

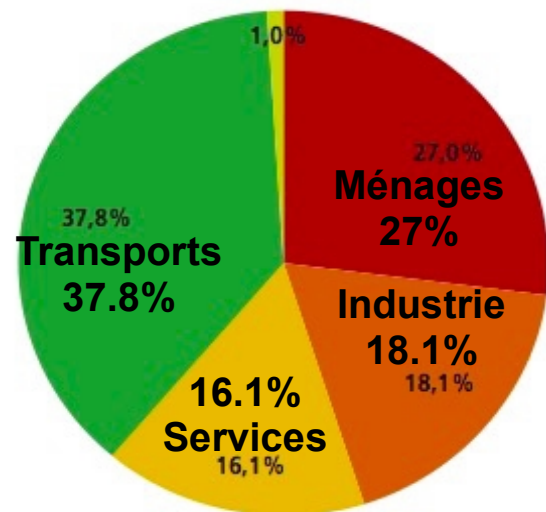
Se chauffer renouvelable

- L'énergie en Suisse
- Se chauffer demain
- Le chauffage solaire thermique & bois (ST&B)
- Les capteurs thermiques: forme, supports et orientation
- Comment la lumière est transformée en chaleur ?
- Deux types d'installation: ECS et ECS&ch
- Une installation concrète
- Tabelles KBOB pour E_pnR et CO₂ éq.
- Peurs et discrédits du solaire thermique

Dossier disponible sur <http://www.sebasol.ch/documents/>

Combien faut-il d'énergie pour se chauffer et avoir de l'eau chaude ?

Répartition 2018
de la consommation d'énergie
par secteurs

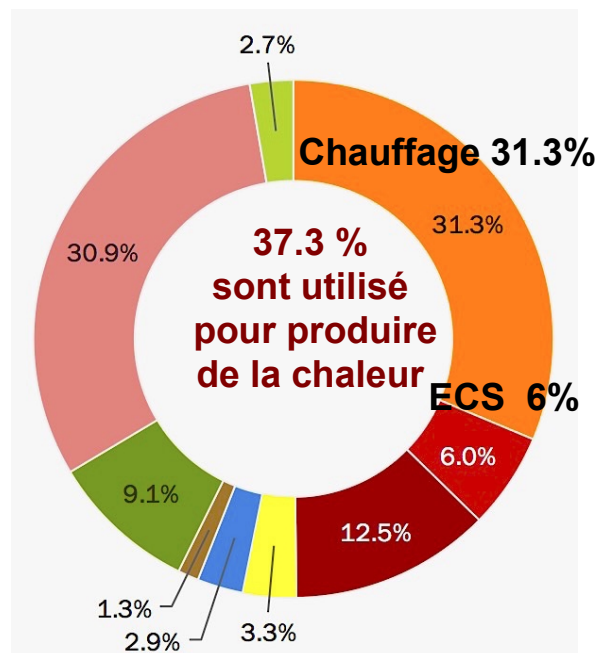


27% de toute l'énergie consommée en Suisse revient aux ménages

80% de ces 27% sont affectés au chauffage et à l'eau chaude (ECS)

21.6% de la consommation totale d'énergie sont dus au chauffage et à l'ECS des ménages

Répartition 2018 par application
de consommation d'énergie
de tous les secteurs réunis



Pour l'ensemble des secteurs (sans transports) le chauffage et l'ECS représente 37.3 %

Electricité

L'électricité représente le 25% de la consommation totale d'énergie

34% carburants, 15% combustibles pétrole, 14% gaz, 12% reste

Production 2018 suisse d'électricité:
55% hydroélectrique, 36% nucléaire, 8% thermique classique et PV

Consommation d'électricité 2018 par secteur

ménages 33.1%, services 27.1%, industrie 30%, transports 8.1%

Importation d'électricité hiver 17/18

20% (6'770 PJ sur 34'500 PJ consommés)

Le chauffage et l'ECS des seuls ménages consomme plus de 20 % de la consommation nationale.

Le solaire thermique est parfaitement opérationnel et pertinent dans ce domaine.

Se chauffer demain (1)



En réponse au réchauffement climatique dû au CO₂, il faut remplacer les énergies primaires fossiles, pétrole, charbon et gaz par des énergies primaires renouvelables, dites propres ou dé-carbonées. A ce titre, le soleil est en première ligne. Il va de soi que notre consommation d'énergie doit aussi diminuer.

Le rayonnement solaire est une énergie primaire renouvelable. Encore faut-il pouvoir la rendre utile pour répondre à nos besoins de chaleur. Cela implique non seulement de transformer ce rayonnement, mais aussi de pouvoir stocker l'énergie qui en résulte afin de pouvoir en disposer même en absence de soleil ou d'irradiation insuffisante. En cela la période de chauffage est particulièrement critique. Cela est vrai tant pour l'électricité solaire (PV) que pour la chaleur solaire. Ici apparaît toutefois une différence de taille: la chaleur se stocke facilement en quantité relativement grande dans de l'eau, mais il n'en est pas de même pour l'électricité, car cette dernière nécessite des batteries qui sont par nature peu efficaces au regard des besoins liés au chauffage.

Le stockage massif (saisonnier) d'électricité solaire (hydrogène, gaz synthétique) n'est pas encore réalité, et sera énergivore en tant que tel. Pourtant cela est une condition pour pouvoir chauffer tout le pays avec de l'énergie solaire photovoltaïque à l'aide de PAC.

Le stockage massif (saisonnier) de chaleur est possible (exemple les immeubles et maison solaire construit pas Jenni Energietechnik. Mais il y a un système plus simple à mettre en oeuvre. Pour suppléer à ce qui manque au solaire thermique pour passer l'hiver, il recourt non à un stockage saisonnier, mais au bois qui est un stock d'énergie solaire.

Panneaux photovoltaïque => électricité

Stockage difficile

Transportable

150 kWh / m²

Subsides basés sur les Wp

Capteurs thermiques => chaleur

Stockage facile dans de l'eau

Pas transportable

500 kWh / m² (tout n'est pas utilisable)

Subsides basés sur les m²: 1 m² compte pour 530 Wp

Se chauffer demain (2)

Comment répondre au mieux aux besoins de chaleur qui représentent pour les seuls ménages 20% de la consommation nationale ? Et dont les 80 % sont nécessaires en hiver lorsque l'ensoleillement est faible.



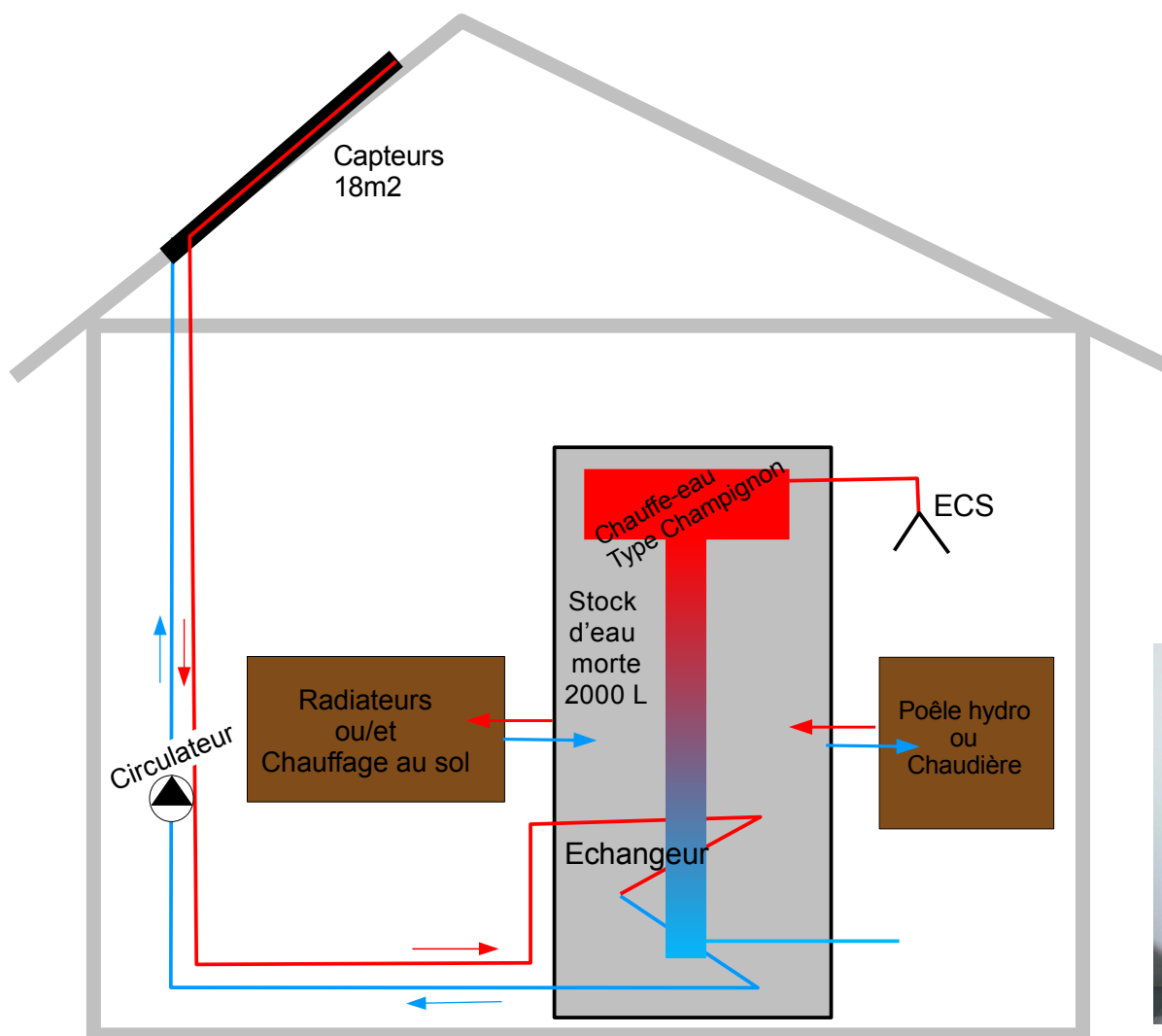
L'officialité et l'économie misent sur les PAC qui permettent de tirer de la chaleur (renouvelable) de l'environnement (air, sol, eau). Cela nécessite de l'électricité. Selon le type de PAC, l'électricité représente entre un tiers et un quart de la chaleur fournie par le système. Dès lors, si cette électricité est tirée du réseau, il faut poser la question de la provenance de cette électricité. Si dans l'avenir l'alimentation électrique des PAC devait provenir du soleil via le PV, il faut poser la question de son stockage d'été en hiver (stockage saisonnier). Au vu de la grosse quantité d'électricité nécessaire aux PAC en hiver les batteries sont complètement inappropriées. Reste le stockage chimique (hydrogène et gaz synthétiques): musique d'avenir elle-même consommatrice d'énergie...

Le solaire thermique n'utilise que très peu d'électricité. Ce problème-là est donc résolu. De plus le solaire thermique se complète bien avec du bois. C'est un système complet parfaitement viable et déjà opérationnel quant aux sources d'énergie nécessaires. Et il émet même moins de CO₂ que le système PAC.

Les énergies renouvelables
ne sont pas que renouvelables,
ni sans carbone

Type d'énergie - renouvelable - fossile	Par kWh produit il y a		
	kWh d'EPnR	g. de CO2 éq.	
		par MJ	par kWh
Hydro-électrique	0.03	3	11
PV consommé sur place	0.29	23	83
PV qui passe par le réseau	0.33	27	97
Sol. therm. ECS	0.27	10	36
Sol. therm. ECS&ch	0.22	9	32
Bois bûche	0.19	13	47
Pellets	0.21	11	40
PAC air-eau COPa 2.8	0.92	17	61
Mazout	1.31	90	324
Gaz naturel	1.17	69	248

Le chauffage solaire thermique & bois (ST&B)



Pour une maison nécessitant
annuellement **10'000 kWh** de chaleur
pour le chauffage et l'ECS,

il faut par année:

18 m2 de capteurs thermiques

1-3 stères de bois

< 50 kWh d'électricité avec poêle à bûches

< 100 kWh avec poêle à pellets

60 – 70 % de la chaleur est produite par le
thermique le reste par le bois

calculé sur tout le cycle de vie

c'est **80-90%** d'EPR *

ou 10-20% d'EPnR**

et **300-400 kg CO₂ éq./année**

A noter:

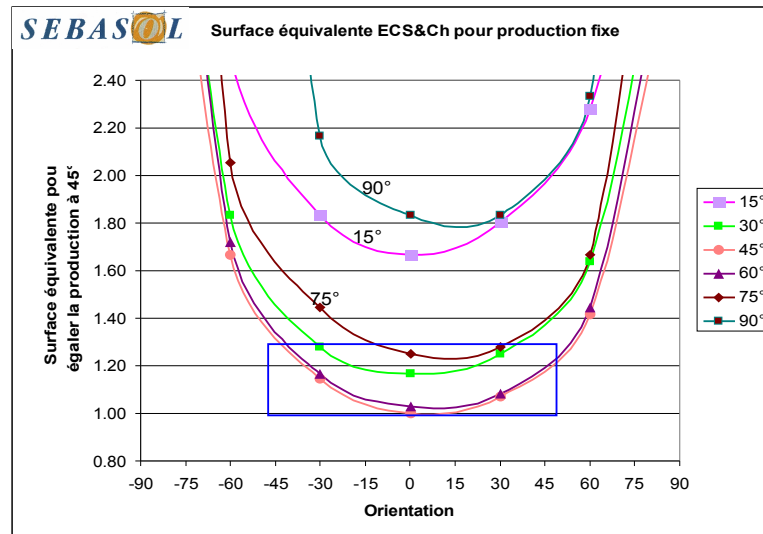
Le bois c'est de l'énergie solaire déjà
stockée. La disponibilité en Suisse du
bois est de 0.4 stères/habitant année.

* **Energie Primaire Renouvelable**

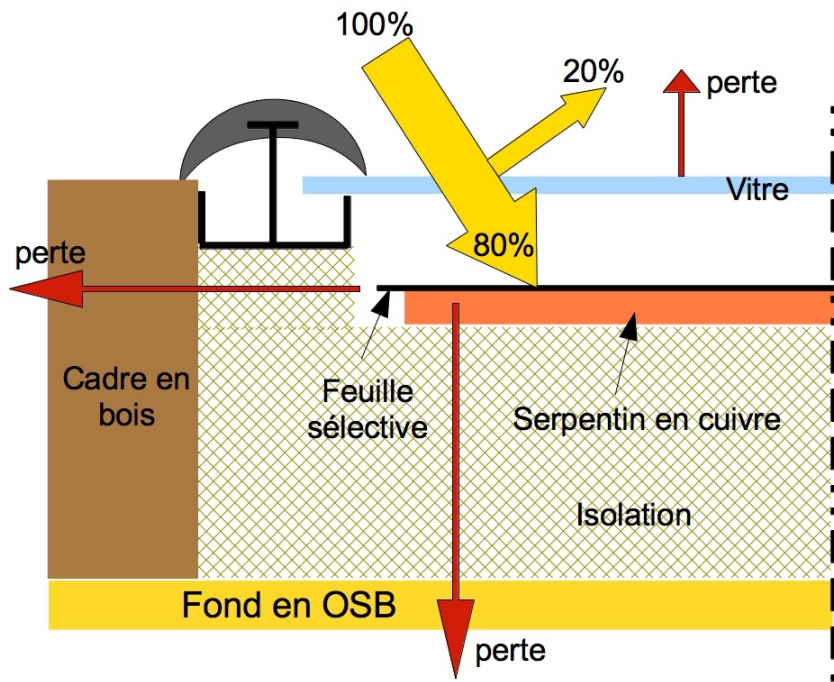
** **Energie Primaire non Renouvelable**



Les capteurs thermiques: formes, supports et orientation



Comment la lumière est transformée en chaleur ?



L'effet de serre "enferme" la chaleur => la température augmente

Capteur = cadre-isolation-verre + absorbeur (absorbeur = feuille sélective + serpentin brasé dessous)

Rendement: 80% de la lumière est transformé en chaleur

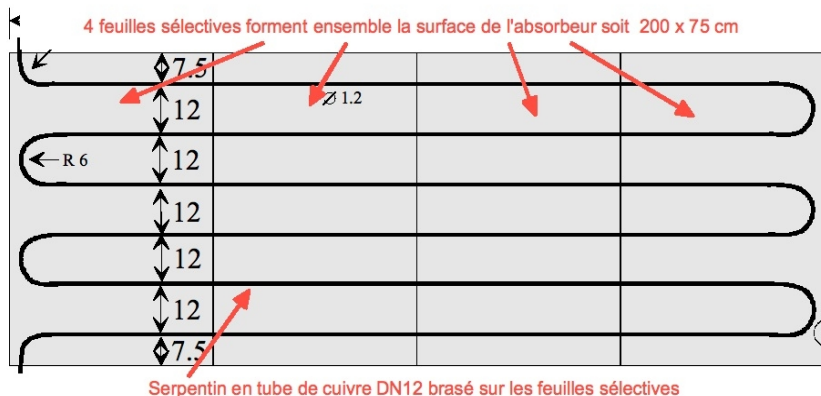
Pertes vers l'extérieur: 3.6 W par m² et par degré, => il y a d'autant plus de pertes que le capteur est chaud.

Rendement moyen de chaleur utile à l'année: ~60%

Rendement pour le calcul des subsides: 530W_P

Matériel: Low-tech

La chaleur est évacuée du capteur au fur et à mesure de sa production par le LCP circulant dans le serpentin de l'absorbeur.



Il y a 2 types d'installation solaire thermiques (ECS et ECS&ch)

En ajoutant du bois à ECS&ch on obtient ST&B, ce qui assure toute la chaleur de la maison

Elles diffèrent par

- la surface des capteurs
- et par l'usage de la chaleur (pour l'ECS ou l'ECS et le chauffage)

Elles se ressemblent par

- la nécessité d'un appoint en complément du renouvelable (soleil)

A noter: Une PAC ne vit pas que de renouvelable et d'eau fraîche. En complément au renouvelable (air, sol, eau), une PAC a aussi besoin d'un appoint: l'électricité.

L'installation ECS

Produit uniquement de l'eau chaude sanitaire de l'ECS
(eau chaude de la maison)

C'est typiquement 6 m² de capteurs et 500 L de chauffe-eau)

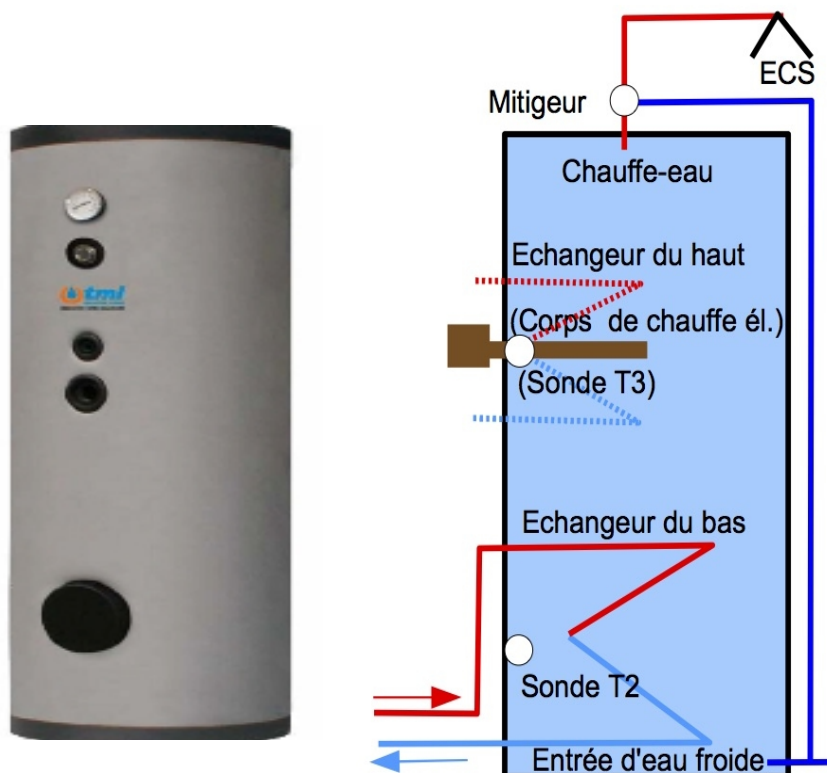
La chaleur est stockée directement dans l'eau de consommation figurée en bleu

L'eau est chauffée par le solaire et quand il n'y a pas assez de solaire aussi par un appoint (corps de chauffe électrique, chaudière affectée par ailleurs au chauffage)

Prix moyen: en autoconstruction: 6'500.-
en clé-en-main un peu moins du double

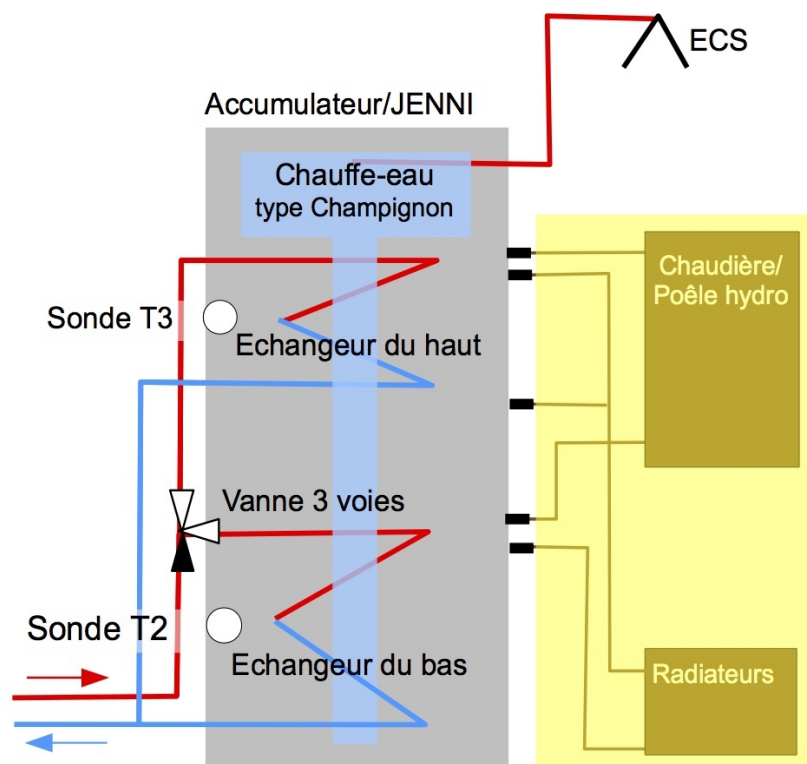
Production: ~3000 kWh; 300 L de mazout, 300m³ gaz
CO₂ éq./kWh ST: 36 g – mazout: x 9 – gaz: x 7 – PAC 2.8 x 1.7

Assez d'eau chaude de mars à mi-octobre le reste du temps un peu de préchauffage





Un accu de 3500 L qui passera par l'ancienne porte de garage.



Dimensions d'un accu de 1920 L
110 cm de diamètre et 210 cm de haut
plus 16 cm d'isolation autour et dessus

L'installation ECS&ch

Produit de l'ECS et du chauffage

C'est typiquement 18 m² de capteurs et 2000 L de stock (110-120 cm de diamètre plus 16cm d'isolation tout autour et 210 cm de haut + isolation)

La chaleur est stockée dans de l'eau morte (gris) la même eau que celle des radiateurs et de la chaudière.

L'eau est chauffée par le solaire et si nécessaire par un appoint(chaudière/poêle hydro).

L'ECS est chauffée à bain-marie dans un récipient en forme de champignon plongé dans l'eau morte

Tout est connecté sur le stock, le solaire, le poêle/chaudière, les radiateurs, l'eau chaude

Prix moyen: en autoconstruction 15'000.-
en clé-en-main un peu moins du double

Production: 60-70% des besoins de chaleur d'une maison standard isolée au normes actuelles (U=0.2)

CO₂ éq./kWh ST: 36 g – mazout: x 9 – gaz: x 7 – PAC 2.8 x 1.7

Le thermique produit tout ce qu'il faut durant 8-9 mois un complément (appoint) est nécessaire pendant 3-4 mois

Le thermique produit 60-70% de toute la chaleur nécessaire (80% à 90% peuvent être atteints), le reste est produit par une appoint bois.



Une installation ECS&ch + bois

1998 à 2008: tout au mazout, 5 en famille
 Consommation mazout pour chauffage et ECS:
 2700 L/an = 27'000 kWh/a
 CO₂ éq: 8'500 kg/a Renouvelable 0%

2008: remplacement du mazout par un poêle hydraulique à pellets dans l'appartement

2008-2017: isolation de la maison à $U < 0.2$; fenêtres à $U = 1.1$

2009: mise en service d'une 6 m² pour l'ECS
 Assez d'eau chaude de mars à mi-octobre (en 9 ans l'appoint électrique a été utilisé une seule fois).



ECS&ch + bois

Depuis avril 2018 : 120 m² chauffés et 2.5 habitants

27 m² ECS&Ch (la faible pente du toit a nécessité une surface de 9 m² en plus que les 18 m² standards.

> 40 sacs de pellets/a

> 100 kWh/a d'électricité pour le solaire, le chauffage et le poêle hydro à pellets

320 kg/a CO₂ éq. sur cycle de vie

Renouvelable: 80% (sur cycle de vie)

ST 66% / Bois 33%

Prix de l'installation: ST 17'000.- (auto) poêle 8'000.-

Entretien, réparation, durabilité, local

Si c'était une PAC

air-eau au COPa 3, 100% réseau mix-ch,
 avec 33% de PV sur place: un peu moins de CO₂,
 mais tout de même presque que du réseau en hiver

3'000 kWh/a d'électricité:

CO₂ éq 550 kg/a sur cycle de vie

Déchets radioactifs : ???

Renouvelable: 10% sur cycle de vie

Air 66% / Electricité 33% qu'il faut pouvoir produire

Prix de l'installation ???

Mix électrique suisse: 1 kWh tiré à la prise a nécessité
 0.35 kWh fossile, 2.17 kWh nucléaire et 0.49 kWh de renouvelable

Umweltkennwerte und Primär- energiefaktoren von Energiesystemen

KBOB-Ökobilanzdatenbestand v.2.2:2016, Stand 2016

Autoren: **Philippe Stolz, Rolf Frischknecht**

Document complet sous <http://www.sebasol.ch/wp-content/uploads/2020/09/FEPnR-2016.pdf>

Tab. 2.2 KBOB 2016 Facteurs d'énergie primaire de systèmes énergétiques en sortie système énergétique

Exemple: Pour disposer de 1 MJ de chaleur en sortie capteur plan ECS&ch maison familiale il faut:

1.83 MJ d'énergie primaire dont 0.12 sont fossile, 0.10 nucléaire et 1.61 renouvelable.

FEPnR 0.22 soit: 0.12 + 0.10

Et ça génère 0.009 kg/CO₂-éq par MJ (si l'on prend comme unité de base le kWh c'est 0.009 * 3.6 soit 32.4 grammes d'éq-CO₂)

en sortie système énergétique				Energie primaire				GES CO ₂ éq.	
	1KWh = 3.6 MJ <=> 0.1 L de mazout	unité	FEPnR	total	fossile	nucléaire	Renouv.	kg/MJ	g/kWh
Combustibles fossiles	Heizöl Chaleur mazout	MJ	1.31	1.31	1.28	0.03	0.01	0.090	324
	Erdgaz chaleur gaz naturel	MJ	1.16	1.17	1.15	0.01	0.01	0.069	248
Combustibles biomasse	bois bûches	MJ	0.19	1.77	0.15	0.04	1.58	0.013	46.8
	Pellets	MJ	0.21	1.53	0.13	0.08	1.32	0.011	40
	Biogas	MJ		0.37	0.20	0.13	0.04	0.039	140
Chaleur sur place	Capteur thermique plan ECS maison familiale	MJ	0.27	1.60	0.13	0.14	1.33	0.010	36
	Capteur thermique plan ECS&ch maison familiale	MJ	0.22	1.83	0.12	0.10	1.61	0.009	32.4
	Capteur plan ECS petit immeuble	MJ	0.08	1.23	0.05	0.03	1.14	0.004	14.4
	Capteur Sebasol ECS Maison fam ESU	MJ	0.09						
	Capteur Sebasol ECS&ch Maison fam ESU	MJ	0.07						
	ECS&ch 50% bois 50% solaire thermique ESU	MJ	0.08						
	PAC air-eau (COP 2.8)	MJ	0.91	1.73	0.13	0.78	0.82	0.017	61
	PAC sonde (COP 3.9)	MJ	0.67	1.53	0.11	0.56	0.87	0.013	50
Electricité sur place	PV	MJ	0.29	1.40	0.25	0.04	1.11	0.023	83
	éolien	MJ	0.07	1.16	0.06	0.01	1.09	0.005	1

Tab.2.1 KBOB 2016 **Facteurs d'énergie primaire en entrée de bâtiment/citerne**

Exemple: Pour disposer de 1 MJ de chaleur de bois bûches il faut:

1.11 MJ d'énergie primaire dont 0.09 sont fossile, 0.02 nucléaire et 0.99 renouvelable.

FEPnR 0.11 soit: $0.09 + 0.02$

Et ça génère 0.008 kg/CO₂-eq par MJ (si l'on prend comme unité de base le kWh c'est $0.008 * 3.6$ soit 28.8 grammes d'éq-CO₂)

En entrée de bâtiment/citerne				Energie primaire				GES kg/CO ₂	
1KWh = 3.6 MJ <=> 0.1 L de mazout		unité	FEPnR	total	fossile	nucléaire	Renouv.	eq/MJ	g/kWh
Combustibles fossiles	Heizöl EL Mazout	MJ	1.23	1.24	1.19	0.04	0.01	0.084	302
	Erdgas gaz naturel	MJ	1.06	1.07	1.05	0.01	0.00	0.063	227
	Kohle Koks charbon	MJ		1.47	1.43	0.02	0.01	0.122	439
Combustibles Biomasse	Stückholz bois bûches	MJ	0.11	1.11	0.09	0.02	0.99	0.008	28.8
	Pellets	MJ	0.16	1.20	0.10	0.06	1.04	0.008	28.8
	Centrale nucléaire	MJ		4.21	0.06	4.14	0.01	0.006	21.6
	Centrale thermique lignite	MJ		3.95	3.90	0.03	0.01	0.377	1357
	Centrale therm. charbon	MJ	3.91	3.94	3.87	0.04	0.03	0.344	1238
Electricité à la prise	centrale thermique bois	MJ		3.88	0.19	0.05	3.64	0.033	119
	Cogénération Diesel	MJ		3.28	3.23	0.04	0.01	0.229	
	Fotovoltaik photovoltaïque	MJ	0.33	1.56	0.28	0.05	1.22	0.027	97
	Windkraft Eolien	MJ	0.09	1.29	0.08	0.01	1.20	0.007	25.2
	Wasserkraft hydraulique	MJ	0.03	1.20	0.02	0.01	1.17	0.003	10.8
	pompage-turbinage	MJ		3.90	0.46	2.81	0.63	0.039	140
	Mix électrique CH (production)	MJ	1.85	2.50	0.07	1.78	0.66	0.007	25.2
	Mix électrique CH (consommation)	MJ	2.52	3.00	0.35	2.17	0.49	0.028	100
	ENTSO-E-Mix MIX-EU	MJ	2.89	3.18	1.80	1.09	0.30	0.146	

Tabelles 2.1 et 2.2 originales: <http://www.sebasol.ch/fepnr/>

Peurs et discrédits du solaire thermique (1)

Les capteurs peuvent se mettre à bouillir, «ils surchauffent»

C'est vrai que les capteurs peuvent devenir très chauds et que l'eau qu'il y a dedans peut partir en vapeur. Lorsque cela arrive, on ne dépasse pas 200° et rien ne va brûler ni exploser, ni casser. L'installation est faite pour tenir cette température. A cette température, les capteurs perdent autant de chaleur qu'ils en gagnent. Ils ne peuvent donc pas devenir plus chauds. On dit qu'ils stagnent.

Mais comme l'antigel perd un peu de son efficacité à cette température on évite d'y arriver.

La solution est très simple. Un réglage sur la régulation permet en effet de refroidir le stock pendant la nuit. Ainsi on y fait de la place pour le lendemain toute la chaleur puisse être évacuée des capteurs qui de ce fait ne « surchaufferont » pas. Le problème vient d'une peur infondée.

L'hiver le solaire thermique ne produit pas assez de chaleur

C'est vrai (quoiqu'il y a des installations - cf. Jenni - qui y arrivent, mais ce n'est pas ce que Sebasol propose. Sebasol propose de compléter ce que le solaire thermique ne parvient pas à produire avec un poêle hydro à bois. Il s'agit d'un appoint.

Mesuré à l'année cet appoint représente en moyenne un tiers des besoins, les deux autres tiers étant fournis par les capteurs thermiques. Si l'on compare cela à ce qui se passe avec un système PAC, force est de constater qu'une PAC de COPa 3 tire de l'environnement deux tiers de la chaleur qu'elle fournit, le tiers restant provenant de l'électricité qu'elle consomme qui *in fine* est transformée en chaleur. Une PAC ne produit donc pas non plus assez de chaleur et cela tout au long de l'année. En disposant d'une surface de PV dont l'électricité alimente partiellement la PAC, les choses ne changent qu'un petit peu puisqu'en hiver la production PV est bien peu de chose comparée aux besoins de chaleur à couvrir.

Tout compte fait, utiliser du bois (énergie solaire stockée) pour servir d'appoint au solaire thermique est à préférer à l'utilisation d'électricité du réseau qui du point de vue énergétique fait aussi office d'appoint. Pourquoi? Le bois prêt à être brûlé est quasi neutre en CO₂ (29 g/kWh CO₂ éq.) et c'est de l'énergie primaire renouvelable. L'électricité du réseau (Mix-CH) génère quant à elle 100g/kWh CO₂ éq. Et l'énergie primaire nécessaire à sa production livrée à la prise n'est renouvelable qu'à raison de 17% (chaque kWh a été produit en moyenne annuelle grâce à 2.17 kWh de nucléaire, 0.35 de fossile et 0.49 de renouvelable (hydroélectrique). En hiver la part de fossile et donc de CO₂ est même plus grande puisque la Suisse importe jusqu'à 20% de son électricité, essentiellement d'Allemagne où le charbon/lignite règne.

Peurs et discrédits du solaire thermique (2)

L'été il y a beaucoup d'énergie qui se perd, pas avec le PV

C'est vrai que l'électricité PV qui n'est pas auto-consommée est injectable dans le réseau et ainsi elle n'est pas perdue. Mais injectée dans le réseau elle doit être utilisée au moment-même de sa production. Pour ce faire, d'autres systèmes de production doivent diminuer la leur (l'hydraulique à accumulation). Cela est possible tant qu'on ne produit pas beaucoup d'électricité PV. Le jour où il y en aura beaucoup il faudra pouvoir la stocker (hydrogène, gaz synthétique et à défaut la perdre (pick shaving). Ce stockage (transformation en énergie chimique, stockage proprement dit, et re-transformation en électricité -pile à combustible- ou combustion pour le chauffage) sera gourmand en énergie diminuant du coup le rendement du PV.

Un certain stockage peut se faire à court terme par pompage-turbinage, ça sert de tampon, mais pas de stock saisonnier qui seul permettrait d'utiliser en hiver l'électricité produite en été. Penser stocker cette électricité massivement sur une longue période n'a pas encore de solution. Des batteries même nombreuses ne permettent de stocker qu'une part infime de toute l'énergie électrique nécessaire en hiver.

Il ne s'agit pas d'être contre le PV. L'idéal serait que les toits soient couverts prioritairement par la surface de capteurs thermiques nécessaire pour atteindre une couverture des besoins de chaleur de 60 à 80%. Et que la surface restante fasse place au PV partiellement utilisable en autoconsommation, le reste étant injecté dans le réseau.

Dès lors, perdre durant l'été de l'énergie produite par le solaire thermique n'est pas bien grave, car il permet de produire de la chaleur en générant significativement moins de CO2 qu'en le faisant avec une PAC et l'énergie primaire utilisée est largement plus renouvelable. C'est de plus un système qui fonctionne déjà et pour lequel il n'est pas nécessaire d'attendre des percées technologiques en terme de stockage saisonnier de l'électricité.

Le solaire thermique est plus compliqué que le PV+PAC et fonctionne souvent mal

Le problème vient d'une technique mal utilisée et mal connue, pas de la technique elle-même. D'apparence c'est plus compliqué, c'est vrai, mais si on démonte une PAC le contraire devient vrai. Si des installations solaires thermiques fonctionnent mal, c'est qu'elles sont mal conçues par des installateurs qui ne maîtrisent pas la chose, et qu'elles ne sont pas entretenues.

En hiver le PV produit plus que le thermique

Avec un rayonnement solaire très faible le PV produit encore un peu alors que le solaire thermique ne produit plus rien. Mais produire un peu plus que rien n'est pas significatif. Il faut par ailleurs savoir qu'en moyenne, que ce soit en hiver entre saison ou en été, à surface égale le solaire thermique produit 3 à 4 fois plus que le PV. Le problème vient du fait qu'on pense que le peu en plus c'est beaucoup de plus.