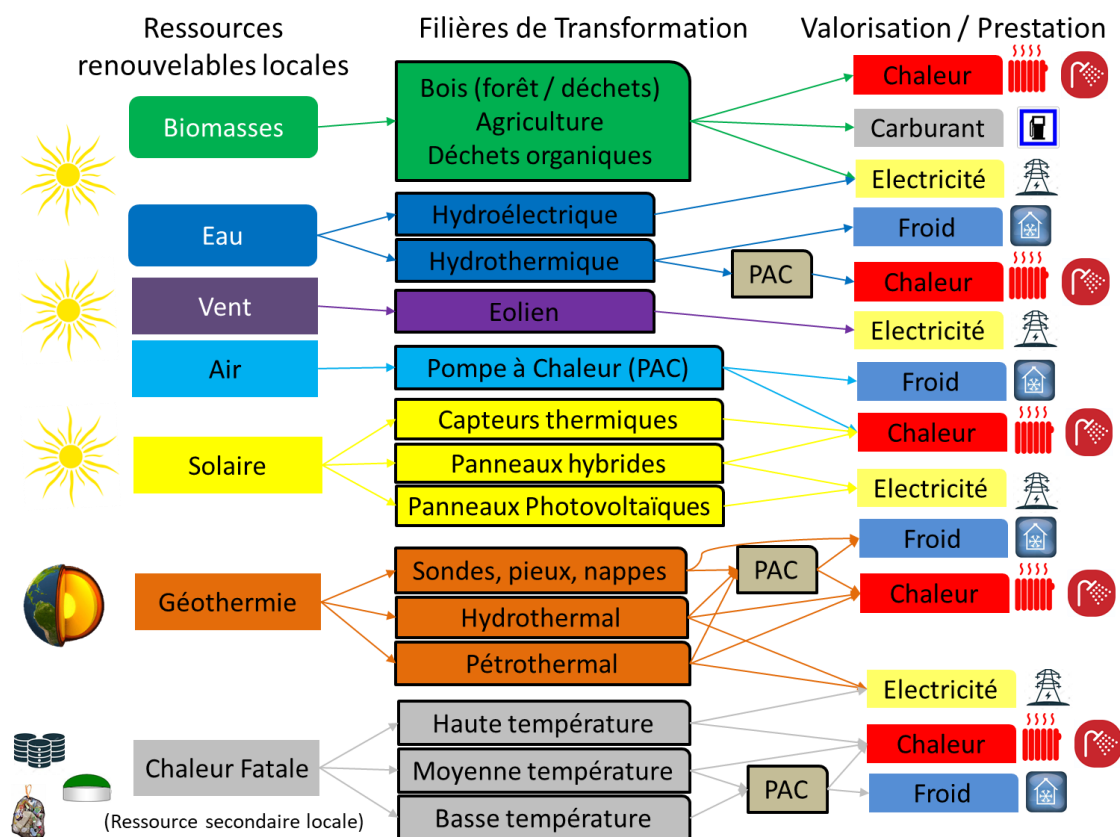


# Gisements renouvelables suisse-romands :

## Synthèse sur l'évaluation des gisements renouvelables locaux en Suisse romande



**Dossier 1598**

**Août 2019**



## Table des matières

1. Contexte du mandat .....	1
2. Approche méthodologique .....	2
2.1 Les gisements ou potentiels renouvelables .....	2
2.2 Les filières énergétiques .....	4
2.3 Ressource Chaleur fatale .....	5
3. Gisements renouvelables suisses romands .....	7
3.1 Eaux des rivières et des lacs .....	7
3.2 Air .....	11
3.3 Géothermie .....	12
3.4 Rejets thermiques UVTD .....	13
3.5 Eaux usées des STEP .....	14
3.6 Autres rejets thermiques .....	16
3.7 Biomasses .....	17
4. Synthèse des filières renouvelables locales .....	19
5. Conclusions et recommandations .....	23
Bibliographie .....	25
Liste des Figures .....	27



## 1. Contexte du mandat

L'association romande ARPEA organise, en septembre 2019, un colloque intitulé : « *Réseaux de chauffage et de refroidissement : comment valoriser les ressources inexploitées de Suisse romande ?* »<sup>1</sup>. Le colloque présentera différentes solutions existantes pour réduire notre dépendance aux énergies fossiles et valoriser thermiquement les sources d'énergie locale.

Dans ce cadre, une compilation et une synthèse des données romandes sur les ressources suivantes ont été réalisées : eaux de surface, air, géothermie, rejets de chaleur des usines de valorisation et traitement des déchets (UVTD), rejets de chaleur des eaux usées des stations d'épuration (STEP), autres rejets thermiques (climatisation, datacenter, industrie, etc.).

La présente approche ne considère pas les gisements éoliens, solaires et biomasses en détail. Toutefois, elle intègre dans la synthèse les données issues de moyennes suisses pour le solaire thermique et les biomasses.

L'analyse de ces données a permis de quantifier les gisements renouvelables locaux en Suisse romande dont les résultats seront présentés par M. Faessler lors du colloque ARPEA.

---

<sup>1</sup> <https://www.arpea.ch/agenda/>

## 2. Approche méthodologique

### 2.1 Les gisements ou potentiels renouvelables

L'approche méthodologique utilisée dans ce rapport s'appuie sur la méthode des gisements bruts, accessibles et mobilisables développés dans la thèse de M. Faessler (Figure 1) :

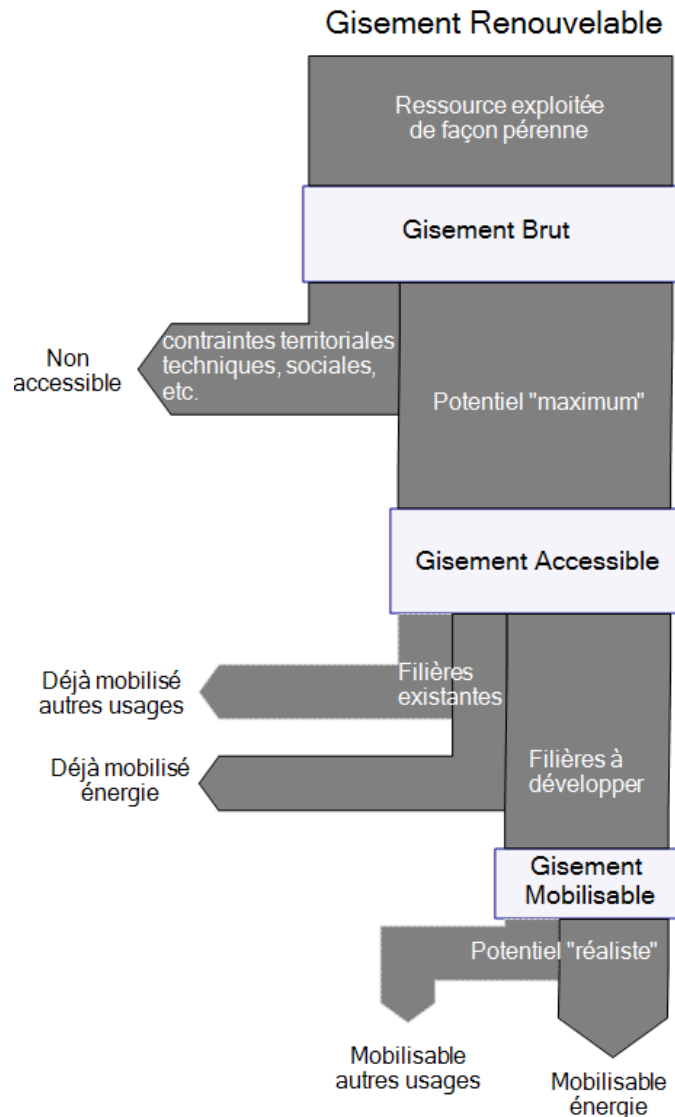


Figure 1 : Définition des gisements bruts, accessibles et mobilisables (Faessler, 2011)

La terminologie « *gisement* » est plus précise et se rapporte spécifiquement aux ressources naturelles disponibles alors que la terminologie « *potentiel* » est plus générale et signifie « *capacité à faire supposée* ».



L'OFEN a également défini les différents potentiels des énergies renouvelables électriques selon (OFEN, 2012) :

- Le **potentiel théorique** se rapporte à l'offre physique totale d'un agent énergétique dans le périmètre étudié, sans tenir compte des restrictions effectives impliquées par son exploitation. Le potentiel théorique se rapporte au gisement brut ;
- Le **potentiel technique** est la part du potentiel théorique utilisable compte tenu des restrictions techniques. Comme le potentiel technique dépend de l'évolution technologique, il change continuellement au cours du temps ;
- Le **potentiel attendu** est la part du potentiel technique qui remplit les critères de durabilité : « écologique », « économique » et « socialement acceptée ». Le potentiel attendu équivaut au gisement accessible.

Le gisement mobilisable est le potentiel attendu moins le potentiel déjà mobilisé. Dans cette étude, il est calculé selon la part du gisement technique utilisable qui remplit les critères écologiques, économiques et d'acceptabilité sociale sans considérer le potentiel déjà mobilisé (en énergie et/ou matière).



## 2.2 Les filières énergétiques

Pour analyser les enjeux locaux, la notion de système énergétique doit être introduite. Le système énergétique peut être défini comme un ensemble de filières énergétiques. Chacune de ces filières énergétiques peut être décomposée selon une grille de lecture abondamment utilisée dans le cadre de la thèse VIRAGE (Faessler, 2011) :

**Ressource (Energie primaire) → Transformation → Valorisation (Energie finale)**

La ressource est assimilable à de l'énergie primaire (EP) mais peut, pour des raisons très pragmatiques, être étendue à une énergie secondaire (ES) rebaptisée « chaleur fatale » pour la circonstance.

Les différentes filières énergétiques à partir des ressources renouvelables locales pour la Suisse romande peuvent être synthétisées comme suit (Figure 2) :

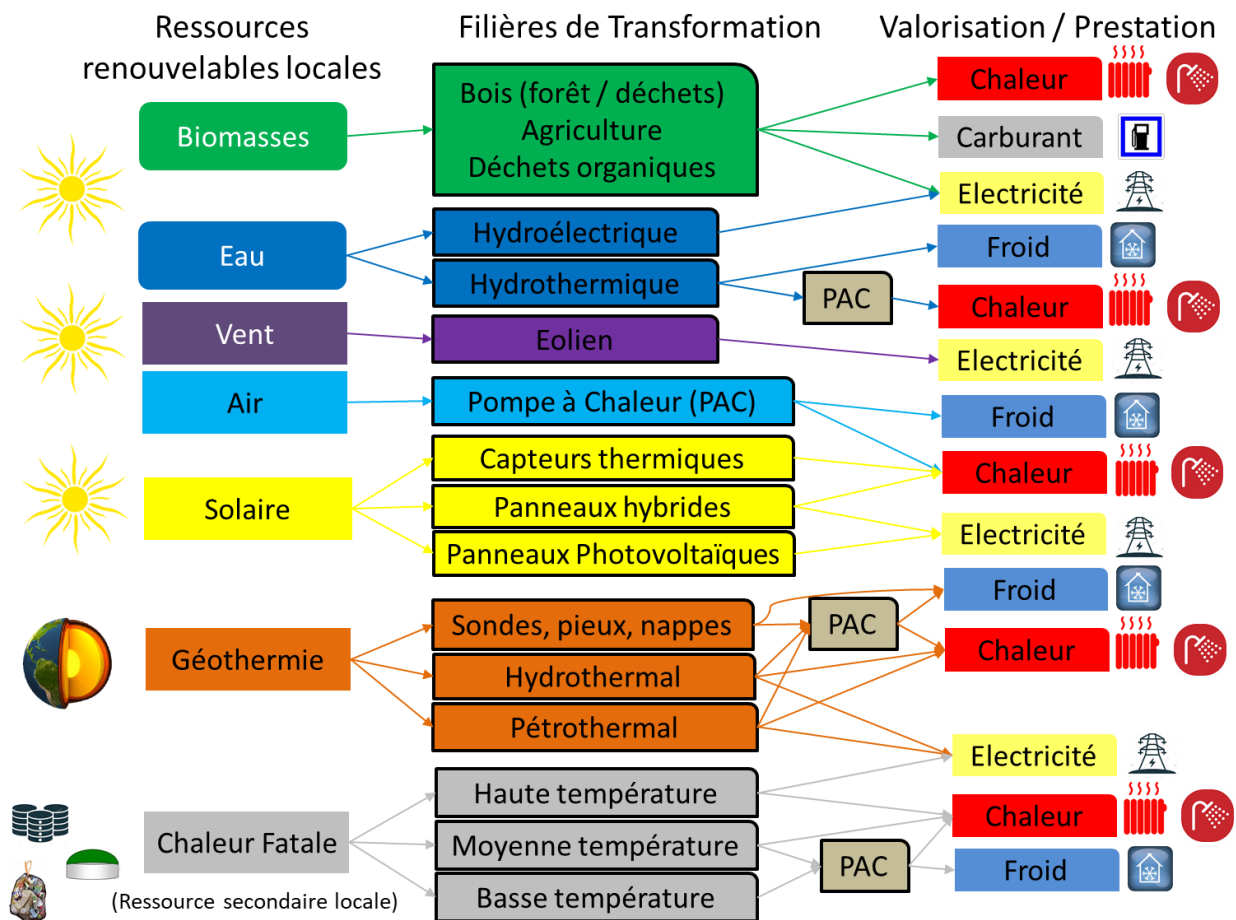


Figure 2 : Filières énergétiques renouvelables locales

Chaque ressource renouvelable peut aboutir à plusieurs filières énergétiques et différents types de valorisation (électricité, froid, chaud, carburant). La valorisation de cette énergie aboutit à différentes prestations (éclairage, déplacement, réfrigération, eau chaude sanitaire, etc.). On parle alors d'énergie utile (EU).

Les ressources traitées dans le cadre de ce mandat sont l'eau de surface (rivières et lacs), l'air, la géothermie et les différentes chaleurs fatales (voir définition ci-dessous). Les biomasses et le solaire thermique ont fait l'objet d'une analyse succincte sur la base de données à l'échelle suisse.



## 2.3 Ressource Chaleur fatale

La chaleur fatale est une énergie secondaire catégorisée comme un gisement mobilisable. Elle provient de procédés de production ou transformation industriels qui n'utilisent que partiellement l'énergie thermique à leur disposition.

L'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) française a réalisé une étude détaillée du potentiel de la chaleur fatale qui explicite les différents types de chaleur fatale (ADEME, 2017 - Figure 3) :

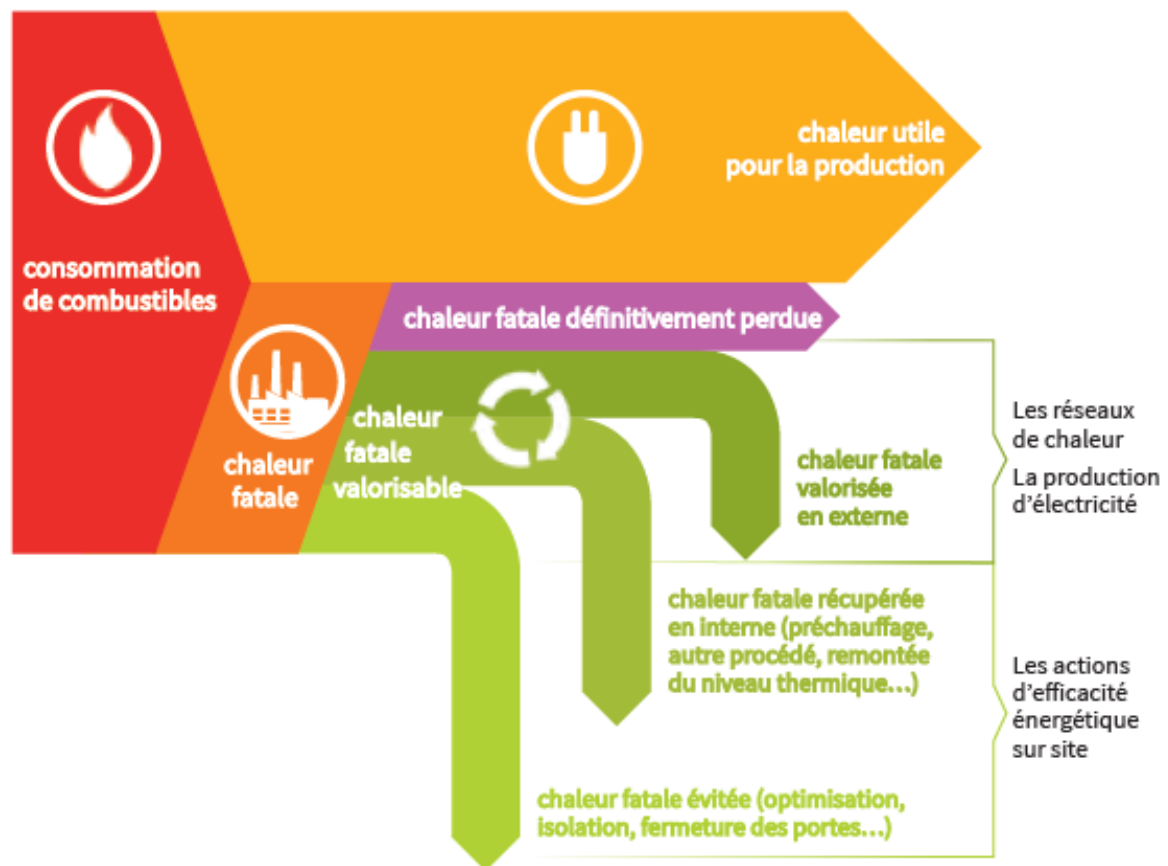


Figure 3 : Définitions de la chaleur fatale (ADEME, 2017)

La part de chaleur fatale valorisée en externe peut être plus ou moins importante selon la chaleur fatale récupérée en interne et les possibilités techniques et/ou économiques de sa valorisation en externe (i.e distance du preneur, coûts de la connexion). Cette valorisation permet de minimiser la chaleur fatale définitivement perdue (en violet dans la Figure 3).

Le CEREN (Centre d'Etudes et de Recherches Economiques sur l'énergie) a constitué une base de données sur les consommations d'énergie de plus de 30'000 sites industriels intégrant les 7'000 plus gros consommateurs. Ces derniers sont caractérisés de façon plus fine sur la base des connaissances/monitoring de leurs flux et usages énergétiques et les caractéristiques techniques des équipements thermiques.



Cela a notamment permis de caractériser l'ensemble des gisements de chaleur fatale (109 TWh/an pour la France) selon les types de rejets et leurs niveaux de température (Figure 4) :

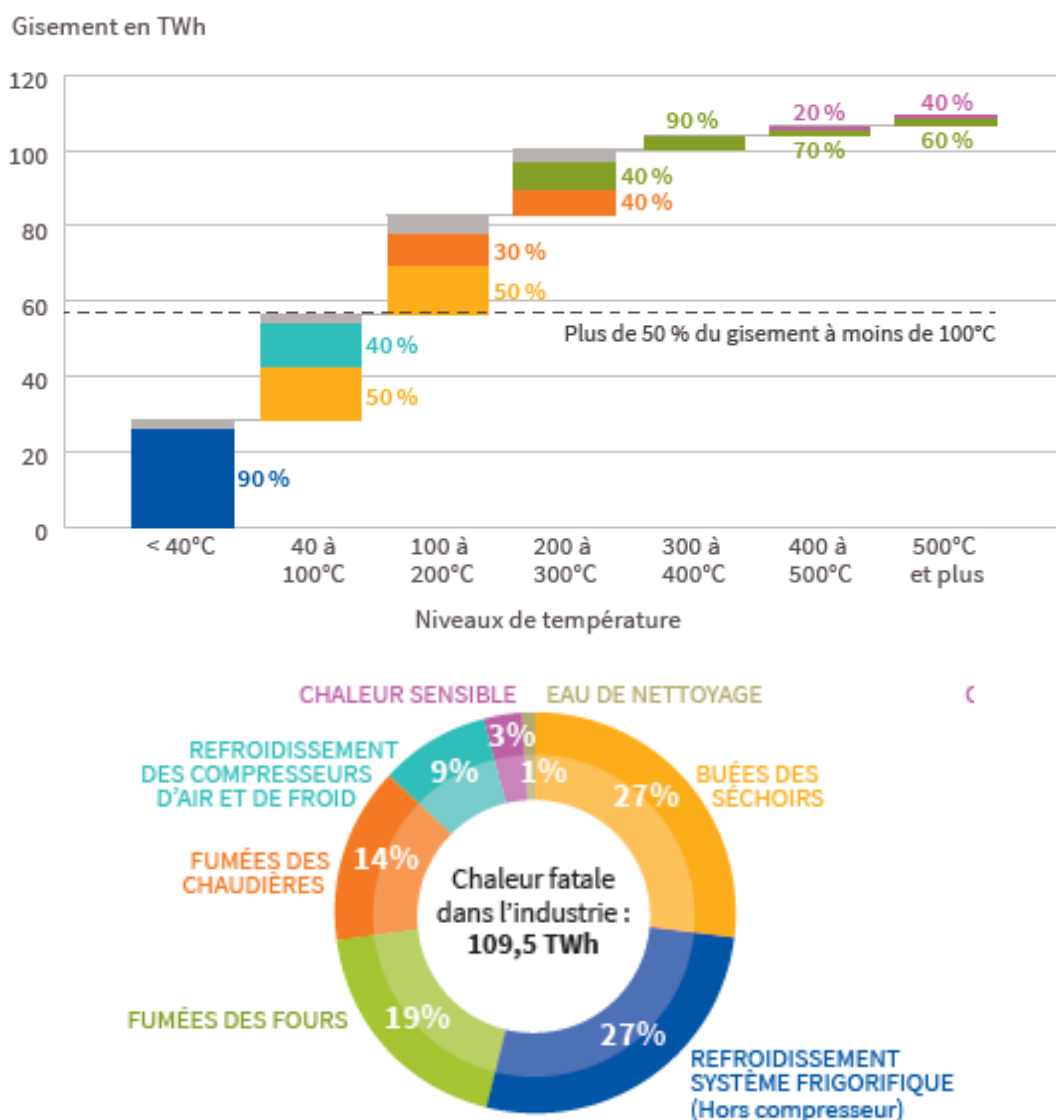


Figure 4 : Gisements de chaleur fatale en France selon le type de rejets et le niveau de température (ADEME, 2017)

Cette base de données extrêmement détaillée n'existe malheureusement pas en Suisse, ou seule une estimation générale a été faite dans le cadre du livre blanc du chauffage à distance (ASCAD, 2014 – voir chapitre 3).

Dans le cadre de cette recherche, la chaleur fatale considérée a été traitée principalement via :

- Les rejets thermiques des usines de valorisation et traitement des déchets (UVTD – chapitre 3.4) ;
- Les rejets thermiques des stations d'épuration (STEP – chapitre 3.5) ;
- Une comparaison succincte des autres rejets thermiques sur la base de chiffres globaux (chapitre 3.6).



### 3. Gisements renouvelables suisses romands

Dans un souci de simplification et d'accès à des données statistiques, les données de ce chapitre concernent les 6 cantons romands dans leur intégralité (FR, GE, JU, NE, VD, VS), en excluant le Jura Bernois.

#### 3.1 Eaux des rivières et des lacs

Une étude de l'EAWAG a estimé le gisement brut des lacs et des rivières (Gaudard *et al*, 2018). Cette méthode se base sur une approche simplifiée pour les lacs et rivières :

- Lacs : basé sur le volume disponible pour ne pas perturber la stratification naturelle avec un  $\Delta T_{lac} = -1K$  pour l'extraction de chaleur et  $\Delta T = +0,5K$  pour l'extraction de froid ;
- Rivières : basé sur le débit disponible avec un  $\Delta T = -1,5K$  pour l'extraction de chaleur et  $\Delta T_{rivière} = +1,5K$  pour l'extraction de froid ;

Dans la majorité des cas, les gisements (potentiels) sont plus importants que la demande régionale maximale (Figure 5) :

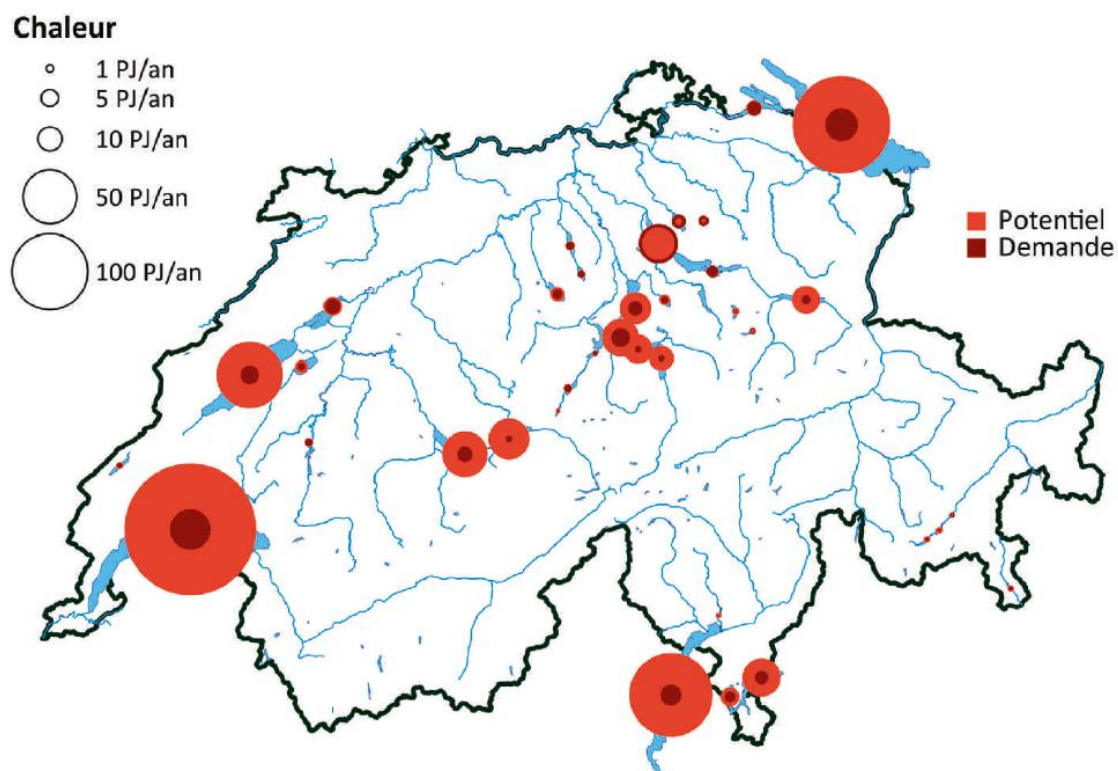
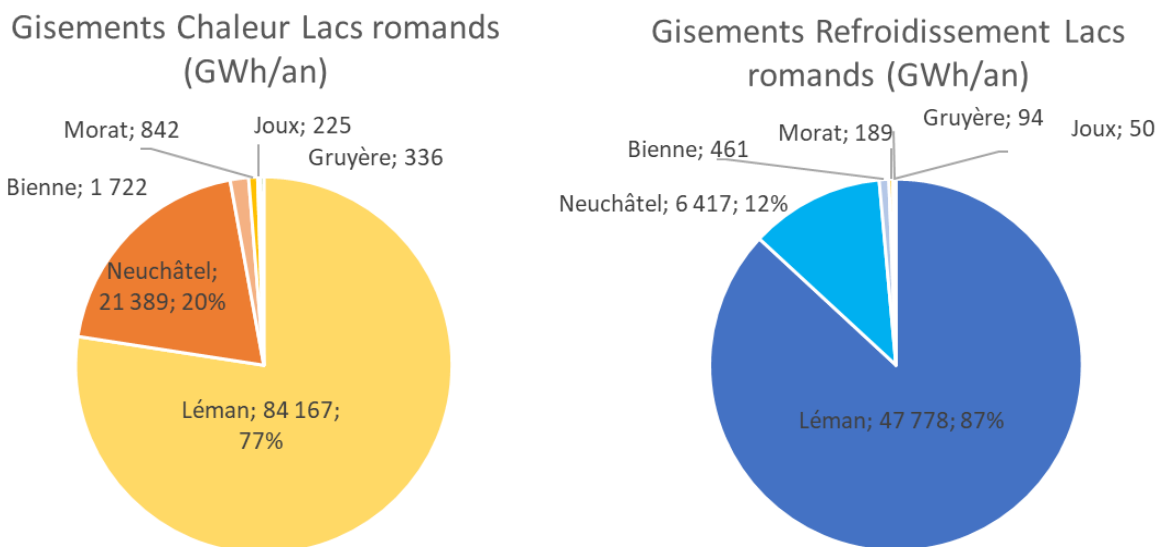


Figure 5 : Potentiel des lacs suisses pour l'extraction de chaleur et demande régionale maximale (Gaudard *et al*, 2018)

Globalement, toutes les cartes comparant les gisements bruts à la demande régionale maximale (lacs et rivières ; demande de chaud ou de froid) montrent un potentiel dépassant la demande thermique régionale. Cette étude de l'EAWAG corrobore les conclusions de l'UNIGE pour le petit Lac du Léman (Faessler *et al*, 2012).

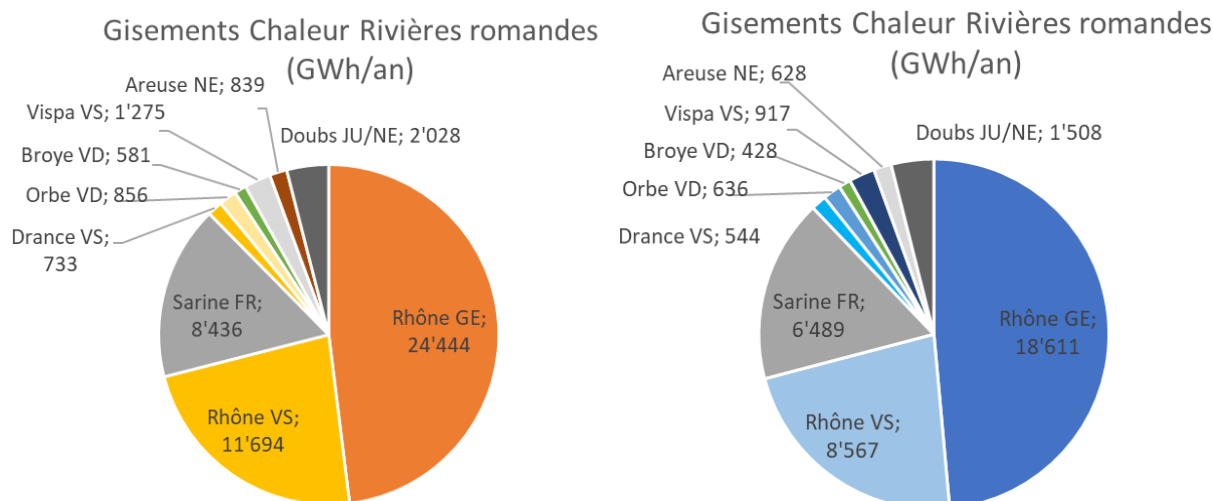


Les gisements bruts des lacs de Suisse romande sont d'environ 109'000 GWh/an pour la chaleur (y compris l'électricité des PAC associées) et 55'000 GWh/an pour le refroidissement (Figure 6) :



**Figure 6 : Gisements bruts des lacs suisse romands (chaleur et refroidissement)**

Les gisements bruts des rivières de Suisse romande sont d'environ 52'000 GWh/an pour la chaleur (y compris l'électricité des PAC associées) et 39'000 GWh/an pour le refroidissement (Figure 7) :



**Figure 7 : Gisements bruts des rivières suisse romandes (chaleur et refroidissement)**

Ces gisements bruts sont globalement très élevés (plusieurs dizaines de milliers de MW de puissance) mais répartis de manière inéquitable entre les différents cantons ou régions. Le potentiel de valorisation est principalement situé autour du Léman et du Lac de Neuchâtel ainsi que sur le Rhône et la Sarine.

Ces gisements bruts tiennent compte de l'environnement mais ne tiennent pas compte de la dynamique de la demande thermique (besoins de froid de confort en été, besoin de chauffage en hiver) ni des aspects économiques ou d'acceptabilité sociale (notamment pour l'utilisation des rivières).



Afin d'estimer de manière réaliste les gisements mobilisables, il faudrait :

- Identifier, de manière géoréférée, les bâtiments proches des lacs et rivières pouvant potentiellement être connectés à un réseau d'eau de surface ;
- Estimer un taux de raccordement de ces bâtiments selon la densité thermique.

Une autre approche consisterait à évaluer les besoins de froid de confort autour des lacs et rivières et considérer que les réseaux d'eau de surface se développent avant tout sur la base d'un besoin avéré de rafraîchissement. Ces analyses sortent du cadre de ce mandat.

Plusieurs réalisations de réseaux valorisant les eaux de lac existent à ce jour en Suisse romande, pour une puissance nominale totale proche de 70 MW ( $\Delta T=5K$  en général) :

- GLN (SIG) : 20 MW
- Versoix-centre (SIG) : 3.5 MW
- Tour de Peilz (Groupe E) : 10 MW
- EPFL : 19 MW, projet de renouvellement/extension à 24 MW (d'ici 2021)
- Siège de Nestlé à Vevey : 8 MW
- Neuchâtel (Viteos) : env. 5 MW

Dès 2022, SIG devrait mettre en service GeniLac urbain (60 MW) et GeniLac Aéroport (80 MW), réseau valorisant thermiquement les eaux du Léman.

Selon les informations des cantons, Neuchâtel prévoit 250 GWh/an de valorisation thermique via l'eau du Lac d'ici 2050 (Canton de Neuchâtel, 2016) et Genève plusieurs centaines de GWh/an d'ici 2035 (Canton de Genève, 2019). Il n'est pas précisé si la valorisation est pour de la chaleur ou du rafraîchissement, mais probablement un mélange des deux. D'ici 2035, le Valais prévoit également 500 GWh/an de chaleur de l'environnement, sans préciser la répartition entre rivières, nappes, sous-sol et air (Canton du Valais, 2019). Les autres cantons n'ont pas d'objectifs quantifiés connus à ce jour, mais le Canton de Vaud (Léman) et celui de Fribourg (Sarine) ont sûrement un potentiel non négligeable.

De manière approximative, les gisements mobilisables pour les eaux de surface peuvent être estimés entre un gisement « chaud » et un gisement « froid » (Figure 8) :



	Gisement mobilisable		remarques
	Chaud	Froid	
	GWh/an	GWh/an	
Fribourg	70	50	<i>estimé HGE : Sarine ?</i>
Genève	280	175	<i>GeniLac Urbain 60 MW + Aéroport 80 MW</i>
Jura	0	0	<i>Estimé HGE</i>
Neuchâtel	140	110	<i>Canton de Neuchâtel, 2016 ; répartition estimée HGE</i>
Valais	60	40	<i>estimé 20% de l'objectif des 500 GWh/an</i>
Vaud	120	80	<i>Estimé HGE</i>
<b>SOMME</b>	<b>670</b>	<b>455</b>	

**Figure 8 : Gisements mobilisables estimés pour les eaux de surface (Lacs et rivières)**

On estime le gisement mobilisable des eaux de surface à environ 700 GWh/an pour du chaud et 450 GWh/an pour du froid. Ces gisements dépendront des nombres d'heures d'utilisation effective des futures infrastructures CAD à construire.

Les principaux enjeux de la réalisation économique d'un réseau d'eau du Lac résident dans les éléments suivants :

- Utilisation d'eau suffisamment profonde à température constante toute l'année, permettant de faire du freecooling en été ( $T < 10^{\circ}\text{C}$ ) et minimisant les problèmes liés aux prises d'eau (i.e. moules zébrées) ;
- Vente d'énergie froid (1'000h par an à puissance nominale pour la climatisation de confort ; 4'000h par an pour des datacenter) ET d'énergie chaud (2'000h par an à puissance nominale pour le chauffage) afin de mieux rentabiliser l'investissement dans le réseau ;
- Auditer les bâtiments existants avant connexion au réseau afin de diminuer les pointes de puissance via une meilleure régulation des distributions dans le bâtiment (adaptation des débits/températures, modifications hydrauliques, changement de pompes, etc.) ;
- Si possible, conserver une partie des machines de froid existantes afin de dimensionner les sous-stations (SST) à seulement 40-50% de la puissance de froid, permettant de fournir 80 à 90% d'énergie renouvelable tout en libérant de la puissance réseau pour d'autres clients.



## 3.2 Air

L'air peut être considéré comme une ressource illimitée en tant que source froide de pompes à chaleur air-eau.

Il n'existe pas de statistique précise sur la fourniture d'énergie thermique par des PAC air-eau en Suisse romande. Ces données pourraient probablement être obtenues via une enquête auprès des fournisseurs d'électricité dans la mesure où ils proposent souvent des tarifs spécifiques pour ce type de PAC.

Toutefois, il existe dans plusieurs cantons une statistique « chaleur de l'environnement » qui englobe toutes les PAC (PAC aérothermique, géothermique et hydrothermique). Les cantons de Fribourg et de Genève estiment qu'environ 70% des PAC sont géothermiques (Canton de Fribourg, 2017).

En estimant que 25% de la statistique « chaleur de l'environnement » correspond à des PAC air-eau, on peut estimer le gisement actuel utilisé en Suisse romande à environ 250 GWh/an (principalement dans les Cantons de Vaud et Fribourg). A long terme, les cantons romands espèrent mobiliser plus de 800 GWh/an en comptant le gisement déjà mobilisé (Figure 9) :

	PAC air-eau actuelle	PAC air-eau mobilisable	PAC air-eau future	
	GWh/an	GWh/an	GWh/an	Remarques / source données
Fribourg	100	73	173	25% de 690 GWh/an (selon Canton de Fribourg, 2017)
Genève	9	241	250	SIG, stratégie thermique 2050 (2019)
Jura	?	8	8	Canton du Jura, 2012
Neuchâtel	12	48	60	Canton de Neuchâtel, 2016
Valais	48	78	125	25% de 500 GWh/an (selon Canton du Valais, 2019)
Vaud	95	95	191	env. 2x l'état 2016 (25% de 381 GWh/an / Canton de Vaud, 2019)
<b>SOMME</b>	<b>264</b>	<b>542</b>	<b>806</b>	

Figure 9 : Gisements déjà mobilisé et mobilisables estimés pour les PAC air-eau

Le développement des PAC air-eau dépendra à la fois :

- de l'évolution de leurs coûts, déjà moindre que des PAC géothermiques ou hydrothermiques ;
- de l'évolution de leur performance énergétique ;
- de leur intégration optimale dans les bâtiments, avec spécifiquement la problématique des impacts sonores ;

Des PAC air-eau performantes pourraient se massifier plus facilement que des PAC géo- ou hydrothermiques en raison de la facilité d'installation et des coûts moins élevés.



### 3.3 Géothermie

De manière simplifiée, la géothermie peut être divisée en 3 grandes familles :

- Faible profondeur : nappes, sondes ou géostructures permettant de produire de la chaleur et/ou du froid avec des pompes à chaleur (PAC) ;
- Moyenne profondeur : systèmes hydrothermaux permettant de produire de la chaleur directe et/ou via une PAC ;
- Grande profondeur : systèmes hydrothermaux ou pétrothermaux permettant de produire de l'électricité et/ou de la chaleur directe ;

Les différents documents consultés ne donnent pas toujours les mêmes chiffres pour les potentiels des 3 types de géothermie. La synthèse des données les plus récentes des cantons aboutit au tableau estimatif suivant (Figure 10) :

	Géothermie faible prof.			Géothermie moyenne prof.			Géothermie grande prof.		Source
	GWh/an actuelle	GWh/an future	GWh/an mobilisable	GWh/an actuelle	GWh/an future	GWh/an mobilisable	GWh/an actuelle	GWh/an future (mobilisable)	
Fribourg	274	360	86	0	?	?	0	85 (th) et 42 (el)	Canton de Fribourg, 2017
Genève	35	510	475	0	390	390	0	?	Canton de Genève, 2019 et ST2035/2050 SIG
Jura	?	8	8	0	55	55	0	55 (th) et 40 (el)	Canton du Jura, 2012 et Geoenergie
Neuchâtel	16	350	334	0	40	40	0	?	Canton de Neuchâtel, 2016
Valais	95	250	155	15	25	10	0	?	Canton du Valais, 2019
Vaud	229	460	231	17	1'440	1'423	0	?	Canton de Vaud, 2019 et CSD, 2018
<b>SOMME</b>	<b>649</b>	<b>1'940</b>	<b>1'290</b>	<b>32</b>	<b>1'950</b>	<b>1'918</b>	<b>0</b>	<b>?</b>	

**Figure 10 : Gisements mobilisables estimés pour la géothermie en Suisse romande**

Globalement, on estime que le gisement mobilisable est d'environ 1'300 GWh/an pour la géothermie de faible profondeur et 2'000 GWh/an pour la géothermie de moyenne profondeur en Suisse romande. Ces potentiels ne couvrent que les besoins de chaleur et pas les besoins de froid, qui vont avoir tendance à augmenter et qui ne pourront être couverts que partiellement par la géothermie de faible profondeur.

La géothermie de grande profondeur est encore trop mal connue pour estimer un potentiel mobilisable réaliste, même si la stratégie énergétique 2050 suisse cite le chiffre de 4'380 GWh/an d'électricité en 2050 pour toute la Suisse (Confédération Suisse, 2013).

Différents cadastres de la géothermie sont en cours d'élaboration afin de mieux visualiser localement les gisements potentiels, par exemple ceux du Canton de Vaud :

- Prochainement le cadastre de la géothermie moyenne profondeur ;
- D'ici fin 2019 le cadastre des nappes d'eau souterraine ;



### 3.4 Rejets thermiques UVTD

Il existe 8 usines de valorisation et traitement des déchets (UVTD) pour les 6 cantons romands. La valorisation de la chaleur actuelle (ASED, 2019) et future<sup>2</sup> est résumée dans le tableau ci-dessous (Figure 11) :

		Gisement déjà mobilisé (ASED 2018)			Gisement brut (65% valorisation)	Gisement défini par cantons	Gisement encore mobilisable
		tonnes incinérées annuelles	Chaleur valorisée en GWh/an	taux Valorisation chaleur en %	Chaleur valorisable en GWh/an	Chaleur valorisable en GWh/an	Chaleur valorisable en GWh/an
Fribourg	Posieux	100'000	70	23%	198	100	30
Genève	Cheneviers	225'000	280	43%	423	350	70
Jura	<i>pas d'incinérateur</i>						0
Neuchâtel	Colombier	60'000	25	17%	96	30	5
Neuchâtel	La Chau-de-Fonds	60'000	70	44%	103	70	0
Valais	Gamsen	40'000	75	63%	77	80	5
Valais	Sion	60'000	17	12%	92	40	23
Valais	Monthey SATOM	160'000	70	18%	253	100	30
Vaud	Lausanne TRIDEL	180'000	290	51%	370	300	10
<b>SOMME</b>	<b>Suisse-romande</b>	<b>885'000</b>	<b>897</b>		<b>1'612</b>	<b>1'070</b>	<b>173</b>

**Figure 11 : Synthèse des gisements mobilisés, bruts et mobilisables des rejets thermiques des UVTD romands**

En général, la valorisation de ces rejets thermiques se fait via des CAD à haute température (80 à 120°C, voir 175°C pour Tridel à Lausanne). Le gisement encore mobilisable dépend donc des développements futurs des CAD reliés aux différentes UVTD. Les chiffres de ce tableau correspondent à l'intégralité de la chaleur fatale valorisable<sup>3</sup>.

Le gisement brut est défini selon le taux maximum atteint par les meilleures UVTD actuelles (Bâle et Gamsen), soit 65% de valorisation de la chaleur fatale produite. Le gisement mobilisable est plus faible puisqu'il est limité par le dimensionnement du réseau CAD existant (souvent trop petit pour absorber plus de chaleur). De plus, il reste la difficulté de valoriser toute l'énergie en été car les déchets continuent d'être brûlés dans l'UVTD mais les besoins en chaleur sont beaucoup plus faibles.

Globalement, les rejets thermiques des UVTD en Suisse romande sont déjà bien valorisés (900 GWh/an) et un potentiel de 20% supplémentaire subsiste (env. 175 GWh/an).

<sup>2</sup> Sans tenir compte de l'évolution des tonnages incinérés.

<sup>3</sup> Les autorités considèrent généralement la chaleur des UVTD à 50% renouvelable (issus de biomasse) et 50% non-renouvelable (issus de plastiques et déchets non-renouvelables). Cependant, la chaleur produite lors de l'incinération est à 100% de la chaleur fatale, qui, si elle n'est pas valorisée, réchauffera l'atmosphère ou la rivière attenante.





### 3.5 Eaux usées des STEP

Selon l'OFEV, il existe 68 STEP de plus de 9'000 équivalent-habitants (EH) en Suisse romande. Ces STEP représentent 3.81 millions d'EH ou 1.85 millions habitants raccordés ( $H_{\text{raccordés}}$ ), soit 84% des habitants de Suisse romande (2.2 millions d'habitants). Le bureau Ryser a analysé les débits disponibles de projets réalisés, planifiés ou en études de faisabilité de 15 STEP. Pour le calcul de la puissance disponible, les débits par temps secs sont réduits d'un facteur de sécurité de 20% et un  $\Delta T$  de 5K est considéré.

On aboutit aux résultats suivants (Andreas Hurni, Ryser AG, communication personnelle) :

- 13'000 à 57'000 EH/MW<sub>th</sub> ;
- 9'500 à 20'900  $H_{\text{raccordés}}/\text{MW}_{\text{th}}$ , avec une moyenne à environ 14'300  $H_{\text{raccordés}}/\text{MW}_{\text{th}}$  ;

Les  $H_{\text{raccordés}}$  représentent mieux les débits réellement disponibles en sortie de STEP (les EH représentent plutôt un dimensionnement maximum de la STEP) et sont conservés pour la suite de l'analyse.

Les valeurs globales pour 1.85 millions d'habitants donnent les résultats suivants :

- $P_{\text{sortie STEP}}$  (source froide) = 129 MW ;
- $P_{\text{condenseur PAC}}$  = 161 MW (pour un COPA de 5) ;
- $E_{2000h}$  = 323 GWh/an (mono-ressource : fonctionnement 2'000 heures à puissance nominale) ;
- $E_{5000h}$  = 807 GWh/an (multi-ressource : fonctionnement 6'000 heures à puissance nominale) ;

Ces valeurs sont des valeurs plutôt conservatrices ( $\Delta T=5K$  pourrait être de 8K dans certains cas comme à la STEP d'Aire avec des PAC en série, COPA de 4 plutôt que 5 augmente le potentiel total, etc.). L'enjeu principal de la valorisation des eaux usées réside dans la capacité à construire ou à se connecter à un CAD suffisamment important pour pouvoir valoriser au moins 4 ou 5'000 heures de fonctionnement à pleine puissance.

Certains cantons ont réalisé des évaluations de gisements pour leurs STEP et arrivent à des valeurs souvent plus élevées de gisements mobilisables. On résume les principales données par cantons dans le tableau ci-dessous (Figure 12) :

	Equivalent-Habitants (EH)	Habitants raccordés (Hrac)	Nombre de STEP > 9'000 EH	Nombre de STEP avec potentiel valorisation	Gisement selon chiffres Ryser		Gisement définis par cantons
					Source Froide mobilisable en MW	Chaleur mobilisable en GWh/an	Chaleur mobilisable en GWh/an
Fribourg	581'180	224'066	13	9	15.7	98	139
Genève	913'600	571'608	5	1	40.0	250	370
Jura	87'500	51'363	2	<i>env. 2</i>	3.6	22	?
Neuchâtel	259'700	156'085	8	<i>env. 4</i>	10.9	68	?
Valais	828'654	199'424	13	<i>env. 6</i>	13.9	87	?
Vaud	1'139'038	643'444	27	18	45.0	281	610
<b>SOMME</b>	<b>3'809'672</b>	<b>1'845'990</b>	<b>68</b>	<b>40</b>	<b>129</b>	<b>807</b>	<b>1'119</b>

Figure 12 : Gisements mobilisables des STEP romandes





D'ici fin 2019, le canton de Vaud va publier sur son géoportail le cadastre des rejets de chaleur avec les STEP et autres rejets de l'industrie.

En Suisse romande, le gisement mobilisable est de l'ordre du TWh. Les principaux enjeux pour réaliser la valorisation thermique d'une STEP réside dans les éléments suivants :

- Demande thermique / CAD proche de la STEP ;
- Nombre d'heures de valorisation à puissance nominale à maximiser ;
- Coefficient de performance (COPA de 3 à 5), avec l'enjeu de la capacité en puissance électrique de la STEP ;
- Capacité de l'exutoire à recevoir des eaux refroidies par les PAC, qui dépend de la dynamique de température de la rivière par rapport à la dynamique de la température en sortie de STEP.



### 3.6 Autres rejets thermiques

En France, l'étude ADEME a évalué l'ensemble de la chaleur fatale à 109.5 TWh/an, soit environ 1'600 kWh/hab, dont plus de la moitié à moins de 100°C (ADEME, 2017).

En Suisse, la demande en énergie finale de l'industrie était d'environ 47.5 TWh/an en 2010, dont 54% ont été directement utilisés (ASCAD, 2014). L'évaluation sommaire effectuée par l'ASCAD indique qu'un gisement accessible d'environ 3.6 TWh/an de rejets à plus de 60°C serait disponible en Suisse (dont 640 GWh/an en Valais). Mais une part plus importante de rejets thermiques entre 20 et 60°C serait également disponible (Valais = 940 GWh/an). Cela dit, l'analyse valaisanne intègre les rejets des STEP et des UVTD (CREM, 2012), déjà quantifiés dans les chapitres précédents.

Globalement, il pourrait y avoir environ 430 kWh/hab/an de gisement accessible de chaleur fatale à plus de 60°C et au minimum la même chose pour la chaleur fatale à basse température.

Une autre approche consiste à considérer la demande d'électricité pour les installations frigorifiques (froid commercial, froid industriel et climatisation de confort) en suisse. L'électricité consommée se monte à environ 4 TWh/an, dont 1.2 TWh de climatisation de confort (Suisse Energie, 2012). Cela représenterait entre 12 et 24 TWh/an de rejets de chaleur à basse température, soit un gisement brut compris entre 1'400 à 2'800 kWh/hab/an.

En théorie, ces rejets thermiques peuvent être valorisés via un réseau de chauffage à distance ou une boucle d'anergie (ou réseau d'eau tempérée). En pratique, le gisement reste difficilement mobilisable en raison de fortes contraintes comme :

- Simultanéité de la demande et de l'offre ;
- Coût des infrastructures CAD ;
- Pérennité aussi bien des preneurs que des « vendeurs » de chaleur ;
- Compatibilité des niveaux de température des rejets et des besoins.

Pour la synthèse des gisements mobilisables, une valeur conservatrice de 400 kWh/hab/an est considérée pour des rejets à basse température (<60°C) et de 400 kWh/hab/an pour des rejets à haute température (>60°C).

### 3.7 Biomasses

Les filières des biomasses sont très nombreuses comme le montre ce schéma (Figure 13) :

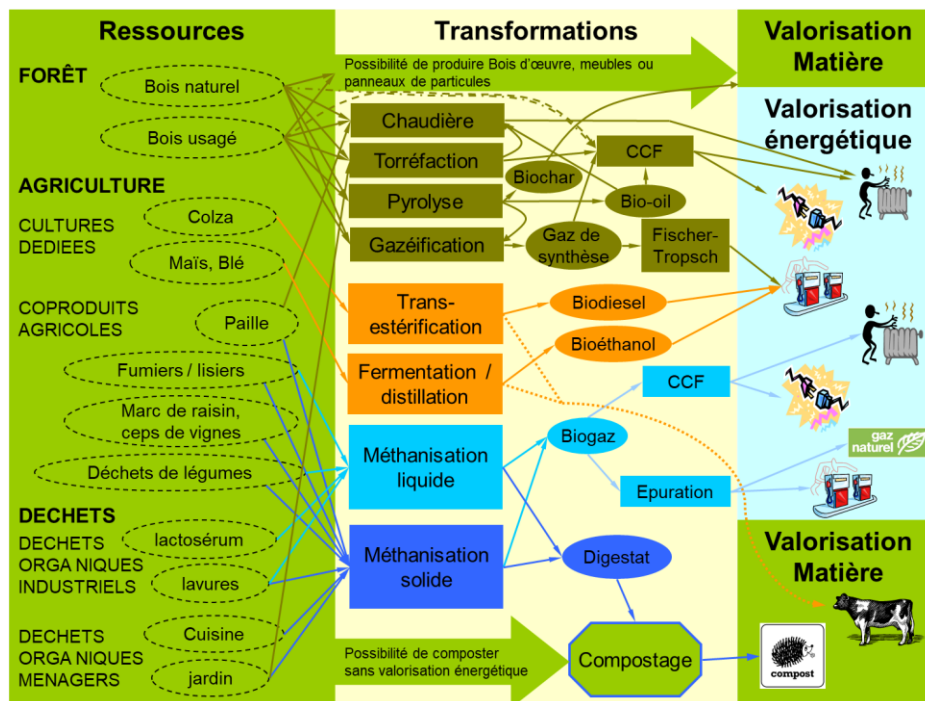


Figure 13 : Filières énergétiques des biomasses (adapté de Faessler, 2011)

Une récente étude de l'institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL) a synthétisé tous les potentiels des biomasses suisses en les classifiant entre un potentiel théorique, durable et supplémentaire (Figure 14) :

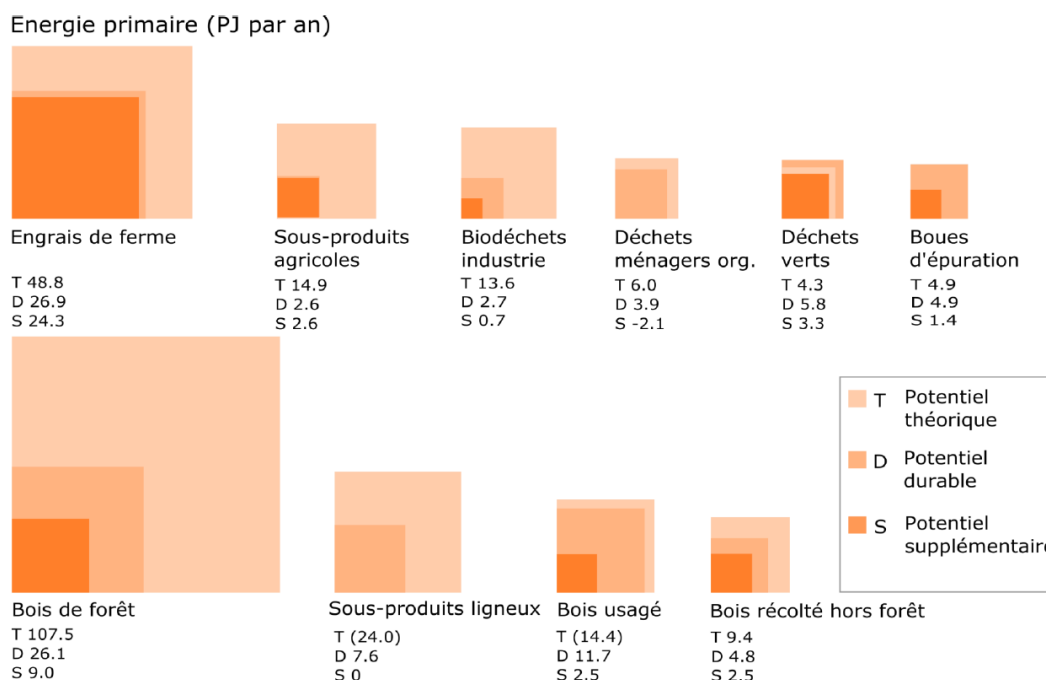


Figure 14 : Potentiels d'énergie primaire des 10 catégories de biomasse en pétajoules (PJ) par an (Thees, 2017)



Le potentiel durable D est d'environ 100 PJ, soit 28 TWh, dont la moitié se situe en Suisse romande. Le gisement encore mobilisable (équivalent au potentiel supplémentaire S de la Figure 14) est d'environ 13 TWh, soit environ 1'500 kWh/habitants à l'échelle de la Suisse.

Cependant, le potentiel supplémentaire est calculé en énergie primaire<sup>4</sup>, ne tenant pas compte de la transformation biochimique de la matière organique lors de la digestion anaérobie. La méthanisation des engrais de ferme ou des déchets organiques implique de diviser d'un facteur 2 à 3 l'énergie primaire pour aboutir à de l'énergie finale (Faessler, 2011).

Finalement, le gisement suisse-romand est d'environ 4.5 TWh/an (2'000 kWh/hab/an), réparti entre un tiers de bois forêt, un tiers d'engrais de ferme et de sous-produits agricoles et un tiers du solde (bois déchets, déchets organiques, biogaz STEP).

---

<sup>4</sup> Ce qui équivaut à une combustion 100% efficace des biomasses



## 4. Synthèse des filières renouvelables locales

La synthèse du chapitre 3 par ressource aboutit aux tableaux suivants, évalués en termes de gisements mobilisables thermiques (chaud ou froid) par kWh/habitant/an (Figure 15) ou par GWh/an et (Figure 16) :

Type de Gisement	Eaux de surface		Air	Géothermie		Rejet UVTD	Rejets STEP	Autres Rejets	SOMME	
	Mobilisable Chaud	Mobilisable Froid	Mobilisable	Mobilisable Chaud	Mobilisable Froid	Mobilisable	Mobilisable	Mobilisable	Mobilisable Chaud	Mobilisable Froid
Fribourg	222	159	230	274	205	95	367	800	1'989	364
Genève	565	353	487	1'746	719	141	367	800	4'107	1'072
Jura	0	0	109	860	82	0	367	800	2'136	82
Neuchâtel	787	618	270	2'102	1'408	28	367	800	4'353	2'026
Valais	176	117	227	483	340	170	367	800	2'223	458
Vaud	151	101	120	2'086	219	13	367	800	3'537	320
Suisse-Romande	305	207	247	1'461	441	79	367	800	3'259	648

Figure 15 : Synthèse quantitative des gisements mobilisables par canton (kWh/hab/an)

Type de Gisement	Eaux de surface		Air	Géothermie		Rejet UVTD	Rejets STEP	Autres Rejets	SOMME	
	Mobilisable Chaud	Mobilisable Froid	Mobilisable	Mobilisable Chaud	Mobilisable Froid	Mobilisable	Mobilisable	Mobilisable	Mobilisable Chaud	Mobilisable Froid
Fribourg	70	50	73	86	65	30	116	252	627	115
Genève	280	175	241	865	356	70	182	396	2'034	531
Jura	0	0	8	63	6	0	27	59	157	6
Neuchâtel	140	110	48	374	251	5	65	142	775	361
Valais	60	40	78	165	116	58	125	273	759	156
Vaud	120	80	95	1'654	174	10	291	635	2'806	254
Suisse-Romande	670	455	542	3'208	968	173	807	1'757	7'157	1'423

Figure 16 : Synthèse quantitative des gisements mobilisables par canton (GWh/an)

Ces gisements correspondent aux nouveaux gisements mobilisables, hors gisements déjà mobilisés à ce jour.

Ces ressources peuvent être subdivisées en 3 gisements principaux ;

- Gisement chaud basse température (BT), nécessitant une PAC : eaux de surface, air, géothermie basse profondeur, rejets STEP et moitié des autres rejets thermiques ;
- Gisement chaud haute température (HT) avec valorisation directe : rejets UVTD, géothermie moyenne profondeur et moitié des autres rejets thermiques ;
- Gisement froid avec valorisation directe : eaux de surface et géothermie basse profondeur.



On aboutit à la synthèse suivante en GWh/an (Figure 17) ou en kWh/hab/an (Figure 18) :

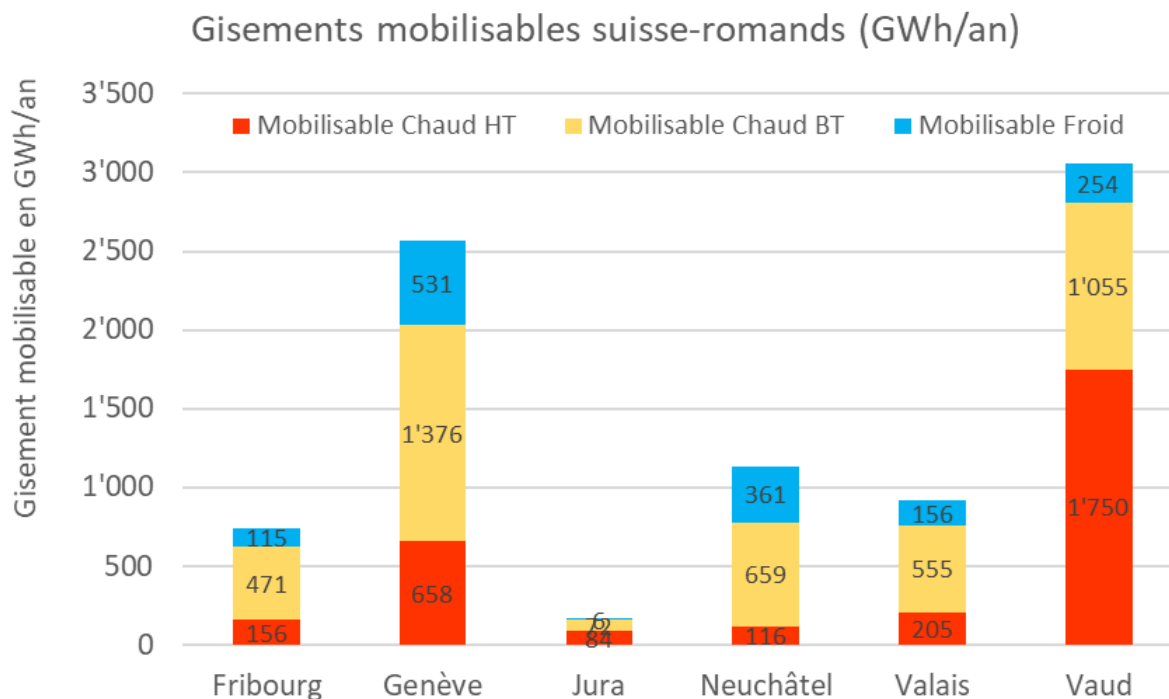


Figure 17 : Synthèse quantitative des gisements mobilisables par canton et par type de valorisation (GWh/an)

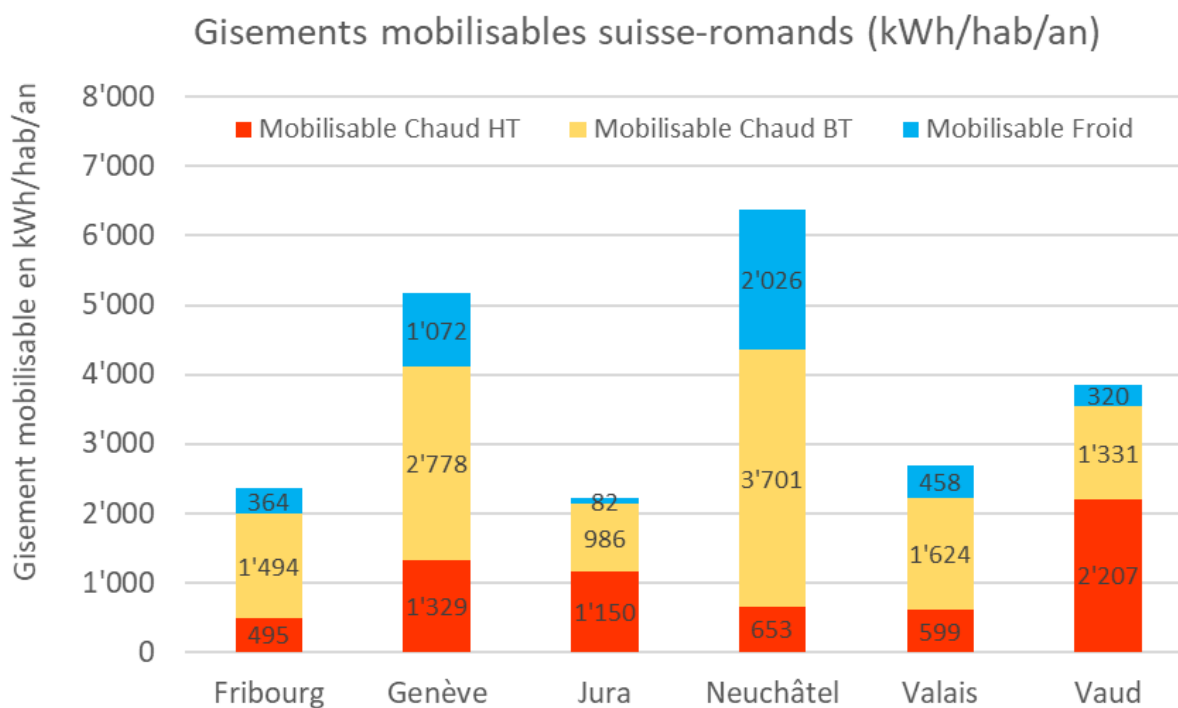


Figure 18 : Synthèse quantitative des gisements mobilisables par canton et par type de valorisation (kWh/hab/an)



Le gisement mobilisable suisse-romand est de l'ordre de 7'000 GWh/an pour le chaud (dont environ 1'000 GWh/an d'électricité pour les PAC) et de 1'500 GWh/an pour le froid. Les gisements mobilisables par habitant des cantons de Genève et Neuchâtel sont plus importants en raison des gisements liés à l'hydrothermie (Léman et Lac de Neuchâtel). Le gisement haute température (HT) du canton de Vaud est plus élevé en raison de l'étude réalisée sur l'évaluation du potentiel géothermique exploitable des aquifères de moyenne et grande profondeur du canton (CSD, 2018). A noter que le gisement de géothermie moyenne à grande profondeur du canton de Fribourg n'a pas été pris en compte car il n'existe pas encore de données suffisamment pertinentes alors qu'il existe probablement un gisement significatif.

Le gisement mobilisable de biomasses est d'environ 4'500 GWh/an (2'000 kWh/hab/an / voir chapitre 3.7).

Le solaire thermique n'a pas été pris en compte dans cette analyse des gisements renouvelables locaux. Toutefois, une récente étude de l'OFEN a quantifié les gisements des toitures et des façades par commune (OFEN, 2019). Le scénario incluant des panneaux PV et des capteurs thermiques aboutit à 1'875 kWh<sub>th</sub>/hab/an pour la Suisse romande (soit 4'080 GWh<sub>th</sub>/an), ce qui semble très élevé en regard des besoins d'eau chaude sanitaire (ECS) standard d'environ 1'500 kWh<sub>th</sub>/hab (Quiquerez, 2017)<sup>5</sup>.

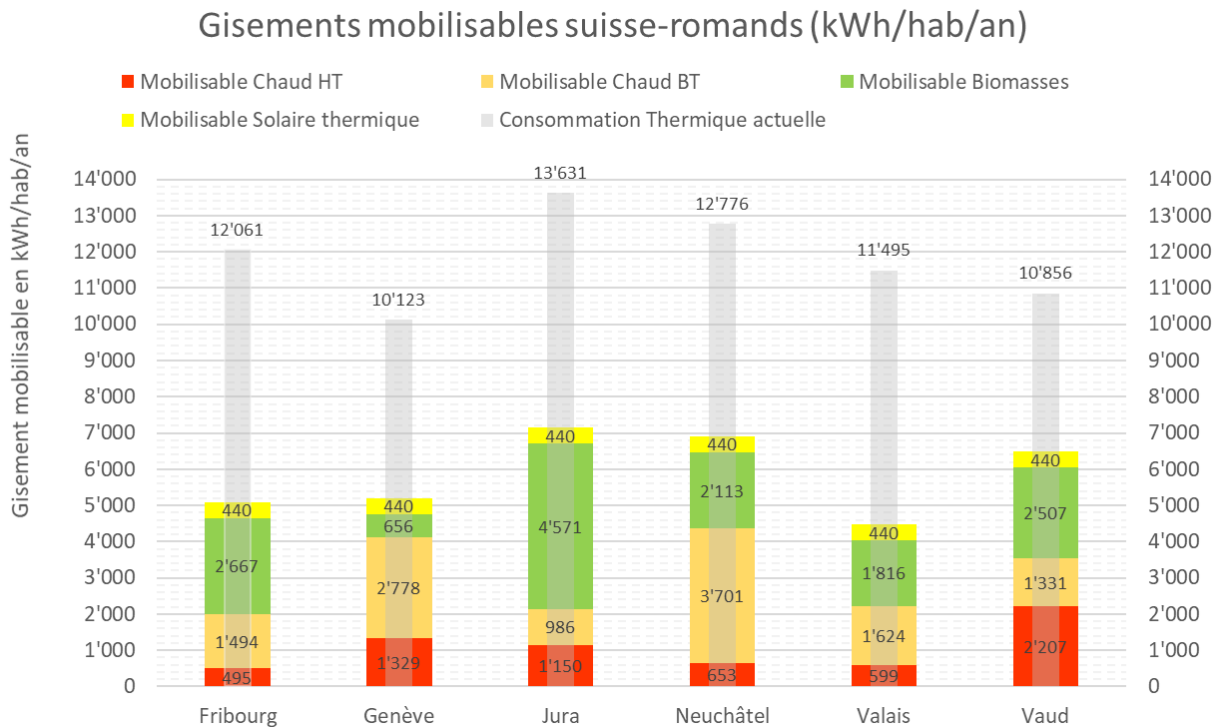
Une autre étude sur deux quartiers genevois, s'appuyant sur une méthodologie basée sur des jours types mensuels, avait estimé des potentiels de 440 kWh<sub>th</sub>/hab/an (960 GWh<sub>th</sub>/an) pour le scénario incluant des capteurs thermiques pour le préchauffage de l'ECS (Quiquerez *et al*, 2015). Un scénario maximaliste incluant du chauffage solaire (mais diminuant beaucoup le potentiel de production photovoltaïque) aboutissait à 1'080 kWh<sub>th</sub>/hab/an (Quiquerez *et al*, 2015).

---

<sup>5</sup> Une raison possible est que la méthode de l'étude OFEN est basée sur des consommations annuelles de chaleur (chauffage et ECS) sans prise en compte de la dynamique journalière et saisonnière de la ressource solaire et de la dynamique des besoins.



En considérant les gisements des biomasses et du solaire (à 440 kWh<sub>th</sub>/hab/an), l'ensemble des gisements renouvelables thermiques (BT et HT) peuvent être comparés à la consommation thermique actuelle (Figure 19) :



**Figure 19 : Synthèse quantitative des ressources renouvelables locales par canton et par type de valorisation (kWh/hab/an)**

La consommation de chaleur actuelle en Suisse romande est d'environ 25'000 GWh/an (11'000 kWh/hab). On estime qu'environ 5'000 GWh/an de ressources renouvelables locales sont déjà mobilisées (dont la moitié via les biomasses).

Même en substituant l'ensemble des énergies fossiles thermiques par tout le gisement renouvelable romand, les objectifs de politique énergétique et climatique ne seront pas atteints sans une réduction drastique de la consommation thermique moyenne des bâtiments.





## 5. Conclusions et recommandations

Une compilation et synthèse des données romandes sur les ressources renouvelables a été réalisée : eaux superficielles (rivières et lacs), air, géothermie (basse, moyenne et grande profondeur), rejets de chaleur des usines de valorisation et traitement des déchets (UVTD), rejets de chaleur des eaux usées des stations d'épuration (STEP), autres rejets de chaleur fatale (climatisation, datacenter, industrie, etc.), biomasses et solaire thermique.

Les gisements (ou potentiels) évalués dans cette étude sont les gisements mobilisables des différentes filières énergétiques renouvelables locales. Le gisement mobilisable correspond à la part du gisement technique théoriquement utilisable qui remplit les critères écologiques, économiques et d'acceptabilité sociale moins le potentiel déjà mobilisé (en énergie et/ou matière). Il s'agit d'ordre de grandeur pouvant évoluer dans le temps.

Le gisement encore mobilisable en Suisse romande est globalement d'environ 14'000 GWh/an, réparti comme suit :

- 12'500 GWh/an pour le chaud (y compris 1'000 GWh/an d'électricité pour les PAC, 4'500 GWh/an de biomasses et 1'000 GWh/an de solaire thermique) ;
- 1'500 GWh/an pour le froid.

Les gisements par ressource se répartissent comme suit :

- Les eaux de surface ont un gisement mobilisable d'environ 1'100 GWh/an, et pourront être mobilisées via des réseaux de froid qui fourniront aussi des PAC décentralisées (i.e. GeniLac) ;
- L'air a un gisement mobilisable d'environ 550 GWh/an, et sera sans doute d'autant plus mobilisé que les PAC air-eau augmenteront leurs performances ;
- Les géothermies ont un gisement mobilisable d'environ 3'200 GWh/an, mais dont plus de la moitié dépend des futurs succès (ou échecs) des réalisations à moyenne profondeur (i.e. Lavey, Vinzel et programme Geo2020) ;
- Les différents rejets thermiques ont un gisement mobilisable d'environ 2'500 GWh/an, surtout au niveau des STEP et des rejets industriels ;
- Les biomasses ont un gisement mobilisable d'environ 4'500 GWh/an, essentiellement via le bois et le biogaz issu de l'agriculture ;
- Le solaire thermique a un gisement mobilisable d'environ 1'000 GWh/an, ce qui correspondrait à la production d'environ un tiers de l'ECS de tous les romands.



La consommation de chaleur actuelle en Suisse romande est d'environ 25'000 GWh/an (11'000 kWh/hab).

La demande de froid n'est pas connue au niveau romand mais pourrait correspondre, en première approche, à un facteur 6 à 7 avec la demande de chaleur selon les statistiques genevoises ( $\approx 800 \text{ GWh}_{\text{th}}/\text{an}$ ). Au niveau romand, cela correspondrait à environ 3'500  $\text{GWh}_{\text{th}}/\text{an}$  pour les besoins de froid, sous réserve que la demande de froid genevoise soit représentative de la Suisse romande.

Sur la base de ces hypothèses, il apparaît que même en substituant l'ensemble des énergies fossiles thermiques par tout le gisement renouvelable romand, les objectifs de politique énergétique et climatique ne seront pas atteints sans une réduction conséquente de la consommation thermique moyenne des bâtiments.

La mobilisation de ces gisements pour la transition énergétique implique un travail considérable puisqu'il doit s'inscrire au niveau de la planification énergétique territoriale cantonale afin de valoriser au mieux la diversité des ressources disponibles tout en respectant le planning et les besoins thermiques (chaud et/ou froid, niveaux de température) des nouveaux projets et/ou des rénovations des bâtiments existants.

Pour la majorité de ces énergies renouvelables (eau de surface, géothermie moyenne ou grande profondeur, rejets thermiques), leur valorisation ne pourra se faire qu'en développant des réseaux (chaud, froid, anergie) qui permettront de coupler l'offre et la demande thermique à des coûts globaux intéressants pour la société.

Le coût de développement des réseaux dépend fortement de la densité thermique et pourrait par ailleurs entrer en contradiction avec la rénovation thermique des bâtiments. Il paraît ainsi nécessaire de définir, à l'échelle des différents cantons, des zones de développements prioritaires pour le CAD et des zones prioritaires de rénovation des bâtiments, notamment pour les propriétaires immobiliers possédant un parc de bâtiment (cantons, communes, caisses de pension, banques, assurances, etc.). Cette approche permettrait sans doute une meilleure allocation des ressources financières pour la transition énergétique.

Petit Lancy, le 26 août 2019

### Hydro-Géo Environnement

Jérôme Berthoud

Jérôme Faessler



## Bibliographie

ADEME, 2017, *La chaleur fatale : fait et chiffres*, ISBN : 979-1-02970-895-4, Angers.

ASCAD, 2014, *Livre blanc le chauffage à distance en Suisse – Stratégie ASCAD : perspectives à long terme de l'efficacité énergétique renouvelable dans le chauffage de proximité et à distance en Suisse*, mandat réalisé par Eicher+Pauli, Berne.

ASED, 2019, *Einheitliche Heizwert- und Energiekennzahlenberechnung der Schweizer KVA nach europäischem Standardverfahren*, mandat réalisé par Rytec pour OFEV, OFEN et ASED, rapport disponible sous [https://vbsa.ch/wp-content/uploads/2019/05/Schlussbericht\\_Berechnung\\_2018\\_BAFU\\_BFE\\_VBSA\\_v04.pdf](https://vbsa.ch/wp-content/uploads/2019/05/Schlussbericht_Berechnung_2018_BAFU_BFE_VBSA_v04.pdf)

Canton de Fribourg, 2017, *Plan sectoriel de l'énergie*, service de l'énergie, Direction de l'économie et de l'emploi DEE, Fribourg.

Canton de Genève, 2019, *Plan directeur de l'énergie et des énergies de réseaux*, Office cantonal de l'énergie, département du Territoire, Canton de Genève, à paraître

Canton du Jura, 2012, *Stratégie énergétique 2035 du canton du Jura*, mandat réalisé par Weinmann Energies, Delémont.

Canton de Neuchâtel, 2016, *Conception directrice de l'énergie : Rapport d'experts*, Adopté par la commission cantonale de l'énergie le 19 janvier 2016, Neuchâtel.

Canton du Valais, 2019, *Valais, Terre d'énergies : Ensemble vers un approvisionnement 100% renouvelable et indigène : Vision 2060 et objectifs 2035*, Service de l'énergie et des forces hydrauliques (SEFH), Département des finances et de l'énergie, disponible sous [www.vs.ch/energie/strategie](http://www.vs.ch/energie/strategie)

Canton de Vaud, 2018, *Etat des lieux et perspectives énergétiques des STEP vaudoises : résumé basé sur le rapport réalisé par Bluewatt SA sur mandat du Canton de Vaud*, DGE, Lausanne.

Canton de Vaud, 2019, indicateur énergies renouvelables 2016, disponible sous <https://www.vd.ch/themes/environnement/developpement-durable/indicateurs/indicateurs-pour-le-canton-de-vaud/22-energie/222-indicateur/>

Confédération Suisse, 2013, *Message relatif au premier paquet de mesures de la Stratégie énergétique 2050 (Révision du droit de l'énergie) et à l'initiative populaire fédérale «Pour la sortie programmée de l'énergie nucléaire (Initiative «Sortir du nucléaire»)»*, document 13.074, disponible sous <https://www.admin.ch/opc/fr/federal-gazette/2013/6771.pdf>

CREM, 2012, *Identification des rejets thermiques industriels en Valais*, mandat réalisé pour le Canton du Valais, Département de l'économie, de l'énergie et du territoire, Martigny.

CSD, 2018, *Evaluation du potentiel géothermique exploitable des nappes superficielles et des aquifères de moyenne et grande profondeur dans le canton de Vaud*, mandat réalisé pour le Canton de Vaud.

Faessler J., 2011, *Valorisation intensive des énergies renouvelables dans l'agglomération franco-valdo-genevoise (VIRAGE) dans une perspective de société à 2'000W*, Thèse Université de Genève, disponible sous <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:17272>

Faessler J., Hollmuller P., Lachal B., Viquerat P.-A., 2012, *Valorisation thermique des eaux profondes lacustres : le réseau genevois GLN et quelques considérations générales sur ces systèmes*, Archives des Sciences, vol. 65, p. 215-228, Université de Genève.

Gaudard A., Schmid M., Wüest A., 2018, *Utilisation Thermique des eaux superficielles*, publié dans AQUA & GAS No 6, pp 74-81, EAWAG, voir aussi <https://thermdis.eawag.ch/fr>



OFEN, 2012, *Potentiel des énergies renouvelables dans la production d'électricité (Rapport du Conseil fédéral à l'attention de l'Assemblée fédérale, selon l'art. 28b, al. 2, de la loi sur l'énergie)*, Berne.

OFEN, 2019, *Sonnendach.ch und Sonnenfassade.ch: Berechnung von Potenzialen in Gemeinden*, mandat réalisé par E4plus pour la Confédération, données disponibles sous <http://www.suisseenergie.ch/page/fr-ch/potentiel-solaire-des-communes-suissees?nossl=true>, Berne.

Quiquerez L., Faessler J., Lachal B., Mermoud F., Hollmuller P., 2015, *GIS methodology and case study regarding assessment of the solar potential at territorial level: PV or thermal?*, International Journal of Sustainable Energy Planning and Management, vol. 6, p. 3-16, Université de Genève, disponible sous <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:76249>

Quiquerez L., 2017, *Analyse comparative des consommations de chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire estimées à partir de relevés mensuels : Etude sur un échantillon de bâtiments résidentiels collectifs alimentés par un réseau de chaleur à Genève*. Université de Genève, 13 p., disponible sous <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:91218>

SIG, 2019, *Evaluation quantitative de scénarios de développement du marché de la chaleur à Genève à l'horizon 2035-2050*, document de travail powerpoint, Services Industriels de Genève.

Suisse Energie, 2012, *Elektrizitätsbedarf fürs Kühlen in der Schweiz*, campagne « froid efficient », Zurich.

Thees O., Burg V., Erni M., Bowman G., Lemm R., 2017, *Biomassenpotenziale der Schweiz für die energetische Nutzung Ergebnisse des Schweizerischen Energiekompetenzzentrums SCCER BIOSWEET*, Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage WSL, dispo sous <https://www.dora.lib4ri.ch/wsl/islandora/object/wsl%3A13277/datastream/PDF/view>.



## Liste des Figures

Figure 1 : Définition des gisements bruts, accessibles et mobilisables (Faessler, 2011) .....	2
Figure 2 : Filières énergétiques renouvelables locales .....	4
Figure 3 : Définitions de la chaleur fatale (ADEME, 2017).....	5
Figure 4 : Gisements de chaleur fatale en France selon le type de rejets et le niveau de température (ADEME, 2017) .....	6
Figure 5 : Potentiel des lacs suisses pour l'extraction de chaleur et demande régionale maximale (Gaudard et al, 2018) .....	7
Figure 6 : Gisements bruts des lacs suisse romands (chaleur et refroidissement) .....	8
Figure 7 : Gisements bruts des rivières suisse romandes (chaleur et refroidissement) .....	8
Figure 8 : Gisements mobilisables estimés pour les eaux de surface (Lacs et rivières) .....	10
Figure 9 : Gisements déjà mobilisé et mobilisables estimés pour les PAC air-eau .....	11
Figure 10 : Gisements mobilisables estimés pour la géothermie en Suisse romande .....	12
Figure 11 : Synthèse des gisements mobilisés, bruts et mobilisables des rejets thermiques des UVTD romands.....	13
Figure 12 : Gisements mobilisables des STEP romandes.....	14
Figure 13 : Filières énergétiques des biomasses (adapté de Faessler, 2011) .....	17
Figure 14 : Potentiels d'énergie primaire des 10 catégories de biomasse en pétajoules (PJ) par an (Thees, 2017).....	17
Figure 15 : Synthèse quantitative des gisements mobilisables par canton (kWh/hab/an).....	19
Figure 16 : Synthèse quantitative des gisements mobilisables par canton (GWh/an).....	19
Figure 17 : Synthèse quantitative des gisements mobilisables par canton et par type de valorisation (GWh/an) .....	20
Figure 18 : Synthèse quantitative des gisements mobilisables par canton et par type de valorisation (kWh/hab/an) .....	20
Figure 19 : Synthèse quantitative des ressources renouvelables locales par canton et par type de valorisation (kWh/hab/an).....	22