'environ 140 MW. L'énergie finale issue de la valorisation du bois a doublé entre 2002 et 2015, passant à environ 300 GWh ce qui correspond à environ 8% de la consommation d'énergie thermique dans le canton de Fribourg.



L'évolution de la puissance totale des chaudières au bois installées dans le canton de Fribourg. Source: SdE [10]

Les grandes installations se prêtent également pour le couplage chaleur-force (CCF) (voir chapitre 4.2 Couplage chaleur-force) qui permet de mieux utiliser l'énergie dans le bois pour produire de l'électricité et de la chaleur. Une étude [2] fait état (2010) de neuf installations CCF à bois qui utilisent 8% du bois-énergie en Suisse et produisent 84 GWh d'électricité par an. Une seule installation CCF à bois existe dans le canton de Fribourg. Elle a été mise en service en 2016 à Guin dans le cadre du projet de chauffage à distance. La puissance de l'installation est de 80 – 95 kWe et 350 kWth avec un rendement de 15% resp. 62% (77% au total). L'installation permet de produire 640 MWh de courant par année [11].



La centrale du chauffage à distance de la Holzenergie OBL SA avec une puissance de plus de 2 MW fournit depuis 1995 de la chaleur aux bâtiments sis à Planfayon en valorisant le bois des forêts locales. Source: Marcel Gutschner

Le bois-énergie provient directement des forêts ou des sous-produits de l'industrie. Un peu plus de la moitié du bois-énergie est tiré directement des forêts fribourgeoises avec environ ⅔ de feuillus et ⅓ de résineux [4]. Le volume du bois-énergie continue d'augmenter, de 75'000 m³ en 2008 à près de 100'000 m3 en 2014. En ce laps de temps, la part de copeaux et de bûches a été inversée et les copeaux présentent aujourd'hui la forme la plus répandue du bois-énergie avec plus de 57'000 m³ par an devant les bûches avec 42'000 m³ par an [3]. La part des sous-produits utilisés comme combustible est estimée à 50% du volume de grumes entrantes. Ce volume a baissé considérablement d'environ 171'000 m³ à 123'000 m³ entre 2008 et 2014 [3]. Au niveau suisse, la part des pellets peut être estimée à 10%.[2]



Centre de triage du 2e arrondissement forestier à Dirlaret / Rechthalten, construit en bois selon le standard Minergie-P-ECO. Source : Marcel Gutschner

Potentiel

Le potentiel de bois-énergie équivaut à la quantité de bois de chauffage potentiellement mobilisable en vue de son utilisation à des fins de production d'énergie. Le potentiel d'exploitation se monte à 325'000 m3 de bois fort (bois de services, bois d'industrie et bois-énergie) sur un potentiel d'accroissement annuel estimé à 522'000 m³ pour les forêts dans le canton de Fribourg qui couvrent une surface d'environ 43'700 ha. A ce jour, près de 100'000 m³ de bois sont mobilisés comme bois-énergie pour des copeaux, des plaquettes et des bûches [4]. Selon la méthode économique, il reste 20'000 à 60'000 m³ de bois fort (y compris les rémanents) mobilisables à des fins énergétiques. Ces volumes présentent un potentiel (mobilisable à court terme) de production de chaleur d'environ 40 à 120 GWh.

Les volumes actuels provenant essentiellement des forêts publiques, le potentiel mobilisable se situe principalement dans les forêts privées et les forêts de feuillus. Les forêts privées d'une surface d'environ 18'000 ha se répartissent entre environ 12'000 propriétaires. On estime à 80% la part de ces surfaces appartenant à des agriculteurs [5]. En ce qui concerne le bois-énergie issu de l'industrie, son potentiel ne devrait augmenter qu'avec un volume grandissant traité dans l'industrie du bois.

[2] Il n'y a pas de chiffre précis sur la consommation de pellets dans le canton de Fribourg. La production suisse est de 160'000 t en 2014 ce qui couvrait à peu près 70% de la consommation de pellets en Suisse [12]. La consommation énergétique sous forme de pellets peut donc être estimée à 1 TWh ce qui est à peu près 10% de la consommation suisse de l'énergie du bois d'environ 10 TWh en 2014 [10]





Des « montagnes » de bois ronds et des déchets de l'industrie de bois peuvent être valorisés énergétiquement comme ici à Bulle. Source : Marcel Gutschner

Une étude [1] montre qu'avec un prix d'énergie de 7,5 centimes par kWh, le potentiel du bois-énergie tiré des forêts fribourgeoises peut être estimé à 705 GWh par an ce qui permettrait de plus que doubler la production annuelle (état 2015) à moyen à long terme. En fait, l'exploitation du potentiel économique varie en fonction des prix du marché du bois dans les différents secteurs industriels et énergétiques et du prix des combustibles (fossiles) d'une part et des coûts d'exploitation (conditions topographiques des réserves de bois, fort morcellement des parcelles des forêts privées) d'autre part. Une hausse permanente du prix des combustibles fossiles peut augmenter la rentabilité de l'exploitation des forêts à présent sous-exploitées (l'accroissement annuel d'environ 200'000 m^3 de bois fort n'est pas utilisé).

La valorisation de l'intégralité du potentiel de bois permettrait ainsi de couvrir environ un quart, voire plus, des besoins en chaleur estimés pour 2050 dans le canton de Fribourg et irait au-delà de la part d'un dixième visée pour la Suisse dans la stratégie énergétique 2050

Il est possible de produire de l'électricité et de la chaleur à partir du bois et du biogaz avec de bons rendements, au moyen d'installations de cogénération (couplage chaleur-force [CCF]). Pour les installations de couplage chaleur-force valorisant le bois-énergie, la stratégie énergétique 2050 de la Confédération propose d'augmenter la production d'électricité à partir des grandes installations CCF au bois à 1,24 TWh en l'an 2050. C'est à peu près 9 fois la production suisse en 2010. Cette valeur suisse correspond à environ 50 GWh pour le canton de Fribourg.

La majeure partie du bois-énergie est valorisée par la combustion. Une approche alternative et relativement récente est la gazéification : la biomasse ligneuse est transformée en gaz combustible. Cette approche n'est pas très répandue en Suisse car son coût est trop important et donc peu compétitif face aux technologies concurrentes.

Stratégie

La loi cantonale sur les forêts et la protection contre les catastrophes naturelles (2 mars 1999) vise à favoriser une gestion optimale des forêts et à promouvoir l'utilisation du bois d'origine indigène. Elle est compatible avec la Politique fédérale de la ressource bois [9]. Celle-ci souligne les avantages qu'il y a à utiliser le bois en cascade, à savoir d'abord en tant que matière puis en tant que source d'énergie, et à viser lors de la phase de production d'énergie un rendement global de conversion élevé. Les plus grands potentiels gisent dans les forêts publiques et dans les forêts privées dont 80% des surfaces appartiennent

à des agriculteurs ainsi que dans les sous-produits de l'industrie du bois. Ces groupes d'acteurs doivent donc être impliqués pour mettre en place une stratégie afin de mieux exploiter le bois-énergie des forêts en gérant durablement les ressources forestières cantonales et en garantissant une logistique optimale et une utilisation efficace.



Les besoins en chaleur sont de plus en plus couverts par le chauffage à distance au bois à Bulle et environs ; ici un des sites de production de chaleur renouvelable à Bulle. A terme, 90% du territoire communal sera raccordé au CAD. Source : Marcel Gutschner

A long terme (2035 à 2050), le bois pourrait couvrir une part très importante, d'un quart, voire plus, de la consommation finale nécessaire pour le chauffage. Il convient d'utiliser le bois-énergie prioritairement dans les réseaux de chaleur et grandes installations ou chaudières qui atteignent un rendement élevé et une performance technique respectant les normes toujours plus exigeantes en matière de protection de l'air. Une filière encore sous-exploitée – quoiqu'identifiée dans la stratégie énergétique du canton [6] – est le couplage chaleur-force à bois dans les très grandes installations avec des puissances supérieures à 1 MW.

Afin de capter ces potentiels, il est donc important d'identifier, au niveau communal voire intercommunal, les zones particulièrement favorables au chauffage à distance du point de vue de la densité énergétique et des ressources disponibles en bois-énergie et d'autres agents énergétiques.



Des bâtiments au standard Minergie-P-ECO construits en bois et chauffés au bois à Romont. Source : Marcel Gutschner

Le bois est également un combustible approprié pour un chauffage central dans les maisons à basse consommation, en recourant aux conceptions et techniques modernes en matière de construction ou de rénovation et en utilisant des installations performantes. Ainsi, une économie d'énergie et une diminution de la pollution s'avèrent réalisables [7].

Impacts environnemental, économique et politique

Le bois est une ressource naturelle majeure en Suisse et dans le canton de Fribourg. Il s'agit d'une matière première renouvelable et climatiquement neutre, qui peut être valorisée à la fois comme matière et comme source d'énergie.

La combustion du bois est neutre par rapport au CO_2. La quantité de CO_2 dégagée lors de la combustion du bois est comparable à celle qui a été extraite de l'air pour la photosynthèse au cours de la croissance de l'arbre. Pour que les installations soient relativement peu polluantes, il faut recourir à des technologies avancées, planifier intelligemment (dimensionnement), assurer une exécution et un réglage professionnel ainsi qu'une exploitation correcte (qualité du bois, entretien). Les risques en cas de non-respect de ces exigences résident en une nuisance pour le voisinage, une pollution de l'air avec des poussières fines qui sont nuisibles pour la santé et une détérioration de l'image du bois en tant qu'énergie écologique [7]. L'ordonnance sur la protection de l'air fixe les valeurs limites concernant les émissions des installations de combustion alimentées au bois. Les exigences ont été accrues ces dernières années et la technologie a progressé.

La filière bois joue un rôle important dans le canton de Fribourg avec environ 2'300 emplois dont 430 personnes travaillant au stade de la sylviculture, 410 personnes employées dans une trentaine de scieries, raboteries et entreprises de placage, 1'220 personnes travaillant dans 230 charpenteries et menuiseries et 240 personnes employées dans 45 ébénisteries et fabriques de meubles [8].

L'exploitation durable du bois crée des emplois (environ deux tiers de la création de valeur reste dans la région [12]), assure l'entretien des forêts, valorise les sous-produits forestiers et engendre peu de coûts externes (en respectant des distances de transports les plus courtes possibles et l'ordonnance sur la protection de l'air). De par sa position, l'exploitation de la ressource bois touche de nombreux secteurs politiques [9].

Bibilographie

- [1] DIAF / DEE, Etude du potentiel bois-énergie dans le canton de Fribourg, 2007
- [2] Office fédéral de l'énergie, Standortevaluation Holz-WKK, février 2013
- [3] Service de la statistique de l'Etat de Fribourg, Annuaires statistiques du canton de Fribourg, publications 2002, 2015 et 2016
- [4] Service des forêts et de la faune, Evaluation du potentiel des forêts, présentation donnée le 27 novembre 2014
- [5] Agridea, Mandat d'étude sur l'agriculture fribourgeoise et l'énergie, mai 2016
- [6] Rapport No 160 du Conseil d'Etat au Grand Conseil relatif à la planification énergétique du canton de Fribourg, 29 septembre 2009
- [7] Le bulletin d'information du Service de l'environnement du canton de Fribourg, Décembre 2008
- [8] Site https://www.fr.ch/sff/fr/pub/foret/utilisation_bois_print.htm (visite 14 mars 2016)
- [9] Office fédéral de l'environnement / Office fédéral de l'énergie, Politique fédérale de la ressource bois, février 2014
- [10] Service de l'énergie. Stratégie énergétique Etat de Fribourg Rapport 2010-2014. Fribourg, 2015
- [11] https://www.heisslufturbine.ch
- [12] ARE, BLW, BFE, SECO und RegioSuisse: Regionalökonomische Potenziale und Erfolgsfaktoren für den Aufbau und Betrieb von Energieregionen, September 2012

2.1.6 Biomasse / Biogaz

Evolution et utilisation aujourd'hui

La biomasse est l'ensemble de la matière organique d'origine végétale ou animale. Parmi les catégories de biomasses pouvant être utilisées à des fins énergétiques, on distingue le bois, la biomasse agricole et les déchets biogènes. La biomasse peut être valorisée énergétiquement à travers une multitude de procédés. Ce chapitre détaille les aspects propres à la biomasse agricole et la part des déchets biogènes qui passent par la fermentation pour être transformés en biogaz (méthanisation). Le biogaz ainsi produit est le plus souvent utilisé pour la cogénération de courant et de chaleur (couplage chaleur-force).

La STEP de Fribourg est la seule installation dans le canton de Fribourg qui purifie le biogaz généré et l'injecte dans le réseau de gaz. La part de chaleur produite lors de la cogénération est importante et il est indispensable de trouver une utilisation pour cette énergie, sur place ou par injection dans un réseau de chauffage à distance. Des détails relatifs à l'utilisation du bois et de la part de la biomasse valorisée énergétiquement dans les usines d'incinération sont donnés dans des chapitres spécifiques (voir chapitres 2.1.5 Bois et 2.2.3 Usine d'incinération).La première installation de biogaz du canton de Fribourg a été réalisée à la fin des années 1970 par un agriculteur à Uttewil (Bösingen). Entretemps, une dizaine d'installations valorisent la biomasse agricole et les déchets organiques (voir tableau ci-dessous). Les huit installations en opération depuis quelques années produisent en moyenne environ 13 GWh d'électricité par an (la production brute est d'environ 14 GWh) et 16 GWh de chaleur. Une quinzaine d'installations de biogaz dans les STEP produisent en moyenne environ 8 GWh (voir tableau ci-dessous).

Tableau : Installation de biogaz valorisant la biomasse agricole / les déchets organiques.

Lieu	Puissance électrique en kW	Puissance thermique en kW	Production nette d'électricité en GWh / an (approx.)*	Production de chaleur en GWh / an (approx.)*
Uttewil (Bösingen)	210	252	1.4	1.7
Guin (Düdingen)	370	387	2.7	3.2
Heitenried	60	92	0.4	0.6
Villorsonnens	440	525	1.5	1.9
Le Mouret (Ferpicloz)	280	344	2.1	2.6
Seedorf (Noréaz)	295	410	2.1	3.2
Cournillens (Miséry-Courtion)	105	89	0.7	0.6
Bellechasse (Sugiez)	220	232	1.3	1.6
Galmiz**			0.8	0.7
Grandvillard**			n.a.	n.a.

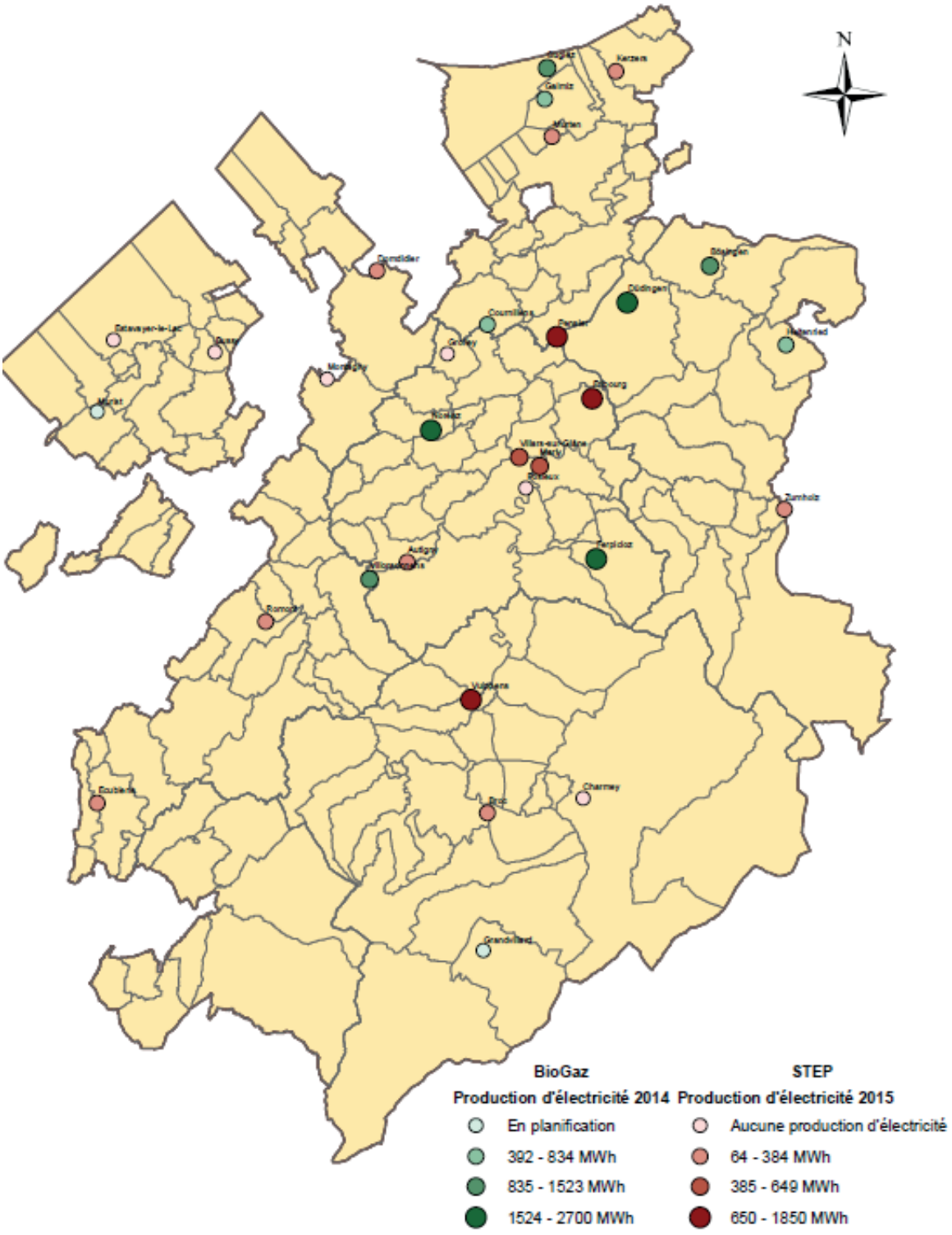
* Moyenne des années 2012 ou 2013 à 2014 selon Swissgrid (Liste der KEV Bezüger)
** Nouvelles installations opérationnelle depuis 2015 / 2016

Sources : Swissgrid – RPC et SdE

Tableau : Valeurs énergétiques pour les STEP dans le canton de Fribourg (année 2015)

Lieu	Puissance électrique en kW	Puissance thermique en kW	Production d'électricité par un moteur à gaz [371] en MWh	Production totale de gaz de digestion en 1000 m³	Consom-mation de gaz de digestion pour le chauffage en 1000 m³	Consom-mation de gaz de digestion pour le moteur à gaz en 1000 m³	Brûlage à la torchère en 1000 m³	Vente de gaz en 1000 m³
Autigny	40	68	297	197	3	159	35	0
Broc		110	98	0	0	0	0	0
Bussy			0	23	23	0	0	0
Charmey		41	0	43	43	0	0	0
Domdidier		29	65	42	0	36	7	0
Ecublens		96	346	290	4	269	17	0
Estavayer-le-Lac	330	405	0	774	155	442	176	0
Fribourg	173	308	1850	1878	46	278	10	1557
Grolley			0	33	0	0	2	0
Kerzers	35	54	133	85	0	85	0	0
Marly	80	138	384	292	7	284	1	0
Montagny			0	24	24	0	0	0
Murten	60	109	368	247	14	229	4	0
Pensier	180	345	1509	824	24	728	73	0
Posieux			0	38	27	0	11	0
Romont	40	72	280	178	1	175	2	0
Villars-sur-Glâne	120	202	650	407	7	401	0	0
Vuippens	80	140	1366	603	0	599	4	0
Zumholz	15	30	242	177	0	177	0	0
Total			**7588**	**6156**	**378**	**3861**	**341**	**1557**

STEP et biogaz sur le canton de Fribourg



Production d'électricité à partir du biogaz dans le canton de Fribourg.



L'installation de biogaz à Seedorf (Noréaz) avec une puissance électrique de 295 kW. Source : Marcel Gutschner



Le biogaz agricole est valorisé énergétiquement depuis 1979 dans l'installation sise à Uttewil (Bésingue / Bösingen). Source : Marcel Gutschner

Une entreprise sise à Domdidier produit du biodiesel à partir des huiles végétales usagées.



Station-service et site de production du biodiesel dit de 2e génération à Domdidier. Source : Marcel Gutschner

Potentiel

Une étude [1] estime le potentiel de production de biogaz issu des effluents agricoles identifiés (engrais de ferme, menue-paille et cultures intermédiaire) à 290 GWh. La valorisation des déjections des bovins représente près de 80% du total du potentiel identifié. Une part de 20% est attribuée à la menue-paille, aux porcs, aux poules et à quelques autres sources. Compte tenu de la production actuelle de l'ordre de 40 GWh, le potentiel à développer est d'environ 250 GWh. En partant du principe que cette production pourrait être principalement valorisée au moyen du couplage chaleur-force (CCF) avec un rendement électrique de 35%, la part d'électricité s'élèverait alors à 87 GWh et la part de chaleur à 162 GWh.

Pour les substrats non agricoles, selon l'étude sus-mentionnée qui calcule les potentiels fribourgeois sur la base d'une étude suisse [2], le potentiel de biogaz est de 20 GWh. Les potentiels de substrats non agricoles comprennent les déchets et sous-produits de l'industrie alimentaire (environ 16 GWh) tels que le petit lait, les déchets de meuneries, les restes de fruits et de légumes, certaines huiles et graisses, les invendus de la grande distribution et les déchets de la restauration. A cette catégorie s'ajoutent encore les sous-produits de la valorisation des produits carnés (environ 0,5 GWh) ainsi que la part biogène des déchets urbains, les déchets verts des communes et des jardins (environ 3,5 GWh). Tenant compte des

substrats agricoles et non agricoles, le potentiel peut être estimé à 94 GWh de courant électrique et 175 GWh de chaleur.La stratégie énergétique 2050 de la Confédération propose d'augmenter la production d'électricité à partir des installations de biogaz agricole à 1,58 TWh en l'an 2050. Cela correspond environ à 20 fois la production suisse en 2010. Cette valeur suisse atteint environ 60 GWh pour le canton de Fribourg.

Pour les STEP, la stratégie 2050 prévoit d'augmenter production d'électricité à 0,3 TWh ce qui équivaut à une production d'électricité d'environ 12 GWh pour le canton de Fribourg. La production de gaz de digestion est de 6,16 mio de m^3. Par m^3 de gaz de digestion, on peut produire environ 2 kWh d'électricité et 3,5 kWh de chaleur. En somme, on pourrait donc produire 12,3 GWh de courant et 21,6 GWh de chaleur. Comme la STEP de Fribourg injecte plus de 1,5 mio de m^3 de biogaz dans le réseau de gaz, ce potentiel est donc réduit d'un quart et se situe à environ 9 GWh de courant et 16 GWh de chaleur. Le potentiel restant peut être capté moyennant l'optimisation des installations existantes et la probable fusion de certaines STEP dans le futur.

Le canton de Fribourg n'a pas défini de stratégie active [4] pour ce qui est du potentiel de biocarburant. Principalement pour des raisons d'éthique, le canton de Fribourg n'entend pas encourager l'utilisation des terrains d'assolement dans le but de produire du combustible ou du carburant, au détriment de la production agro-alimentaire. La production de combustible ou de carburant tirés de la matière organique doit être réalisée essentiellement à partir de la valorisation de déchets. Une étude [5] conclut, et ce malgré un certain potentiel de production de biocarburant en Suisse occidentale, que la production locale de biocarburants liquides de première génération[3] est peu probable, notamment en raison de la priorité accordée à l'alimentation. Les filières dites de seconde génération pourraient, en théorie, permettre une production d'environ 300 à 400 kt de bioéthanol en Suisse occidentale.

Stratégie

La biomasse constitue une source d'énergie renouvelable très polyvalente car elle peut produire de la chaleur, de l'électricité ou des biocarburants pour le transport. Elle sert également de matière première à l'industrie chimique en substitution du pétrole, pour produire des bioplastiques et autres produits de synthèse (concept dit de « bioraffinerie »). Il faut donc déterminer lesquelles de ses utilisations sont les plus pertinentes, et fixer des priorités.

Une étude du Service de l'environnement et de l'énergie du canton de Vaud [3] conclut qu'il est important de privilégier l'utilisation du biogaz pour des applications dans le transport puis pour la cogénération, et souligne finalement que son utilisation peut permettre de produire de la chaleur. La combustion de la ressource dans des chaudières représente largement la moins bonne solution. Une étude de l'Office fédéral de l'énergie [6] montre que le bilan écologique est plus favorable pour le biodiesel à partir des huiles végétales usagées et le bioéthanol à partir du purin ou des déchets de la production agricole, mais que le potentiel reste très limité. Les produits énergétiques issus d'engrais de ferme, de déchets et de sous-produits agricoles et de substrats non agricoles présentent un intérêt aussi bien économique et qu'écologique. Le potentiel montre que la production d'électricité et de chaleur peut et doit être augmentée, tout en respectant l'utilisation en cascade. Cela signifie que la production agricole doit servir avant tout à l'alimentation humaine, puis à l'affouragement et seulement ensuite aux

3 La notion de « 1ère respectivement 2ème génération de biocarburants » n'est pas clairement définie. La 1ère génération correspond en général au biocarburants issus de la valorisation énergétique du sucre ou des acides gras tandis que la 2ème génération valorise la matière cellulosique.

biocarburants et à la valorisation énergétique. La valorisation de la biomasse (déchets, sous-produits, etc.) issue de la production agricole et industrielle doit être promue partout où elle peut respecter au mieux les cycles agricoles, naturels, industriels ou régionaux. Il doit être parallèlement possible d'optimiser l'implantation des infrastructures nécessaires à la production énergétique en tenant compte des transports de la biomasse et d'éventuelles nuisances (sonores, olfactives et autres), mais également de l'utilisation du courant et de la chaleur biogène.

Impacts environnemental, économique et politique

La réalisation d'installations de biogaz est relativement complexe en termes techniques et juridiques. Elle doit respecter plusieurs obligations légales, notamment l'ordonnance sur l'aménagement du territoire (fédéral). Les substrats utilisés doivent provenir à raison de la moitié au moins de leur masse de l'exploitation elle-même ou d'entreprises agricoles distantes en règle générale de 15 km au maximum par la route. Cette partie doit représenter 10 % au moins de la valeur énergétique de tous les substrats utilisés. Les sources d'autres substrats de la biomasse doivent être situées, en règle générale, à une distance de 50 km au maximum par la route. L'installation complète doit être subordonnée à l'exploitation agricole et contribuer à une utilisation efficace des énergies renouvelables. La Directive de la DAEC, de la DIAF et de la DEE relative aux constructions et installations conformes à l'affectation de la zone agricole nécessaires à la production d'énergie à partir de biomasse définit les critères répondant au principe de subordination à l'exploitation agricole.

Bibliographie

> [1] Agridea, Mandat d'étude sur l'agriculture fribourgeoise et l'énergie, mai 2016

> [2] Nova Energie GmbH, Vergärbare Abfälle in der Schweiz, août 2010

> [3] Service de l'Environnement et de l'Energie du Canton de Vaud, Perspectives de l'utilisation du biogaz distribué dans le réseau de gaz naturel, novembre 2011

> [4] Rapport N° 160 du Conseil d'Etat au Grand Conseil relatif à la planification énergétique du canton de Fribourg, 29 septembre 2009

> [5] ENERS Energy Concept, Disponibilité et potential de production locale des biocarburants liquids en Suisse, novembre 2008

> [6] OFEN OFAG / OFEV, Ökobilanz von Energieprodukten – ökologische Bewerung von Biotreibstoffen, mai 2007

2.2 Rejets de chaleur

–

Introduction

Par rejets de chaleur [1] on entend les déperditions de chaleur inévitables en l'état de la technique, produites par la conversion d'énergie ou par des processus chimiques (dont l'incinération des ordures). De cette liste de déperditions sont exclus les rejets des installations ayant pour but premier de produire simultanément du courant et de la chaleur (voir chapitre 4.2 Couplage chaleur-force). Selon une précision de l'Office fédéral de l'énergie [2], ces rejets de chaleur sont considérés comme neutre au niveau CO_2 et ne contiennent pas d'énergie primaire. Les rejets de chaleur constituent donc une catégorie à part et ne sont considérés comme étant ni renouvelables ni fossiles.
Suite à des mesures d'optimisation énergétique et de récupération de chaleur, ces rejets de chaleur peuvent et doivent être valorisés, par exemple dans des réseaux de chaleur. La substitution d'énergie fossile par la valorisation de rejets thermiques contribue largement aux objectifs de politique énergétique et climatique, et permet de développer les chauffages à distance dans les zones de forte densité proches des sources de rejets de chaleur.

Les principales sources de rejets de chaleur dans le canton de Fribourg sont l'usine d'incinération d'ordures ménagères de la SAIDEF, certaines industries et les stations d'épuration (eaux usées). Elles sont présentées dans les chapitres suivants qui décrivent leur évolution, leur utilisation aujourd'hui et leur potentiel dans le canton de Fribourg.

Bibliographie:

- [1] Ordonnance sur l'énergie (OEne) du 7 décembre 1998 (Etat le 1er janvier 2016)
- [2] Office fédéral de l'énergie, pour l'utilisation des instruments de politique énergétique et climatique / fiche d'information sur les rejets de chaleur du 1er février 2016

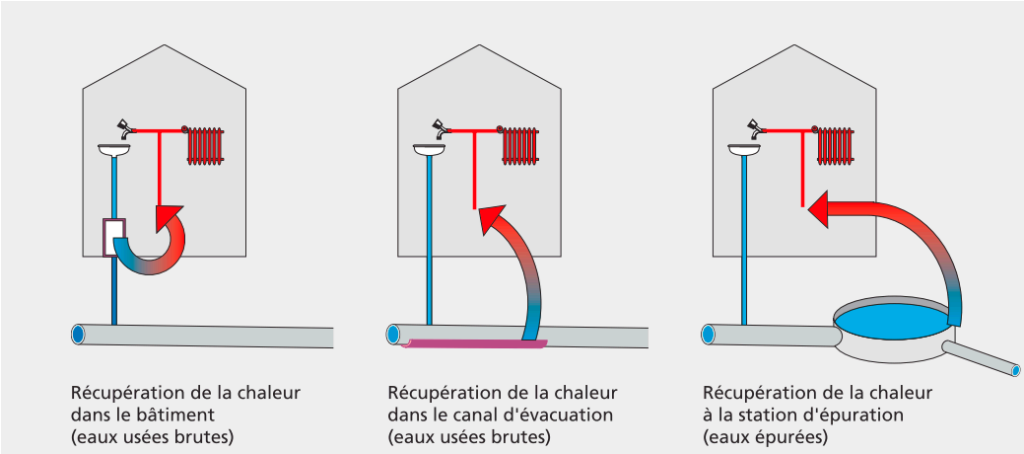
2.2.1 STEP

Evolution et utilisation aujourd'hui

Avec une température oscillant entre 10 et 20 °C, les eaux usées recèlent de grandes quantités d'énergie et disposent ainsi d'un important potentiel de développement en Suisse. De nombreux projets de valorisation thermique des eaux usées (brutes et traitées) ont notamment vu le jour en Suisse, en Allemagne et en France. (En ce qui concerne la production d'électricité à partir des STEP, elle est traitée dans les chapitres 2.1.6 Biomasse (biogaz) et 4.2 Couplage chaleur-force.)

La chaleur des eaux usées peut être exploitée à trois endroits différents :

- En sortie de bâtiments (pour de nouvelles constructions ou de gros bâtiments)
- En amont de la STEP (collecteurs ou bassins de rétention)
- En aval de la STEP (après traitement des eaux usées)



L'énergie des eaux usées peut être récupérée à de nombreux endroits : dans des bâtiments ayant une forte consommation d'eau, dans les conduites d'évacuation et dans les stations d'épuration. Source : SuisseEnergie pour les infrastructures (2006) [1]

La technologie fonctionne très bien et est notamment déjà appliquée au centre de formation Loewenberg à partir de la récupération de la chaleur de la STEP de Morat. La chaleur des eaux usées couvre à peu près la moitié des besoins en énergie thermique (chaleur et froid) d'environ 1,2 GWh par an.



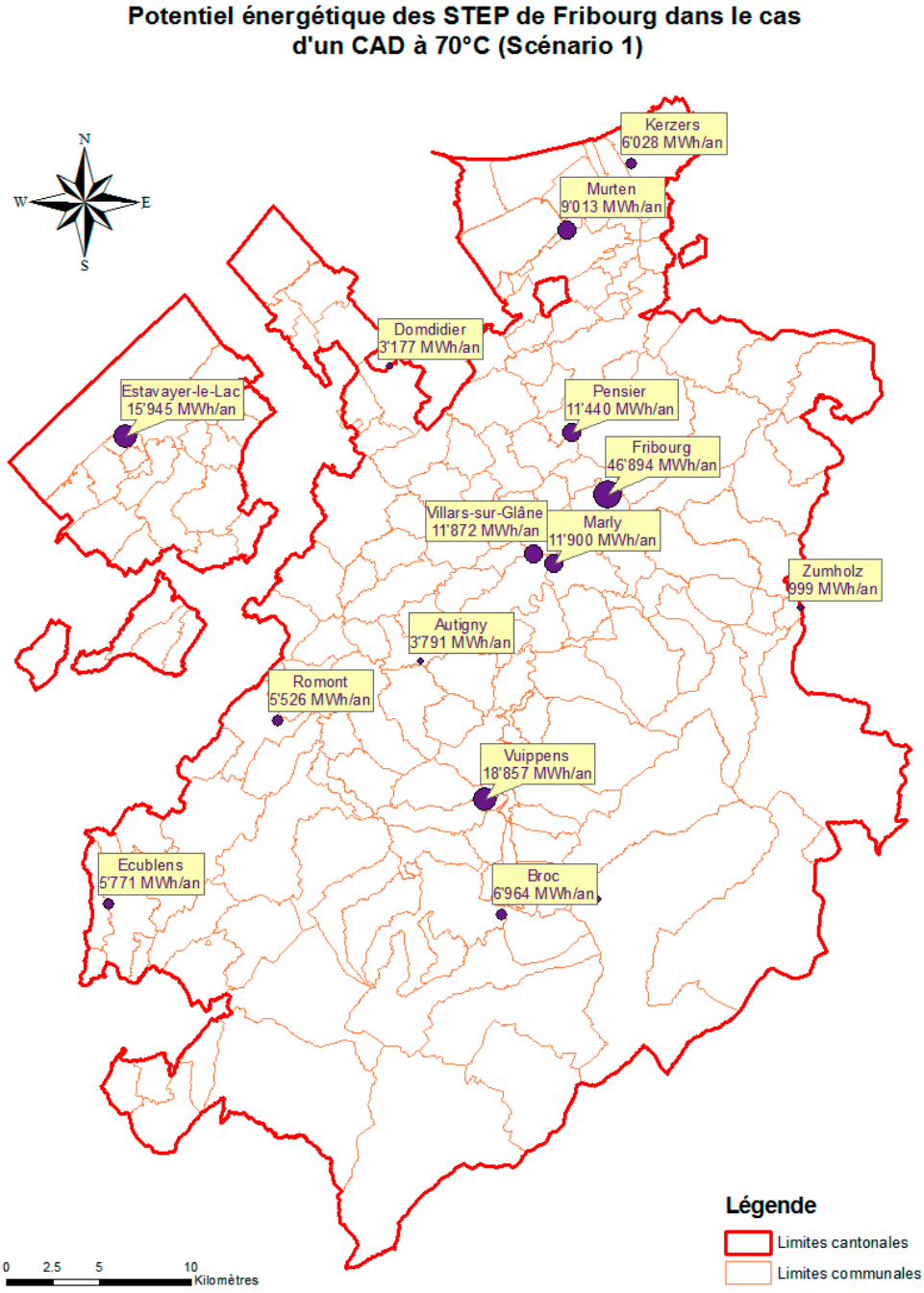


Le centre de formation Loewenberg des CFF exploite l'énergie thermique des eaux usées de la STEP depuis 1983 [1] pour chauffer, produire l'eau chaude sanitaire et rafraîchir l'ensemble des bâtiments (centre de formation, restaurant, pavillons avec 192 chambres, manoir plus dépendances). Une fois l'eau épurée et filtrée à la STEP, elle est acheminée jusqu'à une chaufferie à mi-chemin entre la STEP et le centre où la chaleur de l'eau est récupérée via un échangeur de chaleur et de deux pompes à chaleur d'une puissance totale de 780 kW (coefficient de performance de 4,1). L'installation est associée à un couplage chaleur-force d'une puissance de 500 kW et de deux chaudières à gaz permettant de fournir l'énergie de pointe. Les consommations de chaleur et de froid sont respectivement de 870 MWh et de 320 MWh. La part de chaleur fournie par les eaux usées est de 48%. Source : Marcel Gutschner

Sur l'ensemble du territoire cantonal, de nombreuses STEP à petite capacité (et donc à faible potentiel) sont visées par des mesures de restructuration. Dans la plupart de ces cas, le but est une centralisation des STEP et donc la disparition des plus petites. Parmi les STEP restantes, celles traitant un débit supérieur ou égal à 5000 équivalents habitants hydrauliques peuvent offrir une exploitation énergétique rentable. Ces STEP sont au nombre de 15 [2]: ce sont celles d'Autigny, Broc, Charmey, Chiètres, Domdidier, Ecublens, Estavayer-le-Lac, Fribourg, Marly, Morat, Pensier, Romont, Villars-sur-Glâne, Vuippens et Zumholz.

Potentiel

Une évaluation des rejets thermiques issus des eaux usées (STEP et collecteurs) a été réalisée à l'échelle du canton [2]. Concernant les STEP, le potentiel de récupération de chaleur peut aller jusqu'à 160 GWh par an en fonction du scénario d'utilisation retenu. La valeur maximale correspondant au scénario 1 dans lequel la chaleur des eaux usées est transférée à un réseau de chaleur à distance (CAD) à moyenne température (70°C) via une pompe à chaleur.

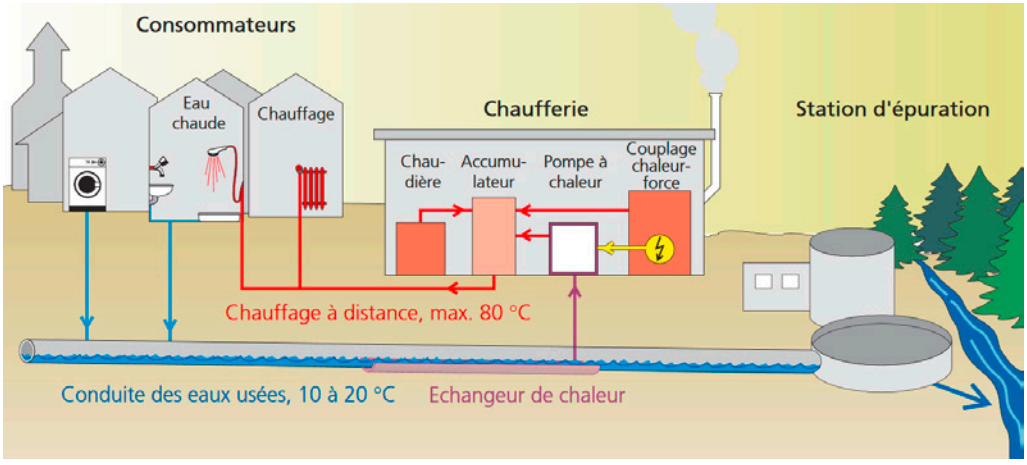


Potentiel énergétique des rejets thermiques issus des eaux usées dans le canton de Fribourg (scénario 1). Source : CREM (2013) [2]

Après l'évaluation du potentiel, les rejets thermiques doivent être mis en relation avec les besoins de chaleur du territoire, en identifiant les zones les plus favorables pour la réalisation ou l'extension de réseaux de chauffage à distance. Neuf STEP sont propices à l'approvisionnement énergétique via un réseau de chaleur. Il s'agit des STEP de Broc, Chiètres, Estavayer-le-Lac, Fribourg, Marly, Morat, Pensier, Villars-sur-Glâne et Vuippens. Dans le cas d'un approvisionnement grâce à des CAD à 70°C, l'énergie totale productible annuellement grâce à ces neuf STEP s'élève à plus de 139 GWh/an, dont 47 GWh/an pour la STEP de Fribourg. A titre comparatif, la demande thermique de la zone de forte densité identifiée de la ville de Fribourg (sur environ 200 ha) a été estimée à 277 GWh/an [2].

Les quatre zones se prêtant le mieux à ce type de valorisation sont celles de Fribourg (avec les STEP de Fribourg, Villars-sur-Glâne et Marly), Bulle (avec la STEP de Vuippens), Estavayer-le-Lac et Morat (projet de fusion en cours avec la STEP de Chiètres). Pour ces régions, les possibilités d'installation de CAD – voire de compléter un CAD existant – sont multiples et doivent être étudiées de manière approfondie au cas par cas.

Pour les cinq STEP restantes qui ne sont pas incluses dans un rayon d'approvisionnement intéressant des CAD classiques, une exploitation énergétique des collecteurs en amont de celles-ci peut être envisagée. De plus, quatre réseaux de collecteurs peuvent être exploités toute l'année : ceux reliés aux STEP de Fribourg, d'Estavayer-le-Lac, de Morat et de Villars-sur-Glâne. Les autres pourraient servir au chauffage de l'eau chaude sanitaire durant les périodes hors saison de chauffe. La valorisation de la chaleur dans les collecteurs s'effectue grâce à des pompes à chaleur (PAC) secondées par des systèmes d'appoint. Il est aussi possible de rafraichir des bâtiments en plaçant des échangeurs de chaleur sur les collecteurs d'eau usée en amont des PAC (freecooling).



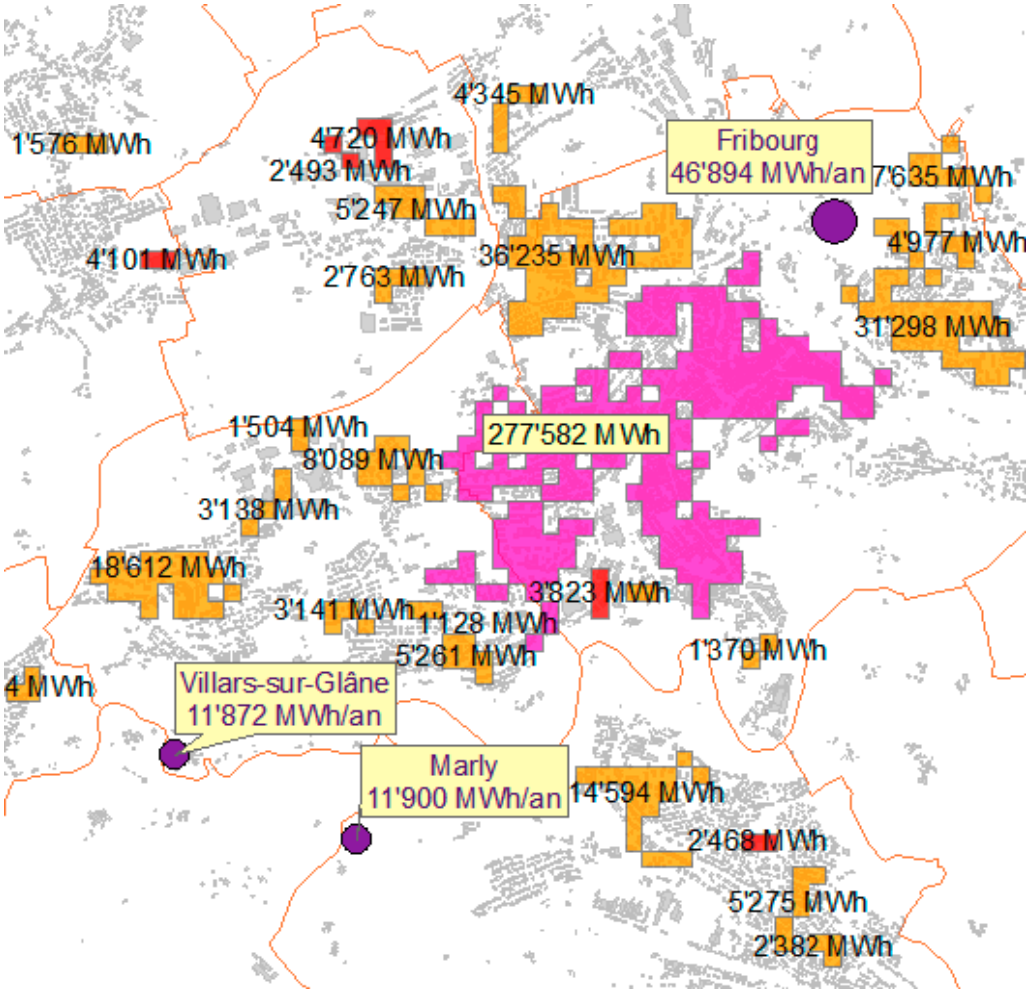
Le coeur du dispositif pour utiliser la chaleur contenue dans les eaux usées est constitué par un échangeur de chaleur qui capte l'énergie des eaux usées et une pompe à chaleur qui chauffe ou refroidit les bâtiments. Source : SuisseEnergie pour les infrastructures (2006) [1]

Les potentiels énergétiques globaux des collecteurs ne sont pas chiffrés, mais il faut savoir que l'exploitation en amont des STEP influence la quantité d'énergie disponible en aval. Le potentiel énergétique en aval des STEP étant bien plus important et sujet à très peu de contraintes, il convient donc de le privilégier aux dépens de l'exploitation thermique des réseaux de collecteurs lorsque cela est possible.

Stratégie

Conformément à la loi sur l'énergie (art. 17), les rejets thermiques des entreprises, dont les STEP, doivent être valorisés soit directement au sein de l'entreprise par exemple pour le chauffage du bâtiment ou en les réutilisant pour ses différents processus, soit en externe pour les besoins d'autres entreprises se trouvant à proximité ou dans un réseau de chaleur.

La valorisation des rejets de chaleur des STEP d'Estavayer-le-Lac, Fribourg, Marly, Morat, Villars-sur-Glâne et Vuippens sera examinée en priorité. Les conditions cadres actuelles permettront ainsi la mise en œuvre de cette stratégie à travers les plans communaux des énergies et l'analyse des gros consommateurs d'énergie.



Demande énergétique, densité thermique (orange : 500 – 1000 MWh/ha*an, rouge/rose : > 1000 MWh/ha*an) et potentiels des rejets de chaleur des STEP à Fribourg et environs. Source : CREM (2013) [3]

Bibliographie

› [1] SuisseEnergie pour les infrastructures, Chauffer et rafraîchir grâce aux eaux usées - Guide pour les maîtres d’ouvrage et les communes, mai 2006

› [2] CREM, Valorisation des rejets de chaleur, partie 2 : Evaluation des rejets thermiques issus des eaux usées : STEP et collecteurs. Service de l’énergie. Fribourg, 2013

› [3] CREM, Potentiel des eaux usées, présentation 6 décembre 2013

2.2.2 Industrie

Evolution et utilisation aujourd’hui

Parmi les options envisageables pour améliorer les performances des systèmes énergétiques à l’échelle de collectivités locales, la valorisation des rejets thermiques à différents niveaux de température, provenant de l’industrie, vient en premier plan. En effet, il s’agit d’une ressource qui, jusqu’à maintenant, était majoritairement rejetée dans l’environnement, et dont ni les quantités ni les localisations n’avaient été étudiées en détails.

Dans la situation actuelle, bon nombre d’industries rejettent de la chaleur. Ces rejets sous forme solide, liquide ou gazeuse sont produits à des températures souvent inférieures à celles exigées pour une valorisation directe par l’émetteur, mais la température de ces rejets peut néanmoins être suffisante pour qu’ils soient utilisés par d’autres consommateurs situés à proximité, par l’intermédiaire de réseaux thermiques. Cette valorisation via des réseaux thermiques n’est pas encore très répandue dans le canton de Fribourg. Liebherr Machines Bulle en est un exemple. L’entreprise injecte (surtout en été) des rejets de chaleur provenant de ses nouveaux bancs d’essai pour les moteurs Diesel et à gaz dans le réseau de chauffage à distance de GESA. Durant l’hiver, les « rejets de chaleur » sont utilisés en interne. Ici et ailleurs, des mesures d’optimisation ont déjà permis de mieux utiliser les « rejets de chaleur » en interne {voir le chap. 7.2 Efficience énergétique, Industrie}.

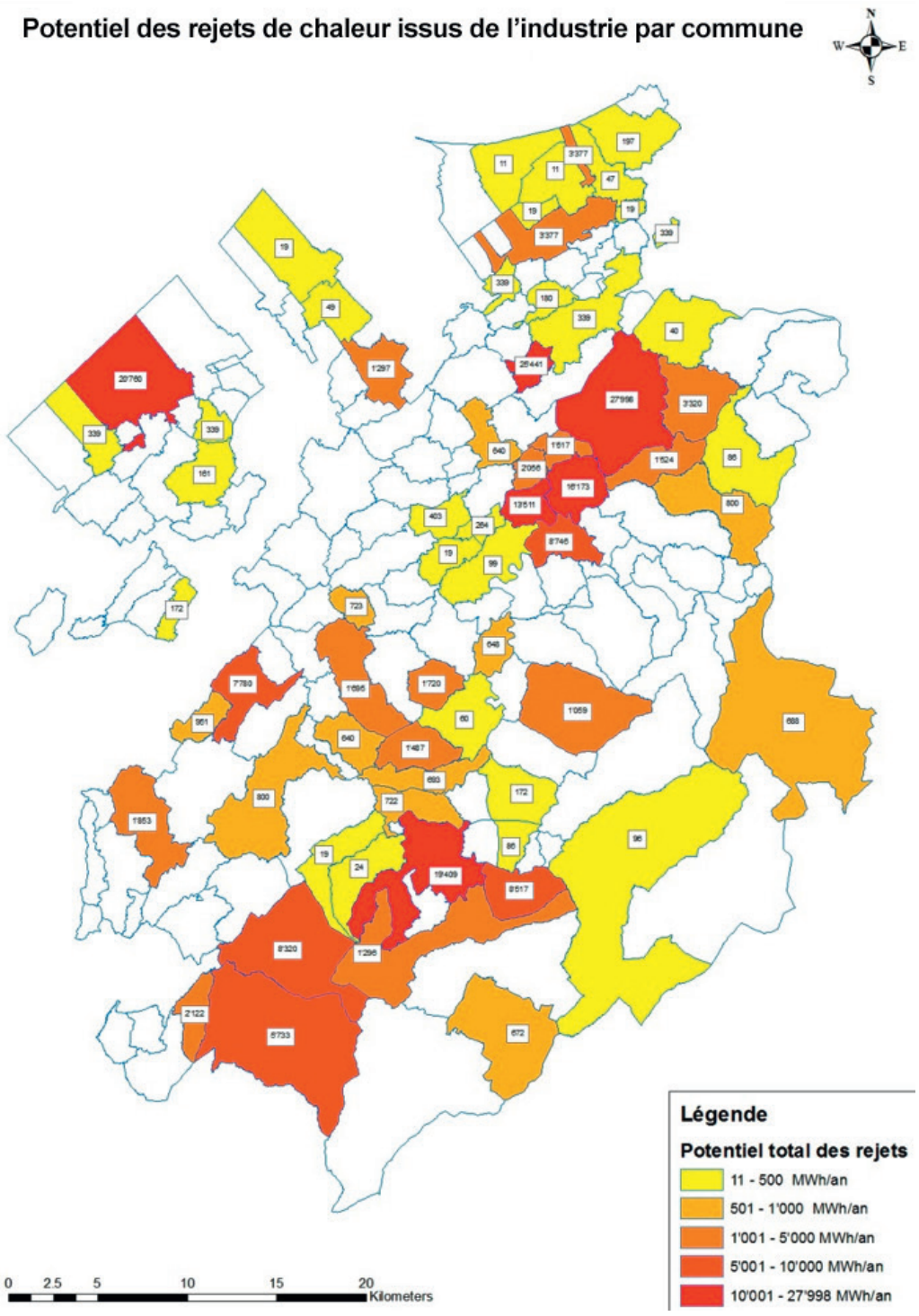


La zone de production ainsi que la partie administrative sont chauffées par les rejets de chaleur des processus de fabrication dans ce bâtiment à Châtel-St-Denis. Source : Marcel Gutschner

Potentiel

Etant donné que tous les rejets n'ont pas les mêmes propriétés physiques (température, pression, forme), le contenu énergétique peut fortement varier en fonction de la source. Ainsi dans certains cas, il est uniquement possible de valoriser l'énergie en interne, alors que dans d'autres, il faut identifier des zones à haute densité de besoins énergétiques pour récupérer le maximum de rejets thermiques et les valoriser en externe. Il est aussi possible de les valoriser directement chez un tiers.

Une pré-évaluation du potentiel énergétique des rejets thermiques industriels [2] montre qu'il existe un potentiel brut théorique d'au moins 200 GWh/an de chaleur à récupérer dans le canton. Une grande partie du potentiel, environ 122 GWh/an, serait issue de rejets d'eau chaude à basse et moyenne température, très intéressants pour le développement de nouveaux réseaux de chaleur. Les autres types de rejets, c'est-à-dire les effluents gazeux, le vapeur d'eau et l'air chaud, auraient un potentiel respectivement de 48 GWh/an, 21 GWh/an et 7 GWh/an. De plus, les résultats mettent en exergue que six communes détiendraient plus de 60% du potentiel des rejets thermiques. Il s'agirait des communes de Bulle, Courtepin, Estavayer-le-Lac, Fribourg, Guin et Villars-sur-Glâne.



Potentiel des rejets de chaleur issus de l'industrie par commune. Source : CREM (2013) [2]

Stratégie

Il est crucial d'évaluer le potentiel des rejets thermiques (forme, température moyenne, débit annuel) et de les mettre en relation avec les besoins de chaleur du territoire, en identifiant les zones les plus favorables pour la réalisation ou l'extension de réseaux de chauffage à distance. Il est en outre nécessaire de tenir compte de l'évolution des besoins futurs au vu de nouveaux projets et de la rénovation des bâtiments.

Conformément à la loi sur l'énergie (art.17), les rejets thermiques des entreprises doivent être valorisés soit directement au sein de l'entreprise, par exemple pour le chauffage du bâtiment ou en les réutilisant pour ses différents processus, soit en externe pour les besoins d'autres entreprises se trouvant à proximité ou dans un réseau de chaleur à distance. La valorisation des rejets de chaleur permet de réduire l'exploitation des ressources énergétiques et de réaliser des économies conséquentes pour les entreprises concernées.

Les conditions cadres actuelles [1] permettront la mise en œuvre de cette stratégie à travers les plans communaux des énergies et les analyses des gros consommateurs d'énergie {voir le chap. 7.2 Efficience énergétique, Industrie}.

Bibliographie

> [1] Rapport N° 160 du Conseil d'Etat au Grand Conseil relatif à la planification énergétique du canton de Fribourg (nouvelle stratégie énergétique). Fribourg, 2009

> [2] CREM. Valorisation des rejets de chaleur, partie 1 : pré-évaluation des rejets de chaleur industriels. Service de l'énergie. Fribourg, 2013

2.2.3 Usines d'incinération

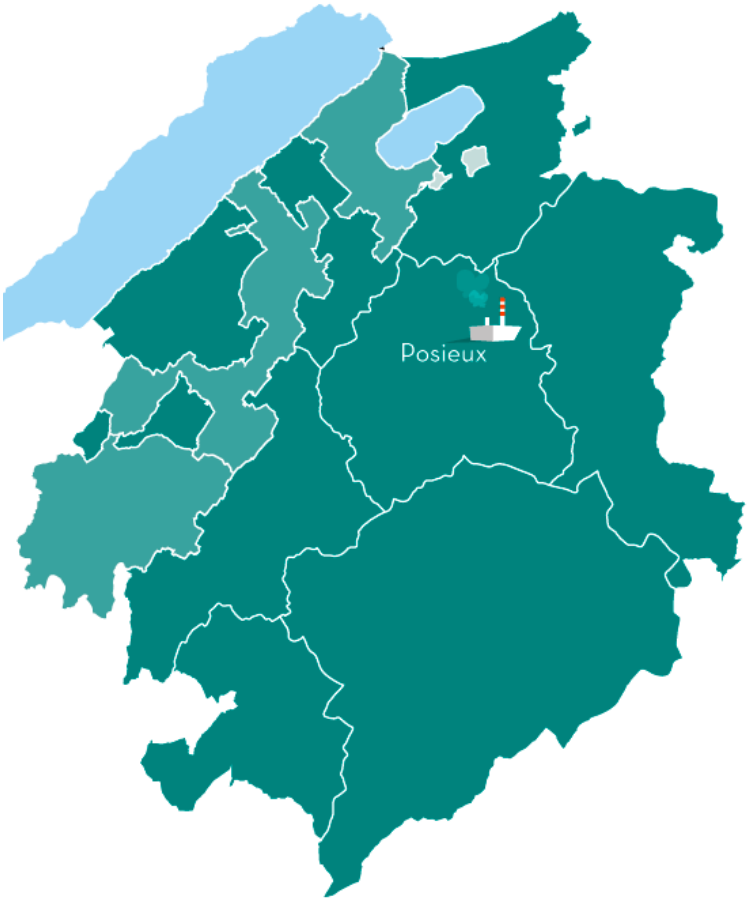
Evolution et utilisation aujourd'hui

Tous les déchets combustibles non valorisés doivent désormais être incinérés. Les usines d'incinération des ordures ménagères (UIOM), équipées de filtres performants, permettent non seulement une réduction propre du volume des déchets, mais également la valorisation de leur contenu énergétique (environ 3,5 kWh/kg). L'énergie libérée lors de la combustion peut servir à la production d'électricité (à travers une turbine) et alimenter un réseau de chauffage à distance.

Depuis 2001, les déchets des communes fribourgeoises sont traités et valorisés à l'usine SAIDEF à Posieux (Hauterive). Les boues des stations d'épuration y sont valorisées depuis 2006. L'usine est donc composée de deux lignes : l'usine de valorisation thermique des déchets (UVTD) et l'usine d'incinération des boues de STEP (IBS).

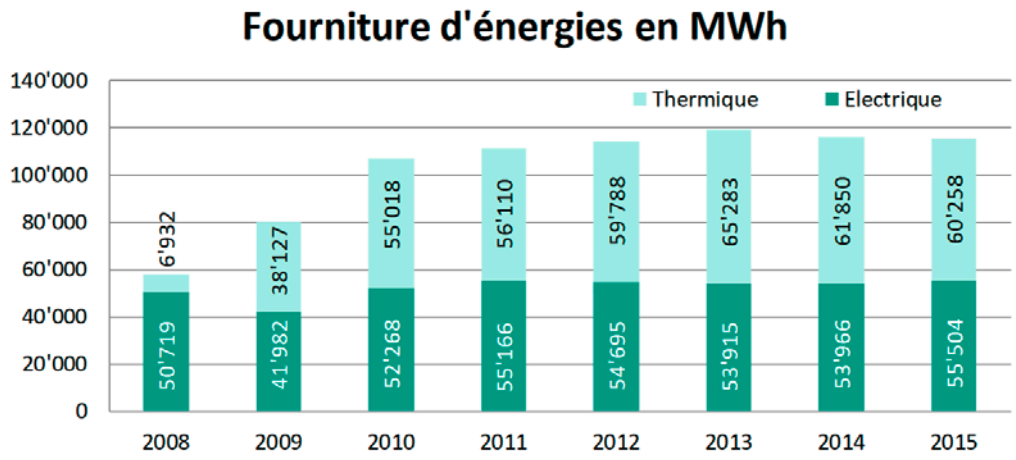


Usine SAIDEF d’incinération des ordures ménagères. Source : Marcel Gutschner



La zone d’apport de SAIDEF comprend 188 communes en tout : les communes fribourgeoises, les communes de la Broye vaudoise et quelques communes bernoises (Etat au 1er janvier 2016). Source : SAIDEF (2016)

Les puissances énergétiques installées sont de 10 MWe et 22 MWth. La production d'électricité se monte à env. 70 GWh/an dont environ 54 GWh sont injectés dans le réseau. Une grande partie de la chaleur (60 GWh/an) produite est injectée dans le réseau FRICAD (voir également le chapitre 5.3 Chauffage à distance). FRICAD I et II totalisent aujourd'hui 23 kilomètres de conduites de chauffage à distance reliant l'usine de valorisation thermique des déchets SAIDEF à Posieux à différents bâtiments industriels et institutionnels. La première partie du réseau, FRICAD I, réalisée en 2002, dessert l'Agroscope de Posieux et l'Institut agricole de Grangeneuve (IAG). L'extension FRICAD II est opérationnelle depuis 2009 et alimente des bâtiments situés entre Posieux et Villars-sur-Glâne, notamment l'Hôpital cantonal fribourgeois et Cremo SA. Les énergies fournies par SAIDEF ces dernières années sont résumées dans l'illustration ci-dessous.



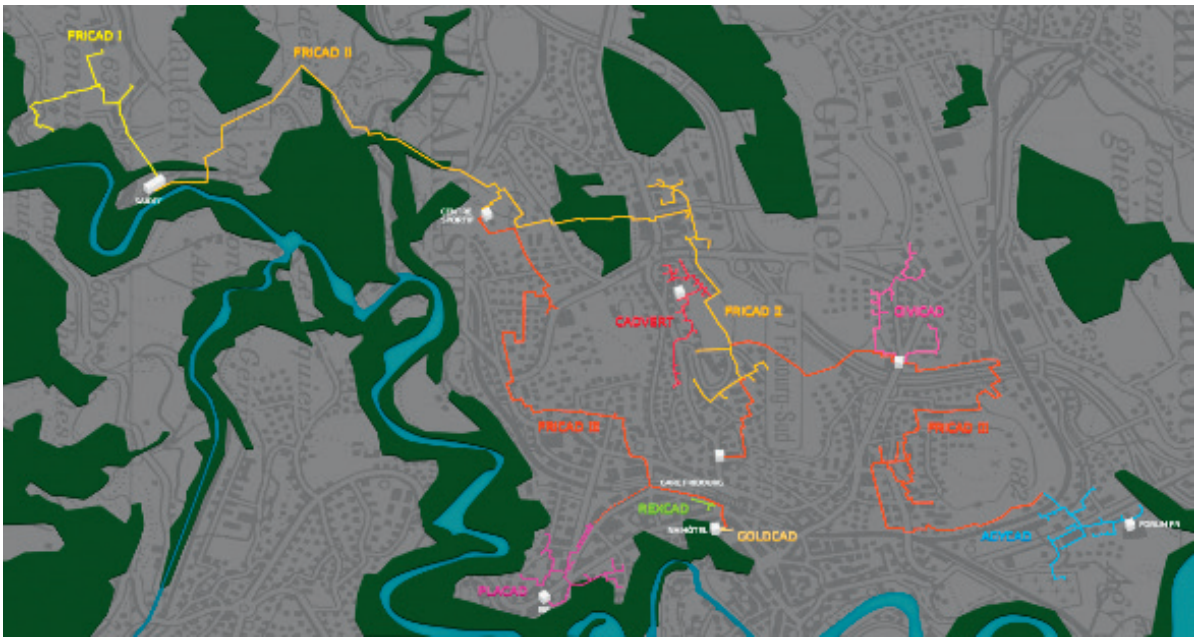
L'énergie fournie par SAIDEF. Source : SAIDEF

Potentiel

Avec FRICAD III, le réseau s'étendra jusqu'à Forum Fribourg. Six centrales de chauffe dans l'agglomération fribourgeoise seront raccordées à FRICAD III, le plus grand réseau de chauffage à distance du canton.

Environ la moitié de l'énergie thermique générée à SAIDEF par l'incinération des déchets et boues de stations d'épuration est actuellement utilisée pour alimenter les clients branchés sur FRICAD I et II. Avec l'interconnexion des réseaux, une plus grande partie de la chaleur disponible pourra être valorisée. Ainsi, le réseau distribuera environ 100 GWh de chaleur par an. En ce qui concerne la production d'électricité, le potentiel est déjà exploité à 100%. Cela signifie que la production d'environ 70 GWh par an correspond au maximum du rendement qu'il est possible d'attendre de la part des installations en place.

Plan sectoriel de l'énergie
2. Fourniture d’énergie
–



Stratégie

Conformément à la loi sur l’énergie, les rejets thermiques des entreprises, dont les usines d’incinération, doivent être valorisés. L’optimisation énergétique et la valorisation complète des rejets thermiques de SAIDEF viennent en priorité. Les conditions cadres actuelles permettront la mise en œuvre de cette stratégie notamment à travers les plans communaux des énergies et l'analyse des gros consommateurs d’énergie.-

Bibliographie

> [1] Service de l’énergie. Stratégie énergétique Etat de Fribourg Rapport 2010-2015. Fribourg, 2016

> [2] Rapport N° 160 du Conseil d’Etat au Grand Conseil relatif à la planification énergétique du canton de Fribourg (nouvelle stratégie énergétique). Fribourg, 2009

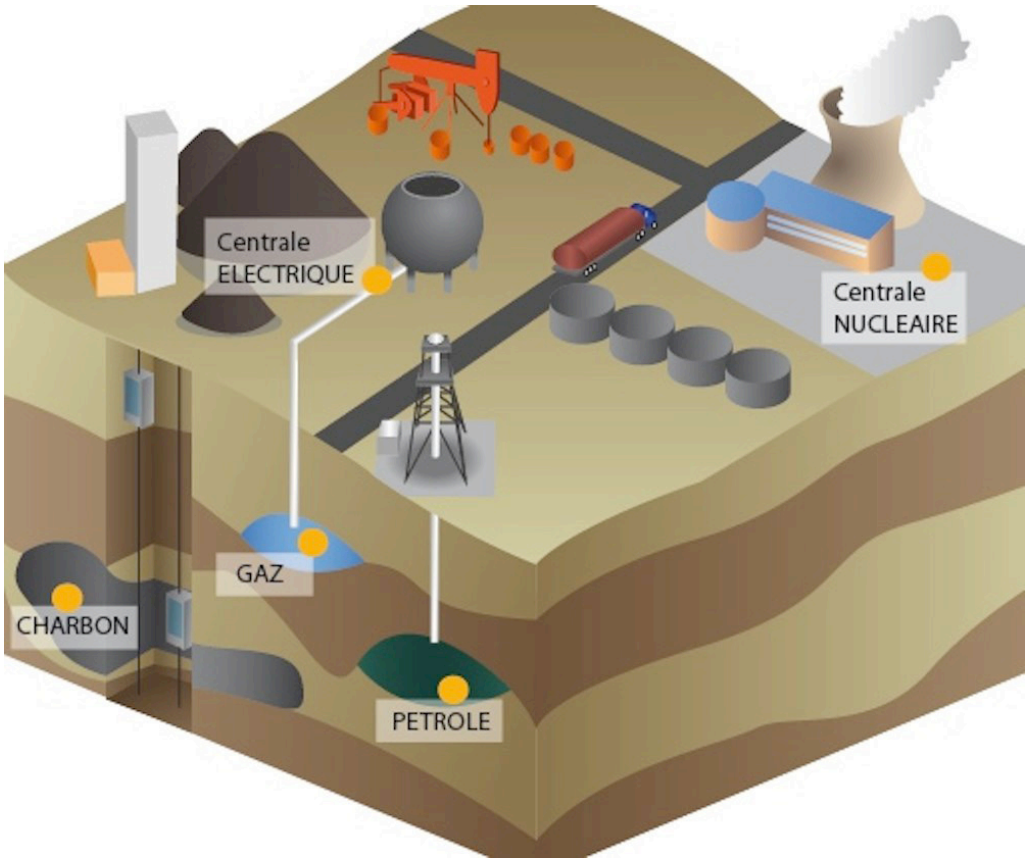
> [3] SAIDEF SA, Rapport de gestion 2015, août 2016

2.3 Energie non renouvelable

Introduction

Une énergie est dite non renouvelable si elle se renouvelle moins vite qu'elle n'est consommée, voire pas du tout, par opposition aux énergies renouvelables. Les énergies fossiles (renouvellement très lent) et l'énergie nucléaire (pas de renouvellement des matériaux fissiles) répondent à cette définition.

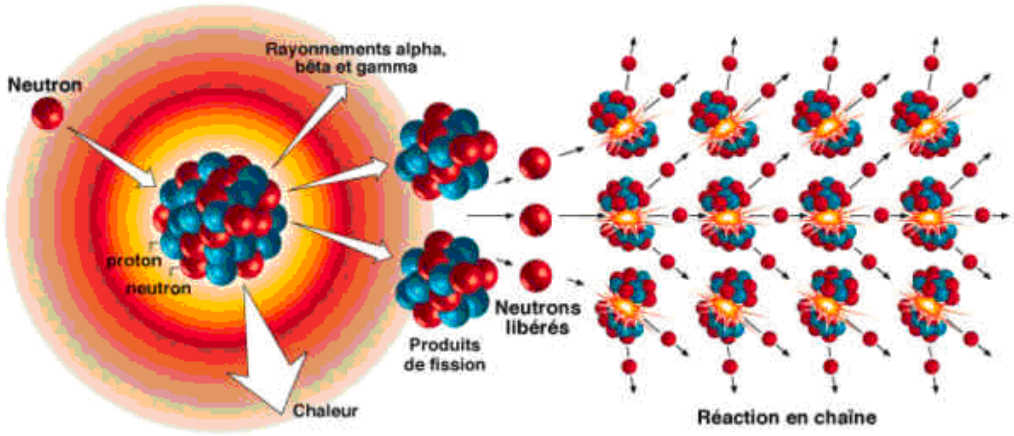
L'énergie fossile désigne l'énergie potentiellement contenue dans un combustible fossile, c'est-à-dire un combustible riche en carbone issus de la fossilisation (transformation en matière minérale) d'animaux ou végétaux morts et enfouis dans le sol, à l'abri de l'oxygène de l'atmosphère, depuis des centaines de millions d'années. Les agents énergétiques fossiles englobent le pétrole, le gaz naturel et le charbon. En considérant le temps nécessaire à la formation de ce type de combustibles (jusqu'à 650 millions d'années), les énergies fossiles sont qualifiées de non renouvelables à l'échelle de temps humaine.



La dépendance aux énergies fossiles reste élevée car elle représente env. 70% de l'énergie totale consommée dans le canton, à savoir pas moins de 1,5 million de litres équivalent mazout par jour.

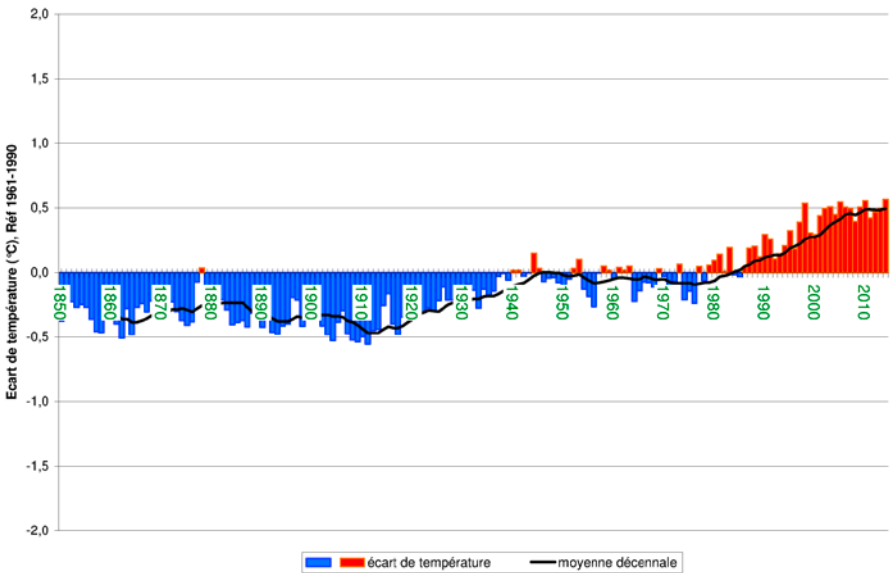
L'énergie nucléaire exploite dans les centrales nucléaires toute matière susceptible de dégager de l'énergie par fission des atomes le composant. Dans ce phénomène, le noyau d'un atome lourd (uranium, plutonium) est scindé en deux noyaux plus légers, appelés « produits de fission ». Cet éclatement du noyau initial s'accompagne d'un important dégagement d'énergie et de l'émission de

deux à trois particules qui entretiennent une réaction en chaîne contrôlée en induisant une nouvelle fission. L'uranium et le plutonium étant disponibles en quantité limitée sur terre, l'énergie nucléaire est considérée comme non renouvelable. Cependant, avec les réacteurs de 4ème génération {voir chap. 2.3.2 Nucléaire}, les réserves connues suffiraient pour passer de moins de cent ans d'exploitation à plusieurs milliers d'années.



La dépendance à l'énergie nucléaire reste élevée car elle représente en 2016 encore environ 40% de la production totale d'électricité en Suisse.

L'utilisation des énergies fossiles produit des gaz à effet de serre dont l'augmentation influence le climat planétaire, en augmentant les températures. La température moyenne mondiale a augmenté de 0.85°C au cours des 130 dernières années :

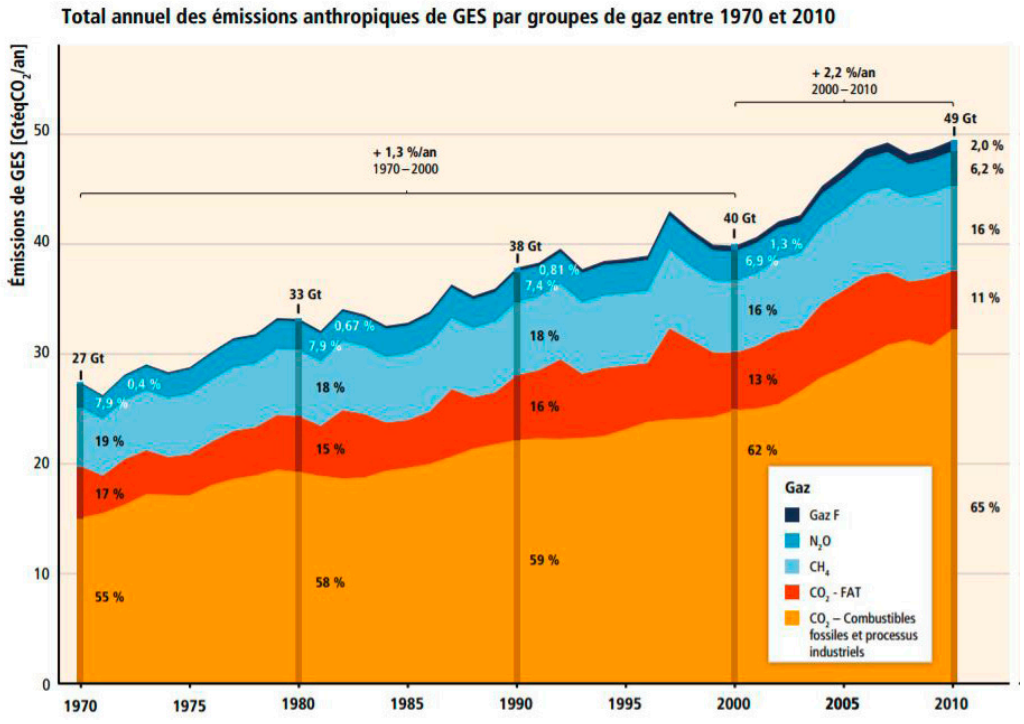


Anomalies annuelles de la température globale de l'air à la surface, de 1850 à 2005 relatives à la moyenne de 1961 à 1990. Source : GIEC

Les scénarios d'émission du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) indiquent qu'un recours systématique et rapide aux technologies préservant l'environnement et les ressources pourrait limiter ce réchauffement à 2°C en moyenne par rapport à la situation présente. Sans cela, les températures pourraient augmenter de 4°C ou même davantage. Selon les scientifiques, au-delà des 2 °C, des perturbations importantes du climat et des retombées négatives sur de nombreux systèmes environnementaux et économiques pourraient avoir lieu.

En Suisse, on dénote déjà un réchauffement de 1.8°C environ entre 1864 (début de l'industrialisation) et 2012. Cette augmentation exerce un impact sur les systèmes naturels (cycle de l'eau, sol, air, ainsi que biodiversité et paysage) et les domaines socio-économiques (gestion des eaux, économie forestière, agriculture, énergie, santé, tourisme, ainsi qu'agglomérations, bâtiments, voies de circulation et infrastructures).

La concentration de CO_2 dans l'atmosphère est l'indicateur principal de la présence de gaz à effet de serre (GES).



Total annuel mondial des émissions anthropiques de GES ($GtéqCO_2$/an) par groupes de gaz entre 1970 et 2010: CO_2 issu de la combustion de combustibles fossiles et des processus industriels; CO_2 issu de la foresterie et autres affectations des terres (FAT); méthane (CH_4); oxyde nitreux (N_2O); gaz fluorés (gaz F). Source: GIEC [2]

2. Fourniture d'énergie

–

Les énergies fossiles sont celles qui émettent le plus de CO_2 lors de leur utilisation. Il est possible de comparer les différents modes de production d'énergie en terme d'émission de CO_2-équivalent, également pour les énergies renouvelables. En effet, toutes les filières de production d'énergie émettent des gaz à effet de serre, soit directement (comme lors de la combustion de produits fossiles), soit indirectement notamment lors de l'extraction des combustibles ou de la fabrication et du transport des équipements.

Production d'électricité		Production de chaleur	
Charbon	1000 g	Mazout	330 g
Gaz naturel	400 g	Gaz naturel	270 g
Cogénération à gaz naturel	200 g	Chauffage électrique direct	130 g
Photovoltaïque	40-90 g	Pompe à chaleur	40 g
Eolien	15-25 g	Bois	20 g
Hydraulique	10 g		
Nucléaire	10 g		

Emissions en grammes de CO2-équivalent par kWh produit. Source : [1]

Les marges d'erreurs indiquées dépendent pour le solaire photovoltaïque de la technologie utilisée et pour l'éolien du type de turbine. La valeur mentionnée pour le nucléaire se réfère à la filière d'utilisation suisse.

Afin de tendre à une réduction de leur utilisation, les énergies fossiles sont soumises au niveau suisse à la taxe sur le CO_2 introduite en 2008 et renchérie déjà trois fois (2010, 2014 et 2016). Son montant pour 2016 est de CHF 84.- par tonne d'émissions de CO_2, soit environ CHF 210.- par tonne de charbon, plus de 22 ct par litre de mazout et plus de 1.5 ct par kWh de gaz (17 ct./m^3).

Les chapitres suivants traitent des différentes sources d'énergies non-renouvelables et présentent leur évolution, leur utilisation aujourd'hui et leur potentiel dans le canton de Fribourg.

Bibliographie

> [1] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique: 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015

> [2] GIEC. CHANGEMENTS CLIMATIQUES 2014, L'atténuation du changement climatique, Résumé à l'intention des décideurs, 2015

2.3.1 Energie fossile

2.3.1a Charbon

Evolution et utilisation aujourd'hui

Sous l'appellation de charbon, on regroupe nombre de sédiments fossiles compacts aux caractéristiques très variables.

Au niveau mondial, le charbon est la deuxième source d'énergie primaire après le pétrole et assure près de 41% de la production mondiale d'électricité [1]. De nos jours, il est principalement utilisé par combustion dans des centrales électriques après extraction de gisements plus ou moins profonds.

Les ressources mondiales de charbon sont nettement supérieures à celles des autres énergies non renouvelables. Par ailleurs, ces gisements sont distribués de manière relativement uniforme sur la planète. Les plus gros consommateurs sont la Chine, les USA et l'Inde. L'Allemagne est le principal consommateur européen et produit encore la plus grosse part de son électricité à partir de charbon.



Source : BP

Si le charbon a permis au 19ème siècle d'éviter la destruction des forêts et est devenu en Suisse le principal agent énergétique jusqu'au milieu du 20ème siècle, il a ensuite été rapidement supplanté par le pétrole. En 1973, la part du charbon à la consommation brute d'énergie n'atteignait même plus 2%, et depuis 1996 elle se maintient aux alentours de 0.5% [2]. L'importance de ce combustible pour l'approvisionnement énergétique de la Suisse est devenue si négligeable qu'en 1998, le Conseil fédéral a décidé d'en abolir le stockage obligatoire. Actuellement, les cimenteries consomment plus des quatre cinquièmes du charbon importé en Suisse. Mais même dans cette branche, on préfère les sources alternatives d'énergie comme les pneus usagés, les boues d'épuration, les farines animales et autres déchets non-recyclables. Par ce biais, les cimentiers peuvent améliorer le bilan CO_2 de leurs entreprises et se voir exemptés de la taxe sur le CO_2.

Actuellement, le bilan énergétique du canton de Fribourg ne fait plus mention du charbon.

Potentiel

En admettant que la consommation reste stable au niveau de 2014, les réserves prouvées actuelles de charbon suffiraient pour couvrir les besoins mondiaux pendant plus d'un siècle [1]. Ce combustible a connu une renaissance depuis plusieurs années, en raison principalement de l'essor économique fulgurant du continent asiatique. De 2003 à 2013, la consommation mondiale de charbon a bondi de 47% selon les chiffres de BP. Quatre cinquièmes de cette hausse ont été le fait de la Chine, un huitième revenant à l'Inde. Cependant, dès 2014, le gouvernement chinois a fait de la lutte contre la pollution de l'air une priorité, ordonne chaque année la fermeture de centaines de mines, a décidé de plafonner la consommation de charbon et de réduire la part de ce combustible au bilan énergétique national. Les pronostics divergent donc au sujet de la croissance de l'utilisation du charbon mais semblent plutôt se tourner vers la baisse [3].

Stratégie

Compte tenu de l'importante charge fiscale et des vifs débats soulevés dans notre pays par les projets de centrales thermiques classiques (notamment des centrales à charbon projetées à l'étranger mais avec des participations suisses), un retour en force du charbon sur la scène énergétique helvétique apparaît hautement improbable.

En particulier dans le canton de Fribourg, le Conseil d'Etat et le monde politique ont exprimé leur réticence à une participation de Groupe E à la centrale à charbon de Brunsbüttel (DE).

En ce qui concerne l'utilisation indigène, la stratégie énergétique 2050 de la Confédération prévoit l'abandon total du charbon.

Impact (environnemental, économique, politique)

La pollution atmosphérique due à la combustion du charbon (oxydes d'azote, dioxyde de soufre) peut à présent être limitée dans les nouvelles centrales électriques à haut rendement. Cependant, le charbon reste un problème pour le climat, en raison des importantes émissions de CO_2 liées à son utilisation.

Les centrales électriques au charbon sont de loin les pires pour les émissions de gaz à effet de serre {Voir le chapitre 2.3 Introduction aux énergies non renouvelables}. La capture et le stockage du CO_2 dans des formations géologiques étanches sont des technologies existantes, mais encore loin de la rentabilité et pas forcément bien acceptées par la population.

Bibliographie

> [1] BP. Statistical Review of Wold Energy. June 2015

> [2] OFEN. Statistique globale suisse de l'énergie 2014. Berne, 2015

> [3] OFEN. Evolution des marchés des énergies fossiles 3/2015-2/2016. Berne, 2015

2.3.1b Pétrole

Evolution et utilisation aujourd'hui

Mélange naturel de différents hydrocarbures, le pétrole est le produit de la décomposition d'organismes d'origine végétale ou animale dont les restes se sont accumulés au fond des mers ou des océans avant d'être recouverts de sédiments: sous les effets conjugués de la chaleur, de la pression et de l'absence d'oxygène, ces organismes se sont décomposés et transformés progressivement en gaz naturel et en pétrole.



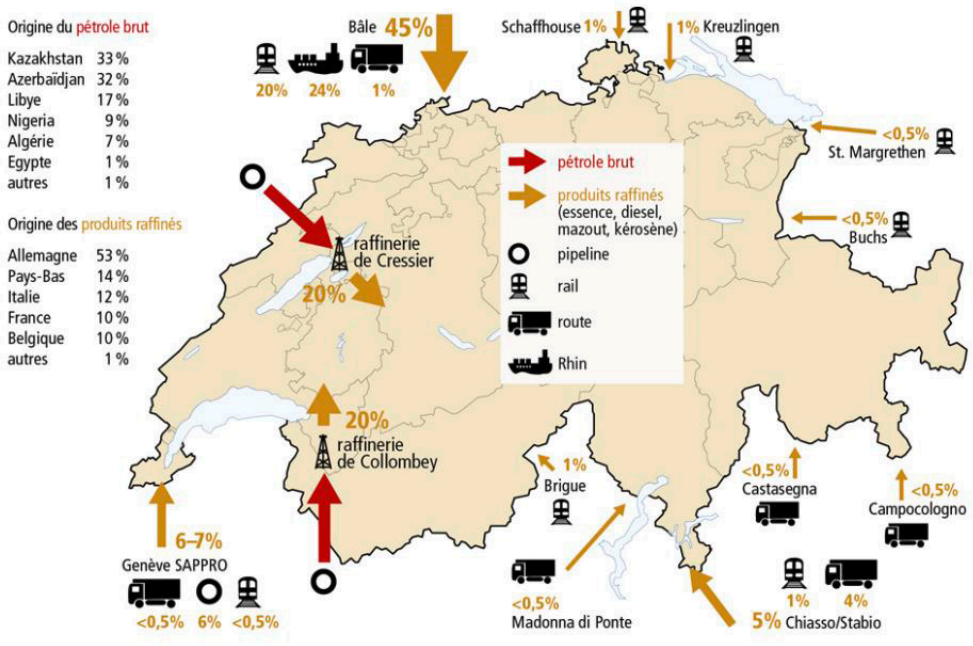
Raffinerie de Cressier (NE)

Aujourd'hui, les principaux producteurs sont localisés dans les pays du Golfe, en Russie, en Amérique du Nord et en Chine. Deux tiers du pétrole importé en Suisse se présentent sous la forme de produits finis fournis presque exclusivement par les pays de l'UE. Le tiers restant est importé sous forme de brut, provenant d'Afrique et d'Etats issus de l'ex-Union Soviétique, acheminé vers les raffineries de Cressier dans le canton de Neuchâtel et de Collombey dans le canton du Valais ; actuellement à l'arrêt. La moitié est transformée en carburants, et l'autre moitié en huile de chauffage. Ces deux raffineries sont raccordées au réseau européen de pipelines.

Les produits raffinés sont acheminés en Suisse par le rail (42% en 2010), par le Rhin (40%), par la pipeline SAPPRO Marseille-Genève (9,5%) et par la route (8,5%). Tant le pipeline de la SAPPRO que le trafic rhénan ont des capacités inutilisées. Grâce à elles, la Suisse pourrait en principe compenser la fermeture de ses deux raffineries en accroissant ses importations de produits raffinés [4].

2. Fourniture d'énergie

–



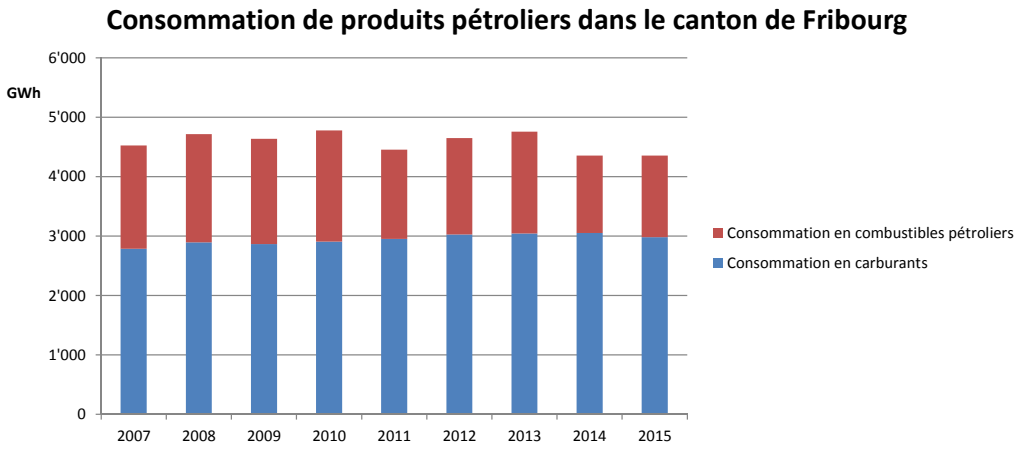
Importation d'huiles minérales en 2010. La raffinerie de Collombey est à l'arrêt. Source : OFAE

La Suisse ne dispose pas de gisements de pétrole économiquement exploitables et se prémunit contre les risques de rupture d'approvisionnement en obligeant les importateurs de produits pétroliers à constituer des stocks stratégiques. Ces réserves légales doivent permettre à la Suisse de poursuivre une activité autonome pendant quatre mois et demi pour l'essence, le diesel et les huiles de chauffage et de 3 mois pour le pétrole d'aviation. C'est à l'Office fédéral pour l'approvisionnement économique du pays (OFAE) qu'incombe la surveillance de ces stocks obligatoires, mais le stockage lui-même est organisé par l'économie et financé par des contributions perçues sur les importations.

Dans le canton de Fribourg en 2014, les produits pétroliers représentaient 57% de la consommation d'énergie finale pour une valeur de 4356 GWh dont 70% de carburant et 30% de combustible [SdE].

Depuis les 15 dernières années, la consommation de combustible (mazout) a diminué de plus d'un tiers et cette part a été presque compensée par une augmentation des carburants.

Il y a environ 40 ans, la consommation de produits pétroliers était quasiment la même qu'aujourd'hui, mais avec une proportion inversée entre les carburants (30%) et les combustibles (70%).



Source : SdE

Le chauffage au mazout n'est quasiment plus choisi dans la construction de bâtiments neufs.
{voir chap. 3.2 Utilisation de l'énergie - Chaleur}

La consommation de mazout est en baisse constante depuis les années 1970 en raison de la réduction des besoins de chauffage grâce à l'amélioration de l'isolation des bâtiments, aux avancées technologiques (chaudières à condensation, régulation, …) et à la substitution par d'autres agents énergétiques. Cette tendance va se poursuivre. A l'horizon 2050, notre consommation de mazout pourrait être divisée par dix par rapport à 2011 [4].

Au niveau des carburants, la consommation d'essence diminue régulièrement et le diesel suit la tendance inverse. En 2014, ces consommations se sont équilibrées pour la première fois en Suisse [3].
{voir chap. 3.3 Utilisation de l'énergie - Transports}

Potentiel

En admettant que la consommation reste semblable à celle enregistrée en 2014, les réserves prouvées actuelles de pétrole suffiraient pour couvrir les besoins mondiaux pendant plus d'un demi-siècle [1]. L'agence internationale de l'énergie (AIE) craint toutefois une pénurie de pétrole à partir de 2020, parce que les quantités produites ne suffiraient pas à couvrir la demande. Selon la société BP, la demande mondiale continuera cependant à augmenter de 0.8% en moyenne annuelle jusqu'en 2035. L'augmentation devrait se concentrer dans les pays hors OCDE. Dans les pays de l'OCDE, le maximum de la consommation a eu lieu en 2005 et décline inexorablement depuis lors.

Stratégie

La stratégie énergétique 2050 de la Confédération prévoit que la part des produits pétroliers passe de 53% à 14% de la consommation finale du pays, dont presque exclusivement des carburants [4].

Tout doit donc être entrepris pour supprimer progressivement l'usage du mazout dans le domaine du chauffage, même si c'est encore le premier moyen utilisé en 2016.

Dans le domaine des transports, les carburants pétroliers ne pourront pas être supprimés rapidement.

Il importe donc avant tout de promouvoir une mobilité raisonnée, des moyens de transports diversifiés, des véhicules économes et l'utilisation de nouveaux agents énergétiques (électricité, hydrogène, …) {Voir le chapitre 3.3 Transports}.

Impact environnemental, économique, politique

L'utilisation des produits pétroliers est très réglementée dans notre pays concernant la sécurité et la protection de l'environnement et ceci à tous les stades (transport, stockage, combustion, déchets). L'état de la technique permet de bien maîtriser les émissions, mais des efforts sont encore nécessaires pour assurer les objectifs de réduction de pollution atmosphérique (en particulier dans les véhicules diesel). Globalement, les émissions d'oxydes d'azotes sont encore trop élevées. Elles proviennent essentiellement de la combustion qui est toujours dominée par les énergies fossiles (même si la combustion du bois engendre plus d'oxydes d'azote par unité de chaleur produite). En Suisse, seuls de rares accidents et quelques épisodes annuels – dans des circonstances météorologiques particulières – nous rappellent que ces produits sont intrinsèquement dangereux.

A l'étranger, les catastrophes écologiques (marées noires) et les fortes pollutions de l'air (Chine) ne sont malheureusement pas des cas isolés.



Il n'y a pas en Suisse de taxe sur le CO_2 émis par les carburants fossiles (contrairement au mazout, {Voir le chapitre 2.3 Introduction aux énergies non renouvelables} , mais deux mesures indirectes concourent aux mêmes objectifs :

Les producteurs et importateurs de carburants fossiles doivent compenser au moins 10% des émissions de CO_2 générées par les transports d'ici 2020 en prenant des mesures en Suisse. La majoration du prix du carburant découlant de cette obligation ne doit pas dépasser 5 centimes par litre ;

Les importateurs suisses de voitures doivent veiller à ce que les émissions de CO_2 des voitures de tourisme neuves n'excèdent pas 130 grammes par kilomètre en moyenne d'ici 2015. Si cette valeur cible est dépassée, ils doivent s'acquitter d'une sanction.

Les dépenses en produits pétroliers des consommateurs finaux du canton de Fribourg se montent annuellement à environ 500 millions de francs[4].

[4] Estimation à partir des dépenses suisses [3] et du rapport de la population.

Bibliographie

> [1] BP. Statistical Review of Wold Energy. June 2015

> [2] OFEN. Evolution des marchés des énergies fossiles 3/2015. Berne, 2015

> [3] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique : 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015

> [4] OFAE. Poids des raffineries suisses dans l'approvisionnement en pétrole. Berne, 2012

2.3.1c Gaz

Evolution et utilisation aujourd'hui

Le gaz naturel est essentiellement composé de méthane (CH_4), un hydrocarbure incolore et inodore. Les gisements de gaz naturel exploités actuellement sont issus de micro-organismes qui ont vécu il y a des millions d'années. Le gaz naturel stocké sous terre est extrait par forage, avant d'être injecté sous forme de gaz dans un réseau de conduites ou transporté après liquéfaction dans des bateaux-citernes spéciaux.

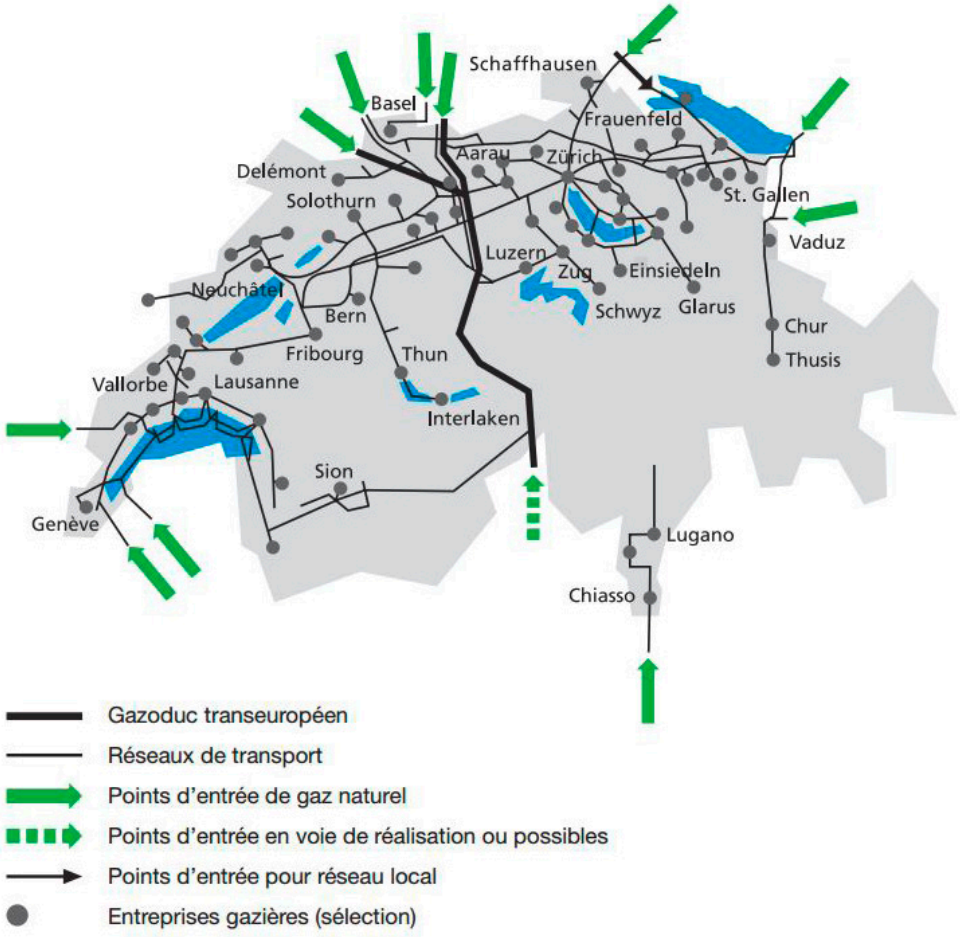


Source : BP

De petits gisements de gaz naturel conventionnels existent en Suisse, mais ne sont guère exploitables, à l'exception d'un site situé dans le canton de Lucerne (Finsterwald) dont la période de production s'est étendue de 1985 à 1994.

Le gaz naturel consommé en Suisse provient aux trois quart de pays d'Europe occidentale, le reste arrivant d'Afrique du Nord et de Russie. Cette dernière source transite par l'Allemagne qui s'engage à prélever sur ses propres stocks le gaz destiné à la Suisse qui ne serait pas livré par la Russie. Les réseaux

de gazoducs arrivant en Suisse empruntent douze itinéraires différents et sont reliés à plus de 100 sites de stockage souterrain en Europe de l'Ouest [2]. La sécurité d'approvisionnement en gaz naturel conventionnel peut donc être qualifiée de bonne, en tout cas temporairement.



Source : ASIG

En Suisse, la consommation de gaz naturel a enregistré une forte croissance entre 1970 et 1996, avec une progression annuelle moyenne de l'ordre de 11%. Ainsi, le gaz naturel a gagné en importance dans le mix énergétique de notre pays. Cette dernière décennie, la consommation est restée quasiment stable. Aujourd'hui, le gaz y représente près de 13 % de la consommation d'énergie finale.

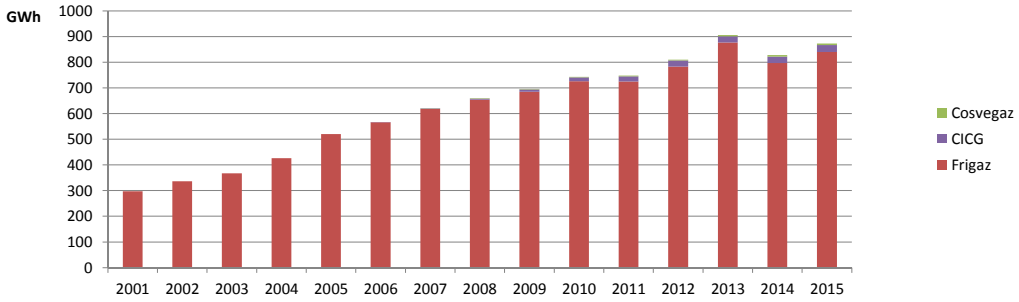
Le canton de Fribourg a été raccordé au réseau de gaz naturel en 1980. En 2015, le gaz représentait 11% de la consommation d'énergie finale pour une valeur de 873 GWh [3] et [SdE].

Catégories d'utilisateurs :

- Ménage et artisanat : 3% ;
- Chauffage : 42% ;
- Industrie et établissements : 55%

Chiffres arrondis basés sur [3].

Consommation de gaz naturel dans le canton de Fribourg



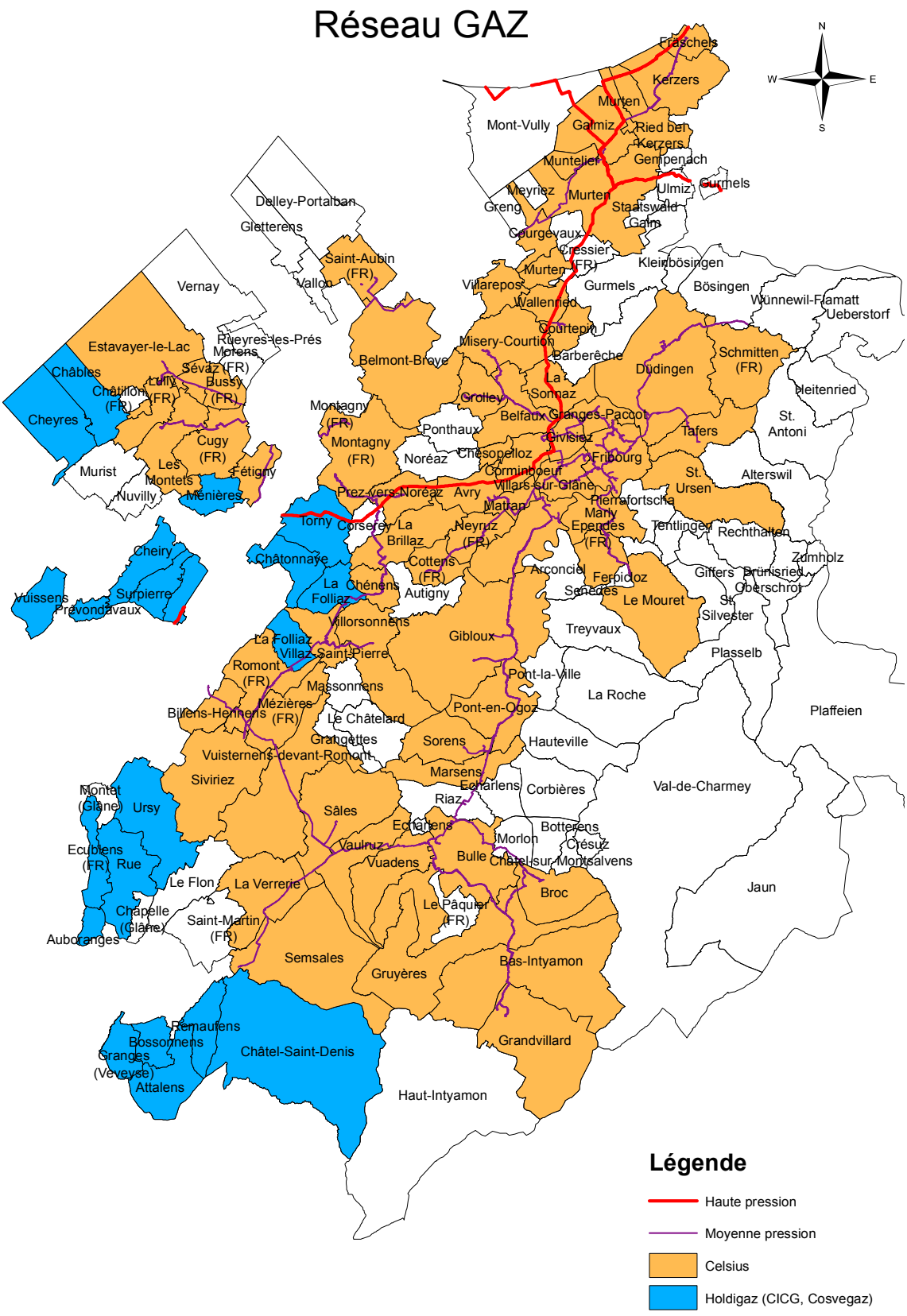
Sources : SdE / Sstat

Une très importante progression a eu lieu entre 2003 et 2010 due à l'extension, à la densification du réseau et au raccordement de gros consommateurs industriels. Depuis lors, la consommation augmente moins régulièrement, mais la tendance reste à la hausse.

Trois distributeurs alimentent les communes du Canton :

- Groupe E Celsius à Granges-Paccots (anciennement Frigaz jusqu'à fin 2015), pour 96% de la consommation cantonale ;
- CICG (Compagnie industrielle et commerciale du gaz SA) à Vevey, pour 3% ;
- Cosvegaz (Cossonay-Venoge-Gaz) à Cossonay, pour 1%.

Chiffres arrondis basés sur [3]


Réseau GAZ
N
W
E
S
Fräschels
Kerzers
Murten
Mont-Vully
Galmiz
Ried bei Kerzers
Muntelier
Gempenach
Meyriez
Greng
Murten
Ulmiz
Gurmels
Staatswald
Galm
Courgevaux
Cressier (FR)
Kleinbösingen
Delley-Portalban
Gletterens
Saint-Aubin (FR)
Vallon
Villarepos
Murten
Gurmels
Bösingen
Wünnewil-Flamatt
Ueberstorf
Vernay
Wallenried
Courtepin
Misery-Courtion
Barberêche
Düdingen
Schmitten (FR)
Estavayer-le-Lac
Rueyres-les-Prés
Morens
Belmont-Broye
Châbles
Sévaz (FR)
Lully
Bussy (FR)
Châtillon (FR)
Cheyres
Montagny (FR)
Grolley
La Sonnaz
Heitenried
Belfaux
Granges-Paccot
St. Antoni
Ponthaux
Givisiez
Tafers
Cugy (FR)
Montagny (FR)
Noréaz
Chésopelloz
Fribourg
Murist
Les Montets
Fétigny
Nuvilly
Ménières
Corminbœuf
Villars-sur-Glâne
St. Ursen
Alterswil
Prez-vers-Noréaz
Avry
Matran
Pierrafortscha
Torny
Corserey
La Brillaz
Neyruz (FR)
Marly
Ependes (FR)
Tentlingen
Rechthalten
Cheiry
Châtonnaye
Cottens (FR)
Arconciel
Ferpicloz
Giffers
Brünisried
Zumholz
Vuissens
Surpierre
Prévondavaux
La Folliaz
Chénens
Autigny
Senèdes
Le Mouret
St. Silvester
Oberschrot
Villorsonnens
Treyvaux
La Folliaz
Villaz-Saint-Pierre
Gibloux
Plasselb
Romont (FR)
Pont-la-Ville
Massonnens
La Roche
Mézières (FR)
Pont-en-Ogoz
Plaffeien
Billens-Hennens
Le Châtelard
Grangettes
Sorens
Hauteville
Vuisternens-devant-Romont
Marsens
Siviriez
Echarlens
Corbières
Val-de-Charmey
Montet (Glâne)
Ursy
Riaz
Sâles
Echarlens
Botterens
Morlon
Crésuz
Ecublens (FR)
Rue
Vaulruz
Vuadens
Bulle
Châtel-sur-Montsalvens
Le Flon
La Verrerie
Broc
Jaun
Chapelle (Glâne)
Saint-Martin (FR)
Le Pâquier (FR)
Auboranges
Semsales
Gruyères
Bas-Intyamon
Remaufens
Bossonnens
Châtel-Saint-Denis
Grandvillard
Granges (Veveyse)
Attalens
Haut-Intyamon
Légende
Haute pression
Moyenne pression
Celsius
Holdigaz (CICG, Cosvegaz)

Potentiel

En admettant que la consommation reste semblable à celle connue en 2014, les réserves prouvées actuelles de gaz naturel suffiraient pour couvrir les besoins mondiaux pendant plus d'un demi-siècle [1]. L'Agence internationale de l'énergie (AIE) table cependant sur une progression de 2.0% par an de la demande mondiale de gaz d'ici 2020.

Plusieurs gisements de gaz non conventionnels (gaz de schiste et gaz compact) ont été découverts récemment en Suisse, comme dans d'autres pays européens. Leur importance reste difficile à évaluer, la rentabilité est incertaine et l'acceptation de la population loin d'être acquise à cause des risques, limités mais réels, de polluer des eaux souterraines et de provoquer des secousses sismiques. Il est peu probable que ces ressources suisses puissent contribuer à notre indépendance énergétique. Par contre, l'Europe pourrait exploiter ces gaz non conventionnels – comme l'ont fait les Etats-Unis – ce qui pourrait avoir une influence sur notre pays.

Dans le canton de Fribourg, des demandes pour des forages exploratoires de gaz non conventionnels ont été formulées dès 2008. En 2011, le Conseil d'Etat a décidé de suspendre toutes les recherches, et ce pour une durée indéterminée.

Stratégie

La combustion du gaz naturel pour chauffer de l'eau à basse température (chauffage de locaux, préparation de l'eau sanitaire) ne se justifie théoriquement plus d'un point de vue énergétique et climatique.

Cet agent énergétique doit être privilégié pour les processus industriels, les transports et la production d'électricité – idéalement couplée à la valorisation des rejets de chaleur (couplage chaleur-force, cogénération).

Si des centrales à gaz s'avèrent nécessaires de manière transitoire pour compenser partiellement la production des centrales nucléaires mises hors service, elles doivent compenser intégralement leur production de CO_2. Si les prix bas et la surcapacité de production d'électricité en Europe perdurent, la construction de telles centrales ne pourra pas être rentabilisée en Suisse, ce qui amènera à saisir plus rapidement l'opportunité de concrétiser le potentiel d'énergie renouvelable et d'efficacité énergétique.

Les réseaux de distribution de gaz alimentant les immeubles d'habitation et de services ne peuvent évidemment pas être sans autre démantelés, mais ces bâtiments devraient, si l'alimentation ne peut pas se faire avec des énergies renouvelables, se tourner de plus en plus vers la pompe à chaleur à gaz, la micro-cogénération ou la pile à combustible.

Du biogaz peut également être injecté dans les réseaux de gaz même si cela ne représente pas l'optimum énergétique. A Fribourg, c'est le cas avec le biogaz de la STEP de la Ville injecté annuellement à raison de 1,5 millions de m^3 ce qui couvre environ 1% des besoins du canton.



Installation de production de biogaz de la STEP de Fribourg. Source : Groupe E Celsius

Une solution théoriquement plus futuriste consiste à alimenter les réseaux avec du gaz synthétique – du méthane produit par électrolyse de l'eau grâce à du courant électrique solaire et éolien (technique Power-To-Gas). Des études et des tests faits en Europe montrent que le rendement de transformation est encore très faible en comparaison d'autres solution de stockage d'électricité {voir chap. 6. Stockage d'énergie}. Cette solution n'est énergétiquement pas performante et ne peut pas donner satisfaction pour le moment. Il n'est donc pas prévu de la développer à court terme.

La stratégie énergétique 2050 de la Confédération prévoit que la part du gaz reste environ constante (13% pour la production de chaleur et d'électricité), mais que la consommation absolue diminue d'environ 40% comme le total de la consommation globale du pays [2]. Au contraire du pétrole, le gaz naturel reste donc un acteur de la transition énergétique en marche.

Impact environnemental, économique, politique

De tous les agents énergétiques fossiles, le gaz naturel est celui qui a la teneur la plus faible en carbone (C) et la teneur la plus élevée en hydrogène (H). C'est pourquoi sa combustion génère environ 25% de dioxyde de carbone (CO_2) de moins que celle des huiles de chauffage dont la teneur en énergie est équivalente. En termes de pollution de l'air, la combustion de gaz naturel est également avantageuse par rapport aux autres combustibles, fossiles.

Les véhicules à gaz naturel ont des émissions polluantes réduites de 60 à 95% par rapport à des véhicules à essence ou diesel correspondants. Le potentiel de formation de l'ozone des véhicules à gaz naturel est inférieur de 98% à celui des véhicules à essence. Les gaz cancérogènes, les particules fines et la formation d'acides ne sont pratiquement pas mesurables. Les émissions de gaz à effet de serre sont inférieures de 15% à celles des véhicules à essence ou diesel, bien que leurs gaz d'échappement contiennent évidemment davantage de méthane, dont l'effet sur le climat est nettement plus important

que celui du dioxyde de carbone (CO_2). Cela est toutefois compensé par le fait que la combustion de gaz naturel produit moins de CO_2. Ces valeurs sont améliorées en cas d'incorporation de biogaz.

Le gaz naturel utilisé dans des centrales électriques à cycle combiné n'est pas soumis à la taxe sur le CO_2, mais les émissions doivent être intégralement compensées, ce qui coûte certainement moins cher que la capture et le stockage du CO_2, techniques appliquées de préférence aux centrales à charbon à l'étranger. Ces techniques ont cependant démontré leur faisabilité (environ 70 projets dans le monde) et ont l'avantage de pouvoir s'utiliser à n'importe quel endroit pour autant que le stockage se fasse dans des couches géologiques de grande profondeur (jusqu'à 7 km). Elles pourraient s'implanter à proximité des centrales thermiques à gaz en appliquant le principe : « Enterrer nos émissions de CO_2 en attendant d'être capable de ne plus en émettre ». Le Laboratoire de Mécanique des Sols de l'EPFL fait partie des leaders mondiaux dans ces domaines d'étude.

L'industrie gazière fribourgeoise comprend une centaine de postes de travail, pour un chiffre d'affaires annuel d'environ 80 millions de francs.

Cadre légal

Loi du 9 juin 2000 sur l'énergie, RSF 770.1 :

Les communes établissent leur plan communal des énergies incluant les secteurs énergétiques présentant des caractéristiques semblables en matière d'approvisionnement en énergie (art. 8).

Les nouvelles installations de production de chaleur d'une certaine puissance et fonctionnant à l'énergie fossile doivent en principe être aménagées en installations de couplage chaleur-force (art. 13a).

Par rapport à la libéralisation du secteur de l'électricité, le marché du gaz n'est pas encore autant ouvert, mais grâce à l'art. 13 de la loi fédérale sur les installations de transport par conduites (LITC) du 4 octobre 1963, les grands consommateurs qui sont raccordés au réseau de gaz à haute pression ont la possibilité de choisir librement leur fournisseur. En 2012, le secteur gazier a conclu avec eux une convention concernant l'accès au réseau d'autres fournisseurs. Malgré cet accord, certaines insécurités juridiques subsistent, mais devraient pouvoir être levées grâce à une nouvelle loi en matière d'approvisionnement en gaz, dont la mise en consultation par la Confédération est prévue en 2017/2018.

La construction et l'exploitation du réseau de gaz à haute pression sont soumises à des dispositions légales spécifiques. La surveillance est assurée par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN). Afin d'assurer cette fonction, l'OFEN fait appel à d'autres offices fédéraux, aux cantons ou à des corporations de droit privé, en particulier à l'Inspection fédérale des pipelines. Le développement des réseaux moyenne et basse pression, sont eux de la compétence des cantons.



Source : Groupe E Celsius SA (anciennement Frigaz)

Les gîtes d'hydrocarbures liquides et gazeux sont du domaine public. Seul l'Etat a le droit de rechercher et d'exploiter ces gîtes ou d'en concéder la recherche et l'exploitation (art. 1 de la loi cantonale sur la recherche et l'exploitation des hydrocarbures LREH, RSF 931.2).

Selon la loi fédérale sur le CO_2, les centrales thermiques à combustibles fossiles ne sont autorisées que si elles compensent intégralement leurs émissions de CO_2. Au moins 50% des prestations de compensation doivent être réalisées en Suisse. Les centrales peuvent compenser à l'étranger jusqu'à 50% des émissions générées.

Bibliographie

› [1] BP. Statistical Review of Wold Energy. June 2015

› [2] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique : 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015

› [3] Service de la statistique. Annuaire statistiques du canton de Fribourg. 2015

2.3.2 Nucléaire

Evolution et utilisation aujourd'hui

En Suisse, l'énergie nucléaire n'est utilisée qu'à des fins pacifiques, autrement dit pour produire de l'électricité ainsi que dans les domaines de la médecine, de l'industrie et de la recherche. La part de l'énergie nucléaire dans la production d'électricité indigène s'élève à 39% en moyenne annuelle sur 10 ans, avec des pointes pouvant atteindre 45% en hiver.

Les bases légales de la politique suisse en matière d'énergie nucléaire remontent à 1946, année de l'approbation de la première décision du Conseil fédéral sur la promotion de l'énergie atomique. En 1957, la législation sur l'énergie nucléaire était inscrite dans la Constitution fédérale. Deux ans plus tard, soit le 23 décembre 1959, le Parlement adoptait la loi sur l'énergie atomique. L'arrêté fédéral de 1978 concernant la loi sur l'énergie atomique a permis d'une part d'instaurer la preuve du besoin et d'autre part d'octroyer une autorisation générale pour la construction de centrales nucléaires. Il établit par ailleurs que les entreprises sont responsables de la gestion sûre des déchets radioactifs qu'elles produisent. La loi sur l'énergie atomique et l'arrêté fédéral ont été remplacés par la nouvelle loi sur l'énergie nucléaire du 21 mars 2003 et l'ordonnance sur l'énergie nucléaire du 10 décembre 2004.

Dans le cadre du premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050, la modification de la loi sur l'énergie nucléaire a été acceptée en votation populaire le 21 mai 2017. Cette loi interdit explicitement la construction et la modification de centrales nucléaires.

La Suisse possède cinq réacteurs nucléaires, implantés sur les sites de quatre centrales : Beznau I (mise en service: 1969) et Beznau II (1971), Mühleberg (1972), Gösgen (1979) et Leibstadt (1984). Beznau I est actuellement (en 2016) la plus vieille centrale nucléaire civile en activité au monde. Il n'y a donc pas d'installation nucléaire dans le canton de Fribourg et la centrale la plus proche est celle de Mühleberg (BE). Les cinq réacteurs ont une puissance globale de 3,2 GW. Jusqu'en 2014, leur taux d'utilisation annuel avoisinait les 90% [1].



Centrale nucléaire de Gösgen (SO)

La sécurité d'approvisionnement de la filière nucléaire est bonne par rapport aux autres filières basées sur les importations (courant, gaz naturel, pétrole). Le minerai d'uranium provient de sources diversifiées. Le combustible nucléaire présente une très haute densité énergétique, ce qui permet de constituer en Suisse des stocks pour plusieurs années de consommation.

La consommation d'électricité fribourgeoise est couverte au maximum par environ 40% de production indigène d'électricité renouvelable {voir chap. 3.1 Electricité} selon les années. Le reste est importé sur le marché suisse et européen, mais la provenance de la majeure partie de cette électricité est par nature indéterminable car les agents énergétiques qui la composent sont non vérifiables. Groupe E indique une part importante de provenance indéterminée (env. 50%) tandis que l'analyse du marquage de l'électricité de 2013 indique une part de 30,1 % de l'électricité consommée en Suisse provenant de l'énergie nucléaire [4].

Potentiel

Trois générations de réacteurs nucléaires ont été mis en service depuis les années 1950-60. La première génération n'existe plus actuellement. Les 5 réacteurs suisses appartiennent à la 2e génération. La 3e génération désigne les réacteurs conçus à partir des années 1990. Un seul réacteur de 3e génération est aujourd'hui en service au Japon et une dizaine sont en construction dans le monde.

Par rapport aux générations 1, 2 et 3, qui n'ont apporté que des améliorations progressives à la technologie des réacteurs à fission nucléaire, la génération 4 représente une rupture technologique qui pourrait amener plusieurs progrès importants : efficacité énergétique nettement supérieure, réduction notable de la production de déchets hautement radioactifs, sécurité accrue, meilleure rentabilité économique [2].

Les premiers réacteurs commerciaux de 4e génération pourraient voir le jour vers 2030. La Suisse, avec douze autres pays, fait partie du « Forum International Generation 4 », qui coordonne le développement de cette technologie. Une éventuelle utilisation de ces réacteurs en Suisse nécessiterait au préalable de revenir sur la décision de ne pas construire de nouvelles centrales à fission nucléaire (voir ci-dessous).

La fusion nucléaire n'entre pas en ligne de compte dans la transition énergétique actuelle, son exploitation commerciale n'étant pas attendue avant 2100.

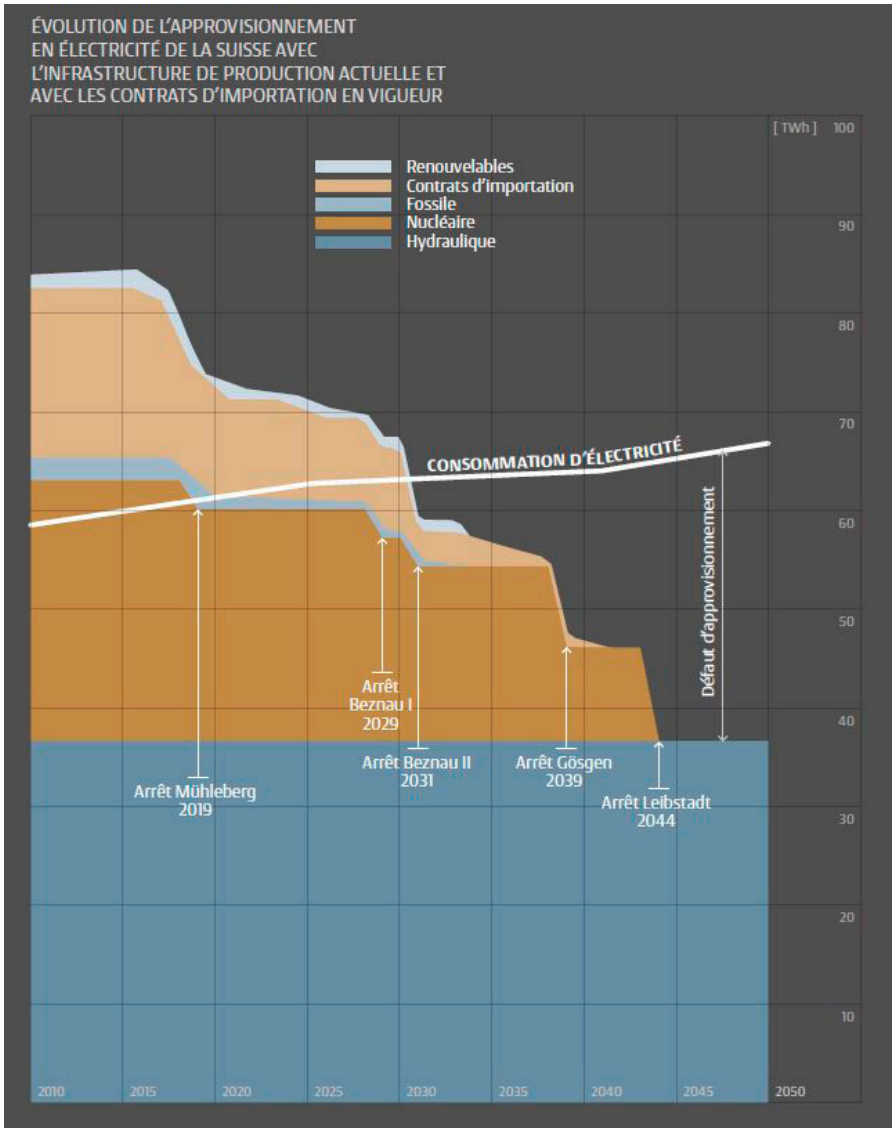
Stratégie

Suite aux événements de Fukushima au Japon en 2011, les procédures en cours concernant les demandes d'autorisation pour les centrales nucléaires de remplacement ont été suspendues. Ensuite, le Conseil fédéral et le Parlement ont décidé de sortir progressivement de l'énergie nucléaire. Ceci a constitué le point de départ de la nouvelle stratégie 2050 de la Confédération qui a été acceptée par le peuple le 21 mai 2017. Les cinq centrales nucléaires suisses seront mises à l'arrêt à la fin de leur durée d'exploitation et ne seront pas remplacées par de nouvelles centrales nucléaires.

Le Conseil d'Etat fribourgeois a clairement manifesté son soutien à ces décisions dans la mesure où la sécurité de la population reste la priorité dans le cadre de la poursuite d'exploitation des centrales existantes. Actuellement, la législation suisse sur l'énergie nucléaire ne prévoit aucune limitation prédéfinie de la durée d'exploitation. La décision de sortir du nucléaire ne correspond donc pas directement à une date précise pour l'arrêt définitif de nos centrales.

La durée de vie des centrales nucléaires dépend donc du vieillissement des installations, de la situation du marché de l'électricité et des coûts d'investissement dans la sécurité. Cette analyse a conduit l'exploitant de la centrale de Mühleberg à décider l'arrêt définitif de la centrale en 2019, soit après 47 ans d'exploitation.

Nos centrales nucléaires se trouvent sous la surveillance de l'Inspection Fédérale de la Sécurité Nucléaire (IFSN), organe de contrôle technique indépendant, qui inspecte périodiquement les centrales et leur octroie le droit de poursuivre l'exploitation. A la suite de son inspection en 2014, l'IFSN a estimé que toutes nos centrales, à l'exception de Mühleberg, sont aptes d'un point de vue technique à demeurer 60 ans en exploitation. Cette durée de vie prévisionnelle donnerait le calendrier suivant de mise à l'arrêt définitif de ces centrales : Beznau I (2029), Beznau II (2031), Gösgen (2039) et Leibstadt (2044).



Source : [2] "Les enjeux de la transition énergétique suisse", F. Vuille, D. Favrat et S. Erkman, copyright 2015, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.

La suppression de plus d'un tiers de la production d'électricité nationale, sans péjorer notre bilan CO_2 constitue donc un des défis majeurs de la stratégie énergétique 2050. Vu d'un autre angle, l'énergie nucléaire ne représente que 9% de la consommation d'énergie finale du pays. Les solutions peuvent donc être trouvées en considérant l'ensemble des problématiques (efficacité, comportement, substitution, nouvelles productions) et en les traitant de manière globale et coordonnée. Le PSE 2017 entend y contribuer.

Avec un regard purement arithmétique, on constate que le potentiel des nouvelles sources d'électricité renouvelable de la stratégie énergétique 2050 équivaut presque à la production actuelle de courant nucléaire (24 TWh contre 25 TWh) [3]. Cette coïncidence ne doit cependant pas masquer le fait que nous n'avons pas encore de moyen pour faire correspondre disponibilité et demande d'énergie à cette échelle. La question du stockage sera donc cruciale pour relever ce défi.

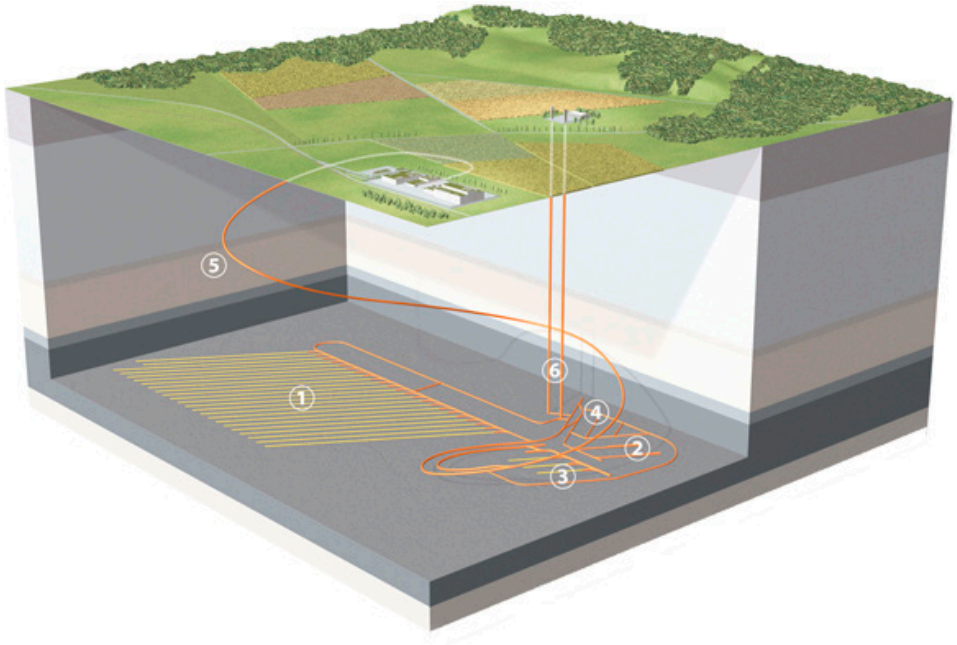
Impact environnemental, économique, politique

Environnemental :
Les centrales nucléaires ne relâchent que peu de CO_2 durant leur fonctionnement. L'intensité CO_2 par kWh produit est au même niveau que l'hydraulique, c'est-à-dire très très faible.

Conformément à la loi sur l'énergie nucléaire, l'exploitant d'une installation nucléaire est responsable de sa sécurité. Sur la base de principes internationaux reconnus, les exploitants doivent décider des mesures de protection applicables lors de la conception, de la construction et de l'exploitation des installations nucléaires. Des mesures d'urgence doivent également être prévues en cas de fuite d'une quantité dangereuse de substances radioactives.

Les déchets radioactifs résultent essentiellement de l'utilisation d'énergie nucléaire et, dans une moindre mesure, des activités de la médecine, de l'industrie et de la recherche. Il est prévu que les quelque 7000 m^3 de déchets hautement radioactifs soient stockés dans des couches géologiques profondes (plus de 500 m), seule technique à même de garantir la sécurité sur les longues périodes de temps nécessaires (jusqu'à des centaines de milliers d'années). La recherche de sites aptes à abriter un dépôt est réglée dans le plan sectoriel «Dépôts en couches géologiques profondes». La Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (Nagra) a proposé deux sites d'implantation potentiels (Jura est et Zürich nord-ouest). En attendant, nos déchets sont collectés, conditionnés en fûts et stockés en surface dans un dépôt intermédiaire de l'entreprise Zwilag à Würenlingen dans le canton d'Argovie.

Les coûts de la gestion des déchets nucléaires en Suisse – y compris ceux découlant du démantèlement des centrales – sont actuellement estimés à 21 milliards de francs. Ils sont assumés par les propriétaires des centrales qui cotisent à un fonds commun à raison d'environ 1 centime par kWh d'électricité d'origine nucléaire produit [2].



Dépôt pour déchets de haute activité. Source : Nagra

Economique :
Fin 2015, les centrales nucléaires suisses employaient l'équivalent de 1871 emplois à plein temps (Source : AES)

Politique :
La décision de sortir progressivement de l'énergie nucléaire est le point de départ de la nouvelle politique énergétique de la Confédération (Stratégie énergétique 2050).

Si les exploitants des centrales ne souhaitent pas de mise à l'arrêt « prématurée » et si l'IFSN ne l'exige pas, alors seule une nouvelle décision politique pourrait les y contraindre. Il est peu probable que cela arrive étant donné l'échec de l'initiative populaire du 16.11.2012 "Pour la sortie programmée de l'énergie nucléaire" en votation le 27 novembre 2016 et l'acceptation de la Statégie énergétique 2050.

Bibliographie

› [1] OFEN. Statistique globale suisse de l'énergie 2014. Berne, 2015

› [2] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique : 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015

› [3] OFEN. Perspectives énergétiques 2050. Prognos SA. Berne, 2013





3. Utilisation de l’énergie

3. Utilisation de l'énergie

3.1 Electricité

Evolution et utilisation aujourd'hui

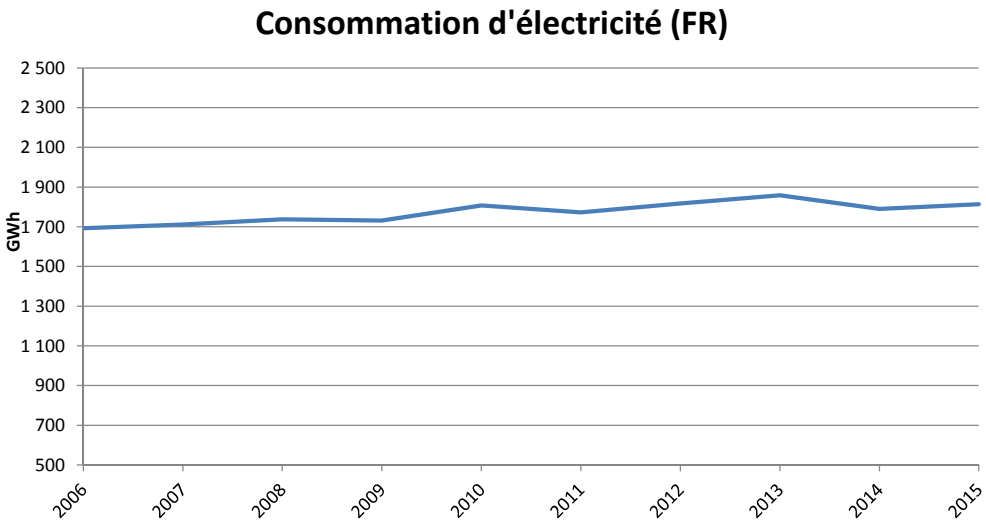
L'électricité permet de transporter très rapidement de grandes quantités d'énergie. Cet acheminement génère cependant des pertes qui doivent être minimisées le plus possible.

D'autre part, l'électricité ne se stocke pas. Sa consommation et sa production doivent donc exactement coïncider ou sinon, il faut la transformer en une autre forme (chimique, thermique, mécanique, etc…), ce qui génère de nouvelles pertes {voir le chapitre 6. Stockage d'énergie et le chapitre 5.1 Réseau électrique}.

Malgré ces contraintes, l'électricité est tellement pratique que ses usages ne cessent d'augmenter depuis ses débuts industriels au 19ème siècle. En Suisse, la première centrale hydroélectrique a été installée à Saint-Moritz en 1879.

En plus du transport d'énergie, l'électricité sert au transport d'information et à la production du magnétisme. La production, mais surtout le transport d'électricité ont un impact sur le territoire.

Dans le canton de Fribourg, l'électricité représentait en 2015, le 24% de l'énergie finale consommée, soit une part relativement stable [1]. Sur la période 2009-2015, la consommation d'électricité a augmenté en moyenne de 1% par année pour atteindre 1,8 TWh (1806 GWh).



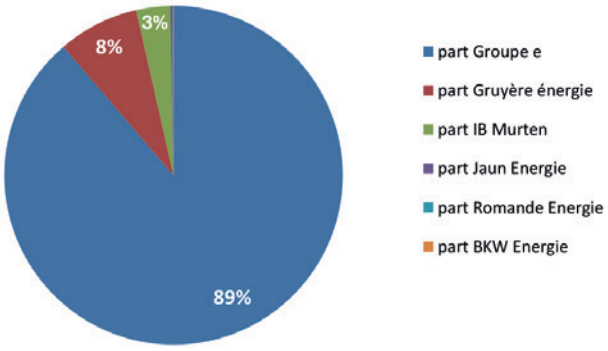
Source : SdE [1]



Selon les années, environ 40% de la consommation est produit dans le canton de Fribourg. Le reste est importé via les réseaux nationaux et européens {voir les chapitres 2. Fourniture d'énergie et 5.1 Réseau électrique}. Six sociétés approvisionnent les consommateurs finaux fribourgeois, dans les proportions d'énergie suivantes (par exemple en 2015) :

- Groupe E : 89%
- Gruyère énergie : 8%
- IB Murten : 3%
- Jaun Energie : < 0.5%
- Romande Energie : < 0.5%
- BKW Energie : < 0.5%

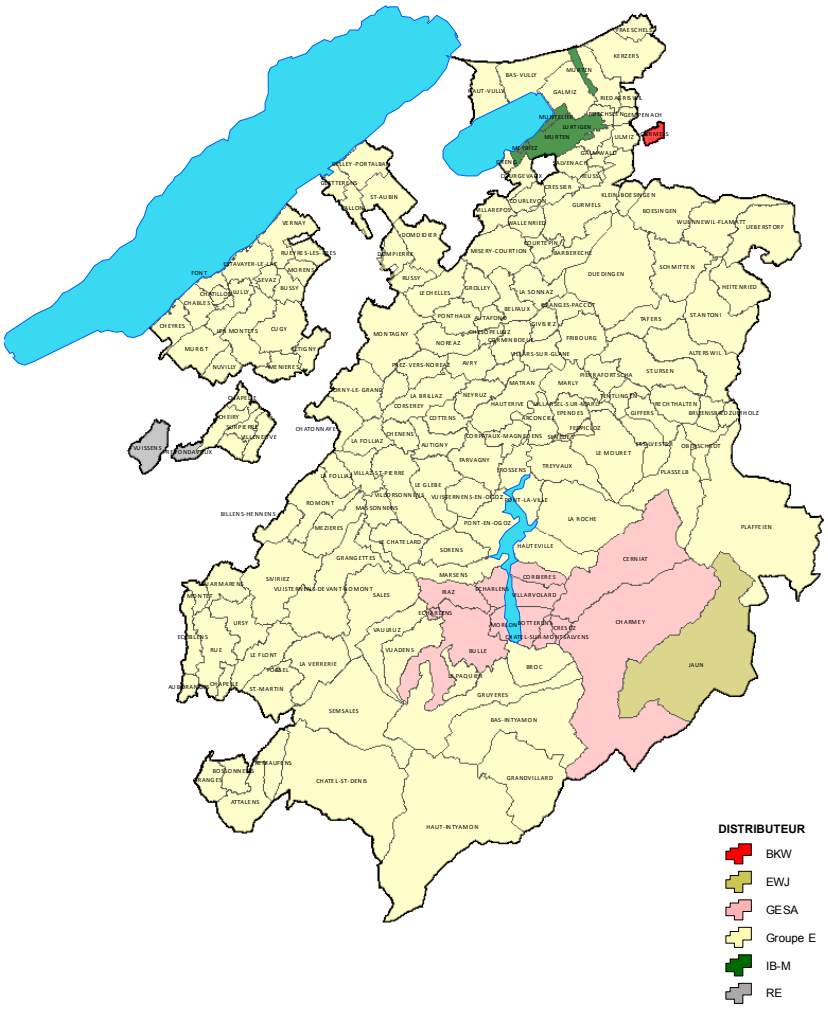
Répartition de la consommation d'électricité en fonction du distributeur
2015



Sources : SdE / Sstat

Le territoire du canton est divisé en aires de desserte, qui correspondent en principe aux limites politiques communales et qui tiennent compte de l’implantation des réseaux de distribution existants. Les aires de desserte sont répertoriées dans un document régulièrement mis à jour par le service de l’énergie, en collaboration avec les entreprises d’approvisionnement. Dans leur aire de desserte, les entreprises d’approvisionnement sont tenues d’approvisionner en énergie électrique tout consommateur final, pour autant qu’il s’acquitte de ses obligations[1]. Des zones d’exception peuvent être convenues entre entreprises d’approvisionnement.

Aires de dessertes



Source : SdE

[1] Loi cantonale du 11 septembre 2003 sur l’approvisionnement en énergie électrique (LAEE) qui a pour but de garantir l’approvisionnement du consommateur final en énergie électrique, tâche considérée comme un service public, ainsi que son règlement du 25 novembre 2014 sur l’approvisionnement en énergie électrique (RAEE) qui s’applique aux entreprises d’approvisionnement en énergie électrique desservant le territoire cantonal.

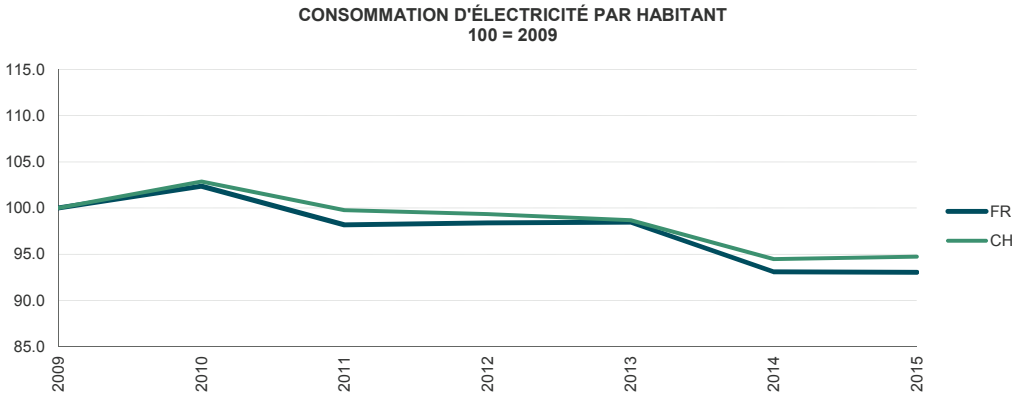
Environ le tiers de l'électricité consommée est utilisé pour produire de la chaleur. Il s'agit principalement d'installations industrielles et de chauffages électriques de locaux (encore environ 10'000 bâtiments dans le canton). Le chauffage des locaux uniquement consomme environ 17% de l'électricité fribourgeoise en moyenne annuelle, cette proportion augmentant durant le semestre d'hiver [1, 2].

Répartition par secteurs, en 2014 (chiffres arrondis)

	Ménages	Agriculture et horticulture	Industrie, arts et métiers	Services	Transports
Canton FR	42.6	5.6	31.3	18.1	2.4
Suisse CH	31.8	1.7	31.3	27.0	8.2

Sources: Groupe E et OFEN

Rapportée au nombre d'habitants, la consommation totale est de 5874 kWh/an par personne en 2015 et est en diminution depuis 2009 (6340 kWh/an), voire depuis 2007.

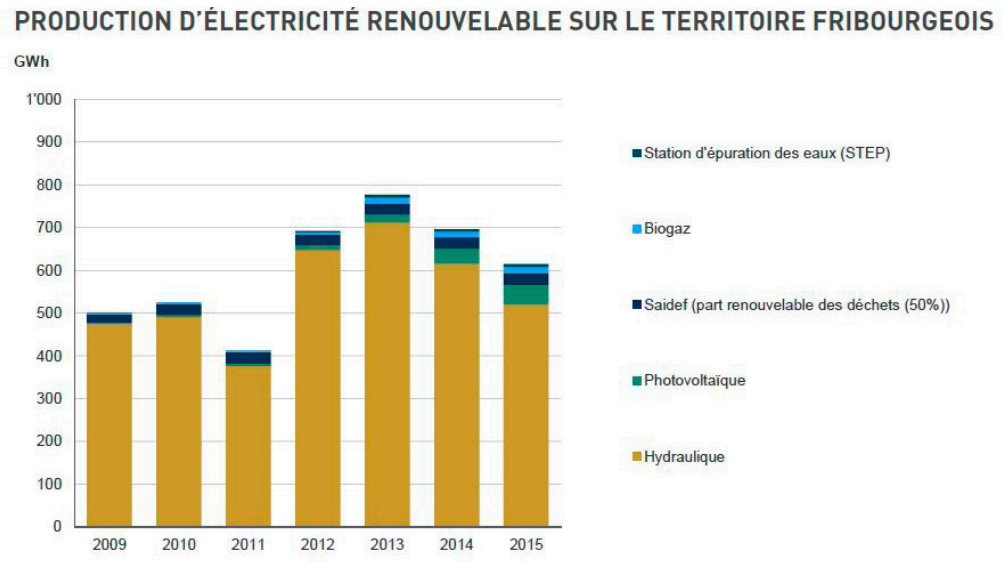


Source: SdE [1]

Selon la législation fédérale[2], les entreprises d'approvisionnement sont soumises à l'obligation de marquage et doivent communiquer les parts des agents énergétiques utilisés et leur origine [3]. Dans ce cadre, Groupe E communique que pour compléter sa propre production, de l'électricité est achetée sur les marchés suisse et européen. La provenance de cette électricité est par nature indéterminable car les agents énergétiques qui la composent sont non vérifiables. En 2015, Groupe E[3] indique 38.25% d'énergie renouvelable, 9.95% d'énergie non renouvelable, 2.23% de déchets et 49.57% d'énergies non classées donc à priori non renouvelables. A titre de comparaison, le mix européen de production d'électricité se compose d'environ une moitié de sources fossiles (charbon, gaz et pétrole) et d'un quart chacun pour les énergies renouvelables et le nucléaire.

[2] Ordonnance fédérale du 7 décembre 1998 sur l'énergie (OEne) et ordonnance du DETEC du 24 novembre 2006 sur l'attestation du type de production et de l'origine de l'électricité (OAOr)

[3] http://www.stromkennzeichnung.ch/fr/recherche/powera/search/powerc/Supplier.html



Source : SdE [1]

Potentiel d’économie

Le potentiel d’économie théorique a été chiffré à 800 GWh par an. Suite à l’analyse de mesures à laquelle il est fait référence ci-dessous, une réduction de 350 GWh à atteindre d’ici 2030 a été fixé par la stratégie énergétique du Conseil d’Etat en 2009.

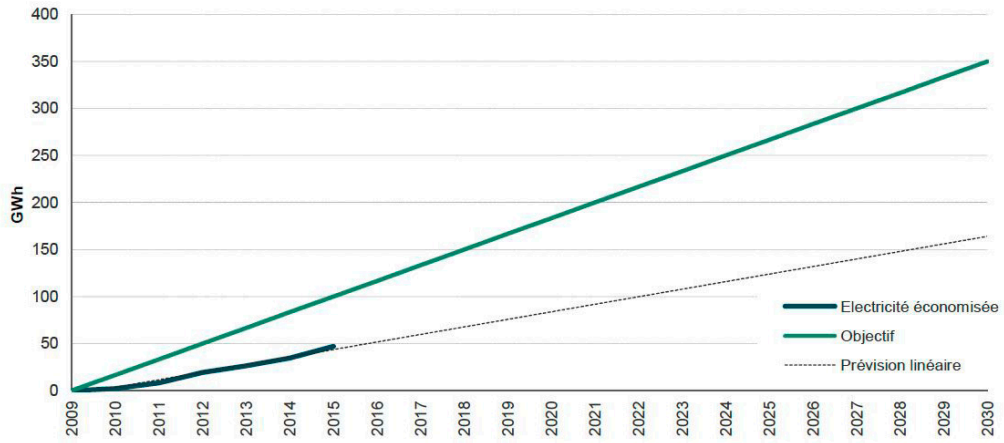
Les mesurent suivantes, partiellement mises en œuvre, concourent à l’atteinte de cet objectif :

- Renforcement des dispositions pour les nouvelles constructions ;
- Programme d’assainissement des bâtiments ;
- Obligation de la pose d’une régulation pièce par pièce ;
- Renoncement volontaire au renouvellement des chauffages électriques ;
- Interdiction de pose de nouveaux chauffe-eau électriques ;
- Interdiction de renouvellement des chauffe-eau électriques ;
- Remplacement des moteurs et des pompes dans l’industrie et les ménages ;
- Renforcement des exigences pour la climatisation et la ventilation ;
- Interdiction de pose de nouveaux chauffages électriques ;
- Programme destiné aux gros consommateurs ;
- Gestion de l’énergie électrique dans les bâtiments ;

- Introduction du Certificat énergétique cantonal des bâtiments ;
- Optimisation de l'exploitation des bâtiments publics ;
- Label « Cité de l'énergie » pour les communes ;
- Assainissement de l'éclairage public ;
- Campagne d'information et de sensibilisation, tout public, écoles et professionnels ;
- Formation des professionnels.

{Voir le chapitre 7. Efficience énergétique}

Le graphique suivant présente l'évolution des économies d'électricité recensées vis-à-vis de l'objectif cité plus haut.



Evolution des économies d'électricité. Source : SdE [1]

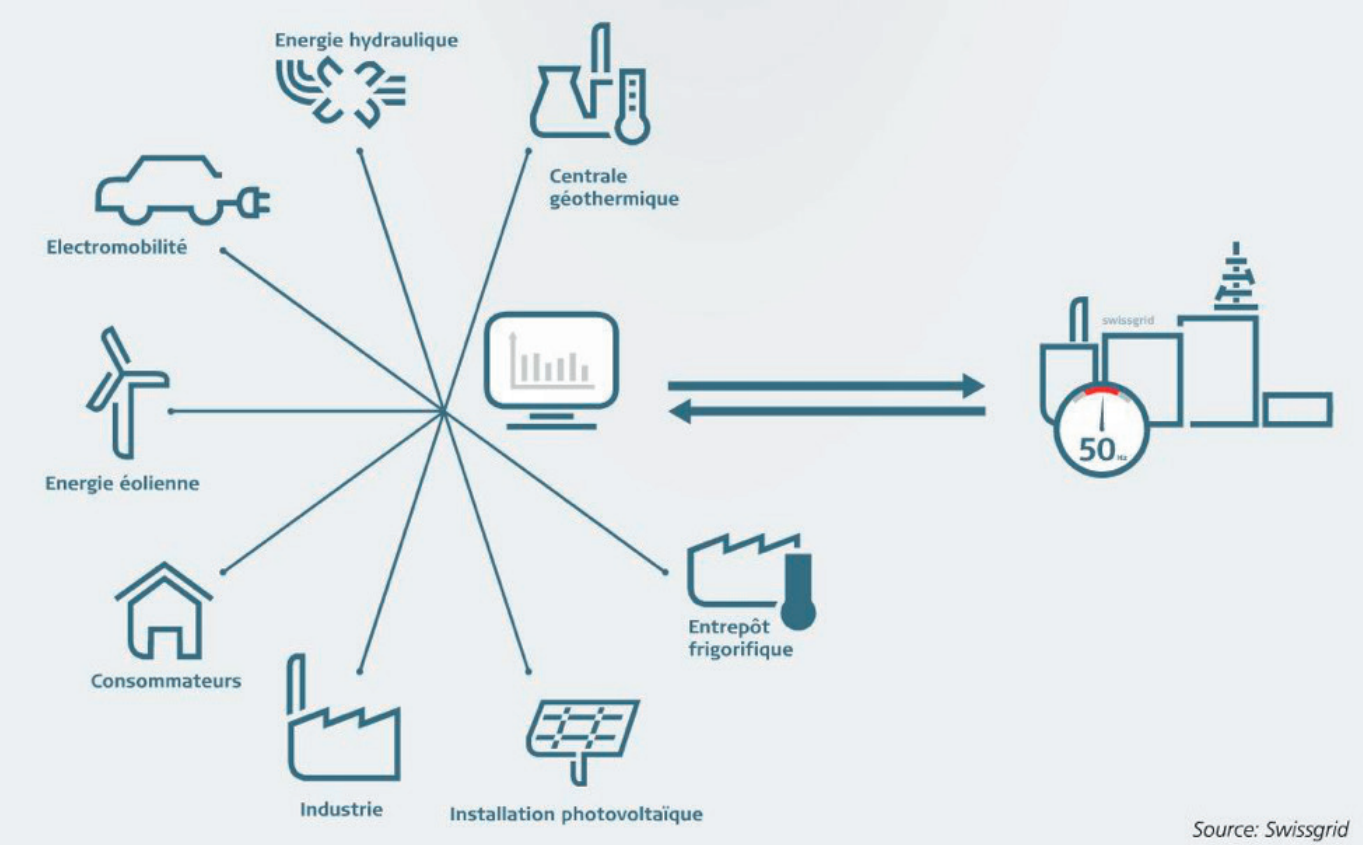
Stratégie

L'électrification de notre société devrait s'accentuer dans les décennies à venir. La part de l'électricité dans le mix énergétique suisse pourrait avoisiner 30% en 2035 et s'approcher de 40% en 2050. La plus forte croissance viendra probablement d'une part des voitures électriques {voir le chapitre 3.3 Transports}. L'augmentation du chauffage par pompes à chaleur ne devrait pas produire de croissance globale d'électricité grâce à la suppression progressive des chauffages et chauffe-eau électriques.

La maîtrise de la production et de la consommation d'électricité passera de plus en plus par l'adaptation des réseaux électriques, rendu « intelligents » {voir le chapitre 5.1 Réseaux électriques} et la gestion/création des moyens de stockage {voir le chapitre 6. Stockage d'énergie}

3. Utilisation de l’énergie

–



Malgré le transfert toujours plus marqué des combustibles et carburants vers l’électricité, la stratégie énergétique 2050 et la nouvelle loi fédérale sur l'énergie correspondante[4] ont comme objectif une baisse de la consommation moyenne d’électricité par personne, par rapport à 2000 :

› - 3% en 2020 ;

› - 13% en 2035.

Ces objectifs formulés par habitant permettent de contrôler simplement l’évolution de la consommation, indépendamment de l’évolution démographique. En prenant un peu de recul vis-à-vis des différents scénarios établis, on retiendra que l’objectif de viser une stabilisation à long terme peut s’appliquer à l’évolution de la consommation globale d’électricité en valeur absolue. Même si les possibilités de nouvelles productions d’électricité par des énergies renouvelables sont nombreuses {voir le chapitre 2.1 Fourniture d’énergie renouvelable}, cela ne doit pas amener à un relâchement quant à la maîtrise de la consommation.

[4] La nouvelle loi fédérale sur l'énergie, établie dans le cadre de la Stratégie énergétique, premier paquet de mesures, constitue le premier document légal instituant des objectifs chiffrés de consommation électrique (réduction des valeurs moyennes par personne et par année). Il s'agit cependant de valeurs indicatives.

La législation fédérale sur le marché de l'électricité[5] a pour but de créer les conditions propres à assurer un approvisionnement en électricité sûr ainsi qu'un marché de l'électricité axé sur la concurrence. Cette législation prévoit une ouverture du marché en deux étapes : dès 2009, seuls les consommateurs finaux dont la consommation dépasse 100 000 kWh ont un libre accès au marché. Ensuite, les ménages et les petits consommateurs pourront eux aussi choisir librement leur fournisseur de courant, cette ouverture complète du marché devant s'opérer par décision du Conseil fédéral et pouvant encore faire l'objet d'un référendum facultatif. En mai 2016, le Conseil fédéral a décidé de reporter cette décision et de tenir compte de l'évolution des négociations bilatérales relatives à un accord sur l'électricité, de l'avancement de la Stratégie énergétique 2050, du contexte du marché et de la révision prévue de la LApEl.

Bibliographie

- [1] Service de l'énergie. Stratégie énergétique Etat de Fribourg Rapport 2010-2015. Fribourg, 2016
- [2] Rapport N° 160 du Conseil d'Etat au Grand Conseil relatif à la planification énergétique du canton de Fribourg (nouvelle stratégie énergétique). Fribourg, 2009
- [3] www.marquage-electricite.ch, site officiel en Suisse pour l'indication de la provenance de l'électricité

[5] Loi fédérale du 23 mars 2007 sur l'approvisionnement en électricité (LApEl)

3.2 Chaleur

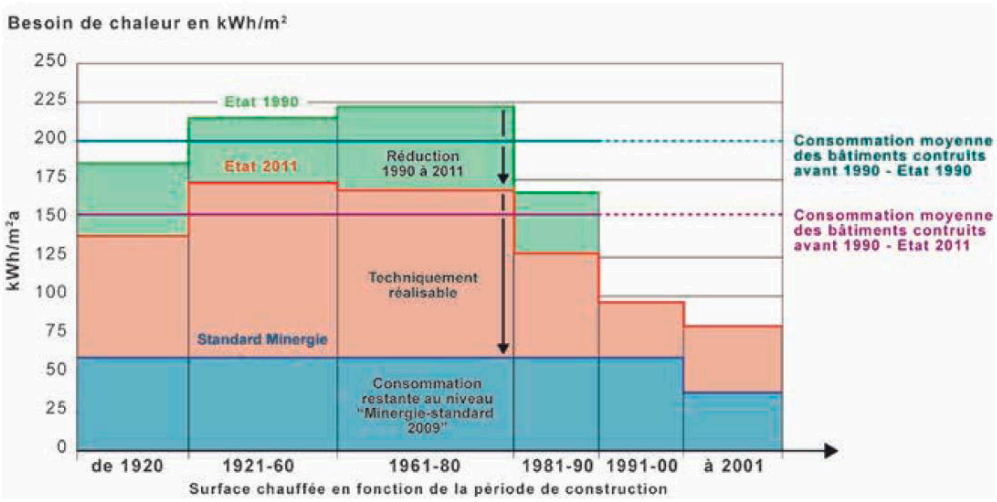
Evolution et utilisation aujourd'hui

La chaleur est utilisée principalement pour le chauffage des bâtiments et de l'eau chaude sanitaire, ainsi que pour les processus industriels.

Des progrès considérables ont été réalisés ces dernières années dans le domaine de la construction. Un bâtiment locatif construit actuellement consommera par exemple cinq à six fois moins que s'il avait été construit dans les années septante [3] {Voir le chapitre 7.1 Efficience énergétique, bâtiments}. D'autre part, la rénovation thermique d'un bâtiment des années 70, selon les normes actuelles, permet de diminuer de plus de moitié sa consommation.

Cependant, l'essentiel du parc immobilier n'a pas profité de ces progrès et consomme encore énormément d'énergie pour son chauffage, comme l'illustre le graphique ci-dessous :

Consommation d'énérgie des bâtiments existants en fonction de leur époque de construction :



Source : Canton de Zürich

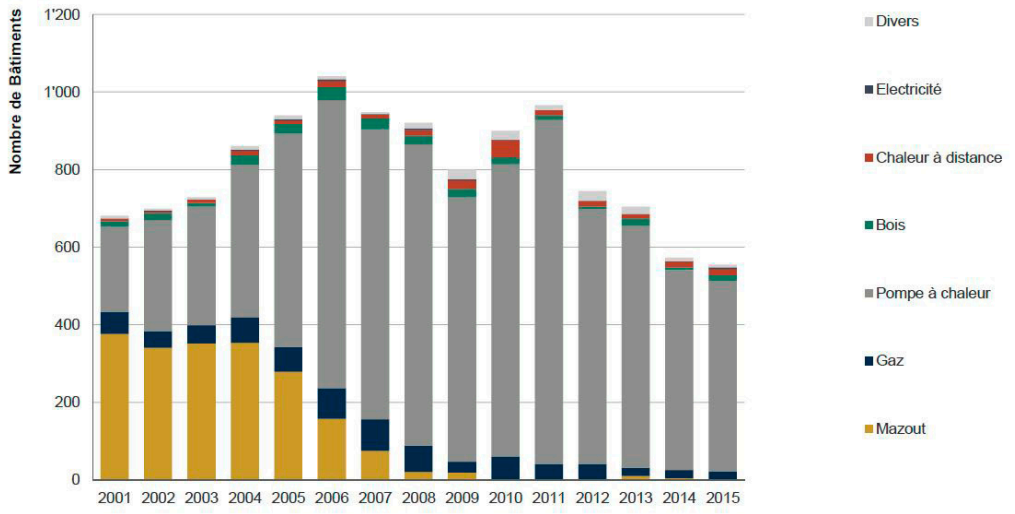
Environ 45% de l'énergie globale consommée dans le canton est utilisée en tant que chaleur, soit environ 3.5 TWh [1]. Il s'agit de :

- tous les combustibles (pétrole, gaz naturel) ;
- les énergies renouvelables thermiques (bois, solaire thermique, part chaleur issue des STEP et du biogaz, chaleur tirée de l'environnement par des pompes à chaleur, chaleur issue de la combustion des déchets) ;
- la part d'électricité transformée en chaleur (encore un tiers environ de toute l'électricité).

{Voir le chapitre 2. Fourniture d'énergie}

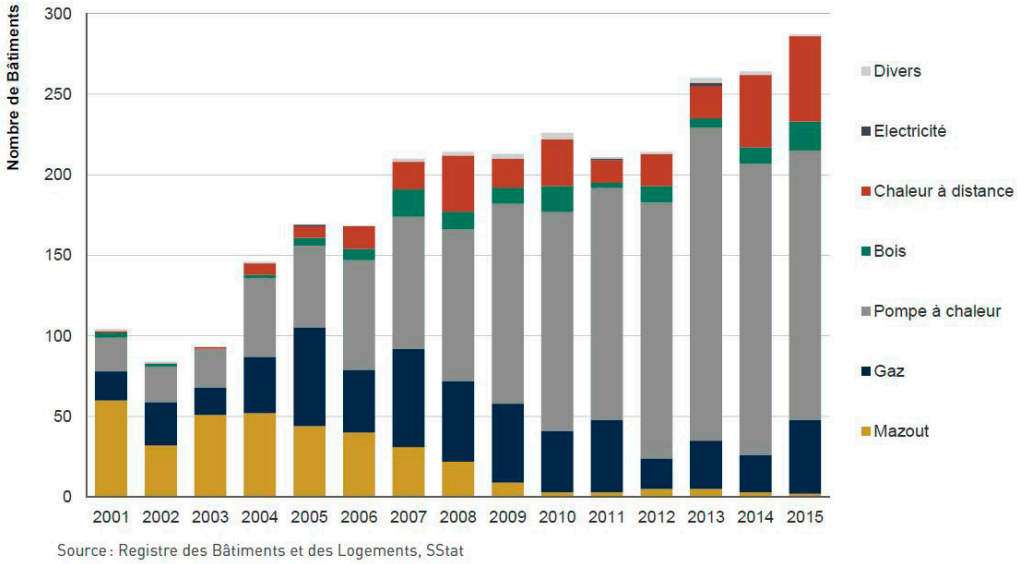
En 2014, les combustibles pétroliers utilisés pour la chaleur (mazout) ont représenté le 30% des produits pétroliers, le reste étant dévolu aux transports (carburants).

Maison individuelles
Répartition du type de chauffage en fonction de l'année de construction :



Source : SdE

Immeubles d'habitation
Répartition du type de chauffage en fonction de l'année de construction :



Source : SdE

Dès 2015, quasiment plus aucune construction neuve n'utilise le mazout pour se chauffer.

Potentiel d'économie

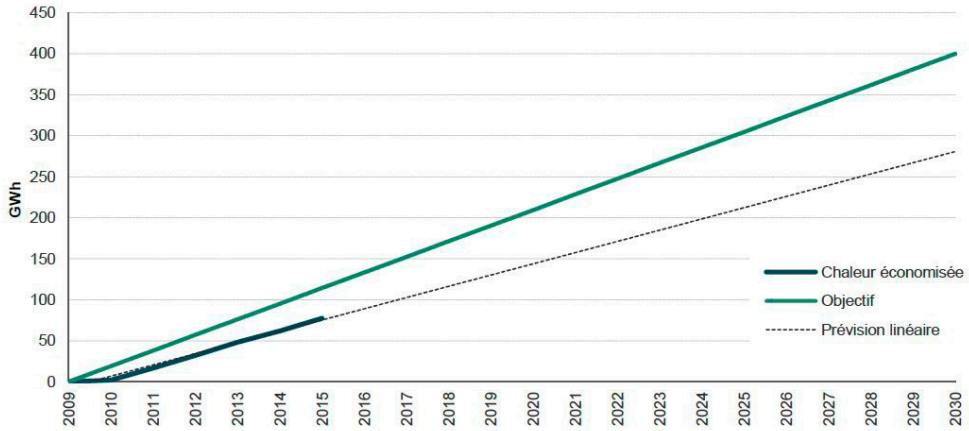
Le potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique en ce qui concerne la chaleur est estimé à plus de 1300 GWh par an [2]. Cependant, la mise en œuvre de la mesure visant la rénovation des bâtiments, qui présente un potentiel de plus de 1000 GWh d'économies par an, ne peut se faire que sur une très longue période. En effet, le parc de bâtiments à assainir compte près de 60 000 unités et seule une partie de cet assainissement pourra être réalisée d'ici vingt ans. D'autre part, si toutes les mesures sont économiquement intéressantes compte tenu de l'évolution probable des prix du marché, le plus gros potentiel d'économie ne peut être réalisé que par les mesures les plus chères. Finalement, il semble réaliste d'atteindre la barre des 400 GWh d'ici 2030 [1].

Les mesurent suivantes, partiellement en cours de mise en œuvre, concourent à l'atteinte de ce potentiel :

- Renforcement des dispositions pour les nouvelles constructions ;
- Programme d'assainissement des bâtiments ;
- Obligation de la pose d'une régulation pièce par pièce ;
- Renoncement volontaire au renouvellement des chauffages électriques ;
- Interdiction de pose de nouveaux chauffe-eau électriques ;
- Interdiction de renouvellement des chauffe-eau électriques ;
- Remplacement des moteurs et des pompes dans l'industrie et les ménages ;
- Renforcement des exigences pour la climatisation et la ventilation ;
- Interdiction de pose de nouveaux chauffages électriques ;
- Programme destiné aux gros consommateurs ;
- Renforcement des exigences en matière d'isolation thermique ;
- Introduction du Certificat énergétique cantonal des bâtiments ;
- Optimisation de l'exploitation des bâtiments publics ;
- Label « Cité de l'énergie » pour les communes ;
- Campagne d'information et de sensibilisation, tout public, écoles et professionnels ;
- Formation des professionnels.

{Voir le chapitre 7. Efficience énergétique}

Le graphique suivant présente l'évolution des économies de chaleur recensées relativement à l'objectif cité plus haut.



Evolution des économies de chaleur. Source : SdE [1]

Stratégie

La stratégie énergétique 2050 et la nouvelle loi fédérale sur l'énergie correspondante[6] prévoient une baisse de la consommation moyenne d'énergie par personne par rapport aux chiffres de 2000 de :

› - 16% en 2020

› - 43% en 2035

Ces objectifs formulés par habitant permettent de contrôler simplement l'évolution de la consommation indépendamment de l'évolution démographique. Ils comprennent l'ensemble de la consommation d'énergie (chaleur, carburants et électricité), mais la chaleur représentera la plus grosse part de la diminution.

[6] La nouvelle loi fédérale sur l'énergie, établie dans le cadre de la Stratégie énergétique, premier paquet de mesures, constitue le premier document légal instituant des objectifs chiffrés de consommation énergétique (réduction des valeurs moyennes par personne et par année). Il s'agit cependant de valeurs indicatives.



L’importance des divers agents énergétiques utilisés pour la production de chaleur vont certainement évoluer de manières très distinctes :

- l’utilisation du mazout devrait diminuer drastiquement pour n'être quasiment plus utilisé en 2050 ;
- la part des énergies renouvelables devrait fortement augmenter ;
- la part de l'électricité ne devrait varier que très peu, la suppression progressive des chauffages électriques étant contrebalancée par la diffusion des pompes à chaleur sur un nombre beaucoup plus grand de bâtiments ;
- le gaz présente plus d'incertitude et ne devrait plus guère être utilisé pour le chauffage direct des locaux et de l’eau. {Voir le chapitre 2.3.1c Gas}

L’évolution de la consommation de chaleur dépendra cependant moins des agents énergétiques que du ciblage des besoins et de l’augmentation de l’efficacité tout au long des filières. En harmonie avec la politique fédérale, l’objectif cantonal de la Société à 4000 W en 2030 correspond à une baisse de la consommation d’environ 30% par rapport à 2009.

Bibliographie

- [1] Service de l’énergie. Stratégie énergétique Etat de Fribourg Rapport 2010-2015. Fribourg, 2016
- [2] Rapport N° 160 du Conseil d’Etat au Grand Conseil relatif à la planification énergétique du canton de Fribourg (nouvelle stratégie énergétique). Fribourg, 2009
- [3] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique : 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015

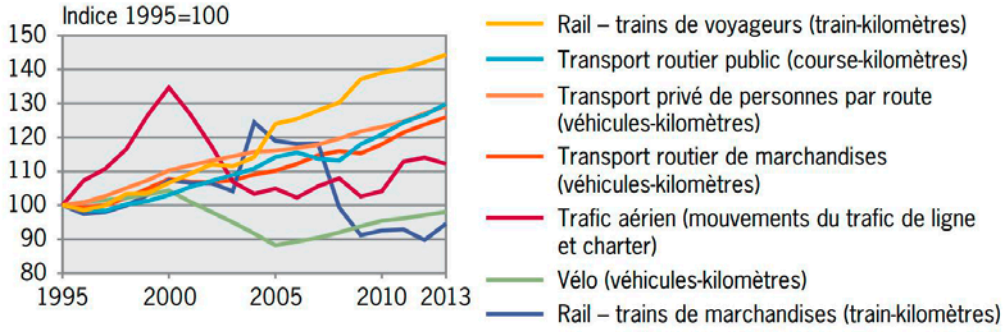
3.3 Transports

–

Evolution et utilisation aujourd'hui

En 2013, le secteur des transports représentait 35% de la consommation énergétique finale suisse, contre 32% en 1990. Nos besoins en matière de transport et de mobilité augmentent plus vite que la population, tant pour le rail que pour la route. La situation est encore plus marquée dans le Canton de Fribourg où les carburants, issus de ressources fossiles, consomment à eux seuls près de 38% de toute l'énergie finale (soit environ 3 TWh/an) [1]. {Voir le chapitre 2.3.1b Pétrole}

Evolution de la mobilité en Suisse



Source : OFS 2015

Malgré cette forte hausse de la demande de mobilité et de transport, l'énergie finale consommée par ce secteur au niveau national n'a subi une augmentation que de 3% entre 2000 et 2013 par an, grâce à la constante amélioration de l'efficacité énergétique des véhicules [3]. La consommation moyenne des voitures privées est passée de 8,4 litres/100 km à 6,2 litres/100 km, soit une économie de carburant de 26% par kilomètre parcouru. Malheureusement, durant cette même période, la distance totale effectuée par ces véhicules s'est accrue de 25%, ce qui a ainsi annulé l'effort d'efficacité énergétique des constructeurs automobiles. La «storymap Statistiques des voitures neuves» de l'Office fédéral de l'énergie donne à ce sujet des informations actualisées[7].

Les voitures couvrent environ les trois quarts des distances parcourues pour les déplacements de la population en Suisse et consomment la même proportion d'énergie finale du secteur des transports [3]. Le rail couvre quant à lui 17% de nos besoins en transport de voyageurs, mais ne consomme que 4% de l'énergie finale du secteur, ce qui démontre l'efficacité énergétique du chemin de fer complétement électrifié. Le canton a réalisé d'intenses efforts ces dernières années pour que se développe l'offre de transports publics. La mise en place du RER et des dessertes bus correspondantes[8] compte parmi les améliorations principales.

En lien avec l'évolution démographique et la situation géographique particulière du canton, le nombre de voitures de tourisme ne cesse d'augmenter, entraînant ainsi une augmentation de la consommation de carburant. Les voitures de tourisme représentent la plus grande part de tous les véhicules du canton (78% en 2013). La part des véhicules classe A reste contenue. L'impôt cantonal pour voitures de

[7] http://www.bfe.admin.ch/energieetikette/00886/06374/index.html?lang=fr#

[8] La loi sur les transports du 20 septembre 1994, RSF 780.1 régit la conception, la réalisation et l'exploitation de tous les modes de transports utilisés dans le canton.

tourisme dépend de l'étiquette énergie, la classe A étant exonérée durant trois années civiles[9].

Le taux d'équipement en voiture de tourisme est élevé et augmente continuellement. Les habitants de Fribourg possèdent plus de voitures que la moyenne suisse (+7%) notamment en raison de la situation rurale du canton ainsi que du nombre élevé de pendulaires : 572 voitures pour 1000 habitants en 2013. Lors du microrecensement de 2010, les fribourgeois parcouraient en moyenne 39 km/jour, répartis entre divers modes de transport dont la voiture représentait le 74% [2].

Les loisirs constituent le motif de déplacement le plus fréquent dans le canton, comme c'est d'ailleurs le cas à l'échelle suisse ; ils représentent 35% des 39 km parcourus quotidiennement par la population fribourgeoise, contre 24% pour le travail et 13% pour les achats. 68% des distances parcourues pour les loisirs le sont en voiture [7].

Biocarburants

La Suisse, de manière générale, n'encourage pas l'utilisation des biocarburants issus de cultures nourricières comme le colza, le maïs, la betterave, ou encore la canne à sucre et l'huile de palme dans les pays tropicaux. En ce sens, seuls les biocarburants qui satisfont à des performances sociales et environnementales très strictes sont exempts de la taxe sur les huiles minérales[10]. Fin 2014, l'essence et le diesel à la pompe contenaient environ 0,4% de biocarburants. En outre, sur quelque 3500 stations-service en Suisse fin 2014, seule une centaine proposait le mélange le plus courant E5 (5% de bioéthanol, 95% d'essence). Une quarantaine de stations commercialisaient le mélange E85 (85% de bioéthanol, 15% d'essence), et une dizaine seulement offraient le mélange B5 (5% de biodiesel, 95% de diesel). Selon la loi sur le CO_2[11], les importateurs de carburants ont l'obligation de compenser une partie des émissions dues aux transports par des mesures en Suisse {Voir le chapitre 2.3.1b Pétrole} et dans le futur probablement aussi à l'étranger. Cela incite le développement de programmes de subvention et de promotion dont certains s'appliquent directement au domaine des transports. L'un de ces programmes concerne les biocarburants qui représentent une option économique et facilement mise en œuvre pour l'industrie pétrolière. Cela explique la croissance de leurs importations. En effet, l'utilisation des biocarburants n'implique aucun changement du parc de véhicules ni de modification l'infrastructure de distribution du carburant (contrairement aux véhicules électriques, à gaz ou à hydrogène).

L'Union européenne va standardiser de plus en plus de carburants avec des taux élevés en biocarburant (jusqu'à 10%), de même que des véhicules optimisés pour rouler avec ces futurs mélanges. La Suisse en subira forcément l'influence en ce qui concerne tant l'importation des carburants que celle des véhicules.

Véhicules à gaz

11 000 véhicules à gaz roulent sur les routes suisses, soit 0,3% du parc de voitures. Rouler au gaz naturel ne réduit pas la consommation d'énergie, mais les émissions polluantes et les gaz à effet de serre. L'effet positif est davantage perceptible si du biogaz est injecté dans le réseau de gaz naturel alimentant les stations-service. En 2014, la part de biogaz dans le gaz naturel carburant était de 30%, réduisant de 40% les émissions de CO_2 par rapport à l'essence. En outre, il reste un potentiel – bien que limité - de production de

[9] La loi sur l'imposition des véhicules automobiles et des remorques du 14 décembre 1967, RSF 635.4.1 permet au canton de privilégier plus ou moins certains types de véhicules.

[10] La loi sur l'imposition des huiles minérales (Limpmin) du 21 juin 1996, RS 641.61, permet à la Confédération de privilégier plus ou moins certains types de carburants.

[11] La loi sur la réduction des émissions de CO2 est le moyen de la Confédération pour faire diminuer progressivement la consommation d'énergie des véhicules et l'impact des énergies fossiles sur le climat.

biogaz à partir de déchets biogènes et d'animaux {Voir le chapitre 2.1.6 biomasse}. 140 stations-service délivrent du gaz naturel carburant en Suisse, dont 3 dans le canton de Fribourg, qui comptait 245 voitures à gaz, début 2016 [8]. Le gaz naturel carburant reste donc très marginal dans le canton avec 0,1% du parc.

Electro-mobilité

La voiture électrique connaît une forte expansion, avec plus de 350 000 unités dans le monde et un peu plus de 3500 en circulation en Suisse à la fin 2014. Une trentaine de modèles de voitures électriques sont aujourd'hui disponibles sur le marché suisse. Les obstacles restent le prix d'achat élevé et l'autonomie limitée. Pourtant, les voitures électriques sont aujourd'hui déjà quasiment concurrentielles, puisque leur prix d'achat plus élevé est compensé par leurs coûts opérationnels très faibles : rouler 100 km coûte environ 3 francs d'électricité contre 11 francs d'essence pour une voiture classique de taille comparable. De plus, les voitures électriques nécessitent comparativement peu d'entretien, permettant d'économiser environ 35% sur le coût des services [3]. 50 bornes de recharge publiques existaient début 2016 dans le canton pour 255 voitures de tourisme [8] (chiffres en évolution rapide).

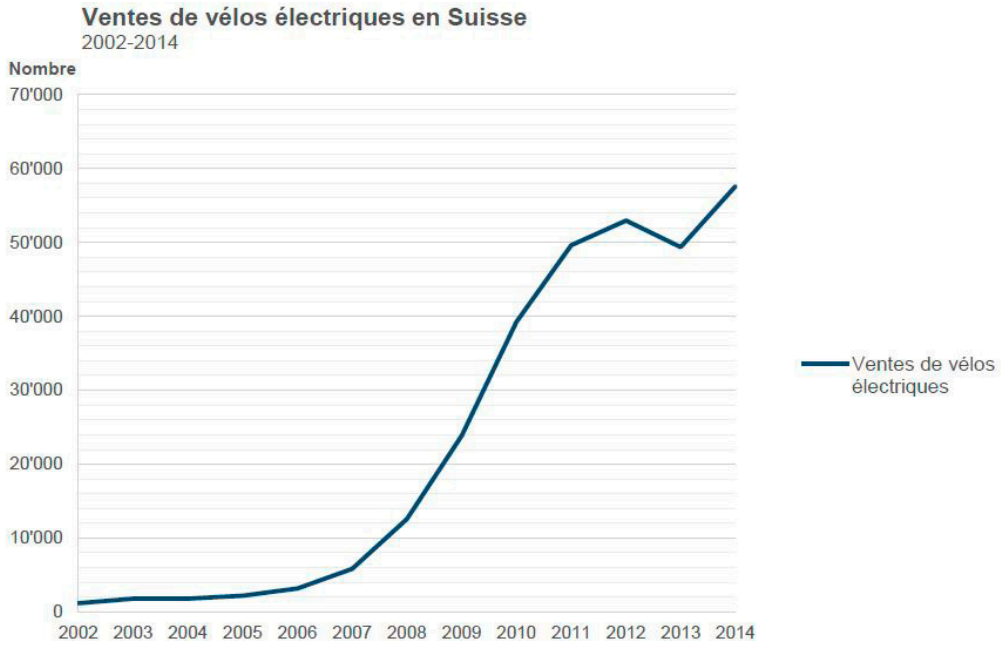


Borne de recharge. Source : Marcel Gutschner

Les véhicules électriques sont exonérés de l'impôt fédéral sur les véhicules automobiles et ne sont pas assujettis à la taxe sur les huiles minérales[12].

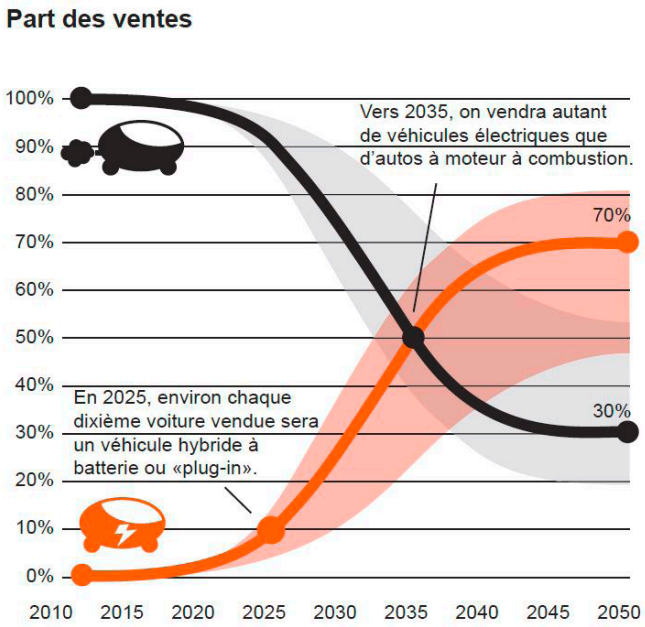
[12] Le développement de l'électromobilité va diminuer les recettes fiscales liées à la taxe sur les huiles minérales. A terme, cette baisse devra être compensée d'une manière ou d'une autre. L'une des options serait de taxer l'électricité motrice différemment de l'électricité pour les autres usages. Cette approche promet d'être relativement compliquée à mettre en place notamment pour des raisons d'incompatibilité avec la structure du marché de l'électricité et les systèmes de taxations existants.

C’est surtout grâce aux vélos électriques que l’électro-mobilité a fait son apparition dans le grand public.



Source : [5]. Vente de vélos électriques en Suisse

La voiture électrique permet de réduire de manière significative la consommation d’énergie finale, grâce à son rendement global de près de 40% (y compris en tenant compte de la production suisse d’électricité), contre environ 20% en moyenne pour les moteurs à essence. Un parc de véhicules avec 10 % de voitures électriques engendrera en Suisse une augmentation d’environ 2 à 3% de la demande d’électricité. La voiture électrique ne génère localement ni particules fines ni CO_2, puisque les moteurs électriques n’ont pas d’émissions directes, ce qui favorise la lutte contre la pollution des milieux urbains. En tenant compte de la production de l’électricité qu’elle consomme, une voiture électrique utilisant le mix suisse d’électricité émet entre 7 et 23 grammes de CO_2 par km parcouru, contre 145 grammes en moyenne pour une voiture à essence. La voiture électrique offre donc une opportunité unique pour décarboniser notre secteur des transports. Par ailleurs, la voiture électrique peut renforcer l’indépendance énergétique de la Suisse, en substituant de l’essence importée par de l’électricité produite localement.



Scénario de l'étude de TA-SWISS «Chancen und Risiken der Elektromobilität in der Schweiz»

La Chine mise sur les véhicules électriques et a la capacité d'influencer le marché mondial grâce à sa taille critique. 247'000 véhicules y ont été immatriculés en 2015 et l'ambition du gouvernement est d'atteindre cinq millions d'unités en circulation à l'horizon 2020 (L'Express du 26.04.2016). Même tendance en Allemagne dont le gouvernement souhaite voir rouler un million de véhicules électriques sur ses routes en 2020 (L'Express du 23.06.2016).

Hydrogène et pile à combustible

La voiture à hydrogène est en fait une voiture électrique alimentée par une pile à combustible qui produit de l'électricité et de l'eau à partir d'un combustible, l'hydrogène. L'essor de ces voitures vient du développement des piles à combustibles qui peuvent maintenant être produites industriellement (près de 70 000 unités en 2013 dans le monde, dont environ 2700 dans des applications de transport). Plusieurs compagnies automobiles prévoient leurs premières ventes dès 2016. D'autre part, quelque 120 stations de ravitaillement en hydrogène ont déjà été déployées en Europe à fin 2014, dont deux en Suisse. Des centaines d'autres devraient voir le jour d'ici 2030, dans le cadre du projet Européen H2Mobility auquel la Suisse participe. Début 2016, il n'y avait encore ni station de ravitaillement ni voiture à hydrogène immatriculée dans le canton [8].

Des programmes similaires existent aux Etats-Unis et au Japon. La pile à combustible est plus adaptée aux voitures de grosses cylindrées, voire aux véhicules utilitaires (bus, camion). Elle apparaît donc très complémentaire à la voiture électrique, cette dernière visant plutôt le marché des petites voitures urbaines.

L'hydrogène est actuellement produit principalement à partir de gaz naturel, ce qui n'est pas favorable dans l'optique de décarboniser les transports. La production à partir d'énergie renouvelables (électricité éolienne et solaire) reste encore marginale, mais permettrait d'offrir de nouvelles possibilités de stockage d'électricité {Voir le chapitre 6. Stockage d'énergie}.

La diffusion des voitures à pile à combustible bute encore sur le prix prohibitif de ces véhicules. La problématique de la sécurité des véhicules représente également un défi de taille car l’hydrogène est un gaz hautement inflammable. De plus, l’hydrogène va nécessiter le développement d’infrastructures de distribution et de ravitaillement spécifiques, également très coûteuses. La Suisse ne pourra pas faire cavalier seul, mais va dépendre de la volonté de l’Union européenne de promouvoir cette technologie. L’Agence Internationale de l’Energie table cependant sur près de 15% de part de marché automobile global en 2050.

Potentiel d’économie

Trois solutions complémentaires peuvent réduire la consommation énergétique de notre parc de véhicules (tout en diminuant les émissions de CO_2) : favoriser des véhicules à faible consommation, améliorer la manière de conduire et diminuer le nombre total de kilomètres parcourus.

Le parc automobile suisse figure parmi les plus énergivores d’Europe, avec une surproportion de 4x4, SUV et autres grosses cylindrées. Favoriser les petites cylindrées, les modèles efficients et hybrides permettraient de réduire de manière significative la consommation de carburant. Il est facile de trouver sur le marché de nombreux modèles consommant moins de 5 litres (équivalent essence) aux 100 km, voire moins de 4 litres. Les prescriptions sur la réduction des émissions de CO_2 des voitures de tourisme se développent en Suisse, de plus en plus en harmonie avec l’Union européenne, en fixant des obligations aux importateurs. Selon sa réglementation, le taux d’émission de CO_2 moyen de la flotte de véhicules neufs devra atteindre 95 g/km en 2020 (valeur 2015 : 135 g/km)

Une manière de conduire plus écologique (éco-conduite) peut réduire la consommation d’environ 10% par rapport à une conduite standard. Les tpf ont d’ailleurs développé un programme pilote dans ce but. En parallèle, d’autres mesures d’optimisation se révèlent efficaces : léger sur-gonflage des pneus, étiquette énergie pour les pneus, suppression de tout poids inutile, des porte-skis et porte-vélos, etc. La conduite sans chauffeur – ou avec une assistance totale – n’en est encore qu’à ses débuts, mais ceux-ci sont prometteurs et laissent augurer de grandes économies, par exemple sur des autoroutes surchargées.

Quant à la diminution du nombre de kilomètres parcourus, l’essor de la mobilité douce et du télétravail y contribueront, mais la plus grande efficacité réside dans l’organisation judicieuse du territoire. Le plan directeur cantonal définit une planification réfléchie du développement des infrastructures permettant des solutions coordonnées entre la mobilité, l’urbanisation et l’environnement.

L’augmentation de l’attractivité des transports publics reste par ailleurs un point central avec un potentiel considérable d’économie. A distance égale parcourue, le train consomme en moyenne quatre fois moins d’énergie que la voiture, ceci par passager transporté (incluses les pertes liées à la génération et au transport de l’électricité) [3]. Le réseau ferroviaire suisse est déjà le plus sollicité au monde. Chaque jour, près d’un million de personnes se déplacent en train. Les Suisses arrivent en tête des usagers du train parcourant la plus grande distance par habitant : plus de 2400 km par habitant chaque année, devançant le Japon de 400 km. En parallèle, quelque 200 000 tonnes de marchandises sont transportées quotidiennement par rail. La mise en œuvre du programme de développement stratégique 2030 de la Confédération devrait améliorer encore les performances du rail et permettre d’augmenter le nombre de passagers transportés. Dans ce cadre, le canton souhaite passer à une cadence d’un quart d’heure dans le périmètre de l’Agglomération de Fribourg. Une mesure connexe permettant d’éviter les grandes affluences ponctuelles consisterait à favoriser les horaires de travail flexibles.

Les bus des transports publics offrent également d'importantes possibilités d'économie en misant par exemple dans les agglomérations sur des motorisations électriques alimentées par lignes et par biberonnage (réapprovisionnement en énergie d'un véhicule tout au long de son exploitation de manière discontinue, au travers de batteries et super-condensateurs autorisant une recharge rapide) {Voir le chapitre 7 Efficience énergétique}.



Source : TPF

Stratégie

La stratégie énergétique 2050 et la nouvelle loi fédérale sur l'énergie correspondante n'indiquent pas d'objectif spécifique pour la baisse de la consommation d'énergie dans les transports. Cependant, le scénario le plus ambitieux (Nouvelle Politique Energétique), table sur une réduction de 43% entre 2010 et 2035. Dans ce scénario, la consommation d'essence et de diesel diminue respectivement de 76% et 60%, tandis que celle des autres agents énergétiques augmente, en particulier les biocarburants liquides et l'électricité [5].

De telles évolutions sont possibles sur la base des potentiels cités au paragraphe précédent.
Pour le canton de Fribourg, on retiendra un objectif de réduction d'environ 40%.

Il s'agit donc de :

- Continuer de mettre en place les mesures d'aménagement du territoire, limitant les besoins en mobilité ;
- Favoriser la mobilité douce ;
- Développer sans cesse l'attractivité du réseau de transports publics ;
- Faciliter les transferts entre les différents modes de transport ;
- Faire preuve d'exemplarité quant au télétravail et aux horaires de travail flexibles.



Exemple de mobilité combinée. Source : Marcel Gutschner

L’augmentation du nombre de véhicules utilisant de nouveaux agents énergétiques (gaz, biocarburants, électricité, hydrogène) ou des moteurs thermiques (essence, diesel) plus efficients relève surtout de la politique internationale et des grands constructeurs. Cependant, pour ces domaines, le Canton peut :

- Offrir des conditions cadre favorables à leur déploiement ;
- Etablir des plans de soutien permettant d’une part de maximiser les bénéfices tout en minimisant les risques liés aux potentiels impacts négatifs et en abaissant leurs barrières au déploiement [4] ;
- Jouer un rôle de modèle dans l’usage de ses véhicules ;
- Mener des actions de communication.

Les efforts du canton s’inscrivent dans le contexte général, en proportion du niveau de déploiement observé en Suisse et à l’international et en considération des plans d’action permettant d’être pionnier sans trop anticiper le marché ni prendre de risque en s’y démarquant.

La durabilité sociale et environnementale des biocarburants (bioéthanol, biodiesel, etc.) utilisés dans les carburants liquides traditionnels ou dans le gaz naturel (biogaz) devra être garantie, pour éviter autant que possible des impacts négatifs, notamment lors de leur production. Le Conseil d’Etat ne soutient pas les biocarburants dérivés de produits agricoles et par conséquent l’utilisation de terrains d’assolement au détriment de la production agro-alimentaire. En revanche, les nouvelles générations (basées sur des micro-algues, des résidus agricoles ou de bois, etc.) sont encouragées car elles présentent un meilleur bilan social et environnemental, tout en offrant un potentiel nettement supérieur de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Aux yeux des milieux agricoles fribourgeois, le contexte actuel (conditions de production et coûts élevés) ainsi que la volonté de prioriser la production de denrées alimentaires rendent inintéressante l’option de produire localement des agro-carburants [6].

Une analyse menée en 2014 [4] a montré que la mobilité électrique pourrait engendrer des impacts globalement positifs pour le canton à l'horizon 2030, en particulier en termes environnementaux (réduction des émissions de CO_2, dépollution sonore des milieux urbains, économie d'énergie primaire), économiques (amélioration de la balance des paiements), stratégiques (sécurité d'approvisionnement énergétique) et d'image (canton innovant et écologiquement responsable). L'électro-mobilité devrait par contre avoir un impact relativement neutre sur les emplois, sur l'indépendance énergétique et sur les recettes fiscales du canton. Le scénario le plus ambitieux chiffre le nombre de voitures électriques en circulation en 2030 à 32'000, soit environ 15% de la flotte.

Bibliographie

- [1] Service de l'énergie. Stratégie énergétique Etat de Fribourg Rapport 2010-2015. Fribourg, 2016
- [2] Service de la statistique. Annuaire statistiques du canton de Fribourg. 2015
- [3] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique : 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015
- [4] E4tech pour le Service de l'énergie. Mobilité électrique dans le canton de Fribourg. Analyse de pertinence & éléments d'une stratégie de déploiement. Lausanne et Fribourg, 2014
- [5] OFEN. Rapport donnant suite à la motion 12.3652. Elaboration d'un plan directeur pour un développement intelligent de l'électromobilité. Berne, 2015
- [6] AGRIDEA. Agriculture fribourgeoise et énergie. Lausanne, 2016
- [7] Service de la mobilité. Résultats du microrecensement 2010 sur le comportement de la population fribourgeoise en matière de transports. Fribourg, 2012
- [8] Office de la circulation et de la navigation (OCN). Communication personnelle, état au 31.03.2016. Fribourg, 2016





4. Transformation d'énergie

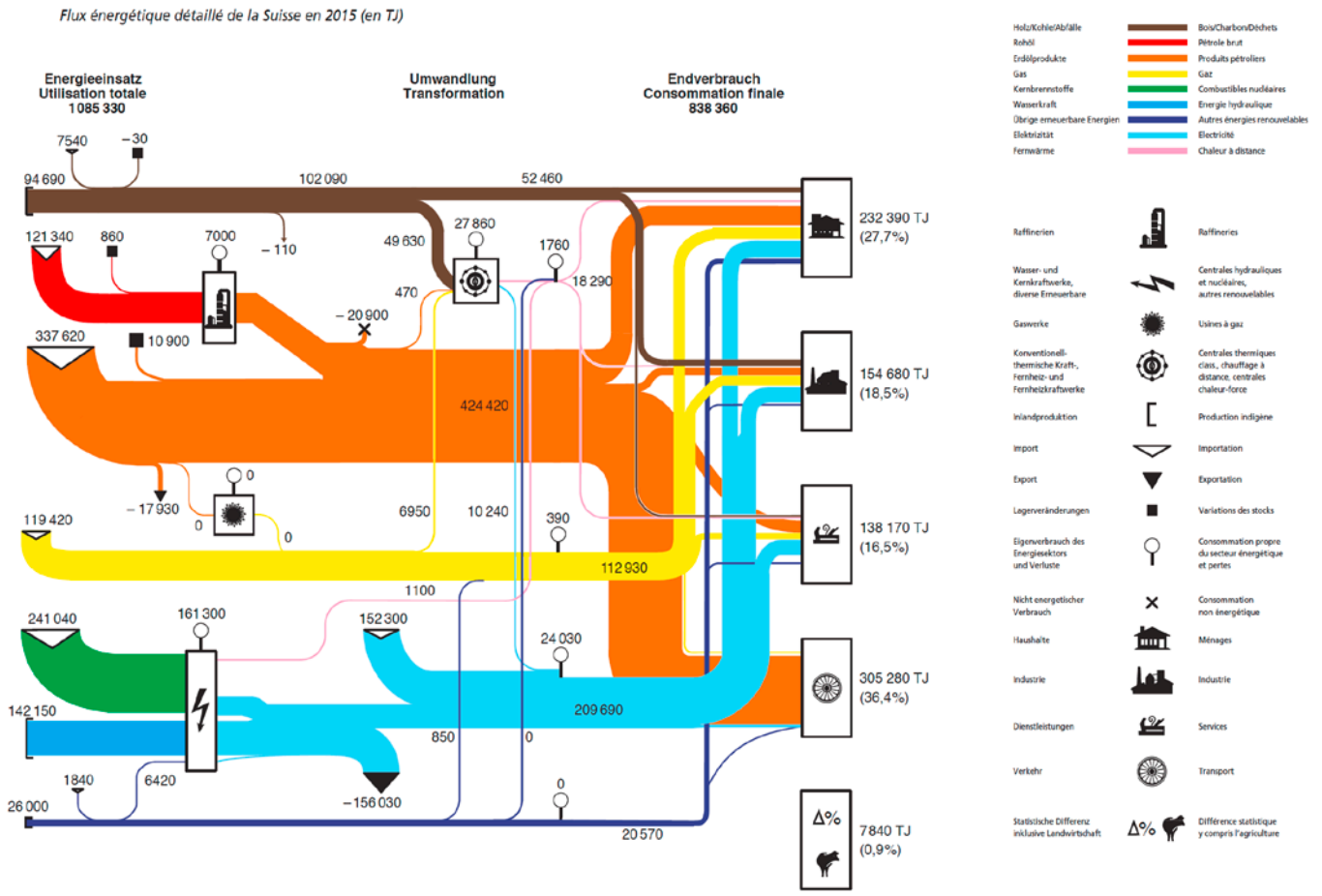
4. Transformation d'énergie

Introduction

Afin qu'elle puisse être utilisée, l'énergie doit souvent être transformée. Techniquement parlant, la transformation d'énergie correspond au passage de l'énergie d'une forme à une autre. C'est pour cette raison que dans le langage courant on parle volontiers de « production » d'énergie. L'énergie permet notamment d'effectuer un travail, de fournir de la chaleur, d'appliquer une force sur un système pour le déplacer ou en changer son mouvement.

La transformation de l'énergie est en grande partie la tâche de l'économie énergétique. La transformation de l'énergie primaire en énergie secondaire survient dans les raffineries, les centrales électriques, les usines à gaz, les centrales de chauffage à distance, les installations à biogaz et les autres types de centrales et d'installations. Pour une part, l'énergie passe par plusieurs processus de transformation. Durant la transformation des agents énergétiques primaires en agents énergétiques secondaires surviennent des pertes d'énergie. Les agents énergétiques primaires utilisés ou exploités actuellement sont le pétrole (brut), le gaz naturel, le charbon, la tourbe, l'uranium naturel (l'énergie nucléaire), le bois et les autres éléments de la biomasse, la force du vent, de la marée, des vagues, des courants marins et de l'eau, le rayonnement solaire, la géothermie et la chaleur ambiante. Les ordures ménagères et les déchets industriels sont eux aussi considérés comme agents énergétiques primaires, bien qu'ils ne soient plus à l'état naturel. Une part relativement limitée de l'énergie primaire couvre les besoins énergétiques des consommateurs d'énergie de manière directe. Ce processus intervient sans transformation, c'est-à-dire à l'état naturel. C'est le cas par exemple de la houille, du bois-énergie ou de la chaleur du soleil. Toutefois, la majeure partie de l'énergie primaire est soumise à une transformation. La transformation décrite ci-dessus fait partie du flux énergétique dans le système d'approvisionnement, comme c'est le cas dans l'illustration ci-dessous.

Il convient de distinguer la consommation brute de la consommation finale. La consommation brute est la somme de la production indigène et des importations nettes d'énergie ainsi que des variations de stocks. L'énergie finale se situe à la fin de la chaîne commerciale. Il faut y ajouter la consommation d'énergie renouvelable non commercialisée (p. ex.: chaleur des capteurs solaires). Ainsi, l'appellation « finale » s'applique à l'énergie achetée ou autoproduite pour un usage déterminé, comme le courant d'éclairage ou l'essence pour l'automobile. Les pertes résultant de la transformation sont la cause principale de la différence perçue par rapport à l'énergie brute.



Le flux énergétique dans l'approvisionnement énergétique en Suisse. Source : OFEN (2016) [2]

Les agents énergétiques contiennent de l'énergie sous différentes formes. Certains agents, comme le vent ou l'eau, renferment de l'énergie cinétique qui est transformée en énergie mécanique (p.ex. par les moulins) ou aujourd'hui plus souvent en énergie électrique (p.ex. à travers des turbines). Dans d'autres agents comme le pétrole, le gaz naturel, le charbon et le bois, l'énergie est contenue dans les liaisons chimiques qui, par combustion, sont transformées en énergie thermique. Le rayonnement solaire peut être transformé en énergie chimique (p.ex. par la photosynthèse) ou en énergie électrique (photovoltaïque). La géothermie, à savoir la chaleur emmagasinée dans le globe terrestre, peut être utilisée comme énergie thermique grâce à des pompes à chaleur par exemple. Moyennant des générateurs, elle peut être transformée en énergie électrique.

Les chapitres suivants présentent le fonctionnement et le rendement des technologies les plus utilisées pour « produire » de l'énergie, ou plus exactement pour la transformer et donc la rendre utile.

4.1 Chaudière

Evolution et utilisation aujourd'hui

Une chaudière transforme l'énergie chimique contenue dans le mazout, le gaz, le bois ou d'autres combustibles en énergie thermique par combustion. La chaleur est ensuite transmise au circuit de chauffage également appelé circuit caloporteur. Le premier chauffage central a été installé en 1841 déjà, mais c'est seulement après la Première Guerre mondiale que ce système s'est répandu en Suisse [1]. Les chaudières ont ainsi remplacé les poêles qui servaient de chauffage sans circuit caloporteur. Les combustibles les plus utilisés furent d'abord le bois et le charbon, puis le pétrole. L'utilisation du pétrole a diminué après les chocs pétroliers. Le gaz naturel a en partie pris sa place. Aujourd'hui, les chauffages à bois regagnent en importance [2]. Les combustibles comme le mazout ou le bois sont stockés sur place alors que d'autres, comme le gaz, sont livrés à l'aide d'une conduite. {Voir chapitre 5. Transports d'énergie}

Les chaudières chauffent environ 80% des bâtiments d'habitation en Suisse [4]. Le mazout est la source d'énergie utilisée le plus fréquemment avec un peu moins de 50% des chauffages dans le canton de Fribourg [4]. Ce chiffre est en décroissance.

La nouvelle génération de chaudières – des chaudières à condensation installées depuis les années 1990 - récupère une partie de la chaleur des fumées et a ainsi amélioré le rendement, en passant d'environ 80% à 90%. Les chaudières présentent une technologie de chauffage bien développée et efficace. Leur installation est relativement économique.



Chaudière au bois qui produit de la chaleur pour plusieurs bâtiments du hameau Litzistorf (Bésingue / Bösingen). Source : Marcel Gutschner

Potentiel

Les polluants et les gaz à effet de serre émis lors de la combustion en chaudières à combustible fossile constituent un évident et important désavantage. Des progrès notables ont été réalisés dans le secteur des chaudières à bois, améliorant leur efficacité, le confort qui y est associé et l'émission de particules fines. Le bois est avantageux car il est disponible localement et que son bilan est neutre en ce qui concerne les émissions de CO_2. Les chaudières sont idéalement adaptées pour des circuits de chauffage fonctionnant à un niveau de température élevée. Ainsi, les nouvelles constructions n'utilisent guère des chaudières et encore moins des énergies fossiles.

Stratégie

D'importants progrès techniques ont été apportés aux chaudières au cours des dernières années, pour améliorer l'utilisation de leur combustible. Malgré ces progrès technologiques, le fait de brûler du mazout et du gaz naturel pour chauffer un bâtiment ne s'entend pas sans un gaspillage sur le plan de la thermodynamique. Le processus de combustion passe par une flamme à plus de 1000°C pour transférer finalement de l'énergie à un circuit d'eau de chauffage qui n'en demande pas autant : 30 à 70°C suffisent en fonction des bâtiments [10].

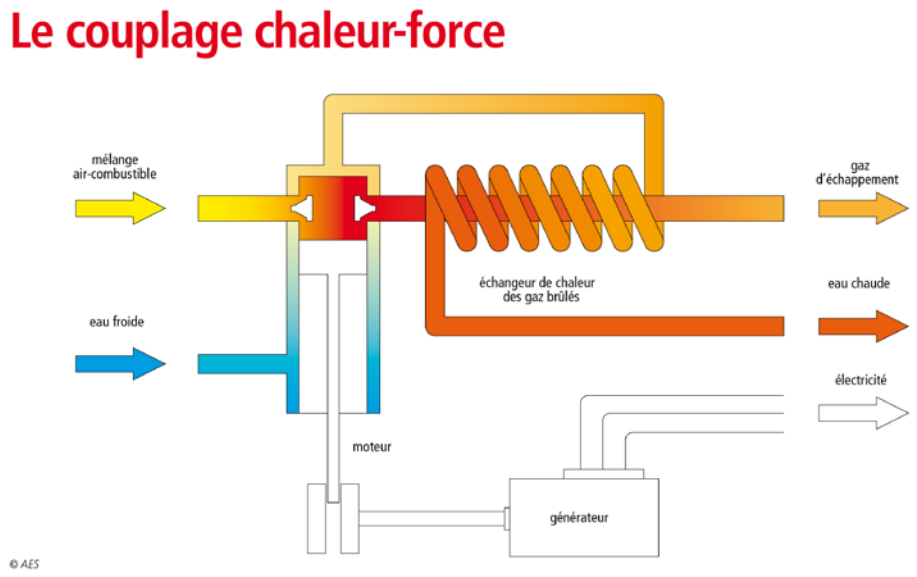
Etant donné que la Suisse ne compte aucun gisement exploité, la quasi-totalité des énergies fossiles doit être importée et nous rend dépendants de l'étranger. En plus, la combustion des énergies fossiles a un impact négatif sur notre environnement. Le nombre de chaudières consommant des énergies fossiles doit donc être réduit.

Statistiquement parlant, le parc de chaudières se renouvelle approximativement tous les 25 ans, soit la durée de vie moyenne d'une chaudière. Pour remplacer les chaudières à mazout ou gaz (environ 30'000 dans le canton de Fribourg), des solutions à base d'énergie renouvelable sont disponibles et favorisent ainsi la sécurité d'approvisionnement.

4.2 Couplage chaleur-force (CCF)

Evolution et utilisation aujourd'hui

Les centrales de couplage chaleur-force (CCF) produisent simultanément de la chaleur et de l'électricité, tirant ainsi le meilleur parti d'un combustible [10]. Les installations CCF en Suisse fonctionnent avec un moteur à pistons, ou une turbine à vapeur, couplé à un générateur d'électricité. Différents agents énergétiques fossiles et renouvelables peuvent être utilisés : le mazout, le gaz naturel, le bois, le biogaz, les déchets ou l'énergie géothermique. L'énergie mécanique créée par le moteur entraîne une génératrice. La chaleur du moteur et des gaz d'échappement est récupérée pour servir au chauffage des bâtiments, à la production d'eau chaude ou à des processus industriels.



Fonctionnement du couplage chaleur-force. Source : AES

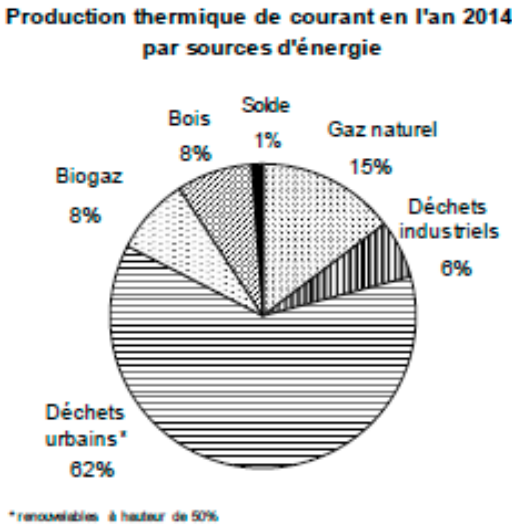
Les installations CCF sont définies [12] comme des centrales thermiques alimentées par des agents fossiles ou biogènes avec une production couplée, donc simultanée, d'électricité et de chaleur. Elles doivent également remplir les critères suivants : au moins 5% de l'énergie utilisée doit être transformée en électricité, et le rendement total (chaleur et électricité) doit atteindre au moins 60%. La limite entre petites et grandes installations se situe aux alentours de 1 MW de puissance électrique installée. Les principaux exploitants de grandes installations à CCF se concentrent dans le secteur de l'industrie chimique, du papier et du pétrole ainsi que des usines d'incinération d'ordures ménagères. Les petits CCF se retrouvent surtout dans les stations d'épuration (20% de la puissance) et dans des entreprises industrielles ou artisanales (22%). On en trouve aussi dans les immeubles de bureaux (6%), les réseaux de chauffage à distance (13%), dans l'habitat (8%) ainsi que dans les hôpitaux et les foyers (6%).

Les premières installations ont vu le jour en Suisse dans les années 1960. Pendant les années 1990, le nombre de centrales a augmenté. A la fin de 2014, on comptait [12] 990 installations CCF qui ont injecté 1'660 GWh de courant dans les réseaux électriques. Leur production d'électricité correspond à 2,4% de la production totale suisse. Si la production totale de courant dans les CCF n'a guère évolué depuis l'an 2000, les catégories d'installation et les sources d'énergie ont considérablement changé. Toutes les

catégories ont progressé, compensant ainsi la réduction des grands CCF dans l'industrie (voir tableau ci-dessous). La composition des sources d'énergie est présentée dans l'illustration ci-dessous.

Tableau : Vue d'ensemble de la production d'électricité dans les installations à CCF en Suisse pour l'an 2014 [12]

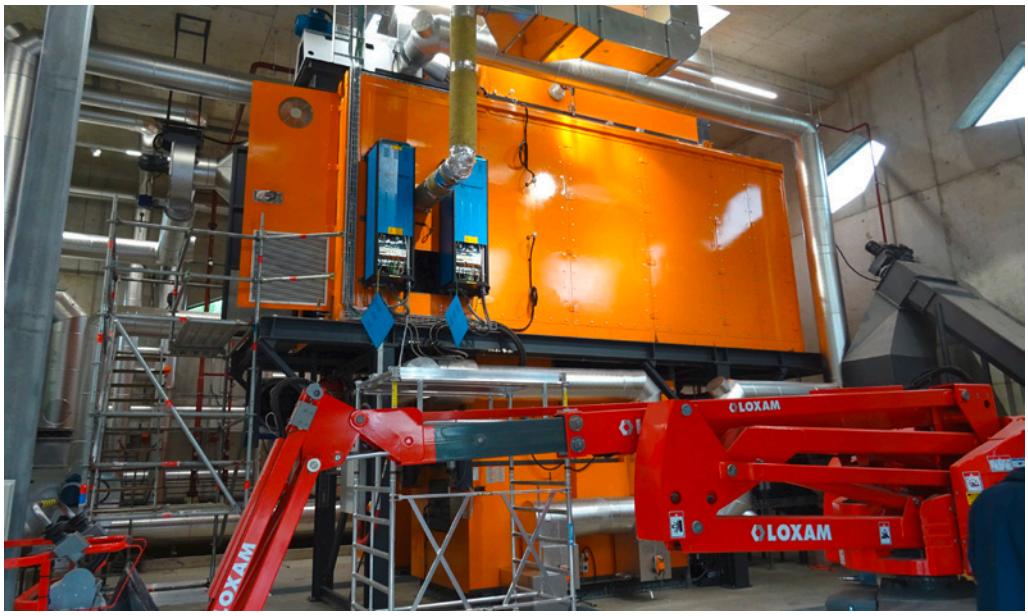
Catégories d'installations	Nombre	Puissance installée en MWe	Production en GWh
Usines d'incinération des ordures ménagères	4	55,8	307,2
Grands CCF en industrie et divers	17	191,3	449,8
Centrales CAD et divers	15	180,7	326,9
Petites centrales CCF	954	146,3	576,3
	990	574,	1660,2



Production thermique de courant en l'an 2014 par source d'énergie. Source : Office fédéral de l'énergie (2015) [12]

Avec une production annuelle de 70 GWh d'électricité (dont 54 GWh injectés dans le réseau), l'usine d'incinération de déchets SAIDEF représente l'installation la plus importante du canton. Elle alimente un réseau de chauffage à distance important avec 60 GWh de chaleur. Une grande partie des stations d'épuration est équipée de CCF. En utilisant le biogaz provenant de l'exploitation, ces CCF couvrent en général une partie importante de leur propre besoin en électricité. Le biogaz agricole est valorisé quant à lui dans une dizaine d'installations. Ces dernières produisent environ 14 GWh d'électricité et 17 GWh de chaleur. Une quinzaine d'installation de biogaz présentes dans les STEP produisent environ 8 GWh. Il existe même deux petites installations de CCF dans des maisons privées à Cormondes, qui fonctionnent au biodiesel.

A fin 2016, il n'existe qu'une seule installation CCF au bois dans le canton de Fribourg. Elle a été inaugurée fin 2016 à Guin dans le cadre du projet de la nouvelle centrale de chauffage à distance. La puissance de l'installation est de 80 – 95 kWe (autoconsommation 15 kWe) et 350 kWth avec un rendement de 15% resp. 62% (c.-à-d. 77% au total). Elle devrait produire environ 640 MWh/an [7].



Le système de couplage chaleur-force à Guin a été mis en service en été 2016. Source : Marcel Gutschner



Le système couplage chaleur-force installé au Mouret sur le territoire de la commune de Ferpicloz est doté d'une puissance électrique de 280 kW et d'une puissance thermique de 344 kW. Il produit environ 2,1 GWh de courant et 2,6 GWh de chaleur par année. La centrale à biogaz valorise les lisiers et fumiers provenant d'une vingtaine d'exploitations agricoles des environs ainsi que des déchets organiques communaux. Source : Marcel Gutschner



Système de couplage chaleur-force d'une puissance de 150 kW électrique sur le site de l'installation de biogaz de la Kompostieranlage Seeland SA, sur le territoire de la commune de Charmey (Lac) / Galmiz. Le méthane d'environ 4'500 tonnes de déchets verts est valorisé dans le système pour produire environ 760 MWh de courant et 730 MWh de chaleur. Source : Marcel Gutschner

Le marché propose également des petites installations de CCF au gaz naturel/biogaz et à pellets de bois pour les petits immeubles ou les maisons individuelles. Avec les «chaudières électrogènes», l'électricité est produite par un mouvement mécanique ou avec des piles à combustible.

Potentiel

Grâce au couplage chaleur-force, le rendement de la transformation de l'énergie chimique en énergie thermique et électrique peut être amélioré. En considérant le nombre de chauffages à combustion qui devraient être remplacés et les ressources disponibles sous forme de bois-énergie et de biogaz, on constate que le potentiel est énorme pour les installations à CCF, surtout dans le cadre d'un système de chauffage à distance.

Pour des raisons de rentabilité économique, une grande installation CCF doit tourner de 3000 à 5000 heures dans l'année, soit un temps plus long que la période de chauffage [10]. On la dimensionne généralement pour couvrir les besoins en chaleur de base, et non pas la totalité, qu'il s'agisse des bâtiments ou d'un réseau de chaleur auxquels elle est raccordée. Cela lui permet de tourner à un régime constant. D'autres sources de chaleur sont donc nécessaires pour couvrir les pics de demande. Des bâtiments avec des besoins importants de chaleur comme des piscines, des hôpitaux et des maisons de retraite sont particulièrement propices à l'installation d'un couplage chaleur-force.

Stratégie

Du point de vue du rendement et du bilan écologique, le couplage chaleur-force peut être une technologie intéressante. Sa rentabilité dépend des conditions-cadres économiques.

Les installations de couplage chaleur-force pourront jouer un rôle important dans le contexte de la stratégie énergétique 2050 car elles permettent de produire du courant durant la période de chauffe, quand il faut également plus d'électricité (p.ex. pour les pompes à chaleur, l'éclairage, etc.). Pour mieux utiliser la chaleur, il convient d'intégrer les CCF dans les chauffages à distance ou les réseaux de chaleur. Cela nécessite une bonne planification énergétique territoriale.

4.3 Pompe à chaleur (PAC)

Evolution et utilisation aujourd'hui

Une pompe à chaleur (PAC) prélève de la chaleur de l'environnement et la transforme en énergie de chauffage. Il est possible d'utiliser la chaleur contenue dans l'air, le sol et l'eau ainsi que des rejets de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude. Selon la source exploitée, différents types de PAC sont employés. Le système air-eau prend la chaleur de l'air et chauffe l'eau du circuit de chauffage central. Il existe également la variante air-air où l'air chauffé est directement soufflé à l'intérieur du bâtiment. Ce système est toutefois peu efficace. Le système sol-eau absorbe la chaleur contenue dans le sol. La PAC eau-eau prend la chaleur d'un lac, d'une rivière ou d'une nappe phréatique. A l'aide d'un échangeur de chaleur, on peut utiliser les rejets de chaleur ou la chaleur contenue dans les eaux usées. Son rendement augmente avec une température initiale plus élevée contenue dans la source d'énergie, de même avec une température modérée de l'eau du circuit de chauffage central.

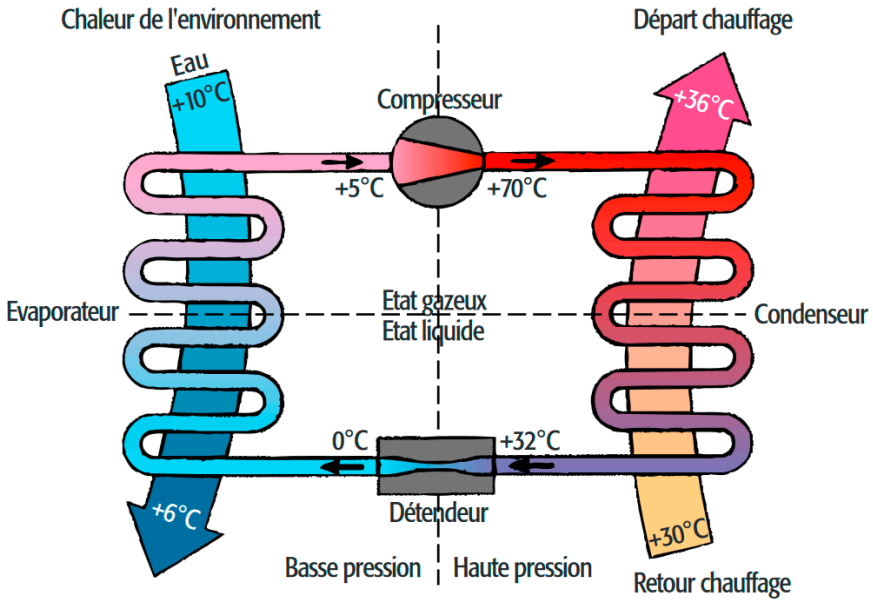


Schéma d'une pompe à chaleur. La chaleur environnementale est emmenée à l'évaporateur de la pompe à chaleur. Ayant un point d'ébullition bas, le fluide frigorigène atteint rapidement l'état gazeux. Dans le compresseur, cette vapeur est comprimée et ainsi chauffée. Ce processus demande un apport d'énergie (électrique en général). Des systèmes utilisant du gaz sont également disponibles mais peu répandus en Suisse. La chaleur de la vapeur ainsi obtenue est transmise dans le condenseur au circuit caloporteur du bâtiment. Finalement, la pression du fluide condensé est diminuée à l'aide d'un détendeur et la boucle peut recommencer. Source : SdE, Plan sectoriel de l'énergie (2002)

L'efficacité d'une pompe à chaleur est mesurée en mettant en rapport sa production de chaleur avec l'apport d'énergie nécessaire. Ce rapport est appelé le « coefficient de performance » (COP). Le COPA, le coefficient de performance annuel, présente une valeur importante pour la pratique. Pour qu'une pompe à chaleur soit efficace [13], on a intérêt à ce que la température de la source de chaleur extérieure soit, au cœur de l'hiver, la plus haute possible. Il convient également d'avoir un bâtiment bien isolé, et équipé si possible d'un chauffage au sol, car la température de l'eau de chauffage peut y être plus basse (35°C) que dans des radiateurs conventionnels (50 à 70°C).

Avec une planification optimale, on peut atteindre les COPA suivantes [5]:

- Air-eau : 3 à 3,5
- Sol-eau : 4 à 4,5
- Eau-eau : 4,5 à 6,5

L'augmentation du prix du pétrole après les chocs pétroliers a impliqué bien des progrès concernant les pompes à chaleur sur des plans économiques et technologiques. Le nombre de pompes à chaleur installées dans le canton de Fribourg a doublé en dix ans, entre 2004 et 2014. A la fin 2014, on comptait plus de 16'000 PAC avec une production d'environ 400 GWh par an pour lesquelles deux tiers de la chaleur est tirée de l'environnement (voir chapitre 2.1.4 Géothermie). On trouve ces PAC dans environ un quart des bâtiments d'habitation et dans la grande majorité des bâtiments neufs. La répartition globale actuelle est estimée à 30% de PAC air-eau et 70% de PAC avec sondes ou registres. Les PAC eau-eau et les autres sources sont plutôt rares.

Potentiel

Les PAC contribuent à remplacer les énergies fossiles et les chauffages électriques. La grande majorité de nouveaux bâtiments, bien isolés et dont la température de l'eau du circuit du chauffage central est relativement basse, peuvent être équipés d'une PAC. Elle permet en effet de tendre à l'efficacité et la fiabilité tout en proposant un bilan économique et écologique favorable. Pour les bâtiments existants, il est fortement conseillé de rénover la bâtisse et le système de chauffage avant d'y mettre une PAC.

Stratégie

Les PAC peuvent être largement utilisées pour le chauffage de nouvelles constructions et pour le remplacement des chauffages à énergie fossile ou électrique. Par rapport aux chauffages à énergie fossile, les PAC ont l'avantage de ne pas dégager de polluants atmosphériques et d'émettre nettement moins de CO_2 (à condition que le courant utilisé pour les PAC soit renouvelable). Par rapport aux chauffages électriques, les PAC avec des COPA comprises entre 3 et 6 permettent de mieux valoriser l'électricité.

Les PAC peuvent être combinées avec des panneaux solaires produisant du courant et/ou de la chaleur solaire. Le tandem PAC + PV (photovoltaïque) trouve de plus en plus d'adeptes (voir les chapitres 2.1.3a Energie solaire thermique et 2.1.3b Energie solaire photovoltaïque). Promettant des rendements élevés, les rejets thermiques et les eaux usées devraient être davantage utilisés. Ces systèmes sont particulièrement intéressants pour des réseaux de chauffage. Les PAC peuvent donc être aussi bien intégrées dans des réseaux de chaleur que dans un bâtiment individuel.

L'utilisation des PAC permet de réduire la consommation de combustibles fossiles et donc les émissions de gaz à effet de serre, à condition que du courant vert soit utilisé. Les PAC émettent du bruit, spécialement les PAC air-eau. Afin de garantir un flux de chaleur suffisant, les sondes géothermiques verticales doivent être placées d'une manière espacée. Ce facteur peut limiter l'installation de sondes dans des zones d'urbanisation dense. Il faut également tenir compte des zones d'inadmissibilité définies pour la protection de certaines nappes phréatiques. Le bruit engendré par les installations doit respecter les valeurs d'exposition selon l'ordonnance fédérale sur la protection contre le bruit (OPB).

4.4 Pile à combustible

Evolution et utilisation aujourd'hui

La pile à combustible a été inventée en 1839, mais ce n'est que dans les années 1960 que cette technologie a été redécouverte pour l'astronautique [14]. Dans la pile à combustible, l'énergie chimique composée d'hydrogène et d'oxygène (ou d'air) est convertie en énergie électrique directement, c'est-à-dire sans combustion. Il s'agit donc d'un dispositif électrochimique qui produit de l'électricité et de l'eau à partir d'un combustible, en l'occurrence l'hydrogène. Le fonctionnement d'une pile à combustible est basé sur le principe inversé de la pile à électrolyte (voir chapitre 6 Stockage d'énergie). L'application visée en premier lieu est la mobilité [3]. En Suisse, il existe actuellement deux stations de ravitaillement en hydrogène (aucune dans le canton de Fribourg). En Europe, on en comptait 120 à la fin 2014. Le prix, le rendement, les questions de sécurité, la durée de vie et le réseau de ravitaillement sont encore des obstacles majeurs qui s'opposent au succès de la pile à combustible. La technologie n'est pas encore arrivée à maturité [3]. La société Swiss Hydrogen active dans le développement de produits et services intégrant la pile à combustible est basée à Fribourg.

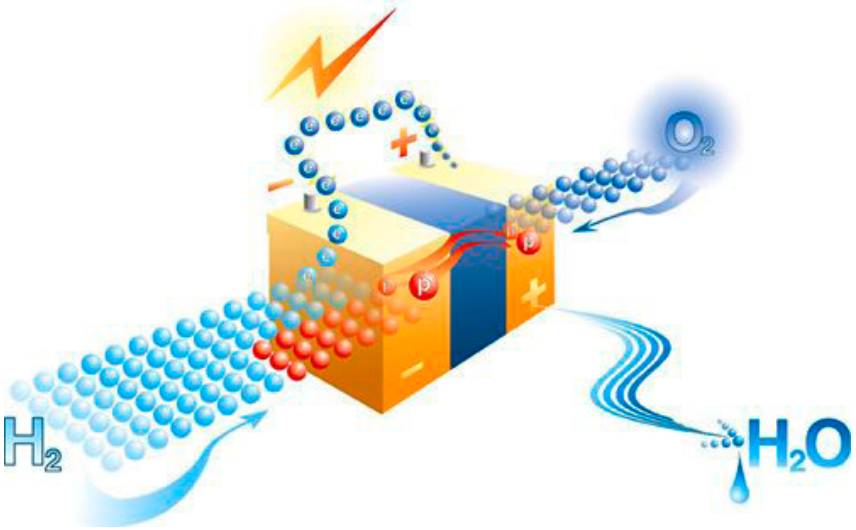


Schéma d'une pile à combustible. Source : http://fr.cdn.v5.futura-sciences.com/builds/images/thumbs/6/622c206a29_schema_pile_zoom_axane.fr.jpg

Potentiel

La pile à combustible ou la voiture à hydrogène pourraient, à moyen terme, jouer un rôle dans la transition énergétique en réduisant massivement les émissions de gaz à effet de serre dans le secteur des transports, ceci pour autant que l'hydrogène soit d'origine renouvelable [3]. Le rendement global – production d'hydrogène à partir du courant puis production du courant à partir de l'hydrogène – se situe en-dessous des 50%.

Stratégie

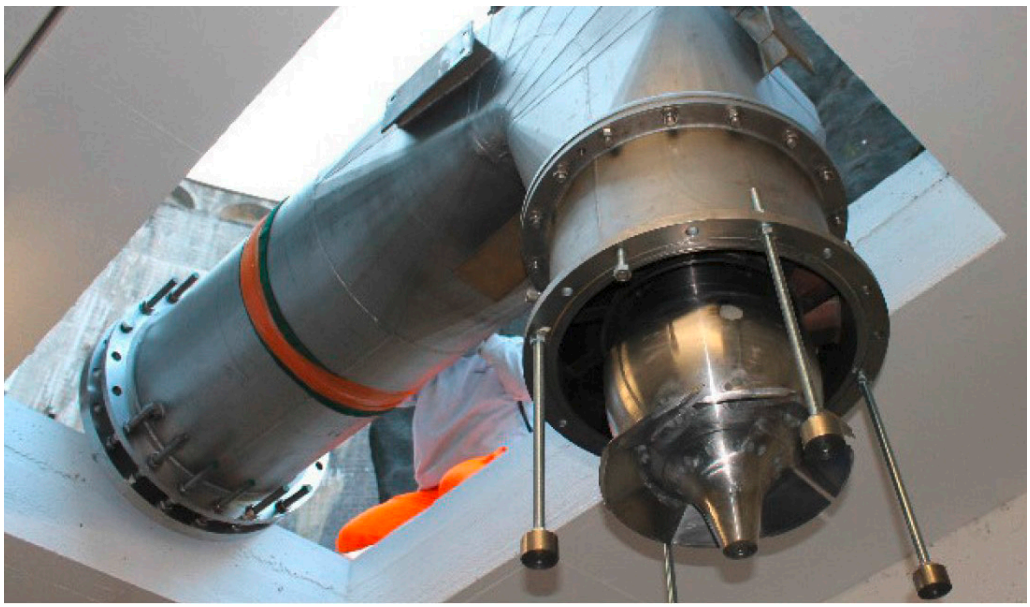
L'utilisation de la pile à combustible à grande échelle se justifie seulement si on utilise des énergies renouvelables pour la production d'hydrogène. Dans ce cas, la pile à combustible émet seulement de l'eau et de la chaleur. Les émissions du secteur de la mobilité pourraient ainsi être réduites de manière considérable. L'impact économique de la pile à combustible est aujourd'hui encore modeste.

4.5 Turbinage

–

Evolution et utilisation aujourd'hui

Une turbine est un dispositif rotatif destiné à utiliser l'énergie cinétique d'un fluide liquide comme l'eau ou le gaz (vapeur, air, gaz de combustion) pour faire tourner un arbre supportant les aubes de la turbine [15]. La turbine peut être couplée à un générateur qui produit du courant. En Suisse, les turbines sont surtout utilisées dans le domaine de l'énergie hydroélectrique. Le canton de Fribourg compte plusieurs centrales. Celles des lacs de Gruyère, de Schiffenen et de Montsalvens sont les plus importantes (voir chapitre 2.1.1 Eau).



Mise en place de la nouvelle centrale de dotation de Montsalvens équipée d'une turbine Diagonale d'une puissance de 211 kW. Source : Groupe E / SuisseEnergie, Newsletter No 24 Petites centrales hydrauliques, 2014

L'application du principe de transformation de l'énergie cinétique en énergie électrique ne se limite pas à l'eau. Les éoliennes permettent de convertir la force du vent en électricité. Une turbine à vapeur permet de produire de l'électricité à partir de la chaleur générée. Ainsi, toutes les énergies capables de produire de la chaleur peuvent être utilisées pour la production thermique d'électricité. C'est ainsi qu'on exploite l'énergie nucléaire, le gaz, le pétrole, le charbon, mais aussi le bois, le biogaz, la géothermie ou les déchets. Dans une turbine à gaz, celui-ci est brûlé par l'apport d'air comprimé et la centrale à cycle combiné. Lors de la détente du gaz d'échappement, une turbine est actionnée. Ce travail mécanique peut ensuite être utilisé pour générer de l'électricité.

Potentiel

Les turbines permettent de valoriser de nombreuses sources d'énergie en les transformant en électricité. Ces systèmes sont utilisés depuis des décennies et sont bien développés. Des améliorations ponctuelles peuvent être réalisées grâce à l'optimisation de la turbine selon son champ d'application.

Stratégie

L'assainissement des installations existantes et le bon choix des turbines pour les nouvelles installations permettent d'augmenter ou d'optimiser la performance technologique, économique et écologique.

4.6 Capteurs thermiques

Evolution et utilisation aujourd'hui

(voir également le chapitre 2.1.3a Solaire thermique)

Les capteurs solaires thermiques absorbent l'énergie solaire et la transmettent à un fluide caloporteur. Différents types de capteurs existent : les capteurs plans, les capteurs à tubes sous vide et les capteurs non-vitrés. 90% des capteurs solaires thermiques installés en Suisse sont des capteurs plans [5]. Les capteurs à tubes sous vide sont plus puissants mais ils sont aussi plus chers.

Les premiers prototypes de capteurs plans ont été créés au 18ème siècle mais leur commercialisation n'a démarré qu'après les chocs pétroliers, dans les années 1970 [7]. Dans le canton de Fribourg, plus de 30'000 m^2 de capteurs thermiques (surtout plans vitrés) étaient installés en 2015. Ils produisent 16 GWh/an [6].

Tableau : Caractéristiques des principaux types de capteurs solaires thermiques. Source : Swissolar [16]

Capteurs plans vitrés	Capteurs plans non-vitrés (absorbeurs)	Capteurs à tubes sous vide
› Idéal pour le chauffage de l'eau entre 30 °C et 60 °C.	› Absorbeur métallique (avec revêtement sélectif) ou absorbeur en plastique.	› Idéal pour la préparation de l'eau chaude jusqu'à 100 °C.
› Indiqué aussi bien pour le chauffage de l'eau que pour le chauffage d'appoint.	› Idéal pour le chauffage de l'eau entre 10 °C et 40 °C au-dessus de la température extérieure.	› Indiqué aussi bien pour des procédés techniques que pour le chauffage de l'eau et le chauffage d'appoint.
› Les capteurs plans vitrés sont très répandus dans les bâtiments d'habitation, industriels et de services.	› Indiqué pour le chauffage de piscine et le préchauffage de l'eau.	› L'absorbeur est placé sous vide dans un tube de verre. Le vide constitue un puissant isolant thermique, aussi on n'observe que peu de déperditions thermiques aux températures élevées.
› Ils peuvent être intégrés à des toits inclinés et des façades ou encore érigés sur des toits plats ou au sol.	› L'utilisation des capteurs non vitrés se limite à des températures relativement faibles. On observe des déperditions thermiques importantes et une diminution du rendement lors de l'utilisation à des températures plus élevées, car il n'y a pas de vitrage et d'isolation thermique.	› Les capteurs à tubes sous vide fournissent les rendements annuels les plus élevés.
› La durée de vie est de plus de 20 ans.	› Le montage se fait sur des toits plats ou inclinés. Une protection contre le vent augmente l'efficacité.	› Idéal si les capteurs ne sont pas orientés de façon optimale (par ex. en façade), car les absorbeurs peuvent être orientés en direction du soleil à l'intérieur même des tubes.
› Apport énergétique annuel moyen par m² de capteur en fonction du type d'installation et de l'emplacement (kWh/an): › Installation solaire compacte pour le chauffage de l'eau 330 à 540 kWh › Préchauffage de l'eau (immeuble locatif) : 420 à 590 kWh › Chauffage de l'eau et chauffage d'appoint : 250 à 310 kWh	› La durée de vie avoisine les 30 ans.	› Il faut prêter attention à la résistance du verre dans les zones exposées à la grêle.
	› Les installations solaires à capteurs non vitrés fournissent annuellement de 250 kWh/m² à 700 kWh/m² selon les conditions.	› Durée de vie : 20 ans.
		› Des installations de chauffage de l'eau et d'appoint de chauffage équipées de capteurs à tubes sous vide fournissent un rendement 1,2 à 1,4x plus élevé qu'avec des capteurs plans.



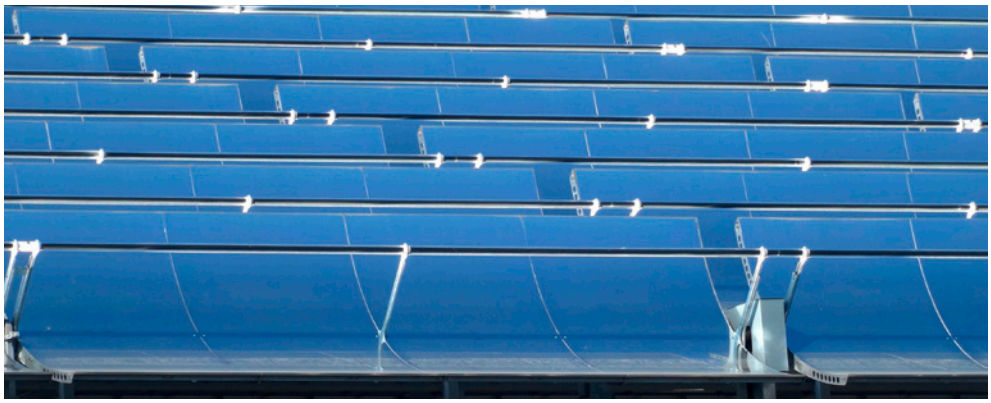
Capteurs plans vitrés installés à Belfaux. Source : Marcel Gutschner



Capteurs avec absorbeur en plastique, ici à Alterswil, fréquemment utilisé pour chauffer l’eau des piscines ouvertes. Source : Marcel Gutschner



Capteurs à tubes sous vide à Garmiswil (Guin). Source : Marcel Gutschner



Capteurs à concentration installés sur le toit d'une fabrique de produits laitiers à Villars-sur-Glâne. Source : Marcel Gutschner

Parmi les différents capteurs solaires, le capteur à concentration se distingue. Il possède un système optique qui concentre le rayonnement solaire et peut atteindre des températures élevées intéressantes pour les processus industriels. Ce système a pourtant un désavantage : il est incapable d'exploiter le rayonnement solaire diffus qui représente une bonne partie du rayonnement total dans le climat suisse.

Potentiel

La technologie qui est celle des capteurs thermiques s'avère très propre, et capable de produire de la chaleur nécessaire pour le chauffage de l'eau sanitaire et le chauffage confort du bâtiment. Elle permet également de produire la chaleur utilisée dans les processus industriels. Cette technologie est de type simple, efficace, propre, mature et elle peut produire de la chaleur sur place partout où le soleil brille, en couvrant une partie ou la totalité des besoins en chaleur dans un bâtiment. Les capteurs solaires thermiques sont actuellement la meilleure solution pour la production d'eau chaude. Les installations de capteurs à concentration peuvent produire de la chaleur de processus utilisée de plus en plus en Suisse. Ce créneau, même limité, est intéressant. Selon le type de capteur, sa production nécessite beaucoup de matériaux et les défis liés au stockage d'eau chaude (voir chapitre 6. Stockage d'eau chaude) font que les capteurs solaires thermiques se trouvent de plus en plus dans une situation de concurrence avec les capteurs solaires photovoltaïques (voir chapitre Energie solaire photovoltaïque 2.1.3b).

Stratégie

La technologie des capteurs solaires thermiques atteint des rendements intéressants autour de 50% et les capteurs solaires thermiques peuvent être employés principalement pour la production d'eau chaude. Intégrés dans les systèmes énergétiques et constructions, de même que dans les rénovations, les installations solaires thermiques devraient être beaucoup plus compétitives. Si les capteurs solaires thermiques doivent être amenés à jouer un rôle encore plus important dans le futur approvisionnement énergétique, il est alors crucial de progresser dans la recherche de solutions de stockage d'eau chaude (ou autre) plus performantes.

4.7 Capteurs photovoltaïques

Evolution et utilisation aujourd'hui

L'effet photovoltaïque, le principe de base de la technologie, a été découvert au 19ème siècle. A partir des années 1950, les premiers capteurs photovoltaïques ont été développés pour les applications spatiales puis, après les chocs pétroliers, pour les applications terrestres. Après une phase de croissance plutôt modérée et grâce à des avancées technologiques principalement dans l'industrialisation de production de masse des cellules et modules photovoltaïques, le nombre d'installations a fortement augmenté en Suisse ces dernières années [2].

Les cellules solaires [18] sont composées de semi-conducteurs qui transforment la lumière en électricité. L'électricité est collectée par des contacts métalliques. Le courant continu ainsi produit peut être transformé en courant alternatif au moyen d'un onduleur et ainsi directement injecté dans le réseau d'électricité public. Dans la plupart des cas, les semi-conducteurs sont composés de silicium, l'élément le plus fréquent sur la planète après l'oxygène. Les cellules, reliées en série, constituent un module solaire. Protégés des intempéries par une enveloppe de verre et de plastique, les modules constituent les éléments de base pour les installations. Le rendement des modules dépend de la technologie utilisée pour la fabrication des cellules et va de 5 à 22% actuellement. Les modules photovoltaïques les plus vendus en Suisse permettent de produire entre 120 et 180 kWh par an et m^2.



Capteurs photovoltaïques cristallines. Source : Marcel Gutschner



Capteurs photovoltaïques à couche mince sur le toit d'une église à Bésingue. Source : Sika Sarnafil

Potentiel

Pour le futur, on peut s'attendre à une augmentation du rendement des modules photovoltaïques et une baisse des coûts de production. La fabrication est de plus en plus automatisée. Parallèlement, la technologie photovoltaïque s'avère mieux intégrée en tant qu'élément à part entière d'un système énergétique et/ou d'un matériau de construction. Elle peut également être intégrée dans l'infrastructure même. Les capteurs photovoltaïques trouveront donc à l'avenir de nombreuses applications dans l'environnement bâti et dans les applications mobiles.



Les capteurs photovoltaïques commencent à fleurir dans toutes les régions du canton de Fribourg, ici : installations à Menziswil (Tavel). Source : Marcel Gutschner

Stratégie

Le photovoltaïque devrait jouer un rôle important pour le futur système d'approvisionnement en électricité. Afin de soutenir et guider ce développement, il est cependant nécessaire de relever plusieurs défis. Parmi ceux-ci, il faudra d'une part continuer à augmenter le rendement technologique et économique des différents concepts et des cellules photovoltaïques. D'autre part, il faudra bien intégrer le photovoltaïque dans l'environnement bâti et dans le système d'approvisionnement énergétique ainsi que dans le réseau électrique intelligent pour bien utiliser et stocker le courant solaire lorsqu'il est produit en grande quantité sous un ciel radieux (voir les chapitres 2.1.3b Solaire énergie photovoltaïque et 5.1 Réseau électrique).

Bibliographie

- [1] Illi, M. Dictionnaire historique de la Suisse. Chauffage, 2016. http://www.hls-dhs-dss.ch/textes/f/F16231.php
- [2] OFEN, Statistique globale suisse de l'énergie 2015, juillet 2016
- [3] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique : 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015
- [4] OFS, Bâtiments et logements - Chiffres-clés, 2016
- [5] Eicher, H.; et al. Energies renouvelables - Un approvisionnement respectueux de l'environnement. Muttenz: Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau am Bau, 2014
- [6] SdE, Stratégie énergétique - Rapport 2010 – 2015, 2016
- [7] http://www.ee-news.ch/de/article/33271/schmid-energy-solutions-eine-turbine-zur-stromerzeugung-aus-holz
- [8] Swissolar, Fiche d'information: Electricité solaire, mars 2016
- [9]http://lcsm.epfl.ch/webdav/site/lcsm/shared/support%20cours/Systemes%20Mecaniques/Poly%20Systemes%20mecaniques.pdf
- [10] http://www.energie-environnement.ch/maison/renovation-et-chauffage/installations/couplage-chaleur-force-ccf
- [11]http://www.maisondesenergiesrenouvelables.com/iso_album/schema_principe_chaudiere.png
- [12] Office fédéral de l'énergie, Thermische Stromproduktion inklusive Wärmekraftkopplung (WKK) in der Schweiz, Ausgabe 2014, September 2015
- [13] http://www.energie-environnement.ch/maison/renovation-et-chauffage/installations/generalites-sur-les-pac
- [14] http://www.h-tec.com/fr/education/technologie/pile-a-combustible/
- [15] https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine
- [16] http://www.swissolar.ch/fr/lenergie-solaire/solaire-thermique/technologie/
- [17] http://www.swissolar.ch/fr/lenergie-solaire/faits-et-chiffres/industrie-solaire-suisse/
- [18] http://www.swissolar.ch/fr/lenergie-solaire/photovoltaique/technologie/





5. Transport d'énergie

5. Transport d'énergie

Si l'énergie n'est pas produite sur le lieu de sa consommation, elle doit être transportée par des véhicules ou par des réseaux et conduites. Ce chapitre focalise les réseaux d'énergie les plus importants dans le canton de Fribourg : le réseau électrique, le réseau de gaz et les réseaux de chaleur. Ils ont en commun le lien qu'ils réalisent entre la production et la consommation de l'énergie.

5.1 Réseau électrique

Evolution et utilisation aujourd'hui

Le réseau électrique fournit l'électricité aux consommateurs. Il est constitué de lignes à très haute et haute tension, moyenne tension et basse tension. Ce système est comparable au réseau routier : les lignes à haute tension correspondent aux autoroutes, les lignes à moyenne tension aux routes cantonales et les lignes à basse tension aux routes communales. Le réseau suisse d'électricité [7] se compose de plus de 250 000 kilomètres de lignes au total. Il combine un réseau de transport et un réseau de distribution. Avant d'arriver au consommateur, la tension électrique est progressivement réduite de 380 000 volts (380 kV) ou 220 000 volts (220 kV) – la très haute tension du réseau de transport – à 230 volts chez les particuliers et dans les entreprises.

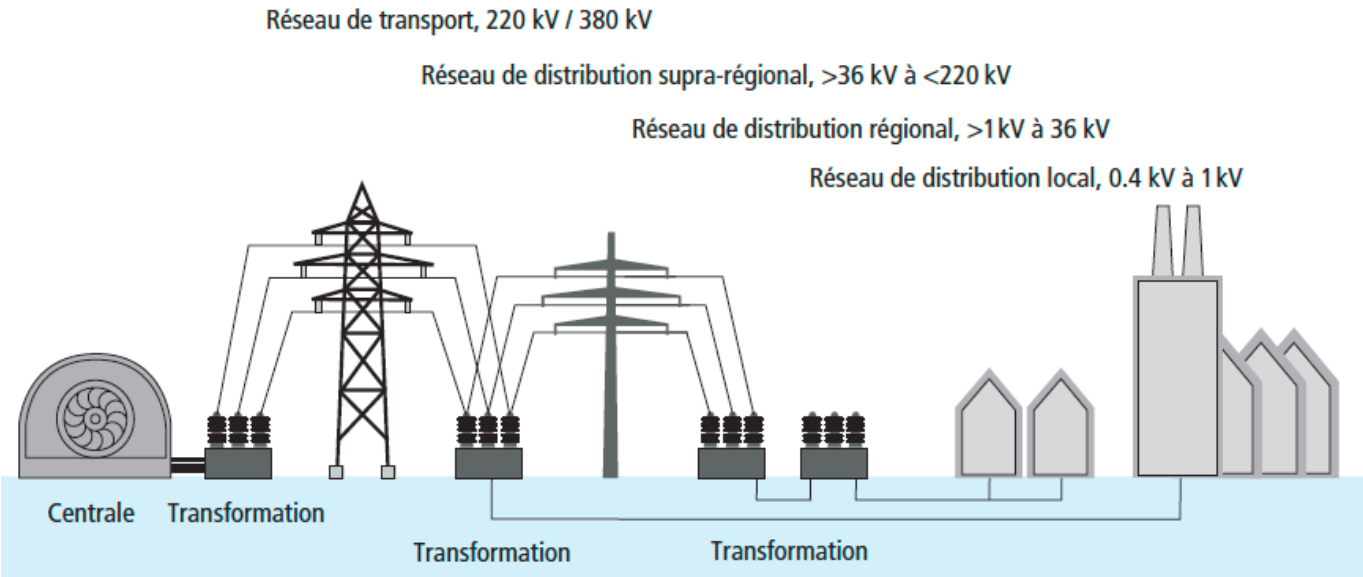
Le réseau suisse d'électricité comporte sept niveaux de réseau. On trouve, outre les réseaux basse tension, moyenne tension, haute tension et très haute tension, trois niveaux de transformation. Les différents niveaux du réseau de transport et de distribution sont caractérisés comme suit :

Très haute tension dans le réseau de transport (niveau 1) : ce réseau accueille le courant produit par les grandes centrales électriques ou les pays voisins. Le courant est transporté avec une tension de 380 kV ou 220 kV à proximité des consommateurs. Le réseau de transport suisse est la propriété de Swissgrid (société nationale responsable pour l'exploitation, la sécurité et du développement du réseau à très haute tension).

Haute tension dans le réseau de distribution suprarégional (niveau 3) : ce réseau distribue le courant au niveau suprarégional avec une tension de 36 à 220 kV à des exploitants de réseaux de distribution cantonaux, régionaux et municipaux ainsi qu'à de grandes installations industrielles.

Moyenne tension dans le réseau de distribution régional (niveau 5) : ce réseau est utilisé pour la distribution régionale de courant à moyenne tension allant de 1 à 36 kV. Des réseaux locaux de distribution approvisionnent certains quartiers des villes ou des villages ainsi que des petites et moyennes exploitations industrielles.

Basse tension dans le réseau de distribution local (niveau 7) à < 1 kV : ce réseau alimente les foyers, les exploitations agricoles et les commerces.



Les niveaux du réseau électrique suisse. Source : AES (2011)

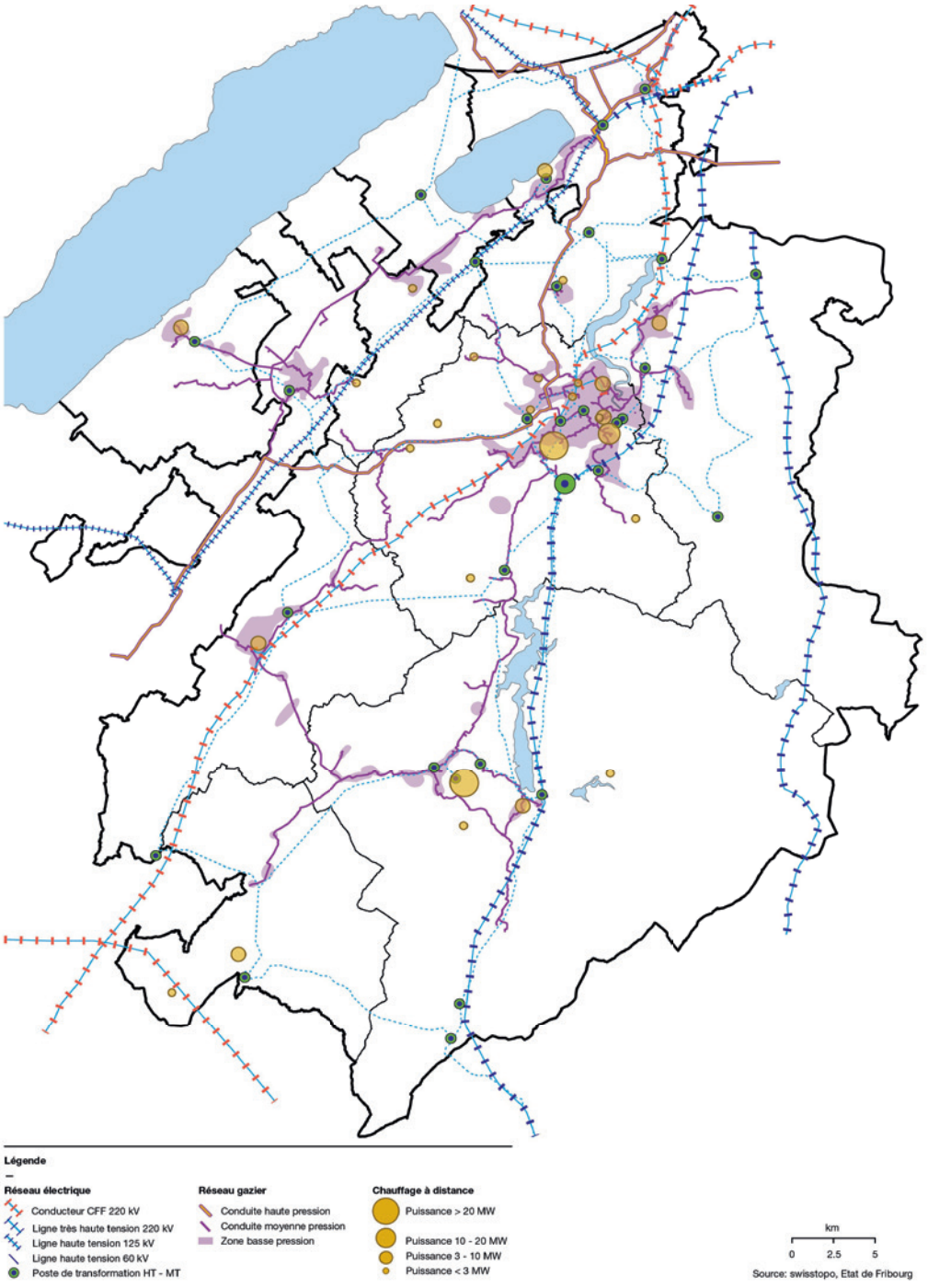
L'établissement et l'exploitation des installations électriques à courant fort et à courant faible sont soumis à la haute surveillance de la Confédération. La surveillance technique incombe à l'Inspection fédérale des installations à courant fort (ESTI).

Ces réseaux ont commencé à se développer à la fin du 19ème siècle. Ils sont aménagés pour une production d'électricité centralisée par des centrales hydroélectriques, puis nucléaires. Actuellement, le stockage du surplus de la production électrique se fait principalement par des grandes centrales de pompage-turbinage. Ces installations participent ainsi à la stabilisation du réseau. La distribution depuis les centrales jusqu'au consommateur est organisée par le système hiérarchique présenté ci-dessus. La production d'électricité est constamment adaptée à la consommation afin de garantir que la quantité d'énergie disponible sur le réseau soit en permanence égale à celle consommée. Les différences à court terme entre l'offre et la demande sont quant à elles compensées via l'énergie de réglage qui désigne la compensation des variations imprévues entre l'injection et le prélèvement d'électricité par le biais de l'augmentation ou de la diminution à court terme de la puissance des centrales [1].

Pour assurer l'approvisionnement en électricité, le canton de Fribourg bénéficie de plusieurs milliers de kilomètres de lignes électriques. Le réseau s'est fortement développé ces dernières années : le nombre de kilomètres de lignes à basse tension appartenant au Groupe E a crû de 4'785 à 5'932 kilomètres entre 2003 et 2013 [2]. La plus grande partie des lignes à basse et moyenne tension sont enterrées.

Tableau: le réseau électrique sur le territoire du canton de Fribourg

	Haute tension [km]	Moyenne tension [km]	Basse tension [km]
Groupe E [2]	457	1718	5932
Gruyère Energie	0	171	471
SI Morat	0	29	111





Le canton de Fribourg compte plusieurs milliers de kilomètres de lignes électriques pour distribuer le courant vers les utilisateurs, ici à Galmis (Guin). Source : Marcel Gutschner

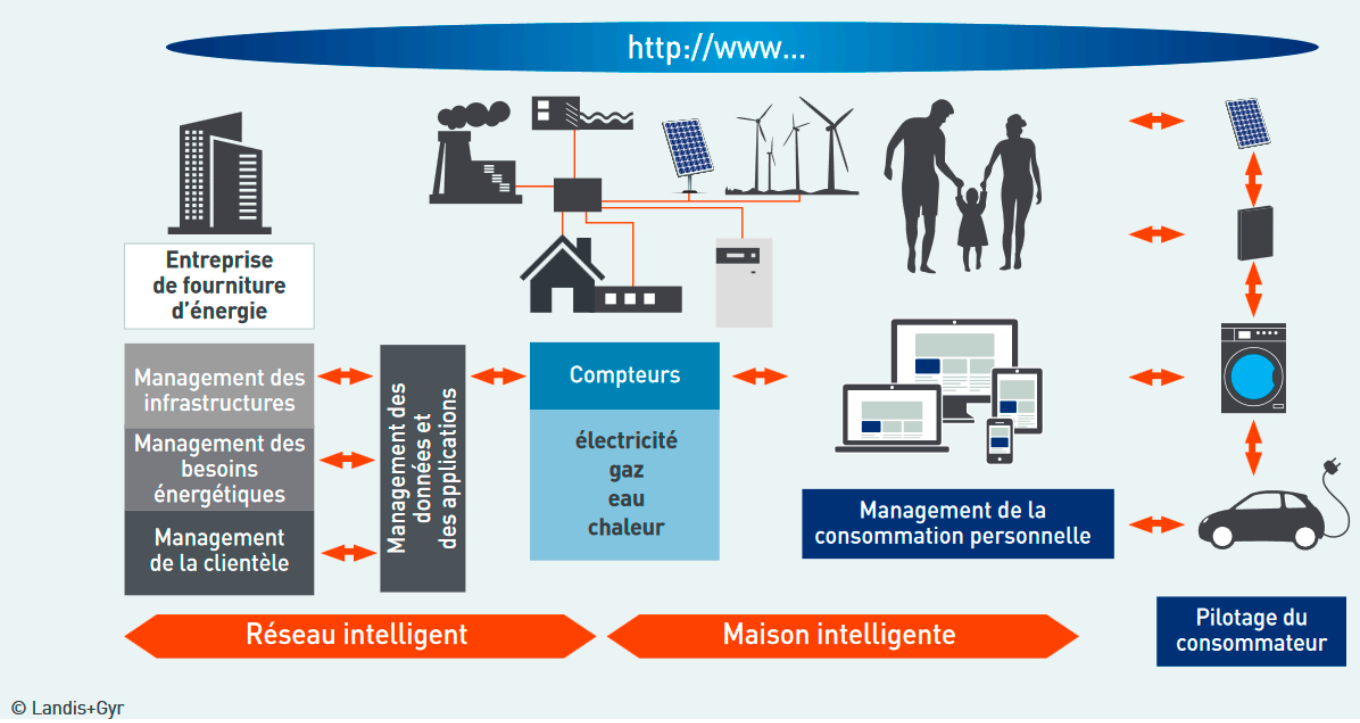


Station de transformation à Chésalles (Marly). Source : Marcel Gutschner

Avec la transition énergétique, les réseaux électriques se trouvent face à de grands défis : L'électricité nucléaire sera remplacée principalement par la production d'électricité renouvelable. Cette modification entraîne une production d'électricité décentralisée et variable. Le réseau électrique actuel doit être adapté à ce changement. La mise en place des réseaux intelligents permettra de garantir la sécurité d'approvisionnement, de réduire les coûts du réseau électrique, d'intégrer les énergies renouvelables et d'améliorer l'efficacité de l'ensemble du système.

Potentiel

Avec l'augmentation de la part d'électricité produite de manière renouvelable et décentralisée, le réseau électrique doit devenir « intelligent » (smart grid). Le flux du courant n'est plus mono mais multi-directionnel ce qui demande une gestion bien différente du réseau qui doit être également assaini, restructuré et renforcé. Ce type de réseau permet par conséquent de passer d'un système de production dépendant de la demande à un système de consommation basé sur l'offre, qui devra à l'avenir s'adapter aux variations aléatoires notamment de la production d'énergies éoliennes et solaire [1].



Le système énergétique de demain sera intelligent. Le compteur électrique est au cœur des réseaux énergétiques du futur. Il met le consommateur en relation avec le fournisseur d'énergie, autorisant ainsi le pilotage de la consommation d'énergie. Source : AEE SUISSE (2013) [5]

Le terme de « réseau intelligent » [4] est utilisé pour caractériser un système électrique qui garantit intelligemment, en recourant aux technologies de comptage et le plus souvent aux technologies d'information et de communication, l'échange d'énergie électrique entre des sources de divers types et des consommateurs caractérisés par des besoins différents. Un élément principal en sont les « smart meters » (compteurs intelligents installés auprès des consommateurs) qui permettront d'optimiser la consommation et l'adapteront à l'électricité disponible.

Tableau : Caractéristiques du système traditionnel et du réseau intelligent [1]

Système traditionnel	Réseau intelligent (smart grid)
> Structure hiérarchisée	> Nombreux composants de différentes tailles
> Centrales généralement de grande taille	> Intégration d'installations de production décentralisées
> Nombre peu élevé de grandes installations centrales de stockage de l'énergie (centrales de pompage-turbinage)	> Intégration de nombreuses petites installations de stockage décentralisées (p.ex. accumulateurs, véhicules électriques, centrales pompage-turbinage)
> Utilisation non généralisée des technologies de l'information et de la communication (TIC)	> Composants plus intelligents
	> Utilisation constante des TIC jusqu'aux consommateurs finaux

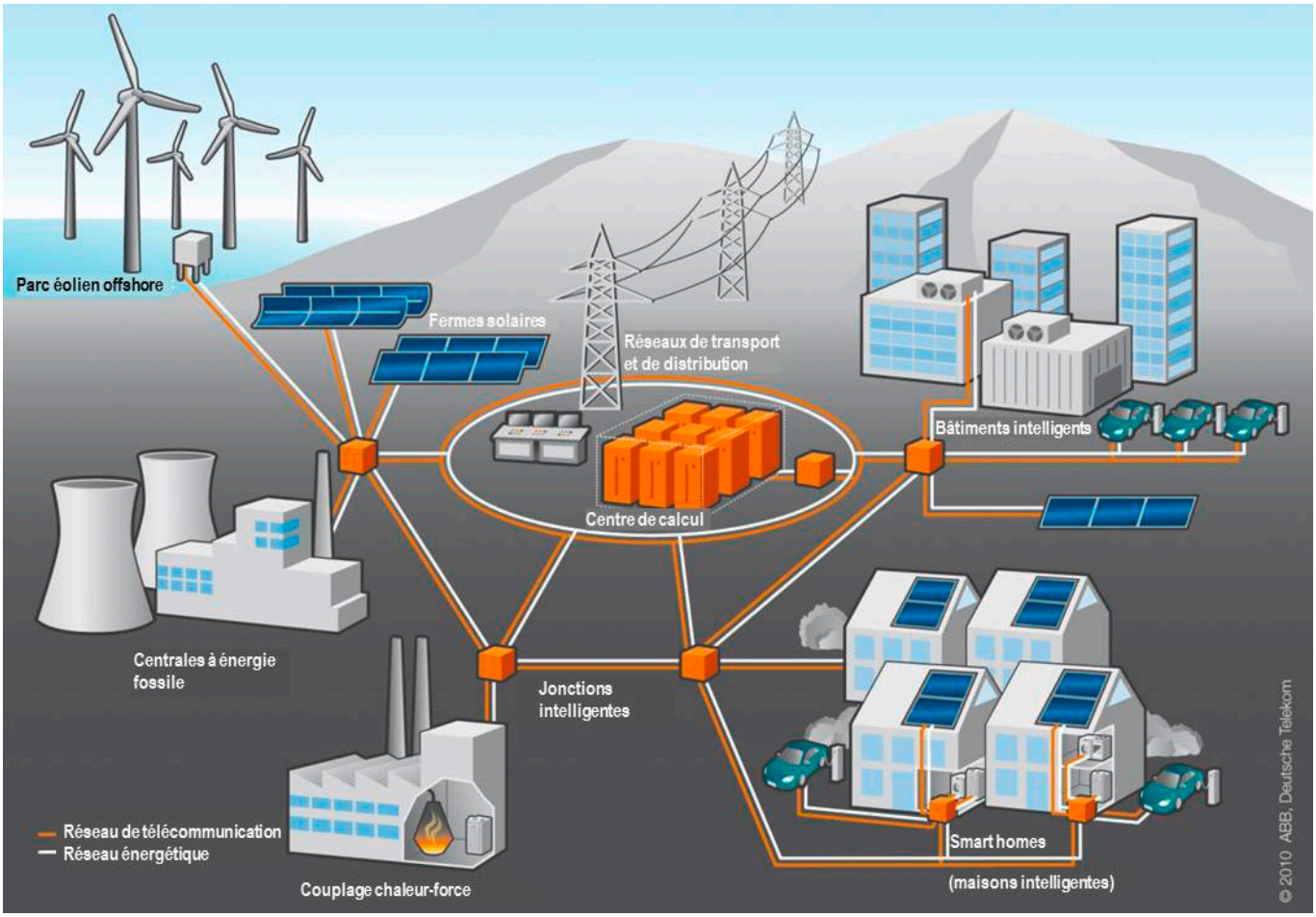


Le futur système d'approvisionnement en électricité devra tenir compte de l'augmentation de la production d'électricité renouvelable et d'un réseau intelligent apte à gérer la production locale du courant, ici : ferme à Römerswil (St-Ours / St.Ursen). Source : Marcel Gutschner

Plan sectoriel de l'énergie

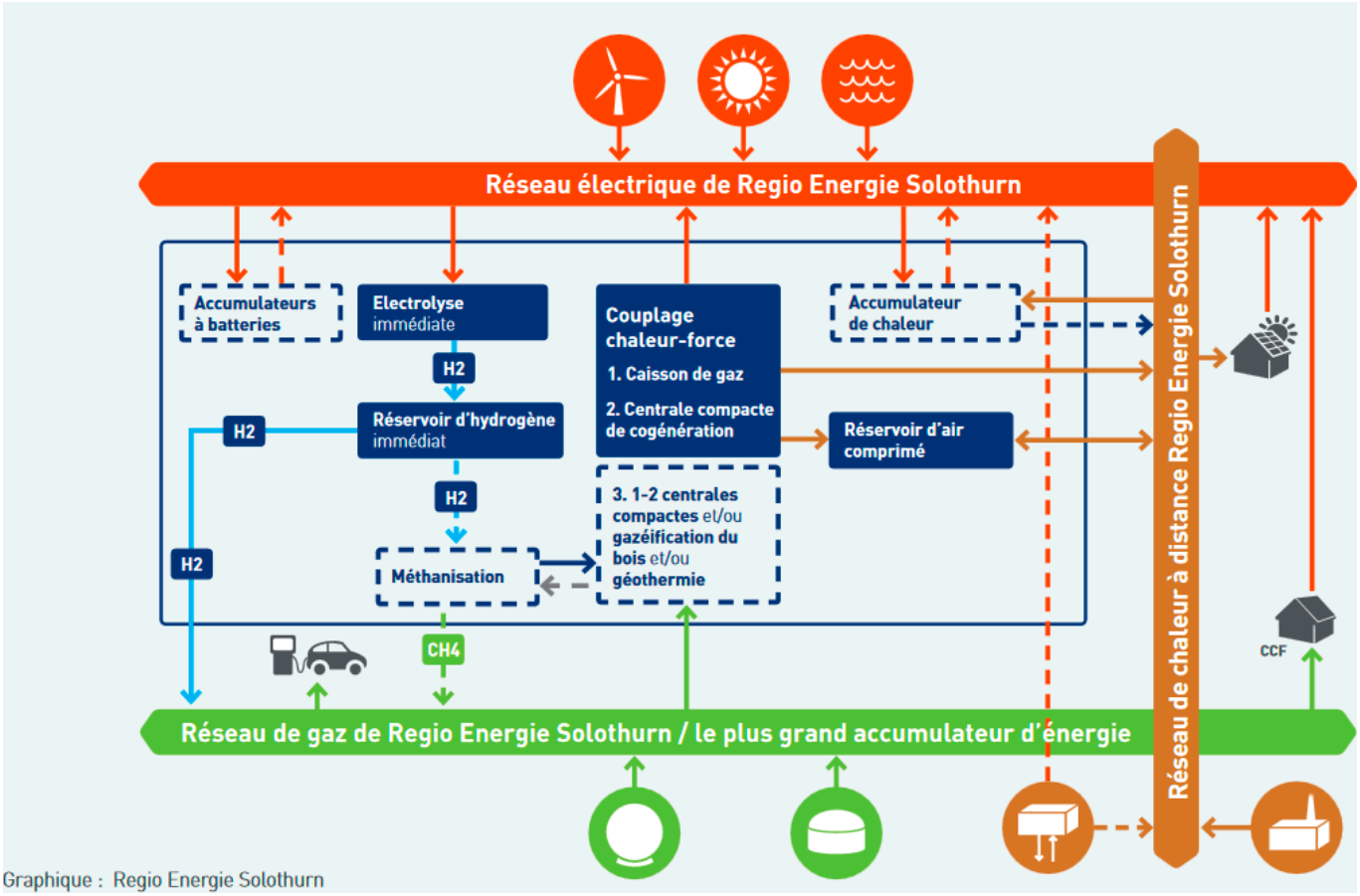
5. Transport d’énergie

–



Réseau intelligent. Source : ABB

Sous le terme de « convergence des réseaux », plusieurs projets-pilote sondent le potentiel à l’interconnexion des réseaux électrique, de gaz et de chaleur.



Les différents réseaux de Regio Energie Solothurn : électricité (orange), chaleur à distance (rouge) et gaz (vert). Ces trois réseaux sont reliés par différentes installations de production et par des accumulateurs d'énergie. Source : AEE SUISSE (2013) [5]

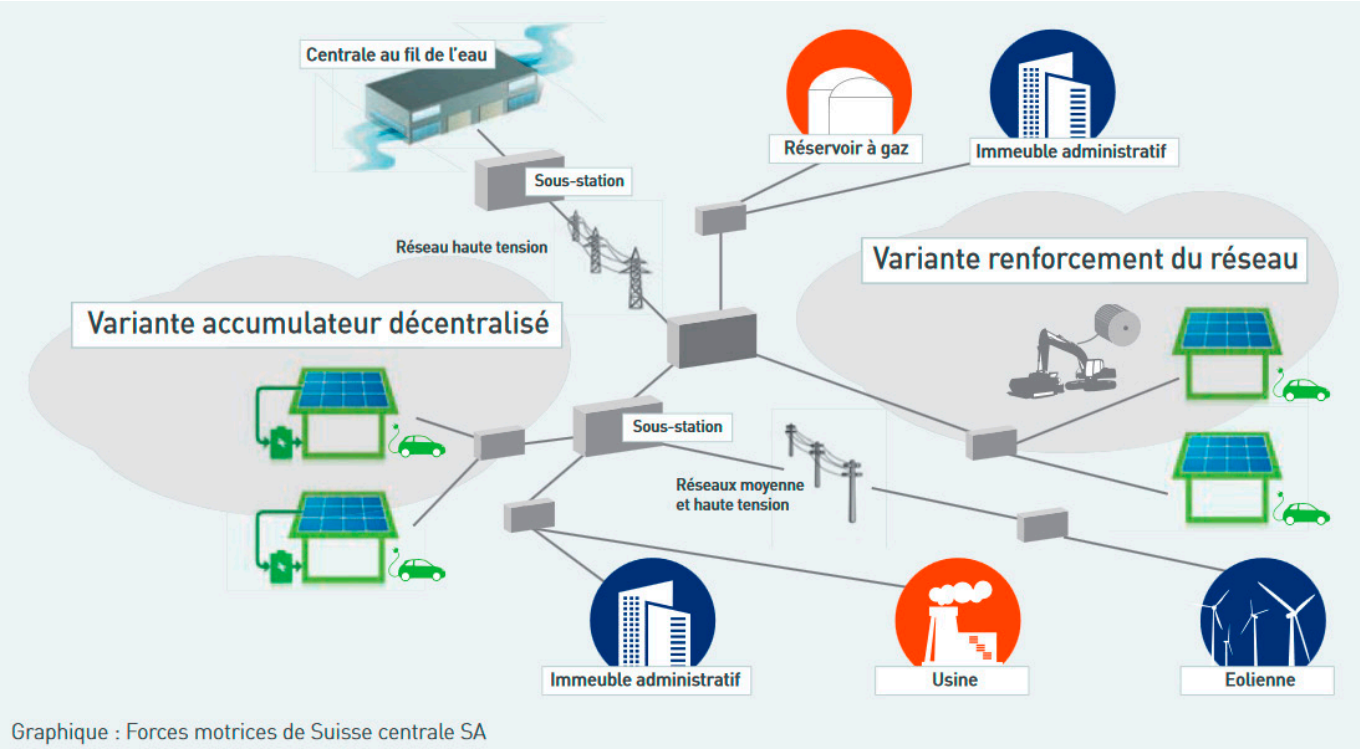
Stratégie

Le futur développement du réseau électrique est un défi crucial. Il est défini par les autorités et les entreprises d'approvisionnement en énergie électrique. La planification et la construction de lignes électriques à haute tension sont de la compétence de la Confédération. Les cantons sont consultés et appelés à émettre un préavis en relation avec l'application des dispositions légales spécifiques pour le territoire cantonal et font respecter les réserves de surface nécessaires pour les projets de réseaux stratégiques.

La planification des lignes de transport d'électricité de la Confédération coordonne et montre les projets d'extension et de renforcement en cours au niveau supra-régional. A l'échelle locale, les entreprises d'approvisionnement en énergie électrique comme le Groupe E connectent les nouveaux consommateurs finaux au réseau. A cause du développement démographique et économique, le réseau électrique a grandi et grandira de plusieurs dizaines de kilomètres par année.

Dans le but de pouvoir augmenter la part de courant renouvelable de manière considérable et durable, le réseau électrique doit être renforcé et rendu intelligent (gestion de la consommation, stockage, etc.). Cet objectif s'inscrit dans le cadre posé par la loi fédérale sur l'approvisionnement en électricité (LApEl)

et la loi fédérale concernant les installations électriques à faible et à fort courant (Loi sur les installations électriques, LIE). La loi cantonale sur l'approvisionnement en énergie électrique (LAEE) régit également ce domaine. Elle a pour but de garantir l'approvisionnement du consommateur final en énergie électrique, tâche considérée comme un service public, et s'appuie notamment sur le règlement du 25 novembre 2014 sur l'approvisionnement en énergie électrique (RAEE) qui s'applique aux entreprises d'approvisionnement en énergie électrique desservant le territoire cantonal (y compris les aires de dessertes).



Deux approches pour remédier à une surcharge du réseau : installer des accumulateurs décentralisés et/ou renforcer le réseau. Source : AEE SUISSE (2013) [7]

Considérant que les adaptations à appliquer aux réseaux électriques et que les procédures qui s'y rapportent prennent un temps parfois considérable, le Conseil fédéral est en train de modifier la loi sur les installations électriques et la loi sur l'approvisionnement en électricité. La nouvelle Stratégie Réseaux électrique de la Confédération [8] vise à optimiser le cadre réglementaire en vue d'une amélioration et d'un développement des réseaux électriques suisses. Les quatre aspects essentiels de la Stratégie Réseaux électriques sont :

- 1. Règles d'optimisation et de développement des réseaux électriques suisses : les gestionnaires de réseau et les autorités sont tenus de coordonner leurs actions. Des principes de planification sont par ailleurs définis pour les gestionnaires de réseau. Le principe ORARE (Optimisation du Réseau avant Renforcement avant Extension) est ancré dans la loi. Il accorde la priorité à l'optimisation du réseau grâce à des solutions de réseau intelligentes plutôt qu'à son renforcement ou à son extension.

- 2. Optimisation des procédures d'autorisation pour les projets de lignes : la durée de la procédure concernant les projets de lignes du niveau de réseau 1 doit passer de 5 à 13 ans en moyenne actuellement à 4 à 8 ans. Des règles de coordination territoriale sont fixées.

- 3. Critères et règles pour le processus de choix entre lignes souterraines et lignes aériennes : les lignes électriques des réseaux de distribution (niveaux de réseau 3 à 7) doivent en principe être enfouies, pour autant qu'elles ne dépassent pas un facteur de surcoût donné.

- 4. Amélioration de l'acceptation et de la transparence des projets de lignes : l'Office fédéral de l'énergie informe le grand public du développement du réseau et des possibilités de participation à la procédure. Les cantons doivent informer des aspects régionaux importants du développement du réseau sur leur territoire. La société nationale du réseau de transport (Swissgrid) informe de la nécessité et de la justification des projets au niveau du réseau de transport ainsi que de leur avancement.

5.2 Réseau de gaz

Evolution et utilisation aujourd'hui

Le réseau de gaz européen s'étend sur tout le continent ainsi qu'à l'Afrique du Nord et à la Sibérie. Suite à la réalisation d'une conduite de gaz dans les années 1970, reliant les Pays-Bas à l'Italie, le transit international de gaz passe par la Suisse, la raccordant à ce réseau. Ce dernier a commencé à se développer à partir de 1980 dans le canton de Fribourg suite à la construction du gazeoduc allant d'Orbe à Mülchi.

Dans les conduites nationales et internationales, la pression est plus élevée (haute pression entre 50 et 70 bar). L'autorité de surveillance pour le réseau national est l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et la surveillance technique incombe à l'Inspection fédérale des pipelines (IFP) pour les conduites avec une pression supérieures à 5 bar. Les réseaux de distribution régionaux et locaux sont composés de conduites à moyenne pression de 1 à 5 bar et basse pression de moins de 1 bar. La compétence pour les réseaux de gaz avec une pression inférieure à 5 bar est donnée aux cantons. Dans le canton de Fribourg, deux sociétés - Groupe E Celsius et Holdigaz - assurent la distribution du gaz naturel.

Tandis que le réseau de distribution de gaz naturel à haute pression s'étend toujours sur près de 48 kilomètres sur le territoire du canton de Fribourg, la longueur du réseau à moyenne et basse pression a triplé depuis 2003, de 166 kilomètres [2] à plus de 500 kilomètres en 2015.

Plan sectoriel de l'énergie

5. Transport d’énergie

–



Potentiel

Le réseau de gaz dessert essentiellement les bâtiments (chaleur confort), l'industrie (processus industriels, stations de remplissage notamment de carburant pour les véhicules et centrales de couplage chaleur-force (voir chapitre 2.31c Gaz). En Suisse, un nombre croissant de centrales injecte du biogaz dans le réseau de gaz. Parmi ces centrales figure aussi la STEP de la Ville de Fribourg. La part du biogaz dans le gaz distribué est bien en-dessous de 1% (état 2015). Le gaz naturel est considéré comme une source d'énergie transitoire, puisqu'il s'agit d'une source d'énergie fossile importée et en forte teneur en CO_2.

La stratégie énergétique 2050 de la Confédération prévoit que la part du gaz restera environ constante (13% pour la production de chaleur et d'électricité), mais que la consommation absolue diminuera d'environ 40% comme le total de la consommation globale du pays [3]. La part du gaz naturel est de 11% de l'énergie finale dans le canton de Fribourg (état 2014). Le futur développement du réseau de gaz doit tenir compte des potentiels des énergies renouvelables et en matière d'efficacité énergétique sur le territoire du canton de Fribourg.

Stratégie

Selon la stratégie énergétique du canton et la loi sur l'énergie, le canton de Fribourg entend favoriser les énergies renouvelables et les rejets de chaleur ainsi qu'un approvisionnement en énergie économique et sûr. En ce sens, il faut miser prioritairement sur les sources énergétiques disponibles dans le canton et éviter que des infrastructures soient dédoublées inutilement. Le (réseau de) gaz peut donc trouver sa place où les besoins énergétiques ne peuvent pas être couverts par les sources renouvelables ou il sert d'énergie d'appoint dans les réseaux de chaleur. La stratégie énergétique du canton veut également encourager la réalisation de centrales de couplage chaleur-force permettant une valorisation très efficace du gaz naturel par une production d'électricité (valorisée avec les pompes à chaleur) et de chaleur (distribuée dans des réseaux de chaleur).

Il est donc primordial d'analyser le potentiel des ressources indigènes et les infrastructures avant d'en réaliser de nouvelles, servant des énergies importées et en forte teneur de CO_2. On peut d'ailleurs constater que le réseau de gaz s'est fortement développé depuis l'an 2000 dans de nombreux endroits sans vraiment tenir compte des potentiels indigènes. Il convient donc de mieux considérer les énergies renouvelables, les mesures d'efficacité et le potentiel pour les réseaux de chaleur alimentés essentiellement par des agents énergétiques de la région et des rejets de chaleur.

En ce sens, le réseau de gaz, moyenne et basse pression, peut être développé là où il s'inscrit en complément des énergies renouvelables, ceci dans l'esprit de la transition énergétique. Concrètement, le réseau de gaz peut être étendu sur le domaine public uniquement si son développement est pris en compte dans la planification énergétique communale (représentée par le dossier plan communal des énergies).

5.3 Chauffage à distance

Evolution et utilisation aujourd’hui

L’eau thermale a déjà été utilisée dans des réseaux de chaleur dans l’Antiquité. Les réseaux modernes, correspondant au fonctionnement actuel, datent du 20ème siècle. La Chaux-de-Fonds a été la première ville suisse à s’équiper d’un chauffage à distance (CAD), en 1926. Le développement des CAD s’est fortement accéléré dans le canton de Fribourg depuis l’an 2000.

Le CAD fonctionne comme un immense chauffage central. Cela signifie que la production de chaleur ne se fait pas directement au lieu de consommation mais doit être acheminée vers l’utilisateur final dans un réseau de chaleur. Cette approche concerne principalement le chauffage des bâtiments et les processus industriels. Un réseau de chaleur peut être alimenté par une ou plusieurs centrales thermiques, tout en valorisant plusieurs sources d’énergie. L’acheminement de la chaleur se fait généralement à travers un réseau de conduites bien isolées, sous forme d'eau surchauffée (80° C à 130°C) afin de pouvoir alimenter tous les bâtiments, quelle que soit le niveau de température du système de distribution de chaleur. L’énergie contenue dans l’eau surchauffée est transférée au circuit du système de chauffage d’un bâtiment, moyennant des échangeurs de chaleur (sous-stations). L’eau refroidie retourne à la centrale thermique et boucle ainsi son circuit.

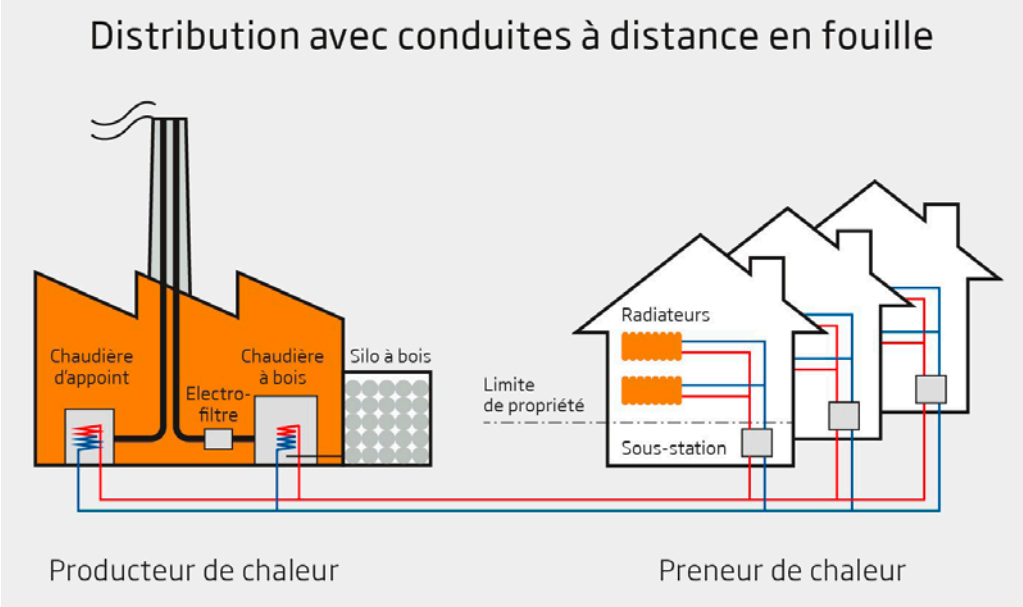


Schéma d’un chauffage à distance. Source : Groupe E

Le CAD [3] peut offrir une meilleure efficacité énergétique globale, un fort potentiel de valorisation des énergies renouvelables et un meilleur contrôle des émissions polluantes que le chauffage individuel, lorsque la chaleur provient d’une combustion (gaz, bois, mazout, etc.) dans une chaudière. Les CAD demandent des investissements conséquents. Pour des questions de rendements économique et énergétique, le chauffage à distance est favorisé dans des zones urbaines à forte densité énergétique. Si la demande en énergie thermique est conséquente toute l’année durant, la cogénération de chaleur et de courant est une option énergétiquement intéressante pour les chauffages à distance. {Voir chapitre 4.2 Couplage chaleur-force}



La centrale du CAD à Corminboeuf dotée d'une chaudière à bois de 900 kW assurant au minimum 80% de la production de chaleur et une chaudère à gaz de 1050 kWqui sert de solution de secours ou d'appoint lors de grands froids Les deux bâtiments (centrale CAD et édilitaire) sont équipés de deux installations photovoltaïques de 17 resp. 38 kW. Source : Marcel Gutschner



La SAIDEF a encore des réserves pour alimenter un réseau de chaleur grandissant dans l'agglomération fribourgeoise. Source : Marcel Gutschner

–



Centrale de chauffage à distance à Châtel-St-Denis. Source : Marcel Gutschner



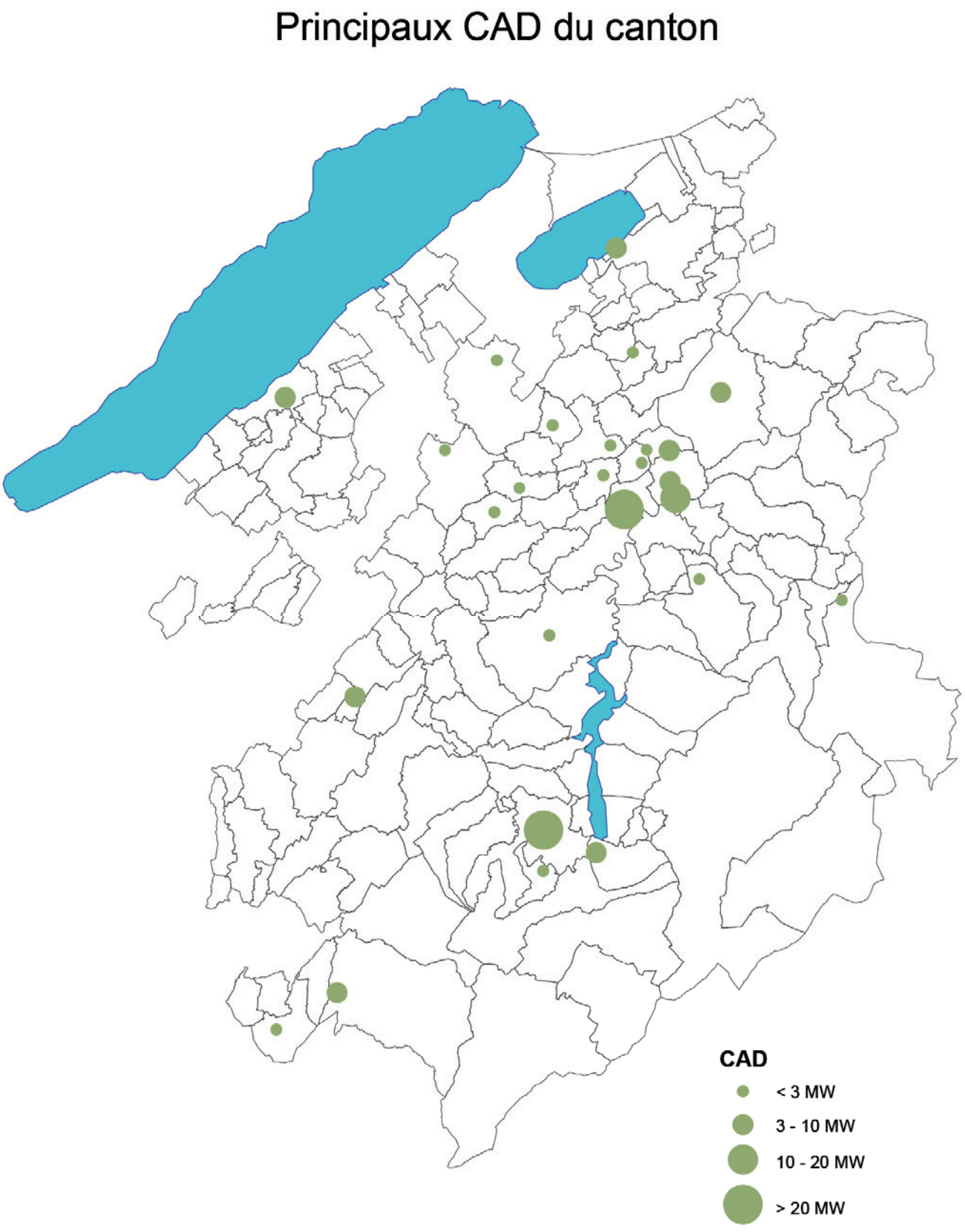
Centrale de chauffage à distance à Guin. Source : Marcel Gutschner

Tableau: Systèmes de chauffage à distance d'une puissance de plus de 1 MW dans le canton de Fribourg.

Nom de l'installation	Lieu	Puissance totale installée [MW]	Energie vendue (y compris énergie vendue prévue) [MWh/an]
GOLDCAD	Fribourg	3.6	5'100'000
ATTACAD	Attalens	2.4	2'600'000
REXCAD	Fribourg	2.3	2'800'000
ROMCAD	Romont	4.2	7'400'000
CADOM	Domdidier	2.8	3'600'000
FRICAD I+II+III	Posieux	22.0	75'400'000
ESTACAD	Estavayer-le-Lac	4.6	6'900'000
PAQCAD	Le Pâquier	2.7	1'700'000
BELCAD	Belfaux	2.6	2'800'000
CADVERT	Villars-sur-Glâne et Fribourg	4.4	5'500'000
CAD GROLLEY	Grolley	2.7	2'200'000
CAD SEEDORF	Noréaz	2.6	2'400'000
COURTECAD	Courtepin	1.7	1'900'000
GIVICAD	Givisiez	2.3	2'100'000
CAD MONTAGNY	Montagny-la-Ville	1.9	1'800'000
CORMICAD	Corminboeuf	2.1	800'000
AGYCAD	Granges-Paccot	3.7	2'300'000
FW DÜDINGEN	Düdingen	5.4	
GESA	Bulle et Riaz	50	81'000'000
CAD TREYVAUX	Treyvaux	2.3	2'440'000
CAD LE MOURET	Le Mouret	1.9	4'430'000
CAD VALBROYE	Valbroye	2.3	4'995'000
FW Plaffeien	Plaffeien	2.0	
CAD Châtel-St-Denis	Châtel-St-Denis	4.2	7'000'000
CAD Broc	Broc	3.5	6'370'000
IB - Murten	Murten	8.0	12'000'000
		133.0	**223'390'388**

Sources: Groupe E, EBL, GESA, IB Murten, OBL et valeurs estimées

–


Principaux CAD du canton
CAD
< 3 MW
3 - 10 MW
10 - 20 MW
> 20 MW

Potentiel

Au vu de la quantité et de la diversité des ressources énergétiques utilisables (bois, déchets, rejets de chaleur des STEP et des industries, solaire thermique et - à moyen terme - de la géothermie), le potentiel pour le développement de systèmes de CAD est considérable.

La densité énergétique joue un rôle clé pour la rentabilité d'un CAD. Comme les infrastructures (les conduites, les centrales de chauffe, les échangeurs de chaleur) sont relativement coûteuses, il convient de maximiser la production et la vente d'énergie. Il faut par ailleurs minimiser le nombre de kilomètres de conduites. Les seuils de rentabilité se situent souvent autour de 500 MWh d'énergie vendue par ha/an ou 2 MWh d'énergie vendue par mètre de conduite posée [6]. Cette situation et cette densité favorable peuvent être observées dans les villes et les centres des localités.



Pose des conduites du CAD dans le quartier du Jura à Fribourg en avril 2016. Source: Marcel Gutschner

Stratégie

Les chauffages à distance, respectivement leurs réseaux de chaleur, présentent de nombreux avantages économiques et écologiques et contribuent à un approvisionnement en énergie efficace et durable. Ils peuvent valoriser les ressources énergétiques indigènes (énergies renouvelables et rejets de chaleur) et évoluer avec les nouvelles ressources et technologies comme par exemple l'énergie de la géothermie profonde. Le développement des chauffages à distance est un élément-clé de la stratégie énergétique du canton et de la Confédération.

Les chauffages à distance nécessitent une planification judicieuse. En choisissant des zones à forte densité énergétique (consommation d'énergie thermique par hectare) pour la construction des réseaux de chauffage à distance, l'efficacité énergétique et économique est généralement optimale. Par contre, au fil du temps, les bâtiments raccordés seront appelés à être rénovés et donc à consommer moins d'énergie; la densité énergétique aura tendance à diminuer mais cette diminution pourra être atténuée voire

compensée en mettant en œuvre une stratégie de densification du tissu urbain. D'autre part, il s'agit d'utiliser les ressources de manière économique et efficace. Le bois est un agent énergétique privilégié dans les CAD. Son potentiel, certes important, est cependant limité. Il convient donc d'identifier – au niveau communal voire intercommunal – les zones particulièrement favorables au chauffage à distance du point de vue de la densité énergétique et des ressources disponibles. Cette approche permet également de mener une planification judicieuse des autres réseaux, notamment du réseau de gaz, afin de pouvoir profiter de la complémentarité des réseaux et des agents énergétiques.

Bibliographie

- [1] Association des entreprises électriques suisses, Smart Grid, février 2014
- [2] Service de la statistique. Annuaire statistique du canton de Fribourg, 2016
- [3] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique : 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015
- [4] Office fédéral de l'énergie, Feuille de route suisse pour un réseau intelligent, mars 2015
- [5] AEE SUISSE Organisation faîtière de l'économie des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, Réseaux et accumulateurs intelligents, novembre 2013
- [6] CREM, Identifier et planifier des réseaux thermiques à l'aide d'un SIG, dans: Géomatique Expert N° 95, Novembre-Décembre 2013
- [7] https://www.swissgrid.ch/swissgrid/fr/home/grid/transmission_system/grid_levels.html
- [8] Conseil fédéral, Message relatif à la loi fédérale sur la transformation et l'extension des réseaux électriques (stratégie Réseaux électriques), 13 avril 2016





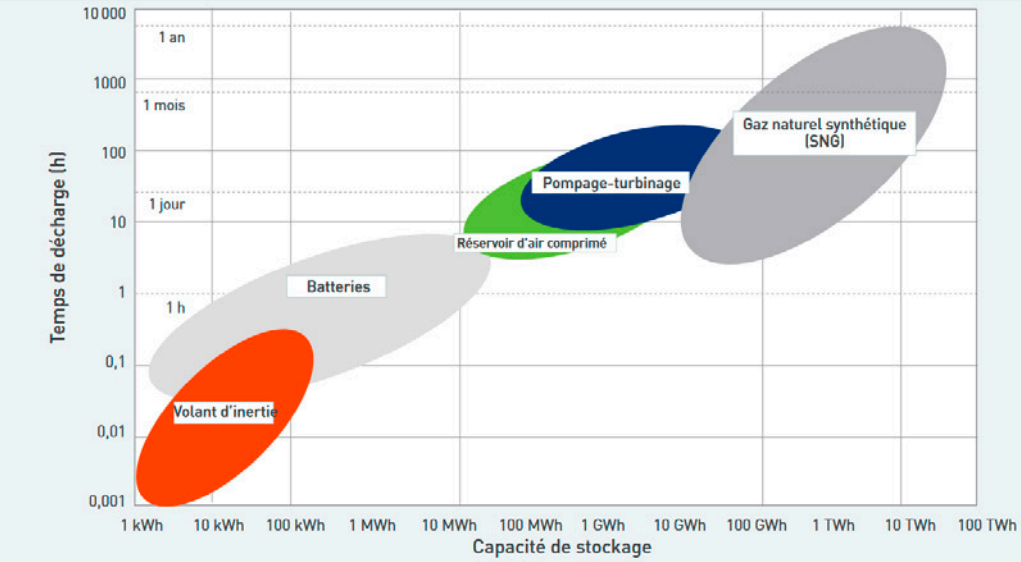
6. Stockage d'énergie

6. Stockage d'énergie

Evolution et utilisation aujourd'hui

Le stockage de l'énergie permet d'assurer l'approvisionnement en énergie à tout moment. Des réserves peuvent être créées moyennant des agents énergétiques sous forme de fuel (p. ex. produits pétroliers, biomasse, voir les chapitres y relatifs) ou en transformant l'énergie produite en surplus (p.ex. surproduction de courant utilisée pour le pompage d'eau vers un bassin supérieur ou pour charger un accumulateur). Il existe différentes technologies servant au stockage d'électricité et de chaleur.

Contrairement à d'autres formes d'énergie, l'électricité ne peut pas être stockée directement. Son stockage passe alors par une transformation en une autre forme d'énergie. On peut distinguer le stockage (électro)chimique du stockage mécanique. Le stockage (électro)chimique est réalisé grâce à des batteries ou des piles (lithium-ion, saline, zinc-air, électrolyte liquide, métal liquide, etc.) ou de l'hydrogène. Le stockage mécanique quant à lui est possible à travers le pompage-turbinage, l'air comprimé ou le volant d'inertie. L'illustration ci-dessous montre les capacités de stockage et les temps de décharge pour ces différents systèmes de stockage.



Graphique : Centre de recherche du Bade-Wurtemberg pour l'énergie solaire et l'hydrogène, ZSW

Les systèmes d'accumulation d'électricité ont des durées et des capacités de stockage qui varient en fonction du domaine d'utilisation. Source : AEE SUISSE (2013) [7]

Les centrales de pompage-turbinage constituent actuellement la technologie de stockage d'électricité la plus répandue et représentent près de 99% de la puissance installée à travers le monde [1]. La première centrale de pompage-turbinage de Suisse produisant de l'électricité a été inaugurée en 1899 à Saint-Gall [2]. On compte une vingtaine de centrales de pompage-turbinage en Suisse. La centrale de Veytaux, la plus proche du canton de Fribourg, a été modernisée jusqu'en 2017 tout en doublant sa capacité à 480 MW.

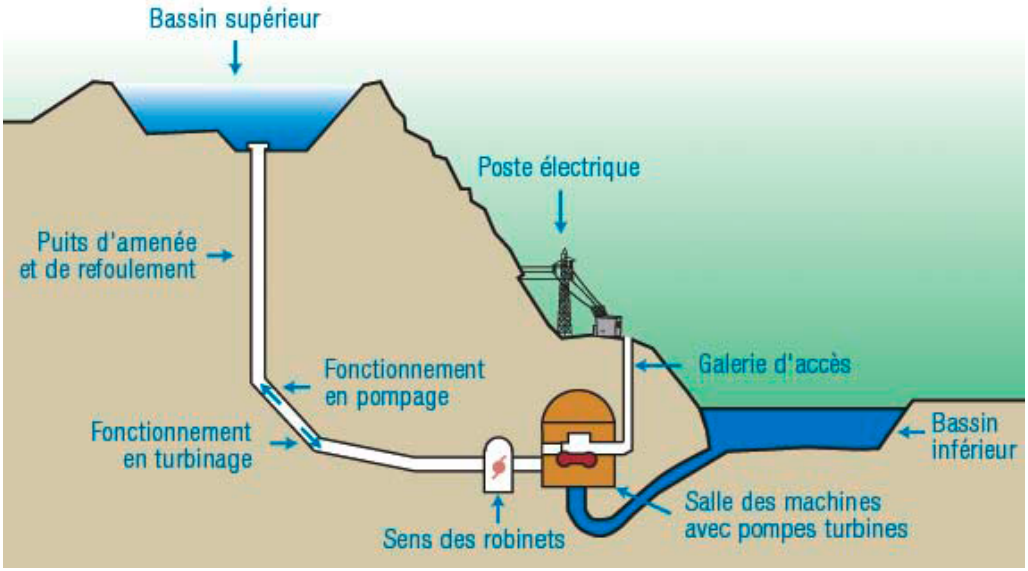


Schéma du pompage-turbinage. Source: http://www.fmv.ch/images/pompage-turbinage.jpg

Le principe consiste en deux réservoirs d'eau situés à des altitudes différentes. Lors des périodes de faible consommation – durant laquelle la demande et donc le coût de l'énergie sont moins élevés – l'eau est pompée vers le réservoir le plus haut. Lors des périodes de forte demande, l'eau circule dans l'autre sens et rejoint, par gravitation, le réservoir le plus bas. Elle fait tourner lors de son passage une turbine qui alimente un alternateur et produit de l'électricité. C'est la solution de stockage à grande échelle la plus répandue et dont le coût d'investissement est parmi les plus bas. Le rendement d'une centrale de pompage-turbinage est de 70 à 85%. 15 à 30% de l'électricité utilisée pour le pompage est donc « perdu » [1]. La durée du stockage va de quelques jours à plusieurs semaines.

Moyennant un compresseur, alimenté pendant les heures creuses de demande d'électricité, de l'air comprimé est produit puis stocké dans une cavité sous-terraine. Lors des périodes de pointe, l'air comprimé passe dans une chambre de combustion où il est réchauffé grâce à l'apport de gaz naturel, avant d'être détendu dans une turbine. Celle-ci est reliée à un alternateur qui produit de l'électricité. Le rendement, autour de 50%, est relativement faible et la technologie doit donc encore être améliorée. Il existe deux sites de stockage par air comprimé de première génération dans le monde, en Allemagne (280 MW) et aux Etats-Unis (110 MW) [9].

Le stockage par des volants d'inertie repose sur le principe physique qui consiste à emmagasiner de l'énergie cinétique en faisant tourner à très grande vitesse une masse autour d'un axe. Le volant d'inertie est accéléré ou freiné par un moteur-générateur électrique qui permet ainsi d'effectuer les charges et décharges du système. Les volants d'inertie sont principalement utilisés dans le stockage stationnaire, pour répondre à des demandes de puissance importantes sur de courtes durées. Ce type de stockage est aussi appliqué dans le domaine du transport (récupérer l'énergie pendant la phase d'arrêt du bus pour la restituer au démarrage). Le stockage par des volants d'inertie a un bon rendement technique, d'environ 90%, mais son coût est élevé.

6. Stockage d'énergie

La batterie est un assemblage d'accumulateurs qui stocke l'énergie électrique issue de la circulation des ions entre deux électrodes à travers un électrolyte, et des électrons qui se déplacent à travers un circuit extérieur. Lors de leur transfert, les électrons peuvent fournir un travail électrique. C'est ainsi que l'énergie chimique est transformée en énergie électrique. Ce principe a été découvert à la fin du 18ème siècle déjà. L'invention des accumulateurs lui a rapidement succédé. Il existe différentes batteries selon les matériaux utilisés pour la conception de l'anode, de la cathode et de l'électrolyte.

Dans le cas des batteries Lithium-ion, l'état de charge consiste en une réaction d'oxydation dans l'électrode positive (cathode) qui va libérer des ions Li+ dans l'électrolyte. Une réaction de réduction va ensuite avoir lieu au niveau de l'électrode négative (anode), recombinant les ions Li+ avec les électrons qui ont traversé le circuit extérieur. En mode décharge, c'est la réaction inverse qui se produit. Cette réaction est réversible et donc reproductible sur un nombre limité de cycles. Les batteries Lithium-ion ont un rendement relativement bon entre 70 et 90% et ont trouvé des applications dans beaucoup de domaines. En revanche, leur coût est toujours élevé et certains éléments chimiques utilisés sont critiques d'un point de vue environnemental. L'accumulateur Lithium-ion pour un vélo électrique emmagasine environ 0,9 kWh pour 1 kWh d'électricité utilisé pour sa charge [3]. L'accumulateur de 1 MW testé à Dietikon (ZH) [7, 8] atteint un rendement global de 80 à 90%.

La batterie à circulation (ou redox-flow) se démarque par rapport à d'autres batteries par le fait que les réactifs sont en solution dans un électrolyte différent pour l'anode et la cathode. Ils sont donc stockés dans deux réservoirs séparés et circulent dans deux demi-cellules. Ces dernières ont comme avantages [10] leur flexibilité tant au niveau de la taille quede leur utilisation, leur coût relativement bas au kWh et leur résistance face aux micro-cycles. Leur rendement est d'environ 70%. Elles sont par contre limitées par une faible densité d'énergie. Ces caractéristiques orientent notamment les batteries redox vers des applications telles que la régulation de la production d'électricité à partir des énergies renouvelables intermittentes. Une variante de la batterie redox permettant la production d'hydrogène grâce à des lits catalytiques augmente encore la flexibilité et la polyvalence de ce type de systèmes.

Le stockage sous forme d'hydrogène comprend normalement trois étapes. Tout d'abord, la production d'hydrogène intervient lors des périodes creuses grâce à la décomposition de l'eau en oxygène et hydrogène par électrolyse. L'hydrogène est ensuite stocké dans un réservoir sous forme gazeuse, liquide ou solide. A travers une pile à combustible, l'énergie chimique composée d'hydrogène et d'oxygène est alors (re)convertie directement, c'est-à-dire sans combustion, en énergie électrique. Par ailleurs, la pile à combustible a été inventée déjà en 1839 mais ce n'est que dans les années 1960 que cette technologie a été redécouverte pour l'astronautique [9]. Le rendement du cycle est bien en-dessous de 50%. Des pertes importantes sont donc liées à cette forme de stockage qui, de plus, est encore relativement coûteuse. Cependant, l'hydrogène propose une solution propre valorisant les surplus de courant vert. Seuls de l'eau et de la chaleur sont rejetés de la réaction dans la pile à combustible.

L'hydrogène est également un élément-clé de ce que l'on appelle power-to-gas (conversion d'électricité en gaz combustible) : en enrichissant cet hydrogène avec du dioxyde de carbone (CO_2), on obtient du méthane qui peut être injecté dans le réseau de gaz. A ce jour, il y a plusieurs installations pilotes en Suisse, entre autres à Rapperswil et Zuchwil [7, 8]. Au lieu d'injecter cet hydrogène – respectivement ce méthane – dans le réseau de gaz, il peut être utilisé pour produire un combustible liquide tel que le méthanol qui est facilement stockable. Au bout du compte, il faut ne pas perdre de vue le rendement qui pour les options sus-mentionnées reste inférieur à 50%.



Installation photovoltaïque pour l'électrolyse et la production d'hydrogène à Givisiez. Source : Marcel Gutschner

D'autres formes de stockage existent comme les supercondensateurs ou le stockage à inductance supraconductrice. Au niveau du stockage de chaleur, le stockage d'eau chaude est le plus répandu en Suisse. Les applications les plus courantes se trouvent dans les chauffages de bâtiments et ponctuellement dans les processus industriels. L'eau chaude est souvent stockée dans des réservoirs installés tout près des consommateurs ou encore près des centrales de couplage chaleur-force et de chauffage à distance. L'eau chaude est ainsi directement disponible en cas de besoin. Ces systèmes stockent de la chaleur à court terme (heures, jours). Ils peuvent réduire la consommation d'électricité lors des heures de pointe [4] en actionnant la pompe à chaleur (ou chauffe-eaux) aux moments de production d'électricité excédentaire.



Un accumulateur de 25'000 litres permet de stocker une grande quantité de chaleur à la centrale de chauffage à distance à Guin. Source : Marcel Gutschner

Les technologies pour le stockage saisonnier visent soit à chauffer le sous-sol au moyen de sondes géothermiques ou de serpentins, soit à stocker de l’eau chaude dans de grandes citernes très bien isolées. Cette chaleur sera récupérée l’hiver suivant, soit de manière directe (dans le cas de la citerne), soit par le biais de pompes à chaleur (dans le cas du chauffage du sous-sol) [4].

Potentiel

Le pompage-turbinage est actuellement, et sera pour longtemps, la technologie la plus répandue pour « stocker l’électricité » en grande quantité. Le concept des centrales de pompage-turbinage est mature et on ne doit pas s’attendre à des baisses des coûts d’installation. Avec l’augmentation de la production irrégulière des énergies renouvelables (notamment solaire et éolienne), les centrales de pompage-turbinage deviennent encore plus importantes en fournissant des services du marché de l’électricité régulier et des services-système (effet stabilisateur).

Le développement de centrales de pompage-turbinage est limité par différents facteurs. D’une part, la construction d’une centrale de pompage-turbinage s’avère uniquement possible dans des situations géographiques particulières : deux lacs de retenue se trouvant à différentes altitudes doivent être liés. D’autre part, et à l’avenir, les accumulateurs devront être financés sur des variations de prix irrégulières et brèves. Ils mettront leur capacité de stockage à disposition pour intégrer la production intermittente des installations photovoltaïques et des éoliennes dans le système énergétique [7]. Théoriquement, le pompage-turbinage est possible entre les différents lacs de barrage le long de la Sarine.

Les accumulateurs et batteries – omniprésents dans les appareils électroniques - peuvent également servir à stocker des quantités d’électricité plus importantes. Ces accumulateurs seraient placés directement chez le producteur, par exemple un propriétaire d’une installation photovoltaïque. De l’électricité produite pendant la journée peut alors être consommée en soirée. L’injection de courant est ainsi équilibrée. La mise en place d’accumulateurs décentralisés et contrôlés à distance pour agir comme une grosse batterie de stockage (un nouveau concept développé sous le nom de « Schwarmbatterie ») présente également une possibilité d’éviter des excès de production liés aux énergies renouvelables irréguliers (soleil, vent). En conséquence, et selon le cas de figure, on peut éviter le renforcement plus coûteux du réseau électrique ou la désactivation d’installations de production [1]. Il faut notamment s’attendre à un besoin de stockage technique pour les réseaux ruraux afin d’éviter des surcharges inadmissibles (voir chapitre 5.1 Réseau électrique). Cela vaut en particulier en cas de fort développement des technologies de production irrégulière décentralisée, qui engendre localement une injection trop élevée dans les réseaux de distribution avec un besoin comparativement élevé en solutions de stockage décentralisées [1].

Sur le plan technologique, les batteries pourraient encore connaître une grande marge de progression. La capacité, la durabilité, la densité d’énergie (qui influence le volume) et l’éco-compatibilité peuvent notamment être perfectionnées. On escompte des économies d’échelle considérables pour les accumulateurs [1]. La gestion du réseau électrique ainsi que l’électromobilité, importante pour la réduction des énergies fossiles utilisées pour les transports, pourraient profiter de ces développements.

L’hydrogène est considéré comme une solution d’avenir depuis un certain temps. Même si les attentes n’ont pas été comblées durant ces dernières décennies et même si le rendement technique est généralement inférieur à 50%, l’hydrogène reste une option polyvalente à moyen et long terme, pour des applications stationnaire et mobile, en intégrant les piles à combustibles, ou encore comme élément-clé du concept power-to-gas.

Avec les technologies actuelles, l'eau chaude contribue avant tout au stockage de chaleur à court terme, techniquement et économiquement intéressant pour l'eau chaude sanitaire et le chauffage des bâtiments et pour certains processus industriels. Néanmoins, le stockage d'eau chaude peut également servir au stockage saisonnier d'énergie. Plusieurs projets ont déjà été réalisés en Suisse. Les investissements sont toutefois importants et une diffusion plus large dépendra du progrès technique et économique de ce type de stockage. L'utilisation d'accumulateurs de glace s'avère être une des approches [6] pour le stockage d'énergie thermique. En gelant, l'eau libère une quantité considérable d'énergie (chaleur de cristallisation). Pour qu'un litre d'eau à 0° se transforme en glace à 0°, il faut lui extraire une quantité d'énergie équivalente à 0,1 kWh. Durant la belle saison, la chaleur captée par les panneaux solaires est transmise à une citerne d'eau souterraine via un circuit fermé. Pendant la saison froide, une pompe à chaleur peut extraire la chaleur du réservoir jusqu'à ce que l'eau commence à geler, ce qui permet alors d'extraire la chaleur de cristallisation de l'accumulateur.



Construction de nouvelles maisons chauffées 100% au solaire, les accumulateurs pour stocker l'eau chaude sont posés en début des travaux. Source : Jenni Energietechnik

Plan sectoriel de l'énergie
6. Stockage d’énergie

Stratégie

De nouveaux accumulateurs seront partie intégrante du futur réseau intelligent afin de garantir un approvisionnement énergétique sûr et durable.

Le parc de centrales hydro-électriques jouera un rôle-clé dans le futur système électrique. A l’avenir, les centrales de pompage-turbinage pourront stocker de plus en plus de courant vert (notamment solaire et éolien). Sur le territoire fribourgeois, il n’y a pas de centrale de pompage-turbinage. Si une centrale devait un jour y être installée, elle le serait à proximité des centrales hydrauliques existantes (voir chapitres 2.1.1 eau). A long terme, le stockage décentralisé par des accumulateurs et des batteries pourrait devenir un élément important du système de l’approvisionnement énergétique. La capacité de stockage a une grande influence sur notre indépendance au cœur du marché de l’énergie. La stratégie énergétique envisage une augmentation massive de la production d’énergie à partir d’énergies renouvelables.

L’hydrogène reste une option stratégique intéressante mais peine encore à se matérialiser. Si ce secteur venait à connaître un important développement, l’hydrogène pourrait être intégré dans le système énergétique existant et renforcer le concept de la convergence des réseaux. La quantité d’excédents d’énergie renouvelable ne justifie pas le développement rapide des installations power-to-gas et la demande en installations de ce type n’est ainsi pas suffisamment importante pour que leur utilisation soit économiquement rentable [5]. Ce développement est encore incertain en Suisse à cause de son rendement global (courant -> gaz -> courant) relativement faible.

Le stockage d’eau chauffée aux énergies renouvelables et/ou par des rejets de chaleur joue un rôle important pour couvrir les besoins en chaleur de manière durable dans le chauffage des bâtiments, dans les processus industriels ou encore dans les réseaux de chaleur. Le stockage saisonnier d’eau chaude présente une option intéressante mais les performances technologiques et économiques doivent être améliorées. Il faut soutenir des projets pilote afin d’acquérir encore plus d’expérience et favoriser le développement technologique.

Bibliographie

- [1] OFEN / KEMA Consulting, Energiespeicher in der Schweiz, Décembre 2013
- [2] Bärtschi, H.-P. Ein Pumpspeicherwerk von 1863, Février 2013
- [3] http://www.energie-environnement.ch/le-saviez-vous/539, visite le 31 mars 2016
- [4] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique : 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015
- [5] Conseil fédéral, Réponse à la motion 14.3048 « Power to Gas. Améliorer le cadre nécessaire au développement des installations », avril 2014
- [6] AEE SUISSE Organisation faîtière de l'économie des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, La Suisse possède la chaleur renouvelable et en a besoin, mai 2014
- [7] AEE SUISSE Organisation faîtière de l'économie des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, Réseaux et accumulateurs intelligents, novembre 2013
- [8] ABB, ABB et EKZ mettent en service le plus gros accumulateur de Suisse, mars 2012 (http://www.abb.ch/cawp/seitp202/16b99ef9d1a49285c12579c80044795c.aspx)
- [9] CEA, Le stockage stationnaire de l'énergie, octobre 2012 ; http://cadarache.cea.fr/cad/Documents/Entreprises/Valorisation/Rencontres-CEA-Industrie/1er/3%20Presse_Stockage_Energie.pdf
- [10] Amstutz, V. Les batteries redox pour le stockage d'énergie, dans : AES, Bulletin 10 / 2012, octobre 2012





7. Efficience énergétique

7. Efficience énergétique

Introduction

L'efficacité énergétique (énergie totale ou électricité) correspond par définition [16] au rapport entre le bénéfice et l'énergie utilisée. L'efficacité énergétique consiste à minimiser la consommation d'énergie nécessaire pour répondre à une demande énergétique donnée. Les économies volontaires d'énergie (sobriété) ou les limitations des comportements encadrés par le législateur ne sont pas considérés comme des améliorations de l'efficacité au sens strict.

Dans le cadre de sa stratégie énergétique 2050, le Conseil fédéral opte pour une mise en œuvre résolue de l'efficacité énergétique dans le domaine du bâtiment, des appareils électriques, de la mobilité et dans les secteurs de l'industrie, des arts, des métiers et des services. Dans sa stratégie énergétique pour le canton de Fribourg [10], le Conseil d'état considère le fait d' « économiser de l'énergie » comme étant la priorité n°1. L'efficacité joue donc un rôle primordial dans le domaine énergétique.

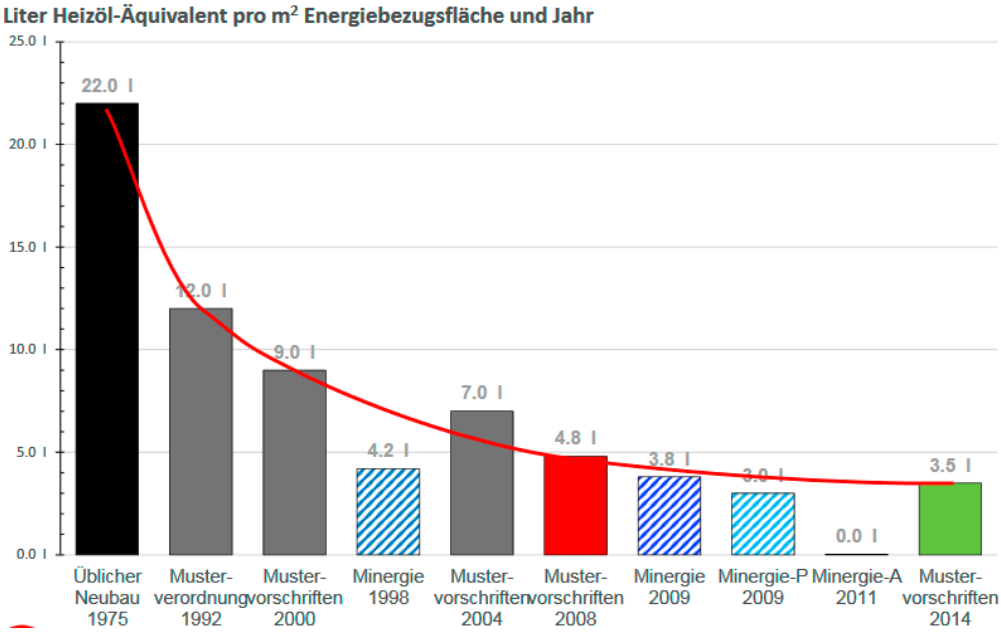
En vertu de l'art. 89, al. 4 de la Constitution fédérale, les mesures concernant la consommation d'énergie dans les bâtiments sont au premier chef du ressort des cantons. Ainsi, leur champ de compétences ne se limite pas à celui de l'exécution : les cantons sont également les principaux responsables de la législation matérielle relative à la consommation d'énergie dans les bâtiments. La Confédération n'assume qu'une compétence subsidiaire dans ce domaine.

7.1 Bâtiments

Evolution et utilisation aujourd'hui

Le canton compte plus de 115'000 bâtiments assurées par l'ECAB [1] dont plus de 66'000 bâtiments à usage d'habitation [2]. Les immeubles d'habitation, de bâtiments industriels et de services constitue 66% du parc immoblier. Les bâtiments comptabilisent près de 50% de l'énergie primaire consommée en Suisse, répartie d'une part entre le chauffage, la climatisation et l'eau chaude (30%), d'autre part l'électricité (14%) et finalement la construction et l'entretien (6%) [3].

Jusque dans les années 1970, les bâtiments consommaient annuellement plus de 20 litres d'équivalent mazout par mètre carré de surface de référence énergétique (surface chauffée). Après les chocs pétroliers des années 1970, les prescriptions pour le chauffage des bâtiments devinrent de plus en plus réglementées et tournées vers l'efficience. Actuellement, les bâtiments neufs ne devraient consommer plus de 6 litres d'équivalent mazout par mètre carré de surface de référence énergétique. Les standards d'efficacité tels que Minergie proposent des solutions encore plus efficaces. Déjà aujourd'hui, on peut construire des maisons avec des besoins en chaleur proches de zéro, voire à énergie positive, le plus souvent avec une très bonne isolation et une installation photovoltaïque produisant davantage de courant que la maison n'en consomme.



Modèles de prescription et leurs effets – l'indice de consommation énergétique en baisse depuis plus de 25 ans. [13]

Le taux d'assainissement à l'échelle suisse est de moins de 1% par an [17]. De plus en plus de vieux bâtiments sont remplacés par des constructions neuves proposant davantage de surfaces de plancher sur la même parcelle et plus d'efficience énergétique.

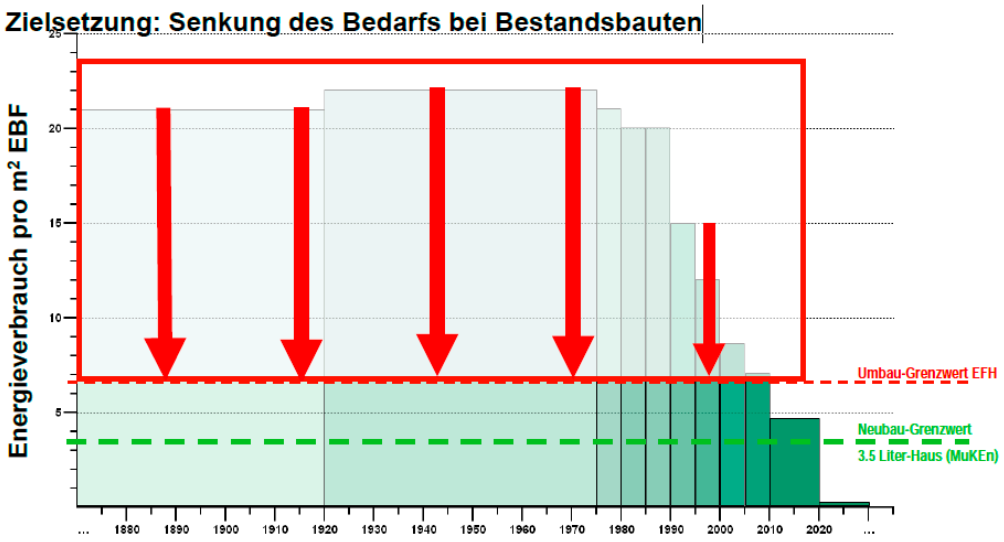


Ce bâtiment à Wünnewil a été rénové et agrandi selon le standard Minergie-A. Source : Marcel Gutschner

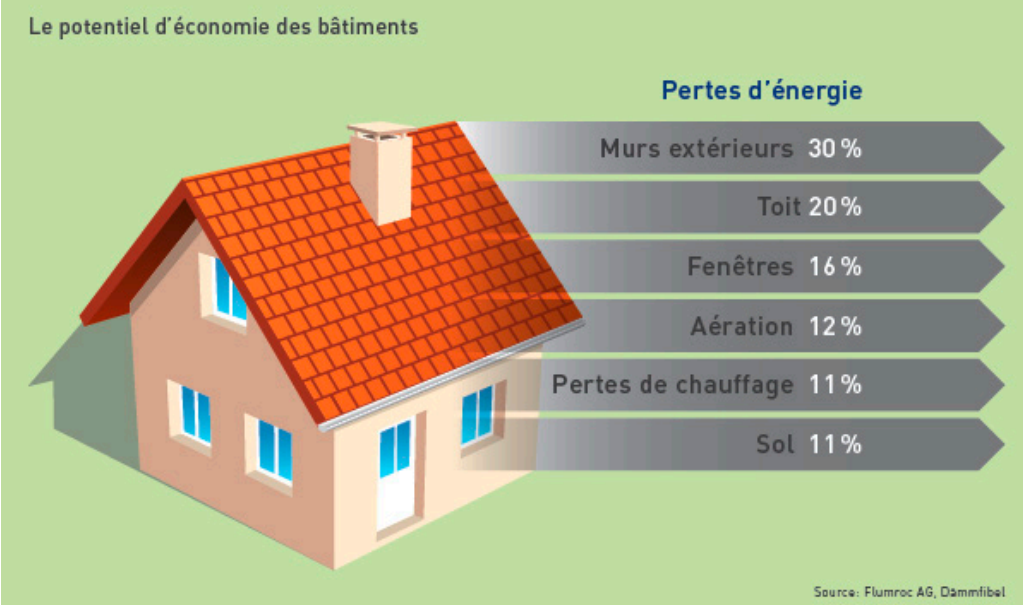
Potentiel

Les nouvelles constructions et rénovations de bâtiments montrent que la consommation d'énergie thermique et électrique peut être réduite de manière drastique, en particulier dans le parc de bâtiments construit avant 2000.

Lorsque l'on s'intéresse aux rénovations des bâtiments, on peut constater que le potentiel d'assainissement est énorme, comme le montrent l'indice de consommation d'énergie et le potentiel d'économie des bâtiments dans l'illustration ci-dessous. Une rénovation complète du bâtiment, en une seule étape ou plusieurs, permet de diviser la consommation d'énergie par 2, voire 3. Dans les bâtiments, les potentiels d'économie d'énergie et par conséquent les risques des pertes d'énergie se situent dans l'enveloppe, notamment les murs, les toits et les fenêtres (voir illustration ci-bas).



Modèle de prescription et leurs effets – les nouvelles valeurs limites pour les éléments de construction lors de transformations ou de changements d'affectation font baisser la consommation des vieux bâtiments gourmands en énergie. Source : [13]



Le potentiel d'économie resp. des pertes d'énergie des bâtiments. Source: AEE Suisse (2014) [4]

Dans son rapport relatif à la planification énergétique [10], le potentiel d'efficacité énergétique est estimé à plus de 1300 GWh par an. Cela correspond à la moitié des besoins en chaleur identifiés dans le canton. Cependant, la mise en œuvre de la mesure visant la rénovation des bâtiments, qui présente un potentiel de plus de 1000 GWh d'économies par an, ne peut se faire que sur une période relativement longue.

Le potentiel d'économie d'énergie électrique jusqu'en l'an 2050 est souvent estimé à 40, voire 50% pour la technique relative aux bâtiments et les appareils électro-ménagers [8, 9]. Dans le domaine de l'électricité, les économies réalisées seront largement compensées par une consommation d'électricité accrue, due à une surconsommation de certains produits. L'électrification de notre société et le changement de modes de consommation (p.ex. électromobilité) jouent aussi un rôle. Dans sa stratégie énergétique pour le canton de Fribourg [10], le Conseil d'état identifie un potentiel d'économie d'électricité de 23%, que l'on peut exploiter en remplaçant les chauffages électriques, en limitant les appoints électriques dans les pompes à chaleur, en adaptant les pompes de circulation dans les ménages, en utilisant des éclairages performants et des appareils de bureau et électroménagers plus performants, en limitant les stand-by dans les ménages et en optimisant l'éclairage public et la ventilation.

7. Efficience énergétique



L'assainissement de l'éclairage public en passant aux LED et à une diminution de 50% de l'éclairage entre minuit et 5 heures dans tout le réseau routier (sauf les routes cantonales) a permis à la commune de Tavel d'économiser 69% de l'électricité consommée : 60 MWh au lieu de 194 MWh par an. Source : Marcel Gutschner



Le bâtiment administratif de la commune Belmont-Broye à Domdidier est construit selon le standard Minergie-P et raccordé au système de chauffage à distance qui alimente une quarantaine de bâtiments en chaleur renouvelable. Source : Marcel Gutschner

Stratégie

La conférence des directeurs cantonaux de l'énergie a établi un plan de mesures [18] pointant, entre autres, les éléments-clés suivants :

Dès 2020, les nouveaux bâtiments seront tous chauffés, dans la mesure du possible, entièrement de manière autonome, tout au long de l'année, et avec une part raisonnable d'électricité. Pour les bâtiments construits avant 1990 : dès 2015, il sera interdit de chauffer des locaux ou de préparer l'eau chaude sanitaire au moyen de résistances électriques. Une obligation d'assainir cet aspect sera imposée dans un délai de 10 ans. Dès 2020, dans les bâtiments subissant une rénovation importante, la préparation de l'eau chaude sanitaire devra se faire en majeure partie grâce à des énergies renouvelables.

Le passage des énergies fossiles aux énergies renouvelables de même que l'assainissement de l'enveloppe des bâtiments seront encore mieux encouragés qu'aujourd'hui.

Le MoPEC 2014 [5] a concrétisé ces mesures sous forme de nouvelles prescriptions que les cantons doivent intégrer dans leur législation avant fin 2018. Il préconise de nouvelles exigences concernant la couverture des besoins de chaleur dans les bâtiments à construire qui vont dans le sens de la directive européenne.[1] Concrètement, les bâtiments à construire et les extensions de bâtiments existants (surélévations, annexes, etc.) doivent être construits et équipés de sorte que leur consommation d'énergie pour le chauffage, la préparation de l'eau chaude sanitaire, l'aération et le rafraîchissement soit quasi-nulle. L'ordonnance règle la manière et le contexte des exigences concernant l'utilisation de l'énergie. Ce faisant, elle tient compte notamment de la rentabilité des mesures et des conditions particulières comme le climat, l'ensoleillement et la situation du quartier. Les besoins d'énergie annuels pondérés pour le chauffage, la préparation de l'eau chaude sanitaire, la ventilation et le rafraîchissement dans les bâtiments à construire ne doivent pas dépasser les valeurs limite fixées à 35 kWh par m² et par an pour les bâtiments d'habitation. De plus, les bâtiments à construire doivent produire eux-mêmes une part de l'électricité dont ils ont besoin. L'installation de production d'électricité installée dans, sur, ou à proximité du bâtiment doit générer au moins 10 W/m² de surface de référence énergétique, mais sans imposer une puissance supérieure à 30 kW.

Pour ce qui est l'assainissement des bâtiments, le MoPEC [5] fixe de nouvelles valeurs limites (annexe 2, article 1.7 al. 2) pour les éléments de construction lors de transformations ou de changements d'affectation. Le MoPEC exige que, lors du remplacement de l'installation de production de chaleur d'un bâtiment d'habitation existant, celui-ci doit être équipé de manière à ce que la part d'énergies non renouvelables n'excède pas 90% des besoins globaux. Plusieurs solutions standard sont proposées.

Par ailleurs, la stratégie des cantons pour les bâtiments à proprement parler comprend deux objectif : i) l'approvisionnement en chaleur sera entièrement assuré sans recours à des combustibles fossiles, à l'horizon 2050, et, ii) d'ici à 2030, la consommation d'électricité sera réduite de 20% grâce à des mesures d'optimisation des procédés d'exploitation et à des opérations de rénovation des bâtiments. S'agissant des bâtiments publics des cantons, c'est grâce à de nouvelles installations alimentées aux énergies renouvelables qu'une optimisation sera imposée.

7.2 Industrie

–

Evolution et utilisation aujourd'hui

L'économie (industrie, services et agriculture) consomme environ 36% de l'énergie finale en Suisse [7], essentiellement sous forme d'électricité et de combustibles fossiles pour la production de chaleur. Les progrès réalisés à présent varient grandement d'un secteur à l'autre, dépendant essentiellement du coût, de la complexité et de la rentabilité des investissements ainsi que de la sensibilité des acteurs économiques et du cadre légal.

Plusieurs défis peuvent se poser [11] : Le premier est de nature organisationnelle. A l'exception des entreprises très gourmandes en énergie, l'efficacité énergétique n'est pas forcément une préoccupation

[1] La nouvelle directive européenne 2010/31/UE sur la performance énergétique des bâtiments prescrit pour les nouvelles constructions une consommation d'énergie de quasi nulle à partir de décembre 2020, ou décembre 2018 pour les bâtiments publics.

prioritaire des dirigeants. La seconde difficulté est de nature opérationnelle. Elle découle de la nature des procédés de fabrication, qui sont souvent discontinus, notamment dans l'industrie chimique ou alimentaire. Les installations démarrent, puis s'arrêtent, puis redémarrent, etc., ce qui rend difficile l'utilisation des rejets de chaleur pour les produits à chauffer ou à sécher, puisque ces processus ne sont que rarement simultanés. La troisième difficulté est de nature économique. La plupart des solutions d'efficacité énergétique offrent des retours sur investissement entre quatre et sept ans. Trop long pour l'industrie, qui exige souvent des retours de trois ans au maximum pour consentir à des investissements. Cette frilosité s'explique, d'une part, au regard de l'incertitude qui plane sur la pérennité du succès de leurs produits sur le marché. D'autre part, elle est liée au fait que les entreprises allouent leurs ressources financières en priorité à l'amélioration de la qualité des produits et à la fiabilité des procédés de production, au détriment de la rationalisation énergétique. Une réticence est également souvent présente envers l'installation des systèmes photovoltaïques sur les toitures car le futur développement du site peut paraître incertain.

Potentiel

La Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie relève dans le MoPEC [5] que les gros consommateurs utilisent l'énergie prioritairement pour des processus industriels de production. Les questions d'isolation thermique (contre le chaud ou le froid) et les installations techniques concernant le bâtiment proprement dit n'occupent qu'une place secondaire. Dans de très nombreux cas, les processus industriels pourraient être optimisés et dégager des économies substantielles. Mais cette possibilité n'est, la plupart du temps, guère utilisée, notamment parce que les coûts de l'énergie gaspillée n'apparaissent nulle part, ou ne sont pas pris sérieusement en compte.

Le potentiel d'économies d'énergie dans l'industrie, notamment par le biais de mesures d'efficacité énergétique, est très important : de l'ordre de 25 à 35%, tant pour l'électricité que pour les combustibles et les carburants [6, 8, 9]. Une étude [15] sur l'agriculture fribourgeoise montre un potentiel d'économies d'énergie à des pourcentages semblables.

Les activités industrielles [6] consomment 75% de leur énergie sous forme de chaleur, dans des installations telles que des fours, des réacteurs chimiques, des chaudières ou des séchoirs. La production et l'utilisation de cette chaleur sont encore trop rarement optimisées. Il en résulte des pertes énergétiques importantes. Une optimisation des procédés industriels permettrait de diminuer ces pertes de manière substantielle. Il s'agit de produire la chaleur de manière efficace et à la bonne température, en associant des pompes à chaleur à des unités de cogénération de chaleur et d'électricité dans les processus industriels. Il est également possible de valoriser les rejets de chaleur, comme cela peut se faire avec une chaudière alimentant des séchoirs (voir chapitre 2.2.2 Industrie). De telles améliorations peuvent se faire en interne, ou par des échanges entre entreprises qui se trouvent à proximité les unes des autres (écologie industrielle).

Lorsqu'on s'intéresse aux économies d'électricité, il s'agit principalement d'utiliser des entraînements électriques plus efficaces. En effet, ils représentent bien plus de la moitié de l'électricité consommée [12]. De très nombreux équipements comme les pompes, ventilateurs et compresseurs (présents dans les réfrigérateurs, climatiseurs, pompes à chaleur, etc.) sont souvent surdimensionnés, mal exploités, et peu efficaces car obsolètes. Le potentiel d'économies sur les grosses installations qui fonctionnent durant de nombreuses heures par année est de l'ordre de 15 à 30%, voire plus.

En règle générale, de 10% à 20% d'économies sont réalisables relativement facilement [6]. Toutefois, des économies supérieures (jusqu'à 30%) exigent des investigations et des décisions d'investissement beaucoup plus ambitieuses.

Il est également possible de réaliser des économies dans le domaine de la mobilité, surtout si une utilisation efficace des véhicules et des transports est prônée.



L'entreprise Wago a réalisé de nombreuses mesures d'efficacité énergétique dans les procédés industriels sur son site de production à Domdidier [20]. Lors de l'assainissement des façades, des modules photovoltaïques ont été intégrés dans le bâtiment. Source : Marcel Gutschner

Stratégie

De nombreuses mesures d'efficacité énergétique ont un bon rapport coûts-bénéfices, ce qui permet de dégager des gains financiers et écologiques. Au vu du potentiel d'économies énergétiques considérables, les gros consommateurs se doivent de minimiser leur consommation d'énergie. Cette obligation imposée aux gros consommateurs repose sur l'article 89 al. 1 et 4 de la Constitution fédérale. Suite à la modification de la loi fédérale sur l'énergie, décidée par les Chambres fédérales en mars 2007, les cantons sont tenus, en vertu du droit fédéral, d'introduire un tel modèle. Le canton a donc inscrit cette modification dans sa loi du 9 juin 2000 sur l'énergie (art. 18a LEn). Sont réputés gros consommateurs, au sens du MoPEC 2008, article 1.28, les entreprises dont la consommation annuelle par site dépasse 5 GWh de chaleur ou 0,5 GWh d'électricité. Les mesures que les gros consommateurs se doivent de prendre consécutivement à une analyse de leur consommation sont considérées comme raisonnablement exigibles si elles correspondent à l'état de la technique, si elles s'avèrent rentables sur la durée d'utilisation de l'investissement et s'il n'en résulte pas d'inconvénients majeurs au niveau de l'exploitation.

Les gros consommateurs sont alors incités à améliorer leur efficacité énergétique sur le long terme par la conclusion d'un engagement (convention d'objectifs) vis-à-vis de la Confédération ou d'un Canton. Le but de la convention universelle avec la Confédération est une augmentation de l'efficacité énergétique sur une période de dix ans. Les gros consommateurs fribourgeois [14] peuvent alternativement conclure une convention universelle avec le canton, en gardant comme objectif une augmentation de l'efficience énergétique de 20% sur dix ans, ou une convention spécifique avec une analyse de leurs consommations et la mise en place des mesures permettant d'augmenter l'efficience énergétique d'au moins 15% en

trois ans. La valorisation externe des rejets de chaleur est reconnue comme une mesure d'efficience énergétique et doit être prise en compte dans la planification énergétique territoriale (voir le chapitre 2.2.2 Industrie).

Une directive du Service de l'énergie concernant les modalités d'exécution des dispositions relatives aux gros consommateurs d'énergie [19] offre une aide à l'interprétation des règles définies dans la loi fribourgeoise sur l'énergie et son règlement d'application.

Le module 8 du MoPEC [5] vise l'optimisation de l'exploitation des bâtiments non liés à l'habitat et des sites de consommation dont le besoin annuel en électricité atteint au moins 200'000 kWh. Au regard des prescriptions relatives à l'optimisation de l'exploitation, les installations techniques des bâtiments existants doivent toujours être utilisées de manière la plus efficiente qui soit du point de vue énergétique. Une exception existe en ce qui concerne les bâtiments d'habitation et les bâtiments (respectivement leurs propriétaires) qui ont conclu une convention d'objectifs, ont adhéré au modèle PME ou peuvent prouver qu'ils effectuent depuis plusieurs années déjà une optimisation systématique de l'exploitation. Les techniques suivantes sont concernées par l'optimisation de l'exploitation : chauffage, ventilation, climatisation, réfrigération, sanitaire, électricité et automatisation du bâtiment. La consommation d'électricité et de chaleur est ainsi optimisée. L'enveloppe du bâtiment n'entre pas en ligne de compte.

En ce qui concerne la gestion de la mobilité dans les entreprises, de plus en plus de communes fribourgeoises demandent des plans de mobilité aux entreprises avec un certain nombre d'équivalents plein temps (à partir de 20 à 30 EPT). Le plan de mobilité est un outil pour mieux gérer les déplacements des collaborateurs d'une entreprise dans le respect des principes du développement durable.

Bibliographie

- [1] ECAB, Rapport annuel 2015, 2016
- [2] SStat, Annuaire statistique du canton de Fribourg, 2016
- [3] EnDK Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie, Consommation énergétique des bâtiments – Faits et chiffres, août 2014
- [4] AEE Suisse, La Suisse possède la chaleur renouvelable et en a besoin, mai 2014
- [5] EnDK, Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC), janvier 2015
- [6] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique : 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015
- [7] OFS, Panorama, février 2016
- [8] Office fédéral de l'énergie, Aktualisierung der Energieperspektiven 2035: Einsparpotenziale nach Verwendungszwecken, mai 2011

- [9] Agence Suisse pour l'efficacité énergétique, Fiche d'information „Consommations d'électricité 2035/2050 », avril 2011
- [10] Rapport N° 160 du Conseil d'Etat au Grand Conseil relatif à la planification énergétique du canton de Fribourg, 29 septembre 2009
- [11] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique : 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015
- [12] Conférence des services cantonaux de l'énergie, Minimierung des Strombedarfs - wenig brauchen und selber produzieren, présentation donnée à Swissbau, 13 janvier 2016
- [13] Conférence des services cantonaux de l'énergie, Reduktion des Wärmebedarfs und effiziente Energienutzung auch bei bestehenden Bauten, présentation donnée à Swissbau, 13 janvier 2016
- [14] SdE, Loi sur l'énergie – Art. 18a Gros consommateurs, Description et aide à la décision pour les trois variantes proposées, (sans date)
- [15] Agridea, Mandat d'étude sur l'agriculture fribourgeoise et l'énergie, mai 2016
- [16] AES, Potentiel d'accroissement de l'efficacité énergétique, août 2015
- [17] Holzbau Schweiz, Holz, erneuerbarer Rohstoff mit Potenzial, présentation donnée lors AEE Sessionsveranstaltung - Parlamentarische Gruppe Erneuerbare Energien, 17 juin 2015
- [18] Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie, Politique énergétique de l'EnDK -- Repères et plan d'action, septembre 2011
- [19] Service de l'énergie, Directive concernant les modalités d'exécution des dispositions relatives aux gros consommateurs d'énergie, mars 2015
- [20] Wago, présentation donnée lors du Nachhaltigkeitsapéro, 24 novembre 2010





8. Stratégie énergétique

8. Stratégie énergétique

Le citoyen-consommateur au cœur de la transition énergétique

La nouvelle stratégie énergétique passe avant tout par la réduction de la consommation individuelle d'énergie. Celle-ci peut se décliner en deux axes : le comportement quotidien et la prise de mesures ponctuelles. Il n'existe pas de d'actions miracles qui diminueraient à elles seules drastiquement notre consommation. Toutefois, des comportements adéquats et un ensemble de gestes simples permet, selon le principe des petits ruisseaux qui font les grandes rivières, de réaliser de substantielles économies. Ces gestes se répartissent en de multiples petites actions à accomplir machinalement, de bonnes habitudes à prendre après réflexion, et d'achats responsables et intelligents pour l'alimentation, la mobilité et les appareils. C'est essentiellement en achetant des véhicules et des produits modernes, plus efficaces, que l'on pourra obtenir des résultats significatifs en termes d'économies d'énergie. En ce qui concerne la prise de mesures d'efficacité énergétique, procéder à l'assainissement énergétique de leurs bâtiments est l'une des mesures présentant le plus fort impact que les propriétaires de biens immobiliers peuvent accomplir.

La manière d'utiliser l'énergie est appelée à évoluer. Par conséquent, certaines habitudes doivent changer elles aussi, comme cela s'est déjà produit à de nombreuses reprises dans le passé. Dans le système énergétique traditionnel, centralisé, les consommateurs jouaient un rôle relativement passif. En revanche, la construction d'un système beaucoup plus décentralisé, reposant de plus en plus sur les énergies renouvelables, nécessitera une participation active des citoyens. La simple acceptation par les consommateurs de nouvelles options énergétiques (par ex. centrales à gaz, éolien, géothermie profonde, etc.) ne suffira pas, mais chacun pourra faire beaucoup plus de choix, par exemple pour son approvisionnement en électricité, son autoproduction, ses déplacements et la gestion de sa mobilité en général. Le citoyen ne sera plus seulement consommateur, mais aussi souvent producteur.

La prise de conscience de la valeur de l'énergie va en augmentant. Il est également probable que les prix eux-mêmes évoluent à la hausse, à cause de la taxation environnementale des énergies fossiles et de leur raréfaction, des besoins de modernisation des réseaux de transport d'électricité et de la part des énergies renouvelables de plus en plus importante dans notre mix énergétique. Cependant, grâce aux réductions des consommations individuelles, la facture énergétique devrait rester supportable pour les citoyens-consommateurs avertis et l'usage accru des ressources indigènes produira de nouvelles retombées économiques locales.

La stratégie énergétique 2050 de la Confédération met aussi l'accent sur les individus en fixant les objectifs de baisse de consommation moyenne par personne par rapport à l'an 2000[1] :

	2020	2035
Electricité	-3%	-13%
Energie totale	-16%	-43%

[1] Chiffres inscrits dans le projet de nouvelle loi fédérale sur l'énergie, {voir le chapitre 3.1 Electricité et le chapitre 3.3 Chaleur}

L'impact global pour le canton de Fribourg

A l'échelle du canton et pour les grands postes de la consommation d'énergie, la vision est aussi à la baisse. Ceci même si la population continue d'augmenter[2] et que certains effets ont tendance à se contrecarrer, en particulier dans le domaine de l'électricité.

Le tableau suivant reprend les objectifs des chapitres correspondants du présent plan sectoriel :

	2030 - 3035
Electricité	+/-0%
Chaleur	-30%
Transports	-40%

Evolution des consommations totales par secteur par rapport à la situation actuelle

Ces objectifs par secteurs correspondent à l'objectif « Société à 4000 W » exprimée dans la stratégie énergétique fribourgeoise de 2009, qui garde toute sa validité. N.B. La stratégie énergétique fribourgeoise de 2009 exprime ses objectifs pour l'an 2030, tandis que la stratégie énergétique 2050 de la Confédération s'est fixé un jalon intermédiaire en 2035. Dans le présent plan sectoriel, on considèrera la période 2030-2035 comme un seul horizon temporel avec ses objectifs propres qui sont de toute façon approximatifs.

Vers un nouveau système énergétique

Diversifié, interconnecté, intelligent et efficace, sont les maîtres-mots qui définissent le système énergétique idéal de demain.

2035 est à considérer comme une étape intermédiaire en direction de l'aboutissement de la transition énergétique vers 2050 dont les caractéristiques finales sont :

- Forte part des énergies renouvelables (environ ⅔, contre environ 20% aujourd'hui)
- Disparition planifiée de l'électricité indigène d'origine nucléaire
- Réduction drastique, voire totale, du mazout + gaz utilisé pour le chauffage
- Forte diminution de notre dépendance envers les produits pétroliers, malgré le maintien d'une part importante de carburants fossiles pour les transports

Les incertitudes sont par contre encore importantes concernant la part des biocarburants dans l'essence, le diesel et le kérosène et surtout concernant le rôle du gaz. Ce dernier pourrait baisser ou augmenter en fonction du mode de production (gaz naturel, biogaz, gaz synthétique), de l'usage (chauffage, processus, cogénération, centrales électriques, véhicules), des besoins de stockage et des besoins en moyens de transport d'énergie. En 2035, trois réacteurs nucléaires sur cinq devraient avoir été arrêtés. Les autres objectifs de la stratégie 2050 en seront quant à eux à mi-chemin.

[2] De 2000 à 2013, la population du canton de Fribourg a augmenté de 25%, plus forte croissance de tous les cantons suisses (+12% depuis 2009)

Utiliser les ressources indigènes

Concernant les ressources indigènes du canton en énergies renouvelables et en rejets de chaleur, les tableaux ci-dessous font la synthèse des informations des chapitres correspondants du présent plan sectoriel.

Electricité : production indigène

Production indigène d'électricité GWh/an	Aujourd'hui	Potentiel	Objectif 2035	Ecart d'ici 2035	Vision 2050	Vision 100% renouvelable
Hydraulique	600	798	798	198	798	798
Solaire PV	47	1000	320	273	500	580
Eolien	0	4100	160	160	250	300
Géothermie profonde	0	*	42	42	84	84
UIOM	54	54	54	0	54	54
STEP CCF	8	12	9	1	9	9
Bois CCF	1	50	30	29	50	50
Biogaz CCF	13	94	40	27	60	60
Total	**723**	**6108**	**1453**	**730**	**1805**	**1935**
Consommation d'électricité GWh/an	1800		1800		1800	

* Pas de véritable limitation chiffrée

Chaleur : production indigène

Production indigène de chaleur GWh/an	Aujourd'hui	Potentiel	Objectif 2035	Ecart d'ici 2035	Vision 2050	Vision 100% renouvelable
Pompes à chaleur	350	*	520	170	690	690
Géothermie profonde	0	*	85	85	170	170
UIOM	62	100	100	38	100	100
Rejets industriels	0	200	50	50	50	100
Rejets STEP	1	160	120	119	160	160
STEP CCF	14	22	16	2	16	16
Solaire thermique	16	270	100	84	160	200
Bois (y compris CCF)	300	705	600	300	600	600
Biogaz CCF	16	175	74	58	111	111
Total	**759**	**1632**	**1665**	**906**	**2057**	**2147**
Consommation de chaleur GWh/an	3500		2400		2000	

* Pas de véritable limitation chiffrée

En 2035, la production indigène devrait déjà permettre de couvrir une grosse majorité des besoins (70-80%), mais d'ici-là il s'agira de produire environ deux fois plus qu'actuellement. Pour l'électricité, le solde manquant sera couvert par les achats hors canton. Pour la chaleur, le gaz devrait représenter une solution transitoire, encore nécessaire en 2035, mais plus forcément en 2050.
La vision 2050 montre qu'au niveau comptable, nous pourrions théoriquement produire autant, voire plus, que ce que nous consommons. Par contre, il serait abusif de viser l'autarcie à l'échelle du canton. Des échanges avec l'extérieur resteront toujours nécessaires pour compenser des besoins ponctuels et mettre en réseau des moyens de stockage. Pour l'électricité, nous pourrions atteindre l'équilibre comptable en misant davantage sur l'éolien dont le potentiel offre d'ailleurs une réserve pour de futurs besoins. La consommation de chaleur de 2050 a été estimée à partir des tendances actuelles et des objectifs de la stratégie énergétique 2050 et de la société à 2000 W.

La vision 100% renouvelable démontre que le but de l'actuelle loi cantonale sur l'énergie est atteignable avec les potentiels à disposition dans le canton[3]. La production indigène d'électricité qui dépasse la consommation estimée pourrait servir à répondre à un essor plus important que prévu de l'électromobilité.

[3] **Art. 1** But
1. Dans la perspective du développement durable, la présente loi a pour but de contribuer à un approvisionnement énergétique suffisant, diversifié, sûr, économique et compatible avec les impératifs de la protection de l'environnement et de l'aménagement du territoire.
2. A cet effet, elle vise à :
a) assurer une production et une distribution de l'énergie économiques, compatibles avec les impératifs de la protection de l'environnement ;
b) promouvoir l'utilisation économe et rationnelle de l'énergie ;
c) encourager le recours aux énergies renouvelables ;
d) favoriser l'utilisation des énergies indigènes.

N.B. Les consommations d'électricité et de chaleur qui figurent ici ne correspondent pas à la définition actuelle de l'énergie finale (énergie achetée). En effet, elles incluent les parts autoconsommées de l'énergie solaire thermique et photovoltaïque qui deviennent significatives selon ces projections.

Dans le domaine des transports, il n'est pas prévu de produire de manière significative des carburants indigènes. Par contre, la consommation d'électricité indiquée ci-dessus inclut un certain développement de l'électromobilité. D'après la stratégie énergétique de la Confédération, il resterait encore 30-40% de carburants fossiles en 2050 par rapport à la situation actuelle.

Une mise en œuvre sans attendre

La mise en œuvre des mesures d'efficacité énergétique nécessite des temps d'adaptation relativement longs, car elle dépend des taux de remplacement de nos équipements consommateurs d'énergie : appareils électriques (5-10 ans), voitures (12 ans), systèmes de chauffage (20 ans) ou rénovation de nos bâtiments (30-50 ans).

La diffusion à grande échelle des technologies exploitant les énergies renouvelables prendra également du temps, de l'ordre de 20 à 30 ans. Pour exploiter pleinement le potentiel des énergies renouvelables, il faudra installer des milliers d'installations, qui devront obtenir des autorisations administratives et parfois passer par des procédures juridiques. Le réseau électrique devra évoluer et s'adapter à la multiplication des nouvelles sources décentralisées d'énergie. De nouvelles solutions pour le stockage de l'électricité devront également être mises au point.

En parallèle, les échéances de notre transition énergétique sont connues : arrêt des centrales nucléaires échelonné dès 2019, engagements ambitieux de réduction des émissions de gaz à effet de serre pour 2020 et 2030, contrats d'importation d'électricité avec la France arrivant à terme entre 2018 et 2035.

Il importe donc de ne pas tarder pour développer les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique, car l'attente augmente les risques d'être contraint de recourir aux centrales à gaz et aux importations pour l'approvisionnement en électricité, ce qui pourrait également se traduire par des coûts plus élevés.

Finalement, la facture totale de la transition énergétique devrait s'élever à 0,9% de notre PIB. Mais le coût des impacts du réchauffement climatique pourrait s'avérer bien plus important. L'Union européenne l'estime à 1,8% de son PIB (à l'horizon 2100), chiffre qui ne devrait a priori pas différer significativement pour la Suisse. Le coût de l'inaction est donc potentiellement deux fois plus élevé que celui de l'action [1]. La transition énergétique aura aussi une influence positive directe sur l'économie locale qui sera de plus en plus sollicitée pour remplacer les énergies non-renouvelables qui représentent aujourd'hui un chiffre d'affaire de plus d'un milliard de francs par an dans le canton.

> [1] EPFL-Swiss Energyscope (www.energyscope.ch). Les enjeux de la transition énergétique suisse & François Vuille, Daniel Favrat, Suran Erkman. Comprendre la transition énergétique: 100 questions brûlantes, 100 réponses la tête froide. PPUR, 2015





9. Organisation

9. Organisation

Le plan sectoriel de l'énergie est conçu pour donner une bonne vision de la situation énergétique actuelle du canton, des potentiels et des enjeux. Sa raison d'être est cependant aussi de déboucher sur des mesures concrètes qui pourront être mises en application dans le sens des objectifs de la politique énergétique. Ces mesures prendront place dans le cadre général en tenant compte des organisations qui y œuvrent.

Niveau international

L'approvisionnement énergétique de la Suisse dépend pour près de 80% des importations de combustibles et de carburants fossiles ainsi que de combustibles nucléaires. Même l'approvisionnement en électricité ne peut se passer des importations, du moins pendant les mois d'hiver.

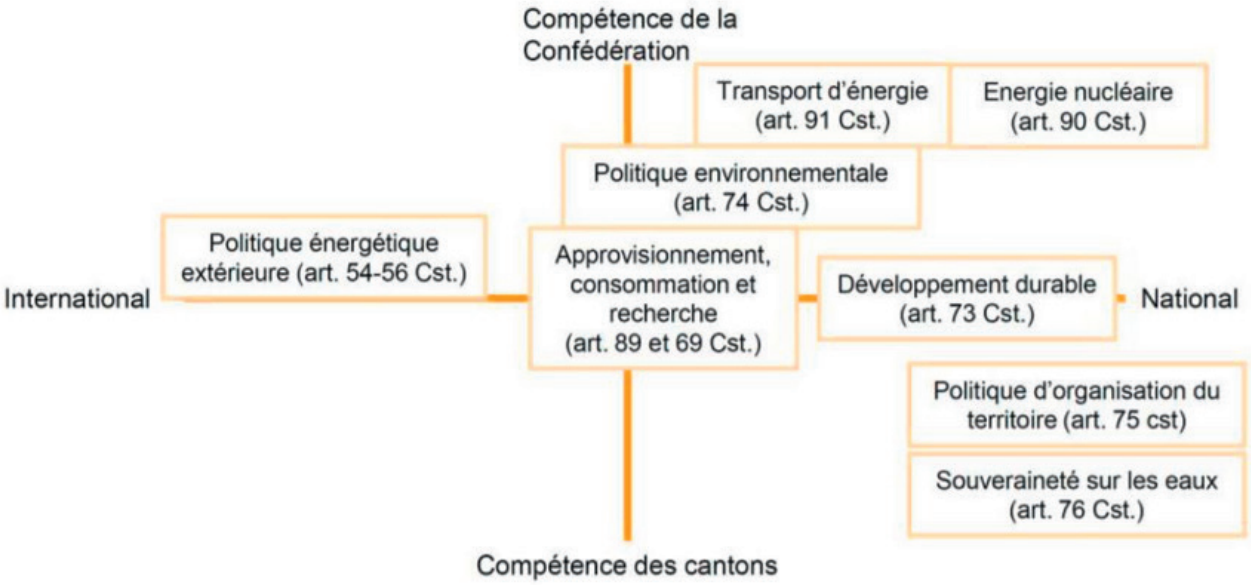
Cette forte dépendance aux importations, la nécessité de garantir la sécurité de l'approvisionnement ainsi que les objectifs de durabilité inscrits dans la politique énergétique suisse exigent une étroite collaboration de la Suisse avec les organisations internationales du secteur et les autorités étrangères concernées. Garantir la position de la Suisse au sein du marché européen de l'énergie figure au premier plan des discussions avec l'Union européenne. Depuis 2007, la Suisse négocie un accord sur l'électricité avec l'Union européenne. L'objectif à long terme de la Confédération est de parvenir à un accord général portant non seulement sur l'électricité, mais aussi sur les infrastructures, l'efficacité énergétique et le gaz naturel.

La Suisse s'investit également pour que la politique énergétique globale soit élaborée principalement dans le cadre d'organismes multilatéraux comme les Conférences des Nations Unies sur le Climat (COP), l'Organisation Mondiale du Commerce (OMC), l'Agence internationale de l'énergie (AIE), l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), la Charte de l'énergie ainsi que l'Agence internationale pour les énergies renouvelables (IRENA). La Suisse peut effectivement intervenir au sein de ces instances en tant que membre.

Niveau national

Basé sur l'article 89 de la Constitution fédérale, quatre lois cadrent la politique énergétique et climatique de la Confédération : la loi sur l'énergie (LEne), la loi sur l'approvisionnement en électricité (LApEl), la loi sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre (loi sur le CO_2) et la loi sur la protection de l'environnement (LPE).

Le Département de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) est en charge de ces domaines, avec en première ligne l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et l'Office fédéral de l'environnement (OFEV). Les compétences sont cependant réparties avec les cantons :



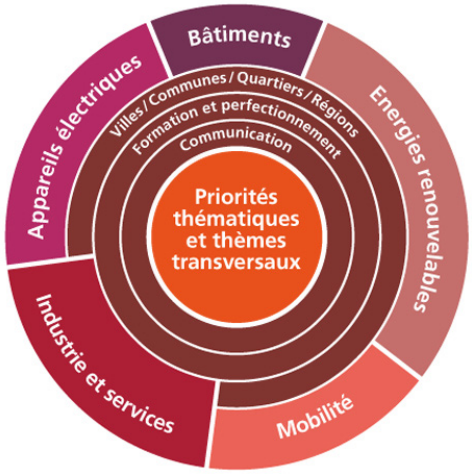
Répartition des compétences selon la Constitution fédérale.

Parallèlement aux collectivités publiques, divers acteurs jouent un rôle important dans les domaines de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables : des entreprises exerçant des activités dans divers secteurs économiques, des organisations environnementales et des milieux de la consommation, ainsi que l'ensemble de la population. SuisseEnergie constitue la plate-forme centrale qui informe, sensibilise, met en réseau et coordonne ces acteurs, puis promeut les échanges de savoir-faire.

La direction opérationnelle de SuisseEnergie est du ressort de l'Office fédéral de l'énergie. SuisseEnergie finance et accompagne des projets des partenaires du secteur public et privé qui soutiennent les mesures prévues.

Plan sectoriel de l'énergie
9. Organisation
–

Le programme est organisé en cinq domaines thématiques prioritaires et en trois domaines transversaux :



Source : suisseenergie.ch

Niveau intercantonal

De manière complémentaire à la législation fédérale et sur la base de l'article 89 de la Constitution fédérale, les cantons ont développé d'autres instruments pour définir leurs politiques énergétiques. Les cantons sont rassemblés sous la bannière de la Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK) depuis 1979. Cet organisme et son pendant technique, la Conférence des services cantonaux de l'énergie (EnFK), élaborent et coordonnent les activités communes des cantons en matière de politique énergétique (www.endk.ch). L'EnDK et l'EnFK sont les interlocutrices privilégiées de la Confédération à l'échelon cantonal pour tout ce qui touche à la politique énergétique.

L'EnDK a établi des principes directeurs qui fixent une ligne générale aux activités des cantons et constituent le tableau de bord de leurs actions. En particulier, l'EnDK édicte et met à jour le Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC) et le Modèle d'encouragement harmonisé des cantons (ModEnHa). Le MoPEC constitue un ensemble de prescriptions énergétiques élaborées conjointement par les cantons sur la base de leurs expériences en matière d'exécution. L'objectif de la dernière révision en 2015 est une adaptation de la part des cantons de leurs lois sur l'énergie d'ici 2018, afin de permettre l'entrée en vigueur des nouvelles prescriptions harmonisées dans toute la Suisse d'ici 2020. Le ModEnHa représente pour tous les cantons une base unique, fondée sur les dispositions légales adaptées de la Confédération et des cantons. Les cantons peuvent s'appuyer sur cette base pour donner l'orientation souhaitée à leurs programmes d'encouragement.

D'autre part, l'EnDK a mis en place l'important outil de politique énergétique qu'est le Certificat énergétique Cantonal des Bâtiments CECB® et a développé le «Programme Bâtiments», dont elle a assuré l'exécution conjointement avec la Confédération[1].

[1] Ce programme est placé entièrement sous la conduite des cantons dès 2017

Niveau cantonal

Le canton est responsable d'établir le plan sectoriel de l'énergie et le plan directeur cantonal. Conformément à la législation sur l'énergie, le présent plan sectoriel sert de base aux thèmes du domaine de l'énergie traités dans le plan directeur cantonal, en ce qui concerne les aspects en lien avec le territoire. Le plan directeur cantonal un instrument qui coordonnent les différentes activités qui ont un effet sur le territoire et dans lequel, notamment, toute l'approche relative à l'approvisionnement et au développement énergétique a son importance. Il lie les collectivités publiques, mais n'a pas d'effet obligatoire pour les particuliers.

Selon la loi fédérale sur l'aménagement du territoire (LAT), révisée en 2014, certains projets ayant une incidence forte sur le territoire et l'environnement ne peuvent plus être planifiés au niveau local si leur emplacement n'a pas été préalablement déterminé dans le plan directeur cantonal. La prochaine révision de celui-ci va permettre de coordonner les nouveautés et adaptations en matière de politique énergétique avec les enjeux de l'aménagement du territoire.

Pour chacun de ses thèmes, le plan directeur cantonal définit les instances concernées et les principes de coordination. Le paragraphe ci-dessous, ainsi que les deux suivants concernant le niveau régional et le niveau communal, indiquent les tâches principales des différents niveaux des collectivités publiques du canton.

Niveau régional

Le développement d'infrastructures pour la production et l'utilisation de l'énergie (par ex. réseaux de chaleur à distance, géothermie profonde, biomasse, bois-énergie) peut nécessiter une organisation à l'échelle régionale.

Les régions :

- intègrent au plan directeur régional les réseaux d'énergie d'ordre supérieur ;
- coordonnent les thèmes de l'urbanisation, des transports et de l'énergie ;
- prennent en considération les réseaux d'énergie lors de leur planification ;
- peuvent coordonner les réseaux d'énergie ;
- peuvent coordonner l'exploitation du bois en vue de la production d'énergie.

9. Organisation

–

Niveau communal

Dans l'ensemble de leurs activités législative, administrative et d'exploitation de leurs biens, les communes tiennent compte de la nécessité d'utiliser rationnellement l'énergie, d'en diversifier les sources d'approvisionnement et de favoriser l'utilisation des énergies renouvelables. Elles pratiquent une politique d'exemplarité pour leurs bâtiments, installations et véhicules et incitent leur personnel à y adhérer par leur comportement. En particulier, pour leurs nouveaux bâtiments, les communes utilisent des moyens de production de chaleur neutres du point de vue des émissions de CO_2. Pour leurs propres besoins en électricité, les bâtiments des communes sont progressivement alimentés en électricité au moyen de courant vert labellisé « Naturemade star », ou équivalent, produit dans le canton. Le canton fait de même pour tous les points mentionnés ci-dessus.

De manière plus formelle, les communes :

- élaborent les plans communaux des énergies dans lesquels elles fixent leurs objectifs de politique énergétique et définissent un plan d'actions permettant de les atteindre[2] ;
- assurent la mise en œuvre des plans communaux de l'énergie et les révisent régulièrement ;
- tiennent compte des questions énergétiques dans le cadre de l'aménagement local ;
- fixent les contenus liant les propriétaires fonciers dans le plan d'affectation des zones et le règlement communal d'urbanisme tel que l'utilisation d'un agent énergétique déterminé, des exigences accrues en matière d'utilisation rationnelle de l'énergie et de valorisation des énergies renouvelables, le raccordement à un réseau de chauffage à distance, la construction d'une centrale de chauffage commune à un groupe d'immeubles ou à un quartier[3] ;
- prennent en considération les réseaux d'énergie supracommunaux dans le plan d'aménagement local, notamment le plan sectoriel des lignes de transport d'électricité (PSE) de la Confédération;
- promeuvent les énergies renouvelables ainsi que l'utilisation rationnelle et économe de l'énergie à travers des actions concrètes sur le plan local et une sensibilisation de la population à cette thématique (délégué à l'énergie, Cité de l'énergie, etc.). ;
- informent les maîtres d'ouvrage sur le potentiel des ressources locales.

[2] **Art. 8** loi sur l'énergie du 9 juin 2000
[3] **Art. 9** loi sur l'énergie du 9 juin 2000

Service de l'énergie SdE
Boulevard de Pérolles 25, Case postale 1350, 1701 Fribourg

T. +41 26 305 28 41, F + 41 26 305 28 48

www.fr.ch/sde

Juillet 2017

-

Commanditaire
Service de l'énergie SdE - Serge Boschung, Chef de service

Chef de projet
Bruno Müller - SdE

Contributeurs
Etienne Courtois - SdE
Marc Dousse - SdE
Marcel Gutschner - NET Nowak Energie & Technologie AG
Jean-Luc Juvet - Juvet Consulting Group

Concept & mise en page
asphalte-design.ch

-

Imprimé sur papier recyclé 100%

