

Bois et solaire – combinaison idéale pour la transition énergétique

Application à la problématique des capteurs en façade



Les images de capteurs solaires ont toujours du soleil. Pourtant Forel est un endroit à brouillard. Cela ne rend que plus pertinents les résultats.

Pascal Cretton, Michel Carron, Sebasol, www.sebasol.ch, info@sebasol.ch, 021 311 37 42

Image : bâtiment Marmy <http://www.sebasol.info/realisations.aspx?id=1445&r=>

Introduction

Ce travail traite d'un projet solaire thermique & bois auquel nous a associé le bureau Lutz, et réalisé en collaboration étroite avec Michel Carron, installateur agréé Sebasol à Rhyner Energie Sarl, et son équipe. Il s'agit de l'installation ECS et chauffage de Marmy Sara et Emmanuel <http://www.sebasol.info/realisations.aspx?id=1445&r=>, équipée de 13.5m² nets en façade, d'un chauffage au sol optimisé et d'un poêle à bûches hydraulique de haut rendement.

Le travail se concentre sur un aspect peu courant du couplage du solaire thermique et bois : les capteurs en façade. Sont explorés les dés/avantages et sur/coûts par rapport à la pose en toiture, les exigences et subtilités techniques, et les perspectives futures en matière de travail à haute valeur ajoutée exécutable par des praticiens aguerris.

Les résultats sont basés sur une comptabilité précise des coûts et heures de travail par M. Carron. Ils sont donc chiffrés et concrets. C'est peut-être inhabituel pour une ERFA, où souvent les intervenants font de la rétention d'information de ce type, de peur de travailler pour leurs concurrents. Ce n'est pas l'attitude à Sebasol. Les solutions proposées ne peuvent de toute façon être mises en œuvre que par des professionnels qualifiés. A notre époque, dans le solaire thermique et le bois, nous n'y sommes plus trop nombreux.

Les résultats fournis le 03.11.2020 sont ici complétés, commentés et étendus, du fait qu'il n'a de loin pas été possible de tout dire à ce moment. Un encadré « ajouté » en rouge en haut à droite signale des pages additionnelles. Cela compensera peut-être un peu pour le handicap supplémentaire d'une ERFA condamnée au mode numérique.

Il y a aussi à présent des annexes qui valent leur pesant d'heures d'ingénieur SIA gagnées pour qui veut œuvrer dans le domaine.

En espérant que cela sera utile. Et vive le mariage du solaire thermique et du bois.

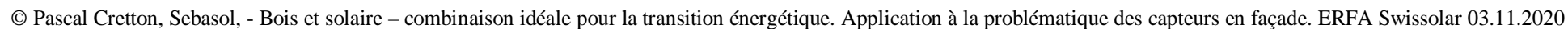
Pascal Cretton, Sebasol, 8.11.2020

Résumé / conclusion

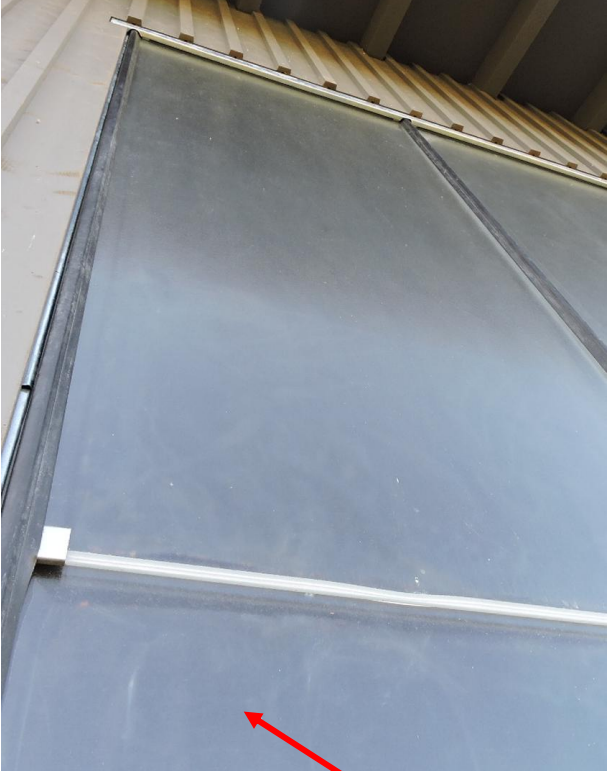

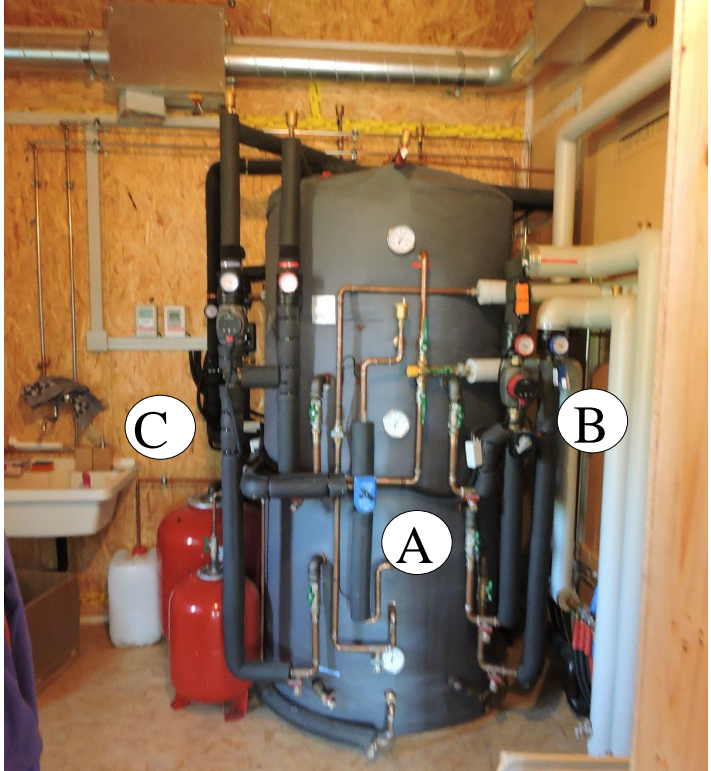
- Le solaire thermique et le bois low-tech et décentralisés font un mariage parfait
- Les configurations techniques sont robustes, durables, bon marché, compréhensibles par l'utilisateur
- Les configurations techniques garantissent du travail local à haute valeur ajoutée à des professionnels qualifiés.

- Les capteurs solaires thermiques en façade sont intéressants en termes de report de la production vers l'hiver, et de report de la production de l'ECS vers le chauffage.
- Ils permettent des volumes de stockage solaire plus faibles pour plus de m² de surface, ce qui compense la production moindre au m² tout en la transférant d'avantage vers la mauvaise saison où elle est utile.
- Ils permettent alors aussi, en conjonction avec la performance du bâtiment et l'intelligence de l'utilisateur dans l'usage du bois, et sans domotique particulière, de couvrir les besoins d'avantage que les simulations le prédisent.
- Les configurations techniques permettent dans l'habitat performant/rénové de consommer moins que le quota de 0.4 stères/an personne de feuillu équivalent qui est l'exploitation soutenable actuelle de bois de feu en Suisse.
- Les configurations techniques consomment une quantité d'électricité si faible qu'elles permettent, couplées à des mesures d'économies raisonnables, d'envisager l'autonomie électrique réelle, même l'hiver.
- La conjonction du solaire thermique avec un filtre à particules sur l'appoint bois permet des réductions de leur production de l'ordre de 95% en moyenne annuelle dans du bâtiment individuel performant/ rénovation, ainsi qu'un impact à la personne qui tient sans mal la comparaison avec de l'habitat non performant sur un CaD à bois muni d'un filtre à particules.

- L'intégration complète des capteurs à façon dans les façades, avec donc encadrement des ouvertures, est à présent possible pour un surcoût accessible. Ce surcoût est de l'ordre de 150-250.-/m² après moins-values et/ou subventions, travail compris.
- Suivant les subventions et situations, le surcoût sur le kWh solaire thermique produit n'est que de l'ordre de quelques centimes.
- La diminution des consommations bois grâce au solaire thermique et au HOPF permet de placer des systèmes d'appoint bois low-tech d'une fraction du coût de systèmes high-tech, qui alors compensent le coût du solaire thermique en facture globale.



Les éléments

| Le solaire – Flux –Energie principale. | Le bois – Stock- Energie d'appoint | L'accumulateur – La centrale énergétique |
|---|---|--|
|  |  |  |
| <p>~75% de rendement dans le domaine des températures de départ/retour chauffage (= 35/25 ou 28/22) pour du Minergie-P.</p> | <p>86% de rendement cf annexes. Pertes de distribution ~ 0 car dans l'espace chauffé + brûle du bois à 15% d'humidité en moyenne. Pour info : perte de distribution d'un chauffage à distance (CaD): entre 5% (extrêmement dense) à 25% (étendu). Et brûle de la plaquette verte à 50% d'humidité en général => 10% de perte d'énergie supplémentaire au volume. Quelques conséquences en page 15-17</p> | |

Objectif : un système ECS et chauffage écologiquement soutenable et local

Donnée fondamentale

Exploitation actuelle de bois de feu en Suisse / population

~ 800 kWh /an personne

~ 0.4 stères d'équivalent feuillu / an personne

Sans granulés de bois importés

Sans bois de récupération

EST-CE POSSIBLE ?

Objectif : de la relocalisation économique et du travail local à valeur ajoutée

Qu'est-ce qui rend heureux un installateur ?

- Ne pas dépendre d'intermédiaires qui ne servent à rien.
- A prix et cahier des charges égal, maximiser ses heures de travail sur l'achat de matériel
- Diminuer le ratio des charges fixes et déplacements vs les heures de travail sur place.
- Diminuer le ratio des imprévus potentiels vs les heures de travail sur place
- Avoir le temps pour des mesures, observer le comportement, réparer ses erreurs, en cours de réalisation.
- Etre disponible pour répondre aux questions légitimes du client, dito
- Etre disponible pour adapter l'installation pour un prix compétitif, dito
- Etre disponible pour offrir dans la foulée des services additionnels à un prix compétitif, dito
- Bénéficier d'un réseau large d'aides et de conseil ponctuels de la part d'égaux.
- Ne pas avoir à stresser, faire des journées normales.
- Gagner sa vie à ne pas travailler avec les gens avec qui il ne faut pas travailler si on veut gagner sa vie.

Le solaire thermique low-tech et le bois décentralisé, vu leur fort ratio d'heures de travail sur place, sont taillés pour cette tâche. L'intégration Marmy montre qu'on est loin du « bricolage » encore trop souvent cité quand on parle de low-tech. Ces low-techs sont homologuées et devenues aussi performantes que le high-tech, avec plus de travail local et beaucoup moins d'impacts sociétaux, écologiques, d'externalisation sur l'étranger.

Si intérêt <http://www.sebasol.ch/la-formation-installateur/> et <http://www.sebasol.info/membres.asp?membre=apprentis> pour la formation professionnelle, <http://www.sebasol.ch/le-cles-en-main/> et <http://www.sebasol.ch/lautoconstruction/> pour vos projets

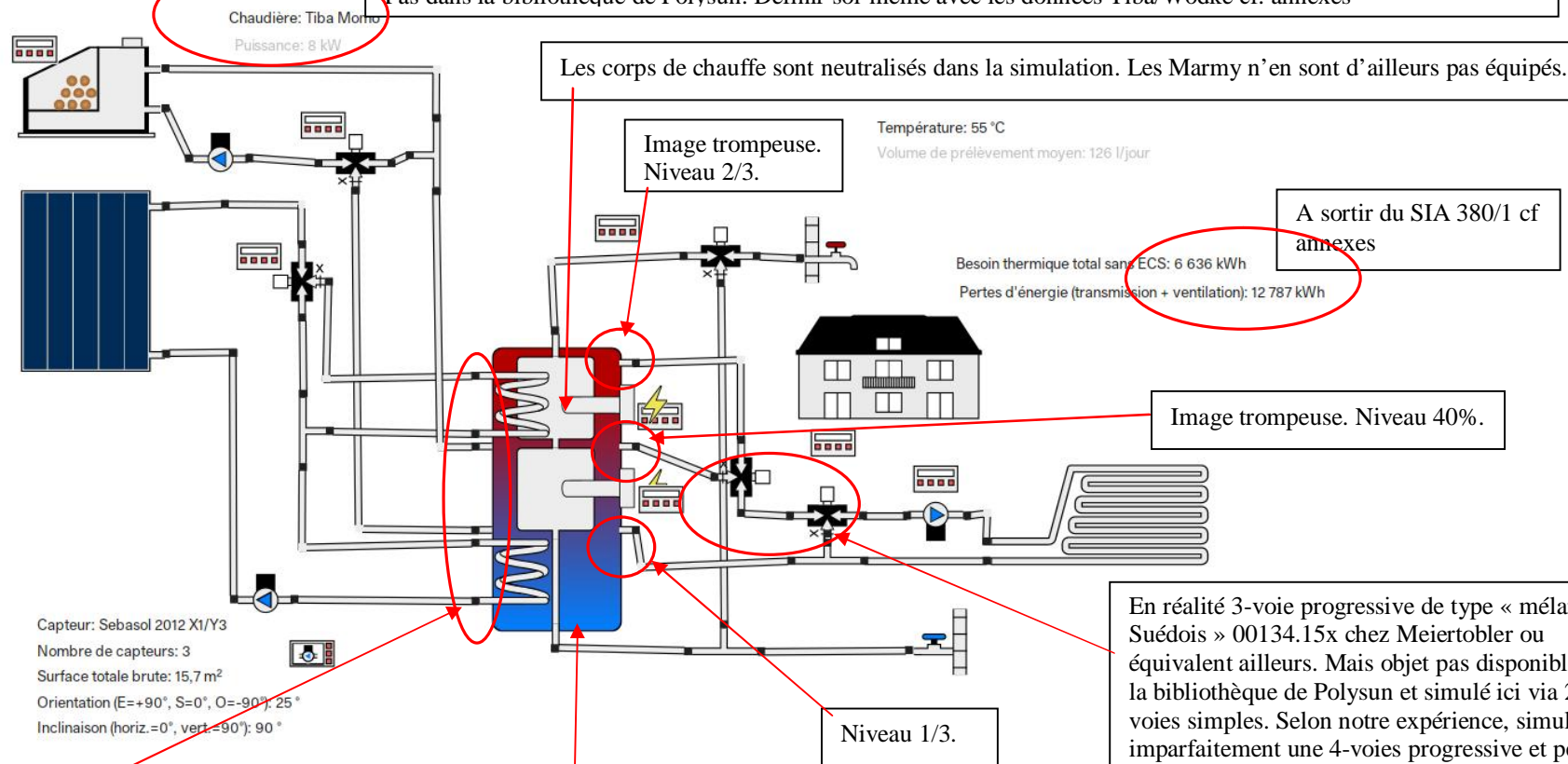
Simulation

Image informative. Donne à un utilisateur Polysun des informations sur le chablon (template) de base à utiliser pour simuler une installation solaire thermique ECS& appoint chauffage en stratification 2 niveaux avec priorité à la production ECS en haut de cuve, et piquage bas de la température dans la cuve pour maximiser l'injection de l'énergie solaire dans le chauffage. Le template peut être trouvé dans la bibliothèque de Polysun. Ensuite il faut être soigneux pour introduire l'accumulateur (l'image n'est pas toujours fidèle à la réalité d'où les remarques, mais l'accumulateur peut être défini dans le programme..

Projet Marmy Minergie-P, capteurs en façade - Variante A. ECS&Ch 13.5m², 970L, valeurs fixes chaudière, en facade, ECS SIA

POLYSUN®

Pas dans la bibliothèque de Polysun. Définir soi-même avec les données Tiba/Wodke cf. annexes



En réalité 3-voie progressive de type « mélangeur Suédois » 00134.15x chez Meiertobler ou équivalent ailleurs. Mais objet pas disponible dans la bibliothèque de Polysun et simulé ici via 2 3-voies simples. Selon notre expérience, simule imparfaitement une 4-voies progressive et peut de ce fait être en partie responsable du pessimisme du résultat théorique vs les mesures. Mais il n'y a pas d'autre choix à priori (suggestions bienvenues !). Image en outre trompeuse : niveau 40% sinon ça ne sert à rien.

Leçon numéro 1 : ignorer le formulaire Minergie !

| | | | | | |
|-----|--|--------|-----------------|-----------|------------|
| N7 | Production de chaleur A | Entrée | Valeur calculée | Chauffage | Eau chaude |
| N8 | Capteurs solaires thermiques, chauffage et eau chaude | | 1.00 | 32.0 | 40.0 |
| N9 | Surface d'absorbeur [m2] | 13.5 | | 32.0 | 40.0 |
| N10 | Apport net par m2 d'absorbeur [kWh/m2] | 230.1 | | | |

Formulaire Minergie – Projet Marmy

**Marmy,
13.5m2**

Minergie

**Polysun,
pente 60°**

**Polysun,
pente 20°**

Besoins totaux [kWh/an]

9036

9036

9036

SFn solaire ECS [-]

40%

67%

64%

SFn solaire CH [-]

32%

33%

27%

SFn solaire, global

34%

49%

45%

Prod solaire [kWh/m2]

3106

5608

5200

Prod solaire [kWh/m2 an]

230

415

385

Conso Bois [kWh/ an]

9824

7849

8559

En stère feuillu

4,9

3,9

4,3

Quota

pas atteint

pas atteint

pas atteint

Leçon numéro 2 : la façade c'est péjorant

| Marmy, 13.5m2 | Minergie | Polysun, façade | Polysun, pente 60° | Polysun, pente 20° |
|--------------------------|-------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Besoins totaux [kWh/an] | 9036 | 9036 | 9036 | 9036 |
| SFn solaire ECS [-] | 40% | 49% | 67% | 64% |
| SFn solaire CH [-] | 32% | 26% | 33% | 27% |
| SFn solaire, global | 34% | 36% | - 31% 49% | 45% |
| Prod solaire [kWh/m2] | 3106 | 3884 | 5608 | 5200 |
| Prod solaire [kWh/m2 an] | 230 | 288 | 415 | 385 |
| Conso Bois [kWh/ an] | 9824 | 9559 | 7849 | 8559 |
| En stère feuillu | 4,9 | 4,8 | 3,9 | 4,3 |
| Quota | pas atteint | pas atteint | pas atteint | pas atteint |

Du moins, en théorie / dans les simulations
Mais dans la réalité cela n'est très souvent pas vrai

Leçon numéro 3 : la façade c'est bon pour le chauffage

| Marmy, 13.5m2 | Minergie | Polysun, façade | Polysun, pente 60° | Polysun, façade, ECS SIA/2 | Polysun, pente 60°, ECS SIA/2 |
|--------------------------|-------------|--------------------|-----------------------|-------------------------------|----------------------------------|
| Besoins totaux [kWh/an] | 9036 | 9036 | 9036 | 7836 | 7836 |
| SFn solaire ECS [-] | 40% | 49% | 67% | 61% | 70% |
| SFn solaire CH [-] | 32% | 26% | 33% | 31% | 38% |
| SFn solaire, global | 34% | 36% | - 31% 49% | 41% | - 27% 52% |
| Prod solaire [kWh/m2] | 3106 | 3884 | 5608 | 3878 | 5305 |
| Prod solaire [kWh/m2 an] | 230 | 288 | 415 | 287 | 393 |
| Conso Bois [kWh/ an] | 9824 | 9559 | 7849 | 7705 | 6600 |
| En stère feuillu | 4,9 | 4,8 | 3,9 | 7705,0 | 3,3 |
| Quota | pas atteint | pas atteint | pas atteint | pas atteint | pas atteint |

Production identique et pourtant besoins ECS divisés par 2
 < = > transfert vers le chauffage basse température

Diminuer les besoins ECS <=> transfert vers le chauffage basse température
 < = > plus grande efficacité du solaire en façade
 < = > diminution de la péjoration

Leçon numéro 4 : dans le bâtiment performant, la réalité dépasse presque toujours la simulation



Rappel : Polysun, Marmy, façade, production : 3884 kWh / an. Ici mesurés, déjà 4'000 et autour de 4'600 en fin d'année.

Résultats – Façade – Ecart Simulation - Mesure

Témoignage Marmy Emmanuel : « Nous brûlons du sapin, nous avons fait le dernier feu le 10 mars, avant nous faisons en moyenne 1 feu tous les 2 jours »

< = > 140 jours chauffe <=> 70 feux à 5 kgs à 4.2 kWh/kg < = > 1470 kWh /an +25% => 1838 kWh /an

Marmy, 13.5m2

| | Minergie | Polysun | Mesure |
|---|-------------|-------------|---------|
| Besoins totaux ECS & chauffage [kWh/an] | 9036 | 9036 | 6160 |
| SFn solaire ECS [-] | 40% | 49% | |
| SFn solaire CH [-] | 32% | 26% | |
| SFn solaire, global | 34% | 36% | 76% |
| Prod solaire [kWh/m2] | 3106 | 3884 | 4653 |
| Prod solaire [kWh/m2 an] | 230 | 288 | 345 |
| Conso Bois [kWh/ an] | 9824 | 9559 | 1838 |
| En stère feuillu | 4,9 | 4,8 | 0,92 |
| Quota | pas atteint | pas atteint | atteint |

0.92 stères pour 4 personnes =>
< 0.4 stère/personne => atteint

- ? Faut-il croire Polysun ou le formulaire Minergie ? A l'évidence non. Cet écart de simulation aux mesures a été observé sur des dizaines de projets Sebasol.
- Critère de soutenabilité (0.4 stères/pers. an) atteint ? oui. De relocalisation et de valeur du travail atteints ? oui.
-

Causes de la différence ?

(La différence : ~ 6'000 kWh de besoins couverts à 75% par le solaire vs ~9'000 couverts à 35% en théorie... dans du Minergie-P !!!)

1. Bâtiment meilleur que simulé SIA 380/1
2. Taux de renouvellement d'air plus bas que simulé SIA 380/1
3. COMPORTEMENT : T de consigne plus bas que SIA 380/1
4. COMPORTEMENT : conso ECS plus basse que SIA 380/1
5. COMPORTEMENT : HOPF avec le poêle vs le solaire thermique

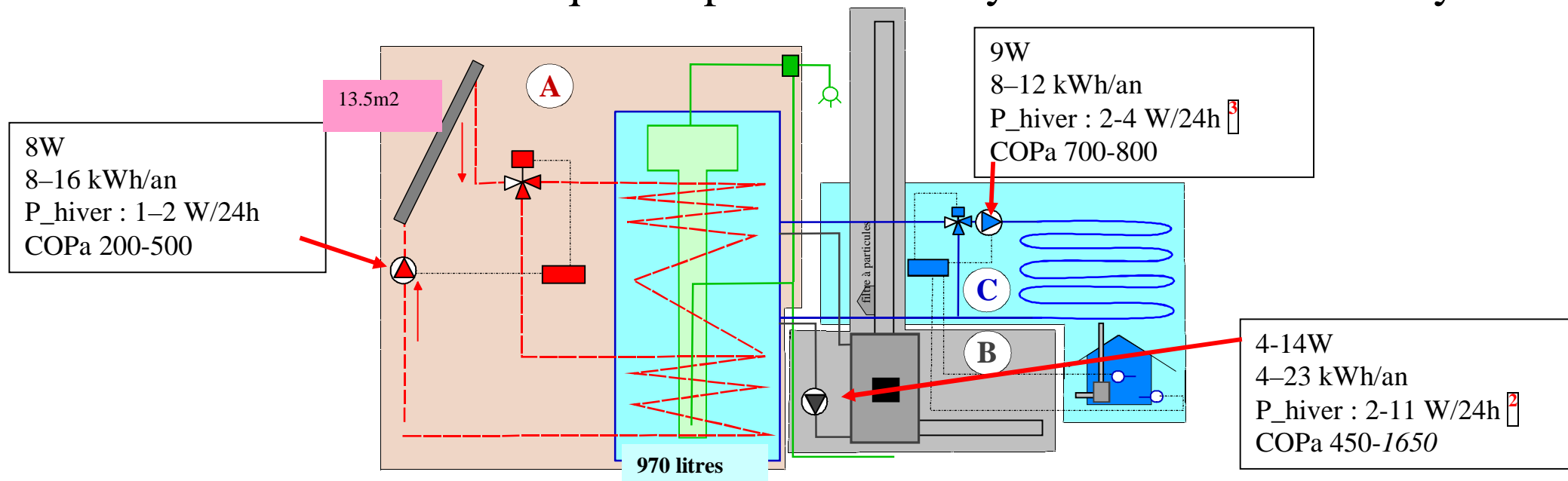
Comportements différenciés des occupants vs la météo. Exigences différenciées par rapport aux températures dans les pièces. Stratégies HOPF pour optimiser l'usage du solaire thermique et minimiser les feux etc.

HOPF = Humain a Optimisation Par Flemme

Le solaire thermique et le bois décentralisé low-tech font un mariage parfait pour tirer avantage de la performance d'un bâtiment, des usages et de la météo. Ils amènent très souvent les consommations bien en-deçà de ce que les simulations prévoient. Sans domotique compliquée, onéreuse, et capricieuse. Cela est attesté sur des dizaines de réalisations de terrain (merci aux autoconstructeurs)

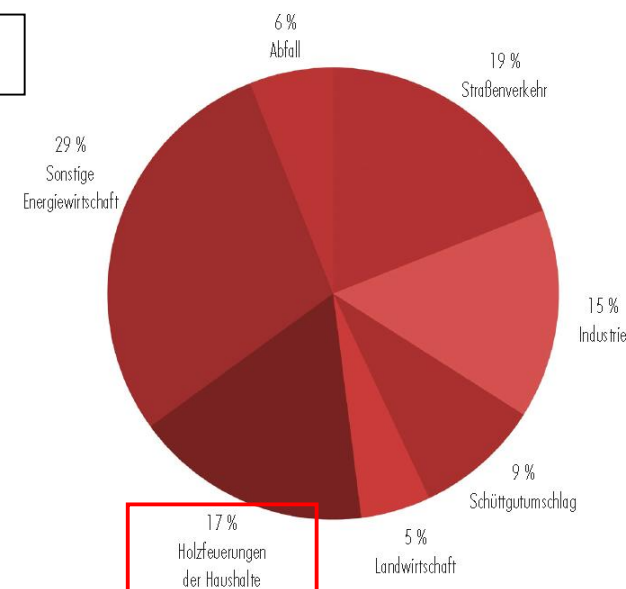
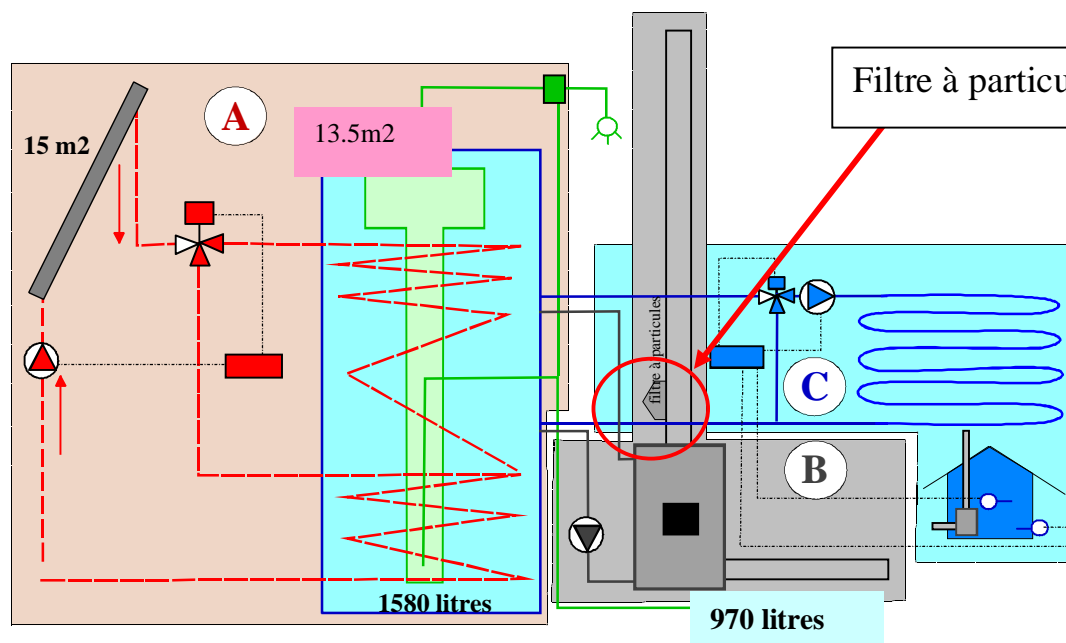
Autonomie des systèmes vitaux

Consommations électriques et puissances moyennes sur 24h - Marmy



Cette question est essentielle pour l'autonomie électrique. Au cœur de l'hiver, le bois et le solaire thermique produisent de la chaleur entièrement renouvelable avec un COP moyen foisonné de l'ordre de 400, soit > 100x mieux qu'une PaC (pompe à chaleur) sol-eau et 200x fois mieux qu'une PaC air-eau. Ils n'épuisent donc pas les batteries et ne font pas augmenter la demande de pointe sur le réseau électrique national. Seuls de tels systèmes permettent d'être autonomes dans la réalité actuelle du stockage de l'électricité, et non ceux qui font appel à des concepts financiers qui n'ont rien à voir avec les lois de la physique, et/ou autre légendes sur les électrons produits l'été sensés revenir en hiver. Il y a une demande croissante pour ces configurations d'autonomie poussée auprès des installateurs Sebasol. Et cela ne concerne pas que les chalets d'alpages ou résidences secondaires.

Particules fines – Le mariage parfait toujours



source : prospectus Zumik@on Aijekt1 cf annexe.

Contexte : le bois-bûches décentralisé est depuis des années l'objet d'incessantes critiques : il serait inefficace, émetteur de particules fines, dangereux pour l'utilisateur etc. On ne compte plus les défauts de « ce pelé, ce galeux d'où venait tout leur mal »¹.

Argumentaire. D'abord

- Les chauffages bois contribuent pour 17% de la production des particules fines.

source : prospectus Zumik@on Aijekt1 cf annexe.

¹ « Les animaux malades de la Peste », La Fontaine, 1676, https://fr.wikipedia.org/wiki/Les_Animaux_malades_de_la_peste#Texte ou le malheureux baudet a la mauvaise idée d'avouer un méfait mineur, ce qui lui vaut l'opprobre de tous les autres animaux, contents d'avoir un bouc émissaire pour faire oublier leurs propres agissements.

Ensuite

- Du fait de la législation sur Fribourg, le filtre à particules n'est pas obligatoire à Forel, donc acte pour le projet Marmy. A quelques km de là, sur VD, il l'est.
 - L'installation Marmy est néanmoins pourvue d'un filtre à particules : l'installation solaire thermique qui couvre ~75% des besoins (page 13). L'efficacité annuelle de ce filtre est donc de 75%.
 - Le filtre à particule posé par les installateurs agréés Sebasol est en général le Zumik®on Airjekt1 (cf. annexe). Efficacité jusqu'à 90%².
 - Sur une base de 80% l'efficacité annuelle globale en couplage avec l'installation solaire thermique serait donc chez les Marmy de $[1-(1-0.8)*(1-0.75)] = 95\%$
 - Le Tiba Momo installé chez les Marmy est donné à 26 mg/m³ (d'air d'extraction à 13% O₂) de particules fines (cf annexe). D'autres sont donnés inférieurs (cf. annexe). Donc reste en moyenne annuelle
 - $0.25*26 = 6.5$ mg/m³ sur Fribourg.
 - $0.05*26 = 1.3$ mg/m³ sur Vaud.
- La limite légale pour les chaudières de CaDs est 20 mg/m³.

Ce constat est combattu par l'argument que ces chiffres sont valables qu'en cas de bonne combustion.

- En début et en fin de feu la combustion n'est pas bonne.
 - Oui mais c'est le cas de n'importe quelle chaudière. Donc aussi pour les grandes chaudières y compris des CaDs.
- Les usagers « ne savent pas faire un feu ».
 - Avec cet argument les voitures sont interdites car il y a de mauvais conducteurs. Ou les escaliers car des gens y tombent. Les subventions ne sont données qu'aux poêles et chaudières à l'actif du label Energie Bois Suisse soit avec 80% minimum de rendement. Cette faïtière donne des directives sur comment faire un feu et quel bois utiliser. Les installateurs forment les gens. Les ramoneurs contrôlent les systèmes. Personne qui possède un poêle performant comme vrai système de chauffage a intérêt à brûler du mauvais bois dedans et ainsi le rendre non performant. Il y a des allume-feu dédiés aux allumages etc.

² Effectivement mesurée par cet autoconstructeur <http://www.sebasol.info/realisations.aspx?id=1235&r=> et <http://www.sebasol.info/realisations.aspx?id=1414&r=>. Merci les autoconstructeurs !

Enfin, les particules fines sortent du bois. Les mg/m^3 ne disent rien l'impact environnemental à la personne.

- Les Marmy consomment environ 2'000 kWh/an de bois après solaire thermique (cf page 13), soit 500 kWh/an personne.
- Un bâtiment individuel typique CECB D/E branché sur un CaD a ~30'000 kWh/an de besoins ECS & chauffage + 5-25% de pertes distribution suivant la densité du CaD (par générosité disons 10%), + 10% parce que le CaD brûle du bois plaquette vert + 10% perte de rendement moyen chaudière => $30'000 \times 1.1^3 = \sim 40'000 \text{ kWh/an}$ => si 4 personnes 10'000 kWh/an personne³. Donc
 - Sans filtre à particules, les Marmy consomment 20x moins de bois à la personne que des habitants dans de l'habitat individuel typique branché à un CaD.
 - Sans filtre à particules, ils produisent donc 2x moins de particules fines à la personne que ces habitants si leur CaD possède un filtre à particules d'efficacité 90%.
 - Avec un Zumik®on d'efficacité 80%, ils produisent $2/0.2 = 10x$ moins de particules fines par an à la personne que les utilisateurs précédents.

Les Marmy, ainsi que tous les gens qui installent du solaire thermique en ECS & appoint chauffage + du bois décentralisé, avec ou sans filtre à particules, jouent bien le rôle du baudet de la fable.

³ 5 stères/ an personne, ergo le critère de durabilité n'est de loin pas atteint !

Surcoût du solaire thermique sur le bois seul pour le stockage & distribution ECS/chauffage

Richard Golay, Energie Bois Suisse, ERFA Swissolar 03.11.2020, page 10

- **Volume** (= de l'accumulateur tampon) **pour les chaudières à bûches : minimum 12 litres par litre de chambre de remplissage.**
C'est à présent une obligation.

Autre dimensionnements usuels pour le volume minimum de stockage pour le bois

- Données fabricant. Exemple : Tiba Momo (présent dans le bâtiment Marmy) : 500L
- Règle du pouce : 70 L par kW de puissance brute dans l'eau.

Dimensionnement usuel pour le volume minimum de stockage du chauffe-eau :

- Besoin SIA individuel/collectif 13.8 ou 20.8 kWh/m² an et 60/40 m²/personne => 828 kWh/ personne an (sans les pertes !) => 44 l/personne jour = volume minimum du chauffe-eau par personne. Donc ~200L pour 4 personnes

Conséquence sur quelques poêles ou cuisinières chauffage central hydro.

| | | Tiba Momo | Tiba 806-18 | Tiba 806-24 | Tolima Acqua | Powal Phoenix |
|---|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| Puissance brute | [kW] | 8,45 | 24 | 32,4 | 10,3 | 17,6 |
| Volume stockage min bois-bûche | [L] | 500 | 1300 | 1700 | 700 | 1000 |
| Volume min bois bûche+solaire thermique | [L] | 800 | 2000 | 2600 | 1100 | 1500 |
| Surface max solaire thermique pente 20° | [m2 nets] | 6 | 16 | 20 | 8 | 12 |
| Surface max solaire thermique pente 45° | [m2 nets] | 8 | 20 | 26 | 11 | 15 |
| Surface max solaire thermique pente 60° | [m2 nets] | 9 | 23 | 30 | 12 | 17 |
| Surface max solaire thermique pente 90° | [m2 nets] | 14 | 36 | 47 | 20 | 27 |
| Surcoût volume solaire thermique (avec isolation) ~ | CHFr | 300 fr. | 1 000 fr. | 1 100 fr. | 400 fr. | 500 fr. |
| Surcoût échangeurs solaires, façade, S max ~ | CHFr | 600 fr. | 1 400 fr. | 1 700 fr. | 800 fr. | 1 000 fr. |
| Surcoût total, solaire thermique, façade, S max ~ | CHFr | 900 fr. | 2 400 fr. | 2 800 fr. | 1 200 fr. | 1 500 fr. |

- Le coût de l'adaptation directe au solaire thermique de l'accumulateur de stockage pour le bois en chaufferie n'est pas élevé => mauvaise idée de ne pas le faire, car empêche de mettre du solaire thermique à futur, pour des « économies de bouts de chandelle » au présent.
- Le volume permet de mettre d'autant plus de surface de capteurs qu'ils sont en pente
- la surface supplémentaire possible en façade (~ +125%) vs une faible pente en toiture aboutit à une production qui excède de loin le manque à gagner à surface égale (~ -30% page 10).
 - Note : mettre sous faible pente une surface équivalente à celle max en façade augmenterait en même proportions le volume de stockage en chaufferie (~ + 125%) => surcoût solaires additionnels sur la configuration en chaufferie, qui compenseront le surcoût de mettre les capteurs en façade, pour une production moins utile au m² de capteur. En outre, s'attendre à des problèmes spécifiques dans du bâtiment performant vu la faible puissance nécessaire de l'appoint vs le + gros volume de stockage⁴.
- avec des capteurs en façade, la production sert avant tout au chauffage, des stratégies d'économie sur l'ECS ne prêteritent pas la production solaire thermique car elle est transférée sur le chauffage, et permettent d'économiser d'avantage de bois (page 11, 13, 14)

Conclusion : ce n'est de loin pas une mauvaise idée que de mettre en façade
Plus le bâtiment est performant, plus c'est une bonne idée
Le solaire thermique en façade et le bois continuent d'aller au mieux ensemble.

⁴ A moins de mettre un appoint de forte puissance, non nécessaire du point de vue des besoins, donc inutilement plus gros et plus cher.

Surcoût de mettre en façade par rapport à sur le toit

| | | 13.5m2, toiture 20° | 13.5m2 façade, façade unie | 13.5m2 façade & cadre porte | 13.5m2 façade & cadre porte, mesuré |
|----------------------------------|---------|---------------------|-------------------------------|--------------------------------|--|
| Brut | | | | | |
| Coût surface de capteurs | [Fr] | 8 000 | 10700 | 11800 | 11800 |
| Surcoût sur toiture | [Fr] | 0 | 2 700 | 3 800 | 3 800 |
| Surcoût sur toiture | [Fr/m2] | 0 | 200 | 281 | 281 |
| Coût au m2 | [Fr/m2] | 593 | 793 | 874 | 874 |
| Net, neuf | | | | | |
| Moins-value de bardage/tuiles | [Fr/m2] | 35 | 170 | 170 | 170 |
| Surcoût sur toiture | [Fr/m2] | 0 | 65 | 146 | 146 |
| Coût au m2 | [Fr/m2] | 558 | 623 | 704 | 704 |
| Net, rénovation, Fribourg | | | | | |
| Moins-value de bardage/tuiles | [Fr/m2] | 35 | 170 | 170 | 170 |
| Subvention | [Fr/m2] | 354 | 354 | 354 | 354 |
| Surcoût sur toiture | [Fr/m2] | 0 | 65 | 146 | 146 |
| Coût au m2 | [Fr/m2] | 204 | 269 | 350 | 350 |

Notes

- « surcoût sur toiture » : surcoût pour intégrer en façade par rapport intégrer en toiture. Les 4 postes qui entrent dans ce surcoût sont 1) les verres à façon 2) les absorbeurs à façon 3) la distribution/équilibre hydraulique à façon 4) la ferblanterie additionnelle pour encadrer les ouvertures (portes/fenêtres). Les trois derniers postes sont dominants et représentent avant tout du travail de haute compétence et valeurs ajoutée par l'installateur⁵.
- les coûts sont TTC, en intégration, ferblanterie et connexions comprises, et clef-en-main.
- en autoconstruction, compter entre 50 et 70% de moins en coût brut⁶, l'autoconstruction étant homologuée, elle donne aussi droit aux subventions
- « mesuré » = situation Marmy, pas d'influence sur le coût installation mais sur celui du kWh produit en page suivante
- 35.-/m² TTC moins-value tuiles : estimation plutôt pessimiste sur ~500 installations. Tuiles mécaniques. Tuiles vaudoises neuves ou anciennes, éternit neuves ou anciennes, etc. plus cher mais ferblanterie aussi plus chère.
- 170.-/m² bardage. Source : M. Evequoz, bureau Lutz. Coût identique à neuf ou en rénovation (façade ventilée).
- Calculs avec surface d'absorbeur net (=> pas brute et pas de prise en compte de la ferblanterie <=> plus de m² de tuiles/bardage épargnés en réalité.

⁵ Impossible de faire faire cela par des ouvriers temporaires comme ceux souvent appelés sur les chantiers, y compris photovoltaïques. C'est le but.

⁶ Plus le projet est ambitieux en matière de calepinage de façade, plus la part de réflexion et de travail humain est importante, plus le coût en autoconstruction se rapproche de celui en toiture. A condition de ne pas faire de raisonnement productiviste et de compter ses heures. Et à condition de savoir comment faire. Le premier point est personnel. Sebasol veille au second.

Influence sur le coût du kWh

| | | 13.5m2, toiture 20° | 13.5m2 façade, façade unie | 13.5m2 façade & cadre porte | 13.5m2 façade & cadre porte, mesuré |
|----------------------------------|-----------|---------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Brut | | | | | |
| Coût du kWh produit | [cts/kWh] | 7,7 | 13,8 | 15,2 | 12,7 |
| Surcoût du kWh, technique | [cts/kWh] | 0 | 3,5 | 4,9 | 4,1 |
| Net, neuf | | | | | |
| Coût du kWh produit | [cts/kWh] | 7,2 | 10,8 | 12,2 | 10,2 |
| Surcoût du kWh, technique | [cts/kWh] | 0 | 1,1 | 2,5 | 2,1 |
| Net, rénovation, Fribourg | | | | | |
| Coût du kWh produit | [cts/kWh] | 2,6 | 4,7 | 6,1 | 5,1 |
| Surcoût du kWh, technique | [cts/kWh] | 0 | 1,1 | 2,5 | 2,1 |

Notes

- Le « Surcoût du kWh, technique » = coût additionnel sur le kWh produit qui provient de l'intégration en façade par rapport à celle en une seule surface du même nombre de m² installée compacte en intégré sur le toit
- « façade unie » = champ de capteurs d'un seul tenant (pas d'encadrements de type porte ou fenêtre), comme sur le toit.
- L'encadrement de la porte génère ~+10% sur le coût du kWh produit par rapport à une surface unie. Donc par rapport au toit, si la décision est de mettre en façade, les désirs esthétiques des architectes sont encore financièrement supportables par les clients⁷.
- Chez les Marmy, la production supérieure mesurée diminue le coût du kWh produit. Le HOPF que le solaire thermique permet sur les ~ (~ 9'000- ~ 2'000 page 13) = ~ 7000 kWh de bois épargnés sur la consommation théorique n'est pas pris en compte, car d'impact sur le bâtiment non dissociable de celui du reste du HOPF (depuis des années à Sebasol nous essayons de simuler le HOPF et depuis des années nous échouons)⁸.
- Ces écarts se tassent si les moins-values et les subventions sont prises en compte. La rénovation n'est alors pas moins intéressante que le neuf.

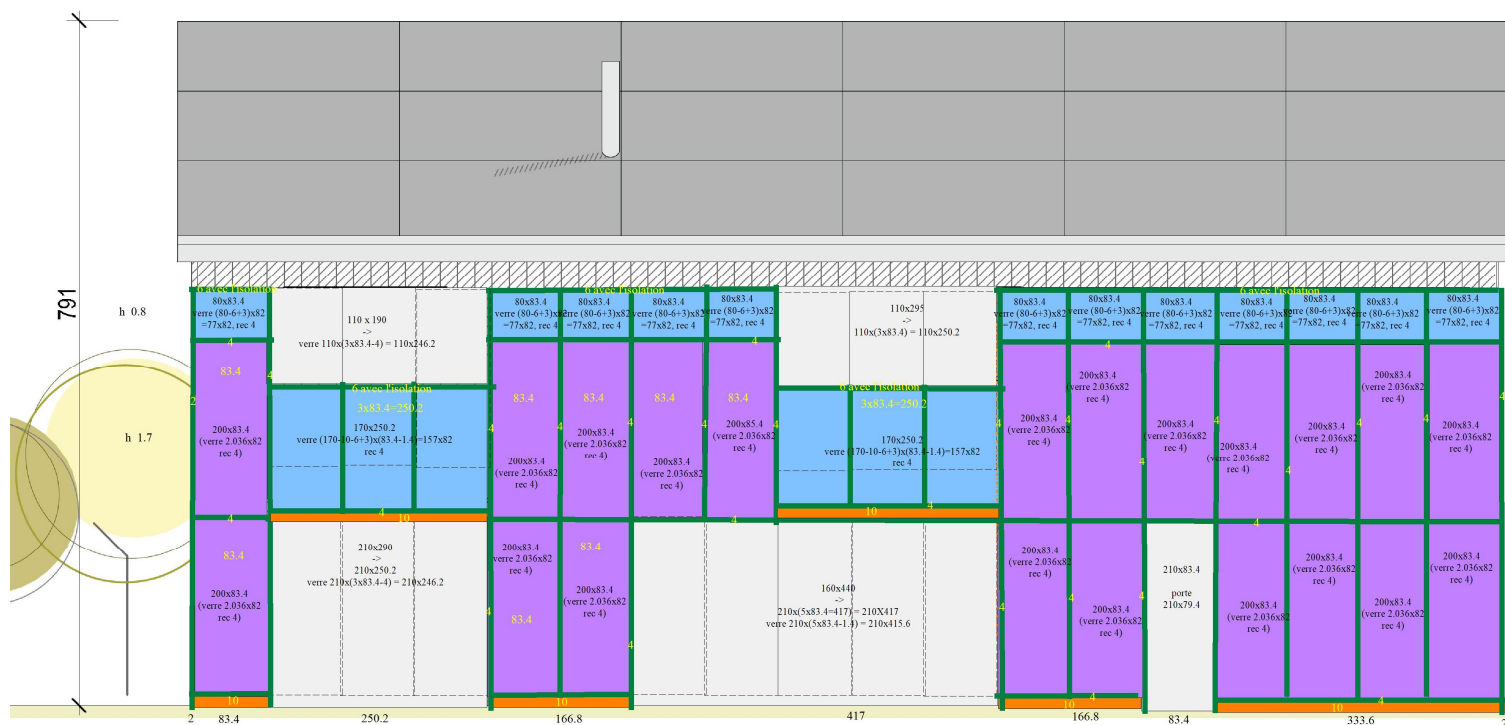
⁷ Ce n'est pas une raison pour abuser, sous peine de rendre vrai le dicton « un architecte est quelqu'un qui se paie ses désirs esthétiques avec votre argent ».

⁸ On peut néanmoins essayer de se faire une idée. Si par exemple est attribué au solaire thermique 50% des 7'000 kWh de consommations de bois en moins, sa « production » (guillemets car c'est une production directe de 4'700 et une indirecte de 3'500 permise par l'utilisation des 4'700 pour faire du HOPF) est ~ 8'000 kWh et le coût du kWh produit est équivalent à celui en toiture. Sauf qu'ainsi l'économie de bois est de loin supérieure et que les 0.4 stères par personne et par an sont atteints. Ce raisonnement est néanmoins fragile car il est possible aussi de faire dans une certaine mesure, du HOPF avec le solaire en toiture en faible pente. Mais cependant moins facilement qu'en façade ou forte pente.



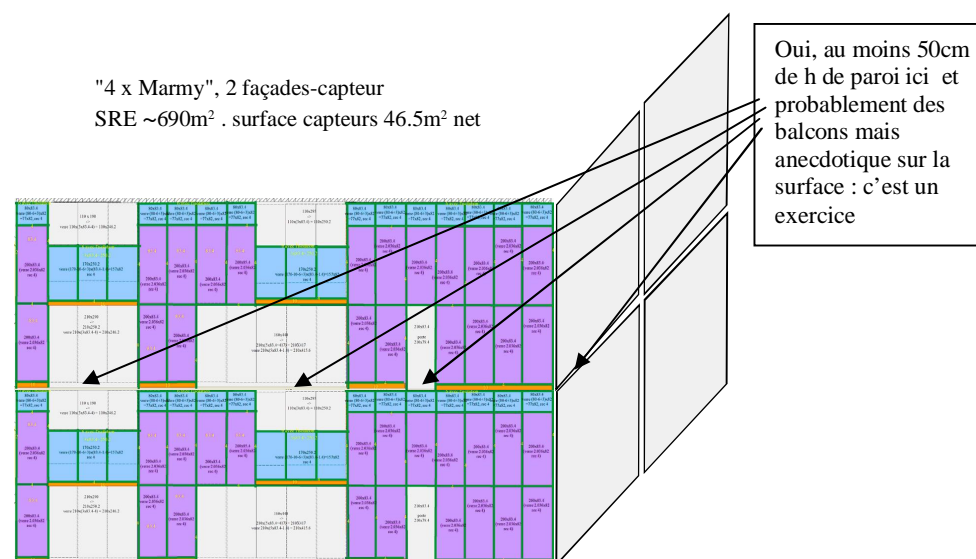
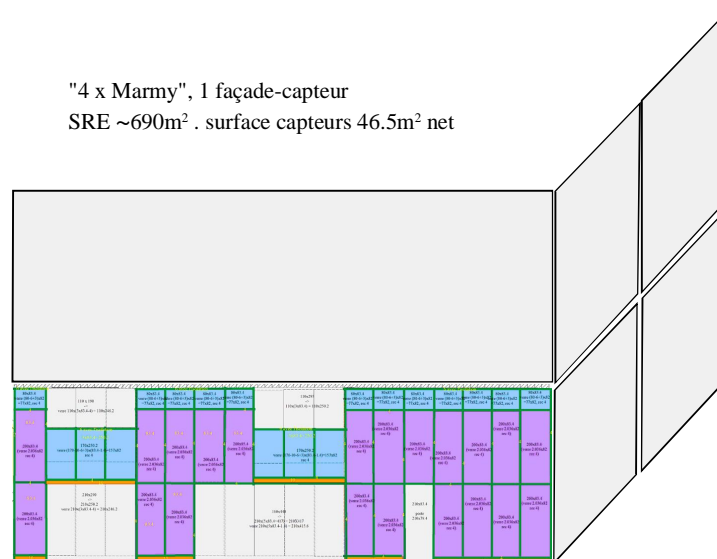
- Après moins-values et subventions solaires thermiques (le minimum syndical sur Fribourg) le coût du kWh produit
 - En rénovation est inférieur à celui du bois-bûche sans amortissement de la chaudière ni charges d'entretien. Du fait qu'à présent un stockage est obligatoire pour le bois-bûche et le plus souvent tout court (cf annexe), il n'y a plus de discussion possible sur le bien fondé du mariage.
 - A neuf, ce coût devrait être comparé au coût du kWh bois combustible+amortissement de l'installation bois. Vu le peu de bois qui reste à brûler, l'amortissement devient très long. En fait, il ne devient possible que pour les petits systèmes décentralisés comme celui chez les Marmy. Et donc le coût du kWh produit solaire thermique reste inférieur.
- Le coût du kWh produit par le système global est donc compétitif et – de son caractère low-tech - obtenu avec l'élimination d'une quantité importante d'électronique et de domotique. Il suffit à l'utilisateur de regarder la météo sur le journal et, ce qui n'est pas trop dur à l'humain typique, de bien utiliser sa flemme.

Une telles manière de faire est possible pour d'autres capteurs, pour autant qu'ils soient constructibles à façon.



Surface totale, absorbeur net : 46.5m^2 (violet + bleu ciel)

Cas de figure : Marmy*4 = Marmy*1 (largeur)*2 (profondeur)*2 (hauteur)
Passé d'individuel en collectif, conservation de l'arrangement de la façade S



- Besoins chauffage Marmy*1 : SRE 172.8 m², $Q_{ch\ eff\ Marmy*1} = 6636\ kWh/an$, $[Q_T + Q_V]_{Marmy*1} = 12'787\ kWh/an$, Surface de perte A ~380m², $A/SRE_{Marmy*1} = \sim 2.3^9$. Besoins ECS Marmy*1 : $172.8\ 50\ [MJ/m^2\ an, individuel]/3.6 = 2'400\ kWh/an$. Besoins ECS $\approx 25\%$ besoins totaux.
- Besoins chauffage Marmy*4 : SRE ~690 m², Surface de perte A ~950 m², $A/SRE_{Marmy*4} = \sim 1.35 \Rightarrow [A/SRE_{Marmy*4}/A/SRE_{Marmy*1}] = \sim 0.6 \Rightarrow Q_{ch\ eff\ Marmy*4} = \sim 6'636*4*0.6 \approx 16'200\ kWh/an$, $[Q_T + Q_V]_{Marmy*4} = \sim 12'787*4*0.6 \approx 31'300\ kWh/an$. Besoins ECS Marmy*4 : $\sim 690\ 75\ [MJ/m^2\ an, collectif]/3.6 = \sim 14'400\ kWh/an$. Important : besoins ECS à présent $\approx 50\%$ besoins totaux.
- ~690 m² SRE pourraient contenir ~6 appartements à 60-90m² (20% circulations déduites). Nombre d'habitants SIA ~18

⁹ Le A/SRE du SIA 380/1 est à 2.55 car dans Marmy individuel la partie droite de l'édifice n'est pas chauffée et il y a un toit en (faible) pente de S > SRE. Pour l'exercice la profondeur du « module Marmy*1 » a été modifiée pour caler à la SRE originelle. Ces ajustements sont peu importants : ce qui importe c'est d'avoir le même calcul du A/SRE pour déterminer le A/SRE du locatif bâti en « Marmy*x » pour avoir une idée de la diminution du $Q_{ch, eff}$ par gain de compacité.

Productions pour Marmy*4 avec 46.5 et 93m² en toiture et façade

| Marmy, Surfaces et SRE | toit 46,5m2, SRE 691m2, collectif | façade 46,5m2, SRE 691m2, collectif | toit 93m2, SRE 691m2, collectif | façade 93m2, SRE 691m2, collectif |
|-------------------------------|--|--|--|--|
| Besoins totaux [kWh/an] | 30685 | 30685 | 30685 | 30685 |
| SFn solaire ECS [-] | 62% | 42% | 72% | 63% |
| SFn solaire CH [-] | 18% | 22% | 30% | 37% |
| SFn solaire, global | 48% | 34% | 58% | 53% |
| Prod solaire [kWh/m2] | 19180 | 12896 | 23752 | 20228 |
| Prod solaire [kWh/m2 an] | 412 | 277 | 255 | 218 |
| Conso Bois [kWh/ an] | 29368 | 34824 | 24016 | 25460 |
| En stère feuillu | 14,7 | 17,4 | 12,0 | 12,7 |
| Quota | 0,85 | 1,01 | 0,69 | 0,74 |
| | pas atteint | pas atteint | pas atteint | pas atteint |

Notes

- 46.5m² pour Marmy*4 correspondent à 11.6 m² pour Marmy*1, soit donc ~15% de surface de capteur en moins mais pour des besoins de chauffage ~40% en moins au m² SRE et ECS de 50% en plus par m² SRE. Les % de couverture globaux en façade de ~34% pour 46.5m² sont donc cohérents avec les 36% en page 10.
- On retrouve les ~ moins 30% théoriques entre façade et toiture pour 46.5 m2. Pour 93m² les écarts se tassent car la grande surface en toiture est surdimensionnée pour les besoins d'été et sert moins pour les besoins chauffage d'hiver. A nouveau cela milite pour les capteurs en façade.
- Economies d'ECS de 50% ? Voir annexe.

Coûts Marmy*1*2*2 – 1 façade-capteur - 46.5m² nets

| | | 46.5m2, toiture 20° | 46.5m2 façade, façade unie | 46.5m2 façade & cadres |
|----------------------------------|---------|---------------------|----------------------------|------------------------|
| Brut | | | | |
| Coût surface de capteurs | [Fr] | 18 500 | 28500 | 32500 |
| Surcoût sur toiture | [Fr] | 0 | 10 000 | 14 000 |
| Surcoût sur toiture | [Fr/m2] | 0 | 215 | 301 |
| Coût au m2 | [Fr/m2] | 398 | 613 | 699 |
| Net, neuf | | | | |
| Moins-value de bardage/tuiles | [Fr/m2] | 35 | 170 | 170 |
| Surcoût sur toiture | [Fr/m2] | 0 | 80 | 166 |
| Coût au m2 | [Fr/m2] | 363 | 443 | 529 |
| Net, rénovation, Fribourg | | | | |
| Moins-value de bardage/tuiles | [Fr/m2] | 35 | 170 | 170 |
| Subvention | [Fr/m2] | 291 | 291 | 210 |
| Surcoût sur toiture | [Fr/m2] | 0 | 80 | 247 |
| Coût au m2 | [Fr/m2] | 72 | 152 | 319 |

Notes

- L'encadrement des ouvertures génère des coûts au m² supérieurs, pas seulement via le travail additionnel (point 4 précédent), mais aussi parce qu'il faut faire des capteurs de dimensions à façon qui ne donnent pas droit – pour l'instant - aux subventions¹⁰.

¹⁰ Ceci quand bien même tout le reste de leur construction (type de feuille sélective, diamètre et espacement des tubes, propriétés du verre, épaisseurs d'isolation, matériaux etc.) est semblable, ie. du point de vue des lois de la physique ils ne sont pas moins efficaces

Influence sur le coût du kWh

| | | 46.5m2, toiture 20° | 46.5m2 façade, façade unie | 46.5m2 façade & cadres |
|----------------------------------|-----------|---------------------|----------------------------|------------------------|
| Brut | | | | |
| Coût du kWh produit | [cts/kWh] | 4,8 | 11,0 | 12,6 |
| Surcoût du kWh, technique | [cts/kWh] | 0 | 3,9 | 5,4 |
| Net, neuf | | | | |
| Coût du kWh produit | [cts/kWh] | 4,4 | 8,0 | 9,5 |
| Surcoût du kWh, technique | [cts/kWh] | 0 | 1,4 | 3,0 |
| Net, rénovation, Fribourg | | | | |
| Coût du kWh produit | [cts/kWh] | 0,9 | 2,7 | 5,7 |
| Surcoût du kWh, technique | [cts/kWh] | 0 | 1,4 | 4,4 |

Notes

- A neuf, il n'y a pas de subventions. L'influence des surfaces de capteurs à façon non subventionnés est visible via l'augmentation de la part technique du coût du kWh entre le neuf et la rénovation, quand bien même le coût du kWh produit en rénovation est inférieur du fait des subventions.

Coûts Marmy*1*2*2 – 2 façades-capteur - 93m² nets

| | | 93m2, toiture 20° | 93m2 façade, façade unie | 93m2 façade & cadres |
|----------------------------------|---------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Brut | | | | |
| Coût surface de capteurs | [Fr] | 33 500 | 53300 | 61600 |
| Surcoût sur toiture | [Fr] | 0 | 24 800 | 33 100 |
| Surcoût sur toiture | [Fr/m2] | 0 | 267 | 356 |
| Coût au m2 | [Fr/m2] | 360 | 573 | 662 |
| Net, neuf | | | | |
| Moins-value de bardage/tuiles | [Fr/m2] | 35 | 170 | 170 |
| Surcoût sur toiture | [Fr/m2] | 0 | 78 | 167 |
| Coût au m2 | [Fr/m2] | 325 | 403 | 492 |
| Net, rénovation, Fribourg | | | | |
| Moins-value de bardage/tuiles | [Fr/m2] | 35 | 170 | 170 |
| Subvention | [Fr/m2] | 278 | 278 | 197 |
| Surcoût sur toiture | [Fr/m2] | 0 | 78 | 248 |
| Coût au m2 | [Fr/m2] | 47 | 125 | 295 |

Influence sur le coût du kWh

| | | 93m2, toiture 20° | 93m2 façade, façade unie | 93m2 façade & cadres |
|----------------------------------|-----------|-------------------|-----------------------------|-------------------------|
| Brut | | | | |
| Coût du kWh produit | [cts/kWh] | 7,1 | 13,2 | 15,2 |
| Surcoût du kWh, technique | [cts/kWh] | 0 | 6,1 | 8,2 |
| Net, neuf | | | | |
| Coût du kWh produit | [cts/kWh] | 6,4 | 9,3 | 11,3 |
| Surcoût du kWh, technique | [cts/kWh] | 0 | 1,8 | 3,8 |
| Net, rénovation, Fribourg | | | | |
| Coût du kWh produit | [cts/kWh] | 0,9 | 2,9 | 6,8 |
| Surcoût du kWh, technique | [cts/kWh] | 0 | 1,8 | 5,7 |

Notes

- L'augmentation du coût du kWh produit ne provient pas d'une augmentation du coût brut technique (entre 46.5 et 93 m², le coût brut du m² diminue), mais de la diminution classique de la production au m² de capteur solaire thermique quand la surface augmente pour des besoins identiques.
- Important de ne pas oublier les acquis des pages 11-13.
 - Les besoins ECS totalisent ici ~50% des besoins totaux. En cas d'économies sur l'ECS, la production solaire thermique est transférée sur le chauffage, sans perte de production.
 - En cas de HOPF, les simulations ne peuvent prendre en compte la baisse de consommation de bois.
- Les économies d'ECS sont-elles possibles en locatif ?
 - La tendance actuelle est à la diminution des besoins ECS. SIA les surestime déjà.
 - Nos expériences et mesures avec les autoconstructeurs montrent des consommations de l'ordre de 50% à 70% inférieures à SIA
- Le HOPF est-il possible en locatif ? Les recherches sont en cours avec des projets d'autoconstructeur en petit locatif de type Marmy*4. La flemme est un moteur puissant. La perspective d'une réponse positive est donc raisonnable.



MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Annexe. Besoins

Justification globale

Exigences d'après: SIA 380/1 (éd. 2016), Bâtiment neuf
 Canton: Fribourg
 Station climatique: Bern Liebefeld Ref: SIA 2028
 Surface de référence énergétique (SRE) A_E : 172.8 m² Rapport de forme A_{tH}/A_E : 2.55
 Facteur d'ombrage de la façade ayant la plus grande surface vitrée: f_s : 0.66
 Longueur totale des ponts thermiques linéaires: l : 124 m
 Bâtiment avec chauffage par sol: oui Température de dimensionnement $\Theta_{H,max}$: 30 °C
 Supplément pour régulation non performante $\Delta\Theta_i$: 0 °C Système: régulation par pièce

| | | |
|--|---|--|
| Valeur-limite des besoins de chaleur pour le chauffage | $Q_{H,li}$: 100 [%] | 55.1 [kWh/m ²] |
| Besoins de chaleur pour le chauffage du projet | Q_H : | 36.5 [kWh/m ²] |
| Puissance de chauffage spécifique: | P_H : 18.3 [W/m ²] | $P_{H,li}$: 25.0 [W/m ²] |
| Exigence globale $Q_{H,li}$ et $P_{H,li}$ | respectée <input checked="" type="checkbox"/> | non respectée <input type="checkbox"/> |

Besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire Q_{ECS} : 14 [kWh/m²]

7. Bilan thermique avec débit d'air thermiquement actif ($Q_{h,eff}$)

| Zone thermique | Q_T [kWh/m ²] | Q_V [kWh/m ²] | Q_l [kWh/m ²] | Q_s [kWh/m ²] | η_g | $Q_{h,eff}$ [kWh/m ²] | Q_{th} [m ²] |
|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------|--------------------------------------|-------------------------------|
| Logement | 50.8 | 23.2 | 20.5 | 30.7 | 0.7 | 38.4 | 0.8 |
| total | 50.8 | 23.2 | 20.5 | 30.7 | --- | 38.4 | |

Notre expérience a montré l'importance des pertes par transmission + ventilation dans les simulations. Ce n'est pas par caprice que Polysun les exige.

Le $Q_{ch, eff}$ ne suffit en effet pas car représente une moyenne annuelle, qui prend en compte les apports solaires passifs. Si le bâtiment est fortement vitré, ils sont importants, mais ils ne jouent aucun rôle dans les périodes froides sans soleil, qui dépendent en Suisse fortement

de la localisation (stratus, brouillards etc.). Là, les vitrages aussi bons soient-ils ne gagnent quasi rien et agissent comme de mauvais murs. De la diminution de surface des vitrages depuis les années 90¹¹.

Des capteurs solaires thermiques ne gagnent rien non plus (sauf en UBT, mais cela ne s'applique alors pas à l'espace chauffé, mais à des espaces tampons ou d'autre fonctions). Mais en cas de façades performantes derrière eux¹², ils ne péjorent alors pas les pertes par transmission. De fait, le solaire thermique en façade est d'autant plus utile que $Q_T + Q_V$ sont faibles, ie que la proportion de vitrages est petite, car d'une part ils ne perdent pas plus que les façades en cas de mauvaise météo et d'autre part via le stockage de la chaleur produite dans les périodes de beau temps et sa restitution dans les périodes sans soleil, ils jouent le rôle – intrinsèque à la notion de stockage - de *vraies* « fenêtres ouvertes sur le passé »¹³.

Important : avec des températures de départ/retour chauffage sont de l'ordre de 35/25 ou 28/22°C typiques pour du bâtiment performant à très performant, 1 litre d'eau produite à 45°C en bas de cuve par un système solaire thermique à stratification à 2 niveaux équivaut à 1.66/3.12 litres d'eau à injecter à 35/28 dans le départ chauffage pour un bâtiment chauffé à 20°C¹⁴. Pour exploiter cela au mieux il faut une vanne 3-voies dite ou « suédoise » avec une admission additionnelle entre le retour chauffage et le haut de l'accumulateur. Et un piquage bas sur l'accumulateur pour que cette admission puisse prendre de la basse température faite à 100% au solaire thermique en plus de la mélanger. Cela dispense à ce moment de mélanger de l'eau plus chaude à l'admission en haut d'accumulateur pour en faire de l'eau très tiède, et donc cette eau n'est pas sollicitée, et donc cela épargne des départs de charge chaudière. Et cela refroidit plus vite le

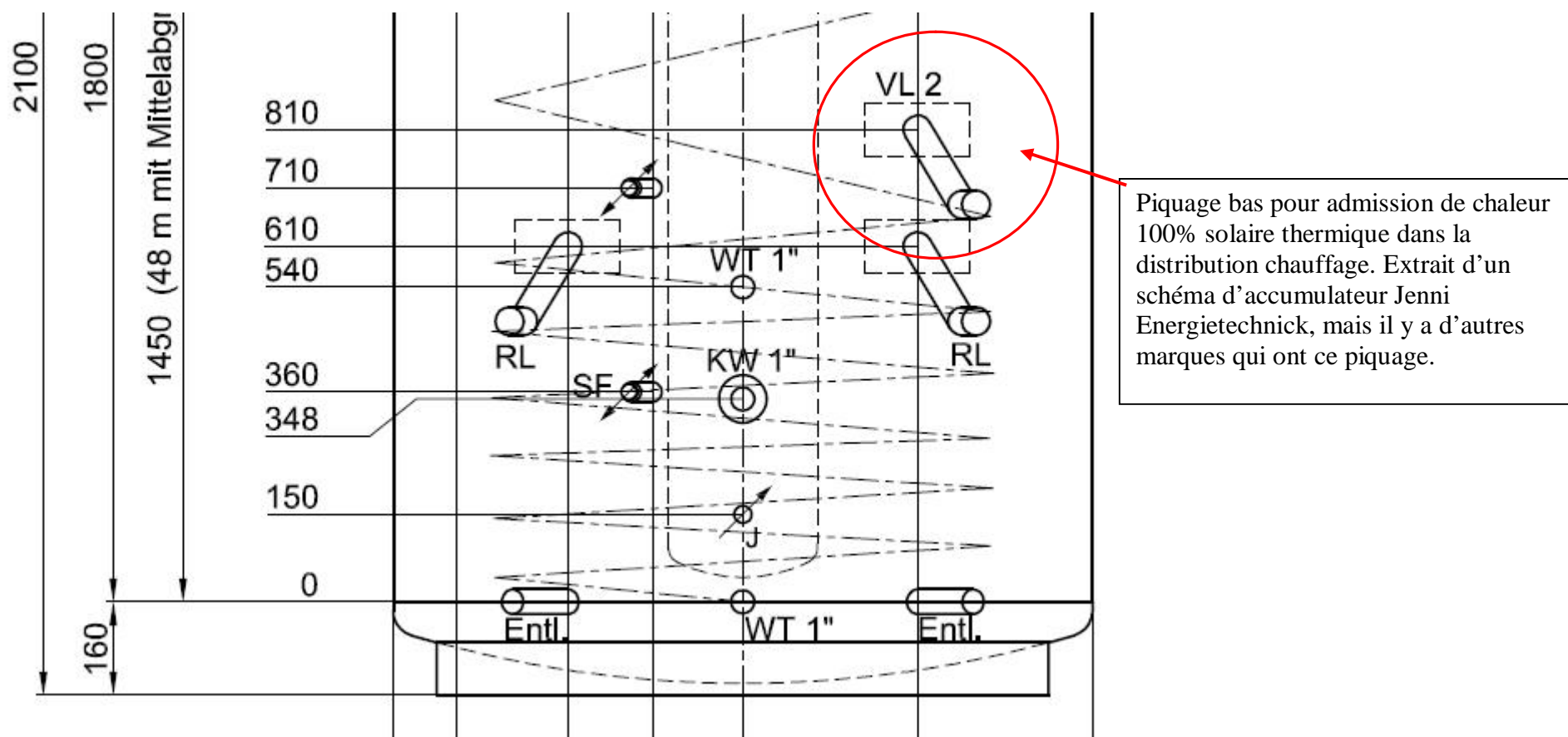
¹¹ Un peu d'histoire du domaine : le stockage dans la masse du solaire passif via les vitrages est utile mais il n'a pas été à la hauteur des espoirs pour les raisons suivantes: c'est sur le plancher que se fait ce stockage d'une part car même à 15° d'incidence moyenne sur une journée en décembre, le solaire direct va quand même contre en bas, le bâtiment ne peut stocker ainsi d'avantage que ce qui arriver par les fenêtres de $g \sim 0.6$ pendant quelques heures de beau temps l'hiver ensuite, et enfin ce ne sont que les 6 premiers cm de matériau qui en gros stockent. Faire le calcul de la capacité de stockage d'une chape ciment de 6cm vs ce qui peut géométriquement arriver dessus via une fenêtre de surface S en face qui laisse passer 60% de l'énergie incidente en mauvaise saison, plus répartir cette énergie gagnée sur tout le bâtiment, pour voir que c'est modeste. Les tentatives de faire plus de surfaces de stockage dans ces années pour prendre en compte de grandes surfaces vitrées se sont heurtées au même problème : c'est le sol qui stocke, tout stockage solaire passif indirect (par exemple du sol aux murs ou au plafond) ne fait que répartir l'énergie stockée dans le sol. Cela ne sert à rien si la capacité de stockage du sol est suffisante. Ainsi, dans les années 90-2000 M. Lutz avait mis de la masse au plafond sous la forme de plots sensés ainsi stocker d'avantage. Mais du fait des raisons citées, leur apport ne pouvait être qu'anecdotique, en contrepartie d'un surcoût de construction lui certain. Ce qui fait que le bureau Lutz a – à ma connaissance – abandonné ce système. Par contre le stockage dans la masse via les surfaces actives chauffantes (chauffage au sol) et la part aéralique des poêles, dans le cadre de stratégies HOPF, peut lui être significatif et est à notre avis au moins en partie responsable de la différence des consommations de bois entre simulations et mesures chez les Marmy.

¹² Une évidence mais une forme de malversation à vérifier sur chantier !

¹³ A ne pas confondre avec le déphasage, comme par exemple avec un plancher solaire direct, qui est beaucoup moins intéressant. 20 ans de confusion sur ces deux notions, et en France très souvent elle demeure. Le HOPF est beaucoup plus efficace comme méthode (c'est une forme de stockage indirect dans la masse, donc aussi un déphasage). Et au contraire d'une chape de 20cm au lieu de 7cm, nécessaire à un plancher solaire direct pour assurer au moins un déphasage jour-nuit apte à épargner des conditions de confort insupportables dans les pièces en entre-saison (en hiver ça ne sert à rien cf. point précédent), il ne coûte rien. Le plancher solaire direct n'est intéressant que lorsque le surcoût d'accumulateurs combiné devient excessif par rapport à celui de simples chauffe-eau ECS + une dérivation de stockage dans une masse interne (que ce soit un plancher ou autre chose). Et encore, c'est de moins en moins d'actualités avec l'arrivée de petits accumulateurs combinés bon marché, de plus en plus adaptés aux faibles surfaces de capteurs solaires thermiques, elles-mêmes cohérentes avec les besoins en diminution des bâtiments en constante amélioration (grâce entre autre au Programme Bâtiment !). Rien à ce jour, n'a été découvert qui soit économiquement compétitif avec l'eau du robinet pour non seulement le stockage de la chaleur, mais aussi sa restitution à des températures adaptées via la stratification dans les accumulateurs.

¹⁴ $(45-20)/(35-20)$ et $(45-20)/(28-20)$

bas de l'accumulateur => plus de production solaire thermique sur le moment et par la suite. Pour le HOPF, comme cette eau plus chaude est alors d'avantage disponible pour l'ECS, la nécessité psychologique de faire un feu au système manuel qu'est le poêle diminue d'autant, et donc d'avantage de feux sont économisés car psychologiquement c'est plus dur de ne pas avoir d'eau chaude à la douche que de supporter une baisse temporaire de la température des pièces.



Annexe. Quelques hydro bois-bûche décentralisés performants.

| Prüfwerte nach DIN EN 13240 gemäß Prüfbericht FSPS-Wa 1886-EN Feuerstättenprüfstelle RWE Power AG: | | |
|--|--------------|---------------------------|
| Brennstoff | Holz (Buche) | Braunkohlenbriketts BB 7" |
| Nennwärmeleistung (NWL) | 8 kW | 8 kW |
| Mittlere wasserseitige Wärmeleistung [kW] | 5,9 | 6,0 |
| Mittlerer Brennstoffdurchsatz [kg/h] | 2,55 | 2,05 |
| Wirkungsgrad [%] | 86,3 | 83,5 |
| Mittlerer CO ₂ – Gehalt [%] | 9,3 | 8,3 |
| Mittlerer CO – Gehalt [mg/Nm ³] bzg. 13%O ₂ | 1063 | 725 |
| Mittlerer Staub – Gehalt [mg/Nm ³] bzg. 13%O ₂ | 26 | 23 |
| Mittlerer NO _x – Gehalt [mg/Nm ³] bzg. 13%O ₂ | 124 | 134 |
| Mittlerer C _n H _m – Gehalt [mg/Nm ³] bzg. 13%O ₂ | 59 | 18 |
| Mittlere Abgasstutztemperatur [°C] | | 175 |
| Abgasmassenstrom [g/s] | | 7,5 |
| Förderdruck [Pa] | | 12 |

Momo / Tio

Caractéristiques techniques :
Rendement thermique nominal :
Plage de puissance :
Degré d'efficacité :
Contenance en eau :
Poids
avec habillage latéral en tôle d'acier et carter en tôle d'acier :
avec habillage latéral en tôle d'acier et carter céramique :
avec habillage latéral en tôle d'acier et carter en pierre naturelle :
avec habillage céramique :
avec habillage en pierre naturelle :
Hauteur/largeur/profondeur
avec habillage latéral en tôle d'acier et carter en tôle d'acier :
avec habillage latéral en tôle d'acier et carter céramique :
avec habillage latéral en tôle d'acier et carter en pierre naturelle :
avec habillage céramique :
avec habillage en pierre naturelle :
Tubulure de tube d'acier :
Hauteur de raccordement haut OK
arrièrecentre
Tubulure d'air de combustion :
Hauteur de raccordement arrière centre
bas UK
Ouverture du foyer
Dimensions du foyer

10 kW
débit d'eau env 70%
5-12 kW
>80%
30 l
240 kg
240 kg
260 kg
280 kg
305 kg
1343/586/539 mm
1385/586/539 mm
1343/586/539 mm
1362/586/539 mm
1385/586/539 mm
D=150 mm
1 311 mm
1 178 mm
D=125 mm
280 mm
114 mm
405/333 mm
520/346/335 mm

Tolima
Acqua

| Le recouvrement. | | |
|---|--|-----------------|
| No. AEA / Certifié selon / Sigle de qualité Energie bois suisse | | |
| 17140 / EN12815 / 0114 | | |
| Dimensions: | Hauteur/Largeur/Profondeur (encastré) | cm |
| | Hauteur/Largeur/Profondeur (indépendant) | cm |
| | Foyer chauffage, H/L/P | cm |
| | Ouverture porte de chargement, L/H | cm |
| | Quantité de bois par charge | kg |
| | Longueur max. du combustible | cm |
| | Buse de fumée | cm |
| Poids: | Cendrier | dm ³ |
| | | kg |
| Surface cuisson: | Largeur/Profondeur | cm |
| | Fonte | |
| Valeurs de combustion: | Porte de chargement, L/P | cm |
| | Dépression moyenne (tirage cheminée) | Pa |
| | Température moyenne des gaz de fumée | °C |
| | Durée de combustion à puissance nominale | h |
| | Quantité de bois par charge | kg |
| | Rendement de la technique de combustion | % |
| Valeurs techniques chauffage: | Contenance en eau | litres |
| | Débit minimal chaudière (Δt = 20 °C) | l/h |
| | Pression de service | bar |
| | Pression lors des tests | bar |
| | Température retour minimale | °C |
| | Puissance totale | kW |
| | Puissance eau chaude | kW |
| | Puissance chaleur dans la pièce | kW |
| Combustible: | | |
| Pays de production/Origine: | | |

Tiba 806-18/24

Daten PHOENIX (Powall)

| | |
|--------------------------------|--|
| Typ | PHOENIX |
| Einbausituation | Freistehender Kaminofen |
| Feuerungswärmeleistung | 20,5 kW* ← ? ≠ 13,9+3,7 |
| Nennwärmeleistung Raum | 3,7 kW* |
| Nennwärmeleistung Wasser | 13,9 kW* |
| Wirkungsgrad gem. DIN EN 13240 | 86 %* |
| Abgastemperatur | 185 °C |
| Abgasmassenstrom | 14,2 g/s |
| CO-Emissionen | 770 mg/m ³ (bei 13% O ₂) |
| Feinstaubemissionen | < 20 mg/m ³ (bei 13% O ₂) |
| Zugbedarf | 13 Pa |
| Durchmesser Rauchrohranschl. | 150 mm |
| Füllrauminhalt | 35 Liter (Netto-Füllmenge 22 l) 5 kg Fichtenholz (ca.) 6 kg Buchenholz (ca.) |
| Gewicht | 245 kg |
| Empfohlenes Puffervolumen | 1.000 Liter (m. Solaranlage 150 l/m ² Koll.) |

- Nennwärmeleistung Warmwasser-Heizkessel 13,9 kW
- Nennwärmeleistung Raum 3,7 kW
- Absolut bedienungs- und servicefreundlich
- hervorragend für Niedrigenergiehäuser geeignet
- Feinstaubgehalt 7 mg/m³
- Schadstoffklasse Stufe 2 DIN EN 13240

Annexe. Le surcoût du stockage solaire thermique sur le stockage bois dans le détail.

| | | Tiba Momo | Tiba 806-18 | Tiba 806-24 | Tolima Acqua | Powal Phoenix |
|---|-----------|-----------|-------------|-------------|--------------|---------------|
| Puissance brute | [kW] | 8,45 | 24 | 32,4 | 10,3 | 17,6 |
| Rendement | [-] | 86% | 83% | 83% | 81% | 86% |
| %air | [-] | 30% | 25% | 26% | 30% | 21% |
| %eau | [-] | 70% | 75% | 74% | 70% | 79% |
| Chambre hauteur | [m] | 0,43 | 0,6 | 0,6 | 0,52 | |
| Chambre largeur | [m] | 0,32 | 0,23 | 0,23 | 0,346 | |
| Chambre profondeur | [m] | 0,3 | 0,44 | 0,44 | 0,335 | |
| Chambre Volume | [L] | 41 | 61 | 61 | 60 | |
| Volume min Energie Bois Suisse | [L] | 500 | 700 | 700 | 700 | |
| Volume min fabricant | [L] | 500 | | | | 1000 |
| Volume min au kW | [L] | 400 | 1300 | 1700 | 500 | 1000 |
| Volume min chauffe-eau, individuel 4 personnes | [L] | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| Volume stockage min bois-bûche | [L] | 500 | 1300 | 1700 | 700 | 1000 |
| Volume min bois bûche+solaire thermique | [L] | 800 | 2000 | 2600 | 1100 | 1500 |
| Surface max solaire thermique pente 20° | [m2 nets] | 6 | 16 | 20 | 8 | 12 |
| Surface max solaire thermique pente 45° | [m2 nets] | 8 | 20 | 26 | 11 | 15 |
| Surface max solaire thermique pente 60° | [m2 nets] | 9 | 23 | 30 | 12 | 17 |
| Surface max solaire thermique pente 90° | [m2 nets] | 14 | 36 | 47 | 20 | 27 |
| Surcoût échangeurs solaires pente 20° | CHFr | 400 | 800 | 800 | 400 | 600 |
| Surcoût échangeurs solaires pente 45° | CHFr | 400 | 800 | 1000 | 600 | 600 |
| Surcoût échangeurs solaires pente 60° | CHFr | 400 | 1000 | 1000 | 600 | 800 |
| Surcoût échangeurs solaires pente 90° | CHFr | 600 | 1400 | 1700 | 800 | 1000 |
| Surcoût volume solaire thermique (avec isolation) ~ | CHFr | 234 fr. | 842 fr. | 936 fr. | 312 fr. | 421 fr. |
| Surcoût volume solaire thermique (avec isolation) ~ | CHFr | 300 fr. | 1 000 fr. | 1 100 fr. | 400 fr. | 500 fr. |
| Surcoût échangeurs solaires, façade, S max ~ | CHFr | 600 fr. | 1 400 fr. | 1 700 fr. | 800 fr. | 1 000 fr. |
| Surcoût total, solaire thermique, façade, S max ~ | CHFr | 900 fr. | 2 400 fr. | 2 800 fr. | 1 200 fr. | 1 500 fr. |

Si les cases sont vides les renseignements n'ont pu être obtenus.

Annexe. Productions pour Marmy*4 avec 46.5 et 93m² en toiture et façade, ECS - 50%

| Marmy, Surfaces et SRE variables | ECS SIA/2 | toit 46,5m2, SRE 691m2, collectif | facade 46,5m2, SRE 691m2, collectif | toit 93m2, SRE 691m2, collectif | facade 93m2, SRE 691m2, collectif |
|-------------------------------------|------------------|--------------------------------------|--|------------------------------------|--------------------------------------|
| Besoins totaux [kWh/an] | | 23485 | 23485 | 23485 | 23485 |
| SFn solaire ECS [-] | | 66% | 54% | 75% | 74% |
| SFn solaire CH [-] | | 22% | 25% | 36% | 44% |
| SFn solaire, global | | 50% | 40% | 59% | 59% |
| Prod solaire [kWh/m2] | | 16948 | 12544 | 20484 | 18904 |
| Prod solaire [kWh/m2 an] | | 364 | 270 | 220 | 203 |
| Conso Bois [kWh/ an] | | 23600 | 25616 | 19580 | 18160 |
| | En stère feuillu | 11,8 | 12,8 | 9,8 | 9,1 |
| | Quota | 0,68 | 0,74 | 0,57 | 0,53 |
| | | pas atteint | pas atteint | pas atteint | pas atteint |

Notes :

- Même transfert de la production de l'ECS au chauffage sans diminution de la production au m² de capteur (voir page 26).
- Pour le reste même remarques que page 13 : dans la réalité, l'économie de bois sera probablement supérieure et donc le quota de 0.4 stères de bois par personne et par an atteint.

Annexe. Un peu de pub. Offre Marmy.



Rhyner Energie Sàrl Chemin de
Tabac-Rhône 12 1893 Illarsaz
T. +41 24 466 35 86
rhyner-energie.ch
info@rhyner-energie.ch

Tout pour votre bâtiment

Chauffage à bois
Solaire thermique et photovoltaïque
Expertises énergétiques

Mme et M. Sara et Emmanuel
Marmy
Chemin de la Forêt 22
1522 Lucens

Fully, le 2 avril 2019

Devis pour une installation solaire thermique, distribution chauffage et poêle hydraulique

| DESIGNATION |
|--|
| Pose de 9 capteurs solaires (13.5 m2 nets) SEBASOL 2015, intégrés en façade avec ferblanterie. Pose des vitres en vertical et fabrication adaptée des absorbeurs, avec ferblanterie |
| Pose des conduites solaires en tube de cuivre avec isolation épaisseur minimale 19 mm hors passages particuliers, compensateurs de dilatation si nécessaire et câble de sonde. |
| Fourniture et mise en place accumulateur combiné Jenni Energietechnik AG de 970L garanti 5 ans, avec champignon interne en inox 130L, échangeur bas 24ml/2.5m2, haut 24ml/2.5m2, isolation 130cm, manteau PVC bleu, groupe de sécurité, vase d'expansion de 100L. Mitigation. |
| Fourniture et mise en place d'un groupe de circulation 3/4" avec pompe, 2 clapets anti-retour, soupape de sécurité, thermomètres, manomètres, débitmètre analogique, débitmètre numérique, vase d'expansion 60L, antigel. Régulation solaire Sora automatique avec affichage numérique des paramètres de fonctionnement. Charge de l'accumulateur en stratification 2 niveaux avec priorité ECS. Compteur de chaleur avec affichage numérique de la puissance produite et des kWh totaux. Connexion solaire au chauffe-eau |

Partenaire:



Mise en service et essais solaire

Fourniture et pose d'une régulation chauffage évoluée avec piquage différentiel de la température dans l'accumulateur pour utilisation optimale de l'énergie solaire dans un système de chauffage automatique. Rendue posé avec groupe hydraulique comprenant un circulateur label énergétique A, régulation électronique de chauffage, connexion de la sonde de température extérieure, programmation de la courbe de chauffe sur base d'une calorimétrie 384/2 du chauffagiste ou d'un bilan SIA 380/1 du thermicien.

Fourniture et pose d'un poêle hydraulique Wodkte Momo 8 KW (30% rayonnement soit 2,5 KW et 70% hydraulique dans l'accu soit 5,5 KW) avec groupe de charge, groupe de sécurité avec raccordement sur eau froide et écoulement, arrivée d'air primaire, tuyau d'arrivée d'air, mise en service. Raccordement à la cheminée.

Options possibles avant le démarrage des travaux (non comprises dans le présent coût) : branchement du lave-linge sur l'eau chaude solaire thermique + bois, idem le lave-vaisselle, séchoir à linge de COP 30+ (au minimum 10x mieux qu'un séchoir pompe à chaleur), alarme visuelle en chaufferie ou dans le couloir, économiseurs d'eau sur la distribution sanitaire, variflow solaire pour baisser la consommation électrique en hiver (important pour l'autonomie électrique hors-réseau), système de batteries low-tech-low-cost et mesure de rationalisation électriques pour sortir du réseau, dérivation pour chauffe d'une mini-serre agricole au solaire thermique en UBT (ultra-basse-température), passage dans les 3-5 ans pour contrôle du fonctionnement, autres

| | |
|---------------------------|------------------|
| Total hors TVA | 40 330.00 |
| TVA | 3 105.40 |
| Total TVA comprise | 43 435.40 |

Il est possible que ces options ne figuraient pas sur l'offre fournie au client. En général l'installateur en parle par oral. Elles sont mises ici par écrit pour illustrer la palette importante d'applications réalisables par un installateur en solaire thermique « qui touche ».

Garantie : totale de 2 ans. Au-delà : garanties spécifiques ou selon les normes usuelles.

Nous vous remercions de votre confiance et restons à votre disposition pour tous renseignements complémentaires

En vous remerciant d'avance, nous vous envoyons nos salutations ensoleillées.

Michel Carron pour Rhvner énergie Sàrl

Note : dans la situation Marmy, sur 20 ans, au coût actuel du bois.

- L'installation actuelle sans la distribution chauffage coûte ~40'000.- + ~3'000.- de combustible (20 stères feuillu à 150.-/stère) = ~ 43'000.-
- remplacée par une chaudière à granulés bois sans solaire thermique elle coûterait ~25'000.- avec silo et aspiration + 22'000.- consommation bois ¹⁵ => total ~ 47'000.-

Donc facture finale du même ordre sauf que l'installation Marmy actuelle

- avec 0.25 stères/an personne est soutenable tandis que la chaudière à granulés seule à 1.7 stère/an personne est d'un facteur 4 insoutenable
- à futur 1) est beaucoup moins sensibles aux variations du coût du bois et 2) permet si nécessaire l'autonomie électrique.

¹⁵ (page 10) ~ (9'500+4'000) = 13'500 kWh à actuellement 8cts/kWh (coût granulés)

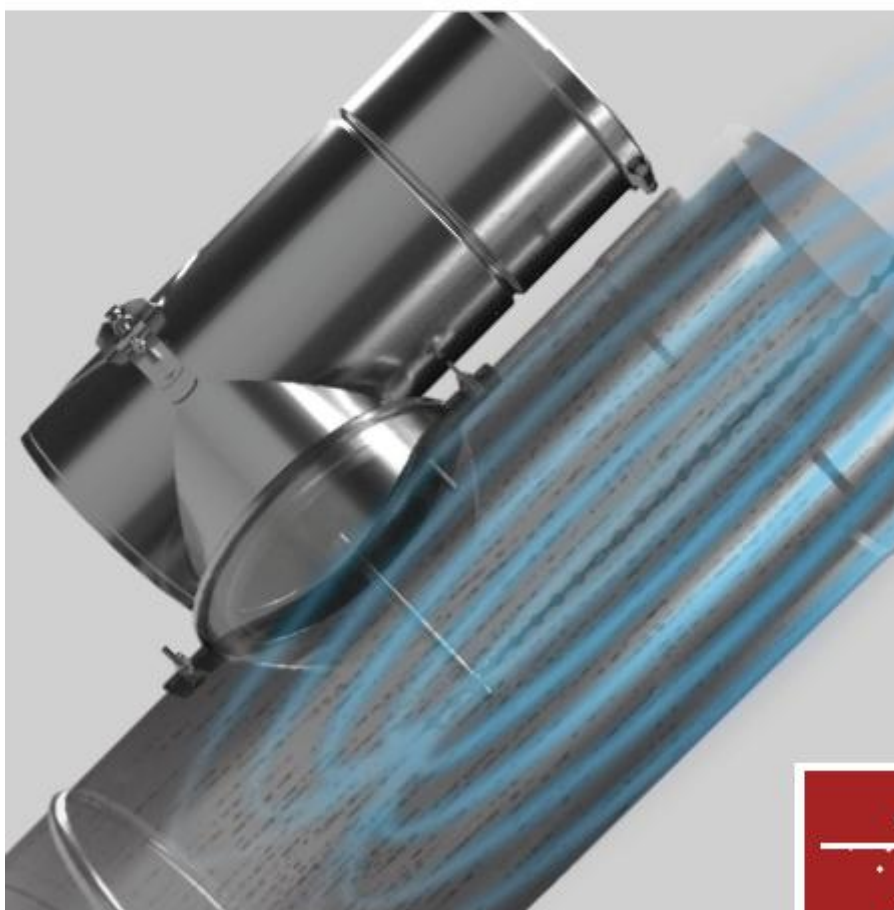
Annexe. Encore un peu de pub. Filtre à particules.

Innovation — Umwelt — Mensch



Die Feinstaubabscheider der Serie Airjekt® 1 passende Lösungen zur Feinstaubreduzierung

Produktblatt



Kutzner + Weber ist zertifiziert nach DIN EN ISO 9001

Impf- und technische Änderungen vorbehalten. Stand 3/2020, Version 1.0



Kutzner + Weber GmbH
Frauenstraße 32 · D-82214 Miesbach
Tel.: +49 (0)8141 / 957-0 · Fax: +49 (0)8141 / 957-500
www.kutzner-weber.de · info@kutzner-weber.de

Hollnau
Vertrieb: +49 (0)8141 / 957-118 +49 (0)8141 / 957-131 +49 (0)8141 / 957-120
Technik: +49 (0)8141 / 957-400

- Revendeur en Suisse : www.ruegg-cheminee.com
- Coût filtre à particules par installateur Sebasol, sans difficultés particulières, dans le cadre d'un mandat global : ~2'200.- TTC