

Le coût du solaire thermique

Contexte

Le 18 avril 2008, le ScanE (Service de l'Energie du canton de Genève) a organisé une réunion des principaux acteurs du solaire thermique de Suisse Romande pour discuter d'un problème irritant : depuis des années, et ceci en contradiction avec nombre de communications officielles et d'actes de foi journalistiques ou commerciaux dans le Progrès Technique, le solaire thermique ne baisse pas de coût sur le marché et donc le coût du kWh produit pas d'avantage. C'est du moins ce que le ScanE a pu déduire de ses observations statistiques.

Les faits sont têtus. Entre une observable et une profession de foi, fut-elle en le Progrès Technique, l'observable gagne. Reste à savoir pourquoi.

Nous avons notre idée et l'avons communiquée au ScanE dans une communication gratuite qui totalise de nombreuses heures-homme de travail, une expérience du marché romand cumulée sur plus d'une dizaine d'années et des centaines d'installations, et la compétence accumulée de nombreux praticiens du domaine. Toute cette ressource provient de la société civile, à savoir les ingénieurs, installateurs et autoconstructeurs qui ont collaboré ou collaborent encore à Sebasol.

Le rapport se concentre sur les installations solaires dites "grandes", qui concernent le préchauffage de l'eau chaude sanitaire sur les locatifs.

Le ScanE a donné son accord pour que nous mettions en ligne et diffusions largement ces conclusions. Donc acte.

Pour Sebasol
Pascal Cretton/1.12.08

Le coût du solaire thermique

Rapport à bien plaie au ScanE, 18.04.2008

Point de vue d'un acteur indépendant du marché

mais néanmoins de terrain et informé

Introduction

Sebasol est une association a but non lucratif constitué d'ingénieurs, d'installateurs sanitaires et ferblantiers, et de personnes ayant réalisé elles-même une installation solaire thermique.

Sebasol homologue et encadre l'autoconstruction solaire thermique en Romandie et France proche.

Sebasol contrôle et homologue les installations solaires thermiques des installateurs qui utilisent la technique homologuée SPF172 en Romandie.

Sebasol a de cette manière réalisé, fait réaliser, supervisé et homologué environ 500 installations solaires à ce jour. Ces installations couvrent tous les types, du préchauffage pour locatif, chauffage de l'ECS ou appoint chauffage. Les surfaces vont de 3 à 75m².

En 10 ans d'activité, Sebasol a acquis une connaissance des prix du marché, ainsi que des paramètres qui déterminent le coût et le rapport rendement/coût d'une installation solaire.

Du fait de ses statuts et de sa nature, Sebasol ne se sent pas tenu de suivre les modes industrielles ou commerciales, et les raisonnements biaisés qui en découlent quant aux solutions techniques à appliquer, lesquels influent sur le prix des installations solaires et du kWh produit.

Le présent dossier présente certains enseignements de ces 10 ans d'activité. Il se veut un document de travail et pourra être produit en version propre sur mandat du ScanE. Nous nous excusons d'avance pour les fautes d'orthographe, de syntaxe, le parler peu diplomatique, les répétitions etc.

Pour Sebasol
Pascal Cretton/16.04.08

Coût clef en main des installations solaires thermiques

Les coûts en clef-en-main SPF172 Sebasol

Au début des années 2000, Sebasol a participé à l'élaboration d'un cahier des charges pour le programme de l'Etat de Genève mis en ligne sous www.easysolar.ch. Ce programme était une nouveauté car c'est la première fois que le coût des installations solaires thermique d'entreprises différentes avait pu être mis en ligne à cahier des charges égal.

Bien que les prix des fournitures et du travail à la base de ce programme aient changé, ce qui rend le programme obsolète sur la question des coûts absolus, la comparaison relative reste possible car les données techniques n'ont pas évolué. Le cahier des charges est toujours pertinent. Sebasol en utilise un „clône“ pour définir une installation solaire thermique standard. Ce cahier est disponible sur www.sebasol.ch/cahier.pdf (+ cf. annexe)

Sur cette base, Sebasol impose un coût de base aux installateurs qui acceptent de travailler avec l'association. Un installateur peut toujours faire un coût inférieur, ce n'est donc pas un cartel, mais tout dépassement de ce coût doit être justifié auprès de Sebasol par des travaux ou des fournitures hors du cahier des charges. Les installateurs qui ne veulent pas tenir les coûts standard quittent cette convention et proposent d'autres produits à leurs clients.

Le coût sur cette base est de loin en loin mis à jour. www.sebasol.ch/estimation_cem.pdf (+ cf. annexe). Il donne le coût en clef en main d'une installation solaire ECS ou ECS et appoint chauffage entre 4.5 et 50m². La courbe actuelle date de septembre 2007. Actuellement, il y a une augmentation des prix de l'ordre de 5% du fait de l'augmentation des métaux stratégiques et du baril sur le marché mondial. Malgré des turbulences prévisibles dues à la spéculation et à des phases de récessions dues aux troubles mondiaux subséquents à l'établissement graduel du pic du pétrole, telle tendance ne va pas s'infléchir en moyenne dans les prochaines années.

De l'examen de la courbe on tire les enseignements suivants (en francs TTC, +5% de renchérissement pris en compte)

- Pour les petites installations solaires ECS sur individuel, le coût est de l'ordre de 2'350.-/m² installé fini.
- Pour les installations solaires ECS sur du petit locatif (typiquement 12 à 18m²) il est de l'ordre de 1'600.-/m² installé fini
- Pour les installations solaires de préchauffage ECS sur du grand locatif, le coût peut être extrapolé et se situe autour de 1'350.-/m² installé fini.

Note 1 : ce sont des coûts installés finis selon le cahier des charges dont il a été question. Aucune discussion rationnelle ne peut se faire sans y référer.

Note 2 : pour le préchauffage sur locatifs, l'installation solaire est dimensionnée

- à hauteur de 0.4 m²/habitant, ceci pour satisfaire à l'exigence du ScanE d'une production solaire de l'ordre de 700 kWh/m² an pour du plan vitré. Une surface plus importante (0.8+ m²/habitant voire plus) ne permet pas une telle production et ne donne pas droit à la subvention „pour le préchauffage“ du ScanE. Tout argumentaire qui vise à prouver le contraire tient de l'escroquerie scientifique.

- À hauteur de 40L de volume solaire par m² de capteur, selon les indications de PACER 724.213f. Un volume supérieur n'apporte pas grand-chose de plus et constitue un surcoût inutile.

Note 3 : les coûts annexes comme les honoraires d'architectes ou de bureau d'ingénieur ne sont pas compris dans ces estimations, car ils ne sont pas nécessaires: Sebasol dimensionne et contrôle le coût de ses installateurs et le coût de ce service est compris dans les prix plus haut.

Commentaires et propositions

Le coût du m² installé fini est supérieur à 2'000.- uniquement dans le petit individuel.

Pour le collectif, sauf difficultés imprévues (génie civil) ou coûts additionnels (support sur toit plat, tuiles particulières), les coûts sont inférieurs à 1'700.-/m².

Ces résultats contredisent la déclaration du 25.02.08 du ScanE,

Concernant le solaire thermique, nous constatons que depuis 15 ans, le coût des installations n'a globalement pas baissé malgré l'apparition des kits et l'élévation du niveau de formation des installateurs. Pour les installations collectives, on en est toujours autour de Frs. 2'000.- le m² et entre Frs 2'000 et 4'000.- pour les installations individuelles! Avec une technologie mature et un prix des énergies fossiles qui a plus que doublé en 3 ans, il est décevant de voir une aussi faible progression des surfaces installées.

ce qui veut dire que les autres installations du marché sont de prix supérieurs.

Quelles sont les causes ? Nous distinguons deux catégories ; le petit individuel et le collectif.

Coûts dans le petit individuel¹

Dans le petit individuel, les coûts fixes de „prise en charge“ sont importants (offre, inspection, logistique, déplacements, explications avec le client souvent d'autant plus acharnées que... la surface est faible et donc la production aussi etc.) par rapport à la faible surface à poser. Ces postes ne peuvent être minimisés que dans le cas du montage en série sur des villas semblables en un seul lieu. Sinon, le travail n'est pas assez standardisable, et ceci malgré des kits solaires bon marché. Le discours kit bon marché = installation bon marché est souvent tenu par les vendeurs de matériel solaire, voire parfois par les installateurs. Il ne reflète cependant pas la réalité du travail et nous suspectons qu'il n'a pas d'autre objectif que celui de convaincre le client. L'exigence d'un comptage de chaleur et d'un comptage d'eau froide augmente encore le coût sur Genève.

De ce fait, en l'absence de travaux additionnels hors cahier des charge, un coût de l'ordre de 14'000.- TTC pour une installation de 6m² avec 500L de chauffe-eau est pour nous standard. Si on atteint des ordres de grandeur de 18'000.- TTC sans interventions additionnelles hors cahier des charges, alors il y a surfacturation.

¹ Pour les installations en eau chaude sanitaire seulement. Les installations eau chaude sanitaire et appoint chauffage constituent une catégorie plus qu'intéressante, mais comme on compare individuel et locatif, on se restreint à ces deux catégories qui ne visent qu'à couvrir des besoins ECS, de ce fait mieux comparables. Pour l'appoint au chauffage, www.sebasol.ch/estimation_cem.pdf permet de se faire une idée des coûts, et des simulations sur Polysun™ permettent de déterminer la production.

Note 1 : des interventions additionnelles sont souvent fréquentes et nécessaires pour garantir la qualité et la durabilité de l'installation : sécurité/protection (feu, infiltration, pluie, UVs), génie civil (percements), électricité etc.

Note 2 : les coûts baissent, cf. www.sebasol.ch/estimation_cem.pdf, dès que la surface de capteurs augmente

- 1'900.-/m² installé fini pour 9m²
- 1'700.-/m² installé fini pour 12m²
- etc.

Le petit individuel est donc cher au m² posé. Ce m² produisant en moyenne 500 kWh/m² an, le coût du kWh économisé semble cher. Il l'est, mais probablement moins que ne le montre ce calcul. En effet, le dimensionnement en petit individuel (1.5m² par personne à Sebasol) permet une chose impossible en locatif : l'arrêt définitif de la chaudière en belle saison. Cet arrêt peut être source – surtout avec les systèmes anciens – d'économies énormes, qui peuvent dépasser plusieurs fois la production solaire de l'installation cf. par exemple <http://www.sebasol.ch/realisations.asp?id=402>

En outre, l'arrêt définitif de la chaudière pendant plusieurs mois a un effet psychologique important : la personne „voit“ l'économie. Le fait que la chaudière soit à l'arrêt le prouve. De même le fait que le niveau de la citerne ne bouge pas ou que la facturation du gaz/de l'électricité affiche des 0. C'est tout le contraire d'une installation de préchauffage sur un grand locatif, qui produit plus au m², mais dont l'économie est noyée dans le bruit causé par les variations annuelles du climat et des consommations.

Proposition : il est donc dangereux de conclure que les installations sur petit individuel sont „de l'argent gaspillé“. A notre sens, les subventions peuvent être réduites et adopter la forme d'un forfait fixe. Mais les supprimer serait envoyer un très mauvais signal.

Coûts dans le locatif

La situation n'est pas la même dans le grand locatif. En imposant une production de 700 kWh/m² an en contrepartie de l'obtention d'une subvention plus intéressante, le ScanE promeut un dimensionnement de type préchauffage solaire de l'ECS pour les installations. Un tel dimensionnement aboutit à une surface de l'ordre de 0.4m² de capteur par personne et un volume solaire d'accumulation de l'ordre de 40L/m² de capteur.

Un tel dimensionnement aboutit à des installations avec des volumes solaires d'accumulation raisonnables. Cela dispense souvent des mesures de génie civil nécessaires pour placer des volumes plus importants. Sous ces conditions et en l'absence de travaux additionnels hors cahier des charge, il n'y a aucune, mais alors aucune, raison d'aboutir à un prix supérieur à 2'000.- le m² installé fini TTC.

Une des raisons pour lesquelles à notre sens les coûts dépassent ce montant en moyenne genevoise est que les planificateurs ne suivent pas ces règles. Ils dimensionnent plus grand. Cela a pour effet de devoir placer en cave des volumes importants, sources de surcoûts importants de fournitures et de génie civil. Une partie de ces derniers pourraient être évités si

les planificateurs étaient plus pointus dans le domaine (recours au brassage, consommations additionnelles couvertes par réinjection dans la recirculation etc.), mais c'est rarement le cas. Il y a plutôt la propension à appliquer des solutions standard que le client paiera. Voire une volonté „d'en imposer“ au client par des installations de prestige.

Proposition : le ScanE doit revoir les subventions de manière à ce qu'elles encouragent de manière encore plus forte un dimensionnement correct à 700 kWh/m² an de production solaire. Ceci non en donnant plus d'argent pour un dimensionnement correct, mais en en donnant beaucoup moins pour un dimensionnement trop grand. Les mesures futées (cf. plus haut) doivent cependant être encouragées. En contrepartie d'une justification par simulation qui tienne la route, évidemment.

Les autres causes des coûts surfacts dans le locatif tiennent à la structure du marché du „grand solaire“ et de ses acteurs. Il y a plusieurs „effets“ :

1. L'effet „faisons payer l'écolo“ ou l'exploitation de l'ignorance des coûts et du cahier des charges par le maître de l'ouvrage
2. L'effet „carnet de commande plein“ ou la surenchère sur les prix d'un secteur aux perspectives de gain marginales alors qu'il y a plus à gagner ailleurs.
3. L'effet „il y en aura pour tout le monde“ qui voit tous les acteurs reporter des marges de risque sur le solaire ou éponger avec le solaire des surcoûts ailleurs
4. L'effet „le saucisson à la rondelle est bien plus cher qu'au kilo“ qui voit une foule d'acteurs et de sous-traitants se réunir pour réaliser l'installation solaire
5. Et enfin, l'ignorance de certains facteurs technico-économiques d'intérêt pour faire baisser les coûts, ces facteurs n'étant pas applicables du fait de la technique choisie.

Notre expérience nous permettrait d'écrire un roman sur les causes 1 à 4. En annexe, vous trouverez un cas caricatural à souhait - offre d'un installateur Sebasol versus deux autres offres soi-disant „en concurrence“ - qui suffira à montrer la gravité du problème.

Les causes 1 à 4 ne sont pas de nature technique. Elles concernent les pratiques des maîtres de l'oeuvre et des entreprises. Tout remède doit cibler le contrôle des coûts versus le respect du cahier des charges.

Notre expérience montre en effet que seule l'information directe au maître de l'ouvrage, avec by-pass de tous les intermédiaires, est efficace. Cette information doit donner le coût plausible d'une installation standard réalisée selon un cahier des charges standard. Elle contribue autant à garder les coûts sous contrôle qu'à éliminer des fantasmes de mouvement perpétuel chez le maître de l'ouvrage. C'est ce que fait Sebasol - de manière contraignante - avec ses installateurs. C'est ce que tente de faire le ScanE avec www.easysolar.ch, mais de manière non contraignante.

- L'information des architectes et acteurs du bâtiment est souhaitable mais ne donnera rien si les honoraires de ces acteurs sont proportionnels au coût de l'installation, ou si ces acteurs ont des accords préexistants avec des entreprises contractantes.
- L'information générale aux régies, propriétaires, investisseurs etc. sera peu efficace parce que pour ces instances le solaire est un domaine marginal qui ne vaut pas la peine

qu'on y consacre une intense réflexion. Elles n'arrivent pas à déterminer les ordres de grandeur pertinents et feront appel aux entreprises ou „solutions“ du passé.

- La mise en concurrence (plusieurs offres) est très souvent inefficace du fait que
 - le maître de l'ouvrage ne connaît souvent pas les acteurs pertinents de ce marché (par principe pour des questions d'image, tout acteur du bâtiment affirmera faire du solaire, même si ce n'est pas le cas)
 - l'attribution du mandat solaire à une entreprise externe au panel habituel peut déclencher la mauvaise volonté des entreprises de ce panel (qui vont vouloir se refaire ailleurs ou seront moins „souples“ sur les travaux additionnels ou imprévus)
 - les entreprises s'entendent sur leurs offres

Proposition : pour chaque demande de subvention, le ScanE consulte la courbe www.sebasol.ch/estimation_cem.pdf et en cas de dépassement, en informe le client et lui propose une expertise indépendante. Le but de cette expertise est de déterminer les travaux hors cahier des charges qui peuvent expliquer le surcoût, et leur pertinence technique et économique dans la situation donnée.

Sebasol peut former un collaborateur du ScanE pour ce faire.

Cause 5 : des grandeurs économique/techniques pertinentes

Ou Monsieur Jourdain contre les Shadoks

Cette cause est la dernière de l'énumération précédente, et c'est la seule cause technique qui peut contribuer au coût élevé des installations solaires sur locatif en moyenne genevoise. Il prend sa source dans des pratiques stéréotypées ou irrationnelles chez les planificateurs.

En particulier, les ordres de grandeur sont ignorés au profit de focalisations sur des détails techniques marginaux ou des aspects annexes mais qui font vendre (gaz dans le capteur, autovidange etc.). Or ce qui compte, c'est le coût du kWh produit utile.

La plupart de ces confusions peuvent être dissipées par des calculs simples du prix de revient du kWh via l'usage des outils existants, comme www.easysolar.ch, le guide PACER 724.213f, ou Polysun™. Ce programme en particulier permet de comparer des installations solaires en faisant varier un et un seul paramètre, et ainsi de déterminer l'influence de la variation de ce paramètre sur la production annuelle.

Pour le préchauffage de l'ECS et pour des capteurs plan vitrés, les principaux enseignements tirés de Polysun™ et des observations sur des années de pratique sont les suivants :

- Tous les capteurs plan vitrés se valent en production annuelle à ~ 5% près.
- Toutes les orientations entre SO et SE se valent en production annuelle à ~ 5% près.
- Dans le cadre de ces orientations, toutes les pentes entre 10° et 45° se valent en production annuelle à ~ 5% près.
- Pour le préchauffage ECS, toute augmentation de volume de stock solaire au-delà de 40 L/m² de capteur est un gaspillage d'argent, autant par le coût de gros stocks ECS, que par les problèmes de génie civil associés à l'introduction de ces gros stocks.
- Une bonne configuration d'échangeur en cave permet de gagner beaucoup plus que la pose d'un capteur meilleur selon les caractéristiques du test SPF. C'est particulièrement pertinent pour les champs solaires de grande surface.

Les capteurs sous vide et non vitrés entrent aussi en jeu dans les discours, avec pour effet d'ajouter à la confusion du maître de l'ouvrage. Ce qu'on peut en dire selon Polysun™ et les observations, notre expérience, celles de spécialistes, et toujours pour le préchauffage ECS.

- A surface nette (d'absorbeur) égale², les capteurs sous vide ne permettent même pas de gagner 10% sur les plans vitrés et sont donc, eut égard à leur coût, un gaspillage d'argent.
- A surface nette (d'absorbeur) égale, les capteurs non vitrés perdent autour de 15% sans vent, et de l'ordre de 30% avec du vent normalisé SPF (paramètres de test SPF avec vent). C'est donc une solution qui est sensible aux conditions locales de vent, et donc le calcul du coût du kWh aussi.

Il en résulte que les considérations techniques sur la performance des capteurs, la pente etc. ne permettent au mieux que des gains marginaux et au pire conduisent à des déconvenues en termes du coût du kWh. Les gains, il faut aller les chercher ailleurs.

² Ne pas confondre surface nette d'absorbeur et surface occupée sur le toit par l'installation, comme nous allons le voir.

Où ? Si le dimensionnement est cohérent, si la politique de contrôle des coûts est cohérente et si les gains techniques sont marginaux, et sous l'hypothèse d'un coût des installations sans dumping chinois, travail au noir ou autre, il ne reste comme solution que la **densification**. Soit réduire les pertes, réduire les longueurs de lignes, mieux occuper l'espace. C'est le seul critère à notre connaissance qui optimise à *la fois* la production de kWh (par diminution des pertes techniques) et le coût du m² posé fini.

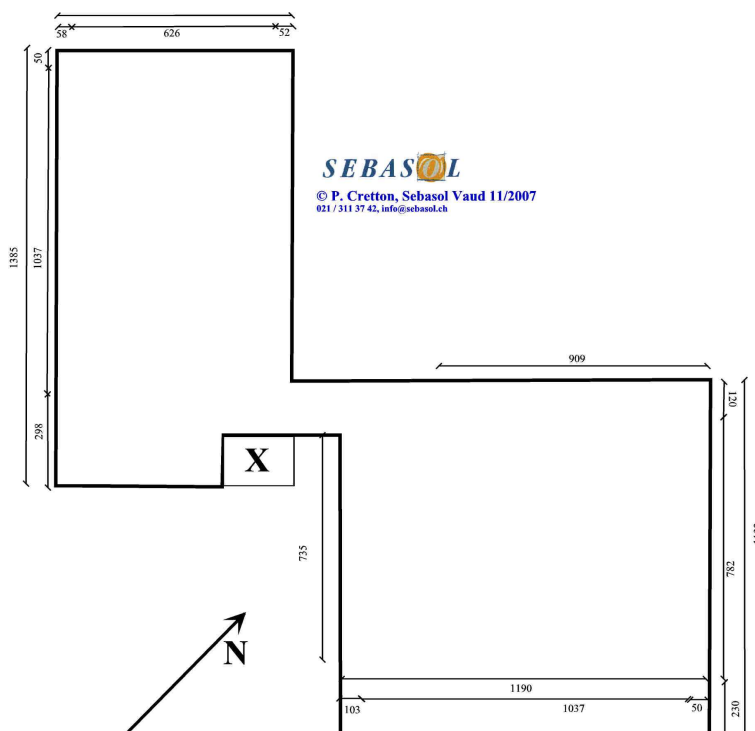
Et dans cette optimisation du coût intervient un facteur souvent négligé : l'optimisation de l'espace utile en toiture, qu'il conviendrait de chiffrer de la même manière qu'on chiffrer le coût du m³ SIA. Ceci d'autant plus que cette même toiture peut être occupé par du photovoltaïque par exemple. La surface de toiture n'est pas une ressource gratuite à gaspiller.

Un exemple de densification solaire.

Cet exemple est tiré d'un projet au stade de la soumission. De ce fait, il restera anonyme, mais l'offre d'un installateur Sebasol est présenté en annexe, qui aboutit à un coût de l'ordre de 1'300.-/m² TTC pour toute l'installation solaire (et non seulement les capteurs) selon www.sebasol.ch/cahier.pdf + les travaux additionnels nécessaires.

Dans ce projet, l'exigence du maître de l'ouvrage, sur la base du dimensionnement de son ingénieur, est de poser 135 m² de capteurs pour un projet de préchauffage solaire de l'ECS.

Un espace en cave suffisant est disponible pour les accumulateurs. Plusieurs toitures le sont aussi. Il serait possible de mettre ces 135 m² sur différentes toitures, mais au prix de complications techniques (équilibrages des débits etc.) et surtout, de surcoûts matériel et de génie civil (plusieurs jeux de lignes, fouilles sous les routes, longueurs de lignes, échafaudages etc.) juste aptes à exploser le coût du kWh produit utile. Une telle solution est de ce fait abandonnée. Reste la seule toiture disponible à une distance raisonnable :



Comment mettre 135 m² là-dessus, tel est le problème. La toiture est plate. La surface brute disponible est $6.26 \times 13.85 + 11.9 \times 11.32 = 221 \text{ m}^2$. Le point noté X est une gaine technique par ou peuvent descendre les lignes solaires. On peut compter 20ml de lignes aller en contrebas à partir de là. Il faut donc réussir à „caser“ les 135m² de capteurs sur cette surface en essayant d'optimiser la production solaire. Quels choix opérer ?

A. Comme à l'école officielle du solaire, installation abstraite

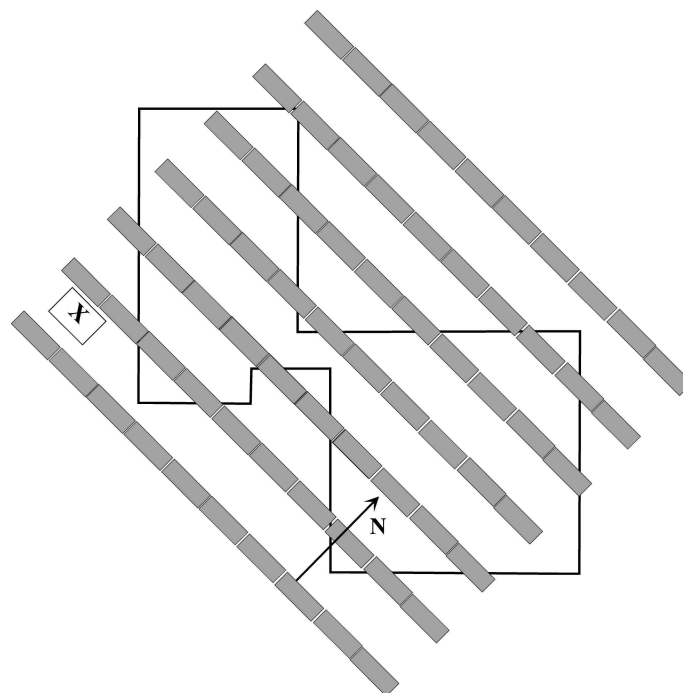
A l'école officielle du solaire on apprend deux choses correctes dans l'absolu, et le plus souvent désastreuses dans la pratique :

- Il faut le meilleur capteur
- Il faut mettre le capteur à 45° plein Sud

Disons que ce meilleur capteur fait 2x1m pour 2m². C'est un capteur-boîte métal d'usine classique (important, on verra ensuite pourquoi) livré avec des supports en béton pour le placement en toiture. De ce fait,

- en tenant compte du fait que les capteurs ne doivent pas s'ombrer les uns les autres en hiver
- en les mettant au plus près les uns des autres

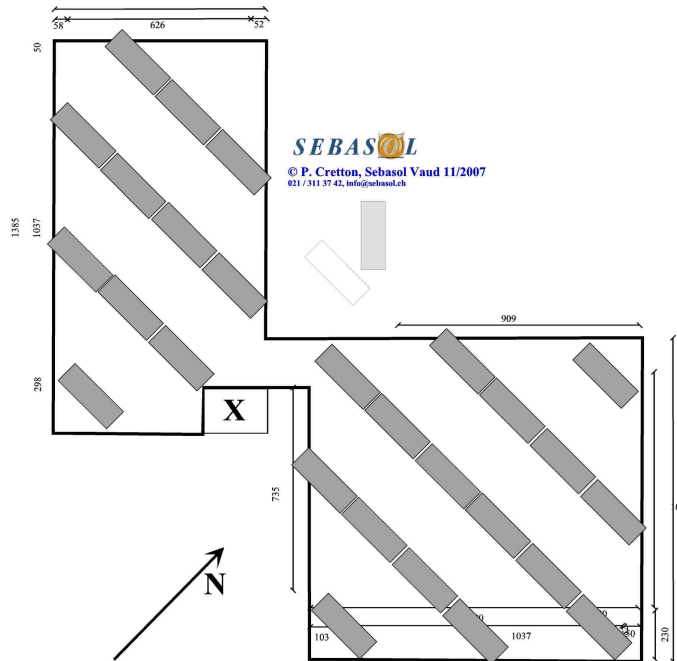
le placement optimal de la surface ressemblerait alors à peu près à ça.



Il est donc impossible de mettre une surface de ~ 135 m² de manière optimale sur le toit existant. Néanmoins, si cette installation solaire existait, toutes autres choses étant constantes par ailleurs, elle produirait dans le cas des besoins du lieu, de l'ordre de ~ 82'000 kWh/an.

B. Comme à l'école officielle du solaire, sur le toit existant

Avec la contrainte d'utiliser le toit existant, et en mordant sur les bords pour placer le plus possible de capteurs, le placement d'une surface maximale ressemblerait alors à peu près à ça.



soit 27 capteurs pour 54 m².

- On a pas 135m² mais on a satisfait aux exigences de l'école officielle du solaire.
- La production est optimale, mais la production utile annuelle n'est que de ~ 44'000 kWh/an, du fait de la surface plus faible.

Par rapport à 135m² optimaux, cela fait ~ 54% de la production prévue utile. C'est mieux que le rapport des surfaces, soit 54/135 = 40%, car une surface inférieure à besoins égaux permet une augmentation du kWh produit par m² de capteur.

On peut argumenter qu'il n'est pas possible de placer plus. On peut se contenter de cette réponse ou chercher plus loin.

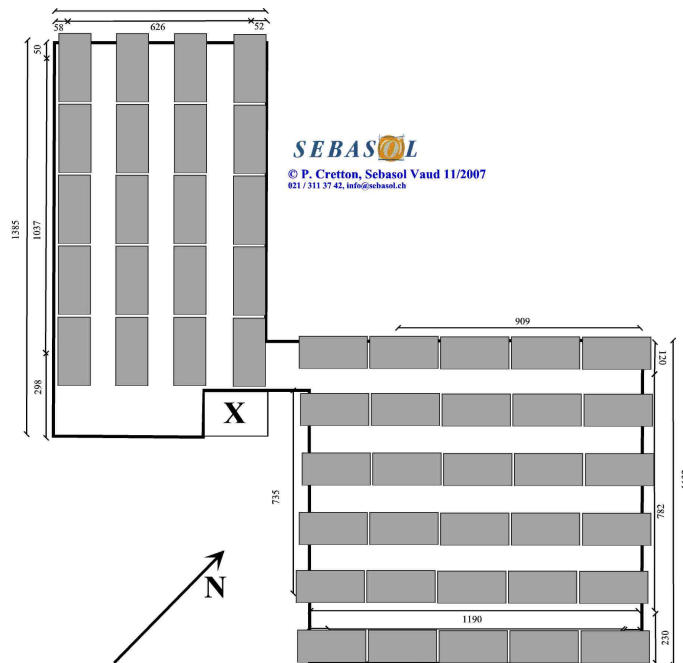
C. Avec quelques entorses l'école officielle du solaire, sur le toit existant, parce qu'on a déjà un peu réfléchi

On se dit que l'orientation plein S ne permet pas d'optimiser le placement en vue de satisfaire l'objectif de 135m². On décide donc de faire violence à l'école officielle du solaire avec quelques sacrifices tactiques qui permettront un gain stratégique

- Pour optimiser l'usage de la surface en toiture les capteurs sont placés SO et SE. Cela demande une régulation apte à gérer 2 champs solaires d'orientations différente. Du standard pour un installateur solaire qui connaît son métier.

- L'orientation n'étant plus optimale on y perd d'autant que la pente est élevée : on réduit donc la pente à 10°, ce qui permet en outre de placer plus de surface en gagnant sur les distances entre les séries de capteurs du fait que l'écart nécessaire entre elles pour éviter l'interombrage se réduit.

En ce cas cela donne, à nouveau en prenant des libertés culotées pour en mettre le maximum



soit 50 capteurs pour 100 m².

- On est toujours pas à 135m² mais c'est déjà mieux.
- La production est de l'ordre de ~ 65'000 kWh/an.

Cela fait ~ 79% de la production prévue utile. C'est mieux que le rapport des surfaces, soit $100/135 = 74\%$, pour les mêmes raisons que précédemment.

Par une simple réflexion sur la densification, en acceptant de déroger à l'école officielle du solaire pour perdre quelques % de production au m² de capteur au vu de l'orientation et de la pente, on est donc passé de 54 à 79% de production annuelle utile, soit un gain relatif de +46%.

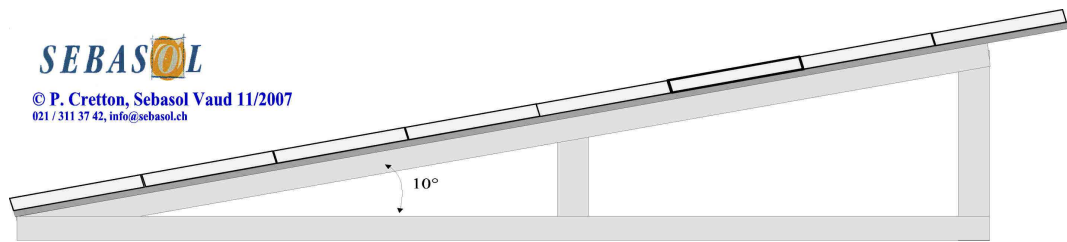
On peut considérer qu'il n'est pas possible de faire mieux ou chercher plus loin.

D. En trahissant sans remord l'école officielle du solaire, du fait d'avoir beaucoup réfléchi

Cette fois-ci, le crime contre l'école officielle du solaire est sans retour :

- abandon des capteurs boîte-métal pour un capteur construit in situ sous forme d'une seule surface, ou de capteurs boîte-bois modulaires assemblée de manière à constituer de grandes surfaces d'un seul tenant.
- Constitution de deux surfaces d'un seul tenant, orientées SE et SO, 10° de pente

- Abandon des supports béton individuels pour des supports collectifs de ces grandes surfaces, dans le genre



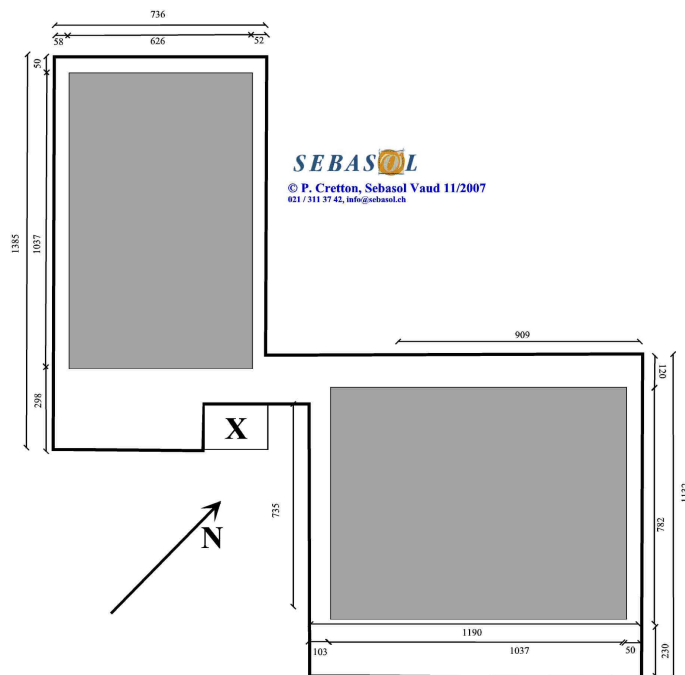
Une telle stratégie va générer 3 gains simultanés

- Un gain de production par densification et la réalisation de l'objectif demandé par le maître de l'ouvrage pour la surface (135 m²).
- Un gain de production par réduction des pertes périphériques des capteurs
- Un gain de production par réduction des pertes par les lignes de distribution

Nous n'examinerons ces gains que du point de vue de la production, sans explorer le gain financier possible sur l'offre (moins de lignes, moins de supports <=> moins cher <=> un kWh produit utile moins cher etc.)³.

1. Densification

La configuration va ressembler à cela (~ 60 m² d'un côté, et ~ 75m² de l'autre).



Le placement de 135m² sur le toit devient possible et réaliste (on peut tourner autour). Il laisse même de la place pour mettre d'avantage.

³ Ce facteur économique a un impact probablement bien plus important sur le coût du kWh produit utile que le gain de production. Mais le calcul n'a rien d'intéressant en soi ; l'idée permet le gain, le reste c'est de la tactique, pas de la stratégie.

De ce fait l'objectif de surface est réalisé. Reste la question de la production au m^2 , ce qui nous amène aux points suivants.

2. Réduction des pertes périphériques

Pour calculer cette contribution, il faut revenir aux bases du solaire thermique. Le rendement d'un capteur fait intervenir trois facteurs : C_0 , C_1 et C_2 .

- C_0 tourne autour de 0.8 pour un capteur plan vitré. Il est sans dimension. C'est le rendement de récolte de la chaleur, brut. Lorsque le capteur est à la même température que l'extérieur, son rendement est C_0 .
- C_1 est entre 2.5 et 5 [$W/m^2 K$] pour un capteur plan vitré. Sa dimension est [$W/m^2 K$] ou les K sont la différence de température moyenne entre le capteur et l'extérieur et les m^2 , la surface nette d'absorbeur. C_1 simule l'isolation du capteur.
- C_2 est un chiffre de l'ordre de 0.1 et sa dimension est [$W/m^2 K^2$]. C'est un facteur qui prends en compte des effets de bord, ponts thermiques et autres phénomènes complexes.

Le facteur qui nous intéresse est C_1 . En assemblant les capteurs en une seule grande surface, on élimine des pertes par les bords. Les capteurs sont en effet testés au SPF Rapperswil en tant qu'éléments individuels. Un capteur de $2 \times 1 m$ pour $2 m^2$ a un périmètre de 6ml. Et donc un périmètre par unité de surface nette d'absorbeur de $6/2 = 3 ml/m^2$. C'est ce périmètre normé qui est caractéristique du C_1 du test. Si le périmètre réel normé diminue, le C_1 du capteur diminue, et donc ses pertes, et donc son rendement augmente.

Cette augmentation du rendement n'est pas proportionnelle à la diminution de C_1 . Elle sera calculé par Polysun™ avec le nouveau C_1 introduit comme paramètre du capteur. Il faut donc calculer ce nouveau C_1 .

Estimer pour ce faire l'influence exacte du périmètre normé sur le C_1 nécessiterait des calculs pointus par élément finis qui dépendent de la construction interne du capteur. Ces calculs n'apporteraient probablement pas grand-chose de plus qu'un raisonnement simple. On va donc s'en tenir à un raisonnement simple.

Considérons que le capteur de $2 \times 1 m$ pour $2 m^2$ a une épaisseur de 10cm. Que cette épaisseur est isolée avec 2cm de laine de pierre de $\lambda 0.04$.

- La circonférence est donc de $6 ml \times 0.1 = 60 cm^2$.
- Le U de la paroi vaut donc $[1/25 (\text{air extérieur}) + 0.02/0.04]^{-1} = 1.85 [W/m_b^2 K]$ ou l'indice b désigne que les m^2 représentent la surface de bord du capteur et non pas celle de l'absorbeur.
- La perte totale par le bord vaut donc $0.6 \times 1.85 = 1.11 [W/K]$
- Soit par unité de surface d'absorbeur $1.11 / 2 = 0.55 [W/m^2 K]$

Cette perte de bord par unité de surface d'absorbeur est caractéristique du périmètre normé à la surface de l'absorbeur pour le capteur testé à Rapperswil comme élément individuel. Ce périmètre vaut $3 ml/m^2$ dans notre cas. Si l'on prends un C_1 de ~ 3.8

[W/m² K] plutôt standard, cette perte périmétrique contribue pour 0.55/3.8 soit ~ 15% du C₁ du capteur en première approximation.

Si à présent le périmètre normé diminue, la surface des bords diminue d'autant, et donc la perte par les bords et donc la contribution des bords au C₁. Si par exemple il y a diminution de 50% du périmètre normé, C₁ est réduit de 50% de ~ 15% soit ~ 7%.

De cette manière, on peut calculer le nouveau C₁ du „grand capteur jointif“ via le rapport du périmètre de ce grand capteur à la surface nette d'absorbeur.

- On peut considérer que le capteur de ~ 60 m² est formé de ~ 32 capteurs assemblés en un rectangle de 4x8 pour des dimensions de 8ml (4x2) x 8ml (8x1)
 - Soit donc un périmètre de ~ 32ml
 - Soit donc par unité de surface d'absorbeur $32/(2 \times 32) = \sim 0.5 \text{ ml/m}^2$
 - Soit donc une réduction de $1 - 0.5/3 = \sim 83\%$ des pertes par les bords du capteur individuel testé au SPF
 - Soit donc une réduction du C₁ du capteur jointif de 83% de ~ 15%, soit ~12 %
 - Soit un nouveau C₁ de $(1-0.12) \times 3.8 = \sim 3.35 \text{ [W/m}^2 \text{ K]}$ pour le capteur jointif
- On peut considérer que le capteur de ~ 75m² est formé de ~ 36 capteurs assemblés en un rectangle de 4x9 pour des dimensions de 8ml (4x2) x 9ml (9x1)
 - Soit donc un périmètre de ~ 34ml
 - Soit donc par unité de surface d'absorbeur $34/(2 \times 36) = \sim 0.5 \text{ ml/m}^2$
 - Et donc le C₁ résultant est le même pour le capteur jointif

C'est ce nouveau C₁ qu'il convient d'introduire dans Polysun™ pour calculer le gain de production en première approximation.

Note : il n'est pas dit que la modification du périmètre de bord n'ait pas aussi un effet positif sur C₂, vu que du périmètre de perte est supprimé. Mais on ne peut pas le calculer simplement. On laisse donc tomber ce facteur.

3. Réduction des perte sur les lignes de distribution

Ce point fait appel à des raisonnements géométriques et du bon sens. La longueur des lignes de distribution est fonction du mode d'alimentation des capteurs et de leur caractéristiques⁴. Ces lignes, mêmes isolées, sont à l'air ambiant : elles perdent de la chaleur car aucune isolation n'est parfaite. Cette perte influe sur le rendement de l'installation. Polysun™ la prend en compte via l'introduction des longueurs des lignes de distribution.

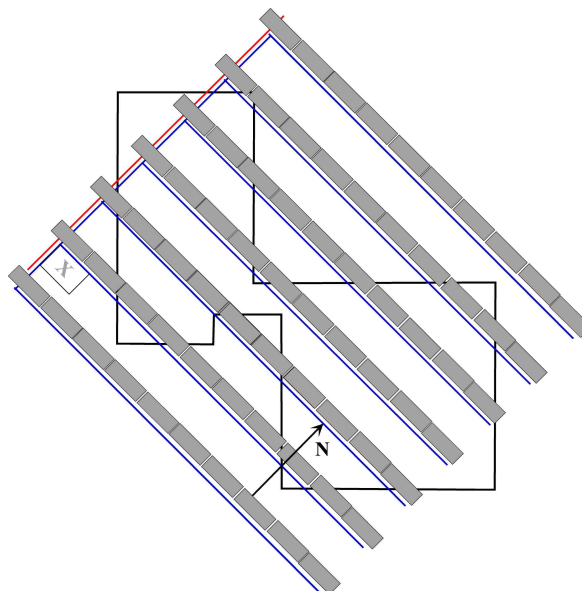
Hypothèses

⁴ En cette matière, la réalité est souvent éloignée des dessins rêvés d'architectes, du fait que les lois de la mécanique des fluides et de la dilatation des solides se soucient peu de la géométrie. Or ce sont ces lois qui commandent : il faut veiller à ce que les débits surfaciques soient les mêmes, connecter des lignes de distribution différentes (nombre de capteurs, logiques de branchements), faire des tichelmann pour équilibrer les pertes de charge, prévoir des manchons spéciaux et parcours particuliers pour minimiser/repandre les dilatations etc. ce qui augmente d'autant les longueurs totales.

- Dans le cas des capteurs non jointifs, les capteurs en ligne sont considérés en série. Dans la réalité, ce n'est possible que pour un nombre maximal de capteurs. On considère ici que c'est toujours possible quel que soit le nombre de capteurs.
- Dans le cas des capteurs non jointifs, des manchons de réglage équilibrent les débits dans les séries de capteurs de pertes de charge différentes, on va au plus court, il n'y a pas de tichelmann etc. On considère que dans toutes la distribution les débits sont équilibrés „par un moyen quelconque qui garanti une longueur minimale des lignes“⁵.
- Dans le cas des capteurs jointifs en cadre bois, on prend avantage du bois pour le forer et passer à l'intérieur des capteurs pour distribuer. Les lignes ne sont pas isolées mais se trouvent dans l'espace chauffé, entre l'absorbeur et l'isolation⁶.

Résultats

Dans le cas A .- Ecole du solaire, installation abstraite, la distribution ci-dessous permettrait de minimiser les longueurs de lignes⁷



Soit des longueurs totales de

- ~ 25 ml pour la ligne chaude
- ~ 160 ml pour la ligne froide

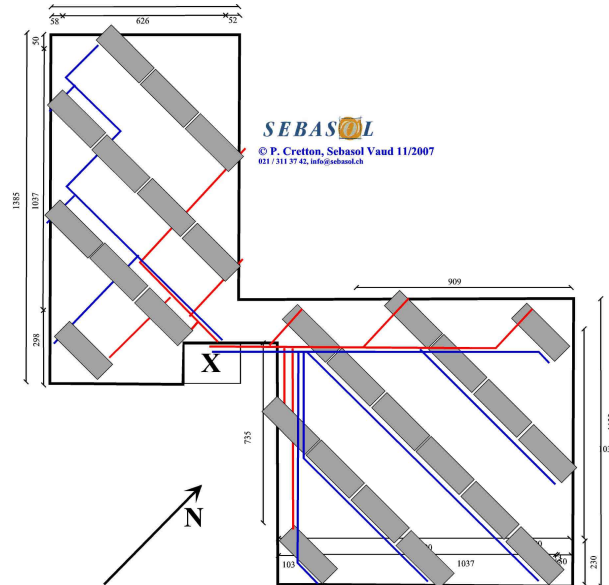
Et donc ~ 1.33 ml de ligne par m² net d'absorbeur. Ce résultat a toutes les chances d'être plus élevé dans la réalité. La production a été simulée à ~ 82'000 kWh/an.

⁵ On prends l'hypothèse qu'on peut aller au plus court et que cela n'a aucune incidence sur le rendement du champ solaire. C'est une hypothèse irréaliste, mais la plus favorable pour l'école officielle du solaire dans les simulations qui suivront. Au moment du montage, il ne faudra néanmoins pas prendre ses désirs pour la réalité sous peine de se planter grave, et techniquement, et financièrement.

⁶ Oui, c'est un nouveau crime contre l'école officielle du solaire.

⁷ On remarquera qu'on considère pour cette géométrie qu'il est possible de mettre 10 capteurs en série ! Dans le cas contraire ça rallonge les lignes.

Dans le cas B .- Ecole officielle du solaire, installation concrète, la distribution ci-dessous permettrait de minimiser les lignes au maximum⁸

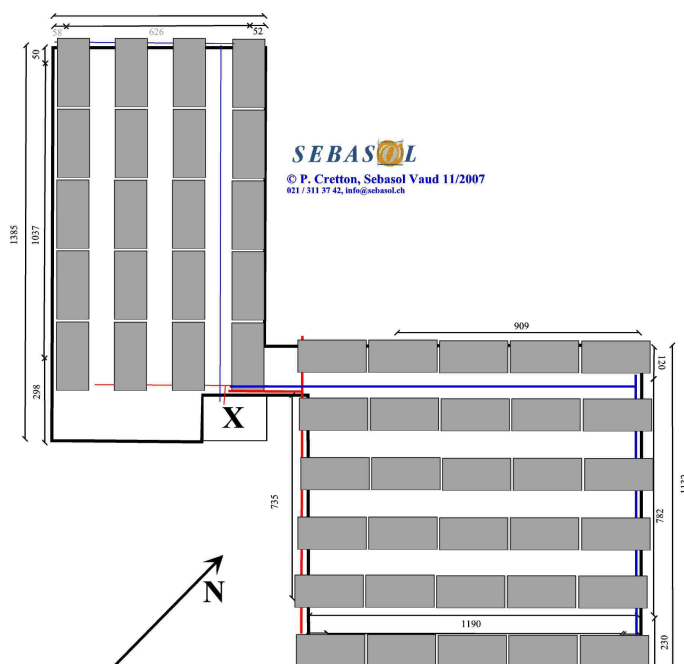


Soit des longueurs totales de

- ~ 50 ml pour la ligne chaude
- ~ 75 ml pour la ligne froide

Et donc ~ 2.31 ml/m². Ce résultat a toutes les chances d'être plus élevé dans la réalité. La production a été simulée à ~ 44'000 kWh/an.

Dans le cas C .- Entorses à l'école officielle du solaire, installation concrète, la distribution ci-dessous permettrait de minimiser les lignes au maximum



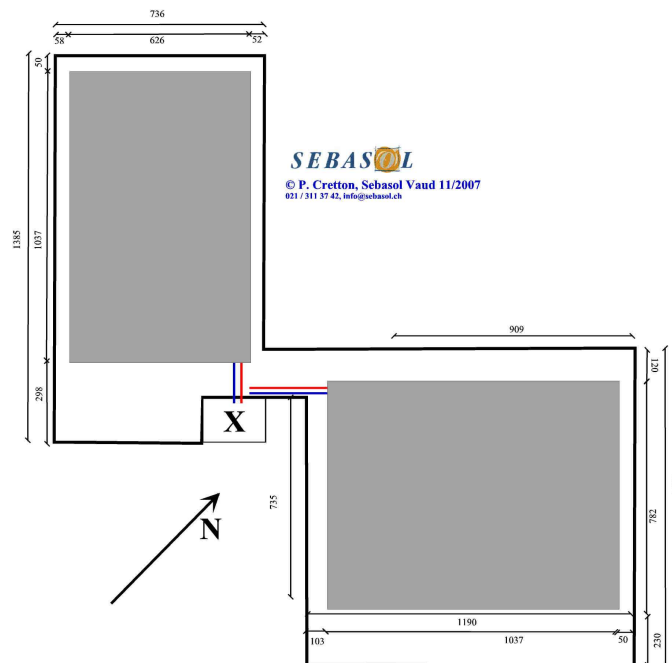
⁸ Et pour cette géométrie, il faudrait placer de très nombreux manchons régulateurs pour avoir partout les mêmes températures de sortie des capteurs.
 SEBASOL, c/o P. Cretton – Aloys-Fauquez 6 – 1018 Lausanne – Tél./ Fax : 021-311.37.42, info@sebasol.ch, www.sebasol.ch

Soit des longueurs totales de

- ~ 30 ml pour la ligne chaude
- ~ 45 ml pour la ligne froide

Et donc 0.75 ml/m². Ce résultat a toutes les chances d'être plus élevé dans la réalité. La production a été simulée à ~ 65'000 kWh/an.

Dans le cas D .- Trahison de l'école officielle du solaire, installation concrète, C₁ recalculé avec la diminution des pertes de bord, la distribution ci-dessous minimise les longueurs de lignes au maximum



Soit des longueurs totales de

- 6 ml pour la ligne chaude
- 6 ml pour la ligne froide

Et donc 0.09 ml/m². Ces longueurs sont correctes car toutes les lignes de distribution à l'intérieur des champs de capteurs jointifs sont à la température du champ et donc ne perdent pas. Les équilibrages de la distribution se font aussi à l'intérieur, via des moyens simples. La production a été simulée à ~ 79'000 kWh/an.

Par rapport au cas A, cela fait ~ 96% de la production prévue utile. Cela semble moins bien que A mais en réalité c'est plus, et ceci pour plusieurs raisons

- dans le cas A, une énorme surface de toiture additionnelle (en gros 135/54 = 250%, soit + 150%) est utilisée pour obtenir les 4% de production en plus.
- le coût du kWh produit utile est probablement plus avantageux que dans le cas A, du fait des économies de lignes, matériel etc. gagnées via la compacité.
- le coût du kWh produit utile sera à coup sûr plus avantageux si on attribue au cas A le coût de la surface supplémentaire de toiture utilisée, de la même manière qu'on attribue un coût au cube SIA dans la construction.

En conclusion

Cet exemple n'a pas prétention de tout résoudre. D'autres mesures sur l'installation sont encore possibles pour améliorer d'avantage le coût du kWh produit utile, mais on comprendra que nous ne voulons pas trop jouer le rôle de bureau d'ingénieur gratuit. Il ne sert en outre à rien de fournir 10 idées si les gens ne veulent pas appliquer la première⁹.

Il montre néanmoins qu'une installation solaire thermique ne se pose pas encore et ne se posera probablement jamais sans plus de réflexion qu'un évier. De bons installateurs sont indispensables. Le nerf de la guerre reste le coût du kWh produit utile, calculé sans préjugés.

Il montre aussi que le domaine du solaire thermique, les améliorations ne sont pas affaire de progrès techniques sur les capteurs ou les systèmes. Le capteur solaire thermique plan vitré, une installation solaire thermique, sont des machines quasi parfaites pour transformer la lumière solaire en chaleur. Il reste quelques % à gagner sur les capteurs évidemment, mais ils sont marginiaux et leur coût est prohibitif. De ce fait :

- La plupart des produits industriels piègent les installateurs et les ingénieurs dans des cul-de-sac conceptuels.
- La plupart des pratiques commerciales piègent les installateurs et les ingénieurs dans des cul-de-sac logistiques.

Pour s'en sortir, il convient d'améliorer les choses dans trois domaines

1. La démocratisation des notions techniques, quitte à ce que cela soit dans le public et de ce fait prenne les installateurs et ingénieurs de vitesse
2. Une intervention volontaire et rationnelle de l'Etat dans le domaine du contrôle du cahier des charges et des coûts, contrepartie légitime de l'attribution d'une subvention.
3. L'optimisation de l'installation par rapport aux paramètres pertinents pour déterminer le coût du kWh produit utile.

⁹ Les installateurs qui appliquent les procédures de densification ci-dessus savent que, du fait même qu'elles sont livrées gratuitement, la plupart de leurs concurrents les considéreront sans valeur et continueront à appliquer les recettes perdantes liées aux contraintes des produits qu'ils promeuvent. De ce fait, il n'ont aucune crainte à moyen terme de perdre leur compétitivité en permettant leur divulgation dans le présent document. Et il reste bien sûr les autres idées qui ne sont pas abordées ici.

ANNEXE 1 : une page du roman des causes politiques.

A

| RENOVATION DU <input type="text"/> | | | |
|---|----------------------|-------------------------------------|---------------------|
| Soumission pour les travaux de: | | installation solaire 30.4 m2 | |
| LOT No | 2 | <input type="text"/> | |
| Transmis le 19 mai 2005 | | | |
| A retourner aux: <input type="text"/> au plus tard le 1er juin 2005 à 10h00 | | | |
| Soumission présentée par l'entreprise | | | |
| <input type="text"/> | | <input type="text"/> | |
| Lieu et date: | 8.05.2005 | | Timbre et signature |
| <input type="text"/> | | <input type="text"/> | |
| Montant brut de la soumission | Fr. | 106 642.50 | |
| Rabais d'adjudication | %: | Fr. | 1642.50 |
| Sous-total | Fr. | 105000.- | |
| Frais d'études | 4% | Fr. | 4200.- |
| Montant net de la soumission HT | Fr. | 109 200.- | |
| Montant net de la soumission TTC (TVA 7.6%) | Fr. | 117 499.20 | |
| Escompte à 30 jours | 2 %: | Fr. | 2 499.20 |
| Montant net de la soumission TTC | Fr. | 115000.- | |
| Maître d'Ouvrage: | <input type="text"/> | | |
| Architectes: | <input type="text"/> | | |
| Ingénieurs civils: | <input type="text"/> | | |

B

RENOVATION DU

Soumission pour les travaux de: installation solaire **30.4 m2**

LOT No 2

Transmis le 19 mai 2005

A retourner aux au plus tard le 1er juin 2005 à 10h00

présentée par l'entreprise

Lieu et date: *Genève, le 3 juin 2005*

Timbre et signature

| | | | |
|---|-----|-----|-------------------|
| Montant brut de la soumission | | Fr. | |
| Rabais d'adjudication | % : | Fr. | |
| Sous-total | | Fr. | 94.000 |
| Frais d'études | 4% | Fr. | 3 760 |
| Montant net de la soumission HT | | Fr. | 97 760 |
| Montant net de la soumission TTC (TVA 7,6%) | | Fr. | 7 429,75 |
| Escompte à 30 jours | % : | Fr. | 105 189,75 |
| Montant net de la soumission TTC | | Fr. | 105 189,75 |

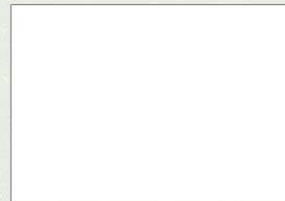
Maître d'Ouvrage:

Architectes:

Ingénieurs civils:

C

Genève, le 8 juin 2005



CONCERNE: RENOVATION DU



SOUSSION POUR LES TRAVAUX D'INSTALLATION SOLAIRE

TYPE D'INSTALLATION : SEBASOL

Deux rangées de 9 capteurs en toiture intégrée, soit 18 capteurs pour une surface de 27m² alimentant deux bouilleurs de préchauffage pour le bouilleur existant.

Fourniture et pose de 27m² de capteurs solaires SOLAR SUPPORT K6, SPF172, intégrés en toiture, construction d'un cadre en bois, fourniture et pose de verres trempés

En bloc 12'300.-

Fourniture et pose du circuit solaire aller/retour en cuivre 35mm soudé, raccords et fixations.
isolation ARMAFLEX HT, 25mm et coquilles en laine de verre recouverts de PVC, 30mm.
environs 194 mètres linaires

En bloc 13'500.-

Fourniture et pose d'un groupe solaire, comprenant circulation, pompe, comptage de chaleur, manomètre, vase d'expansion 140L, soupape, régulation TEM, raccordement aux circuit solaire et aux bouilleurs

En bloc 3'200.-

Fourniture et raccordement sanitaire de deux bouilleurs 750L en INOX, isolé type FYROSOL, avec échangeur à tube lisse, garantie 5 ans

En bloc 8'900.-

Mise en service et essais 800.-

TOTAL FOURNITURE ET POSE 38'700.-

Note : le coût est TTC

Conditions particulières :

- garantie de 2 ans sur l'installation
- durée de validité de l'offre : 6 mois
- non compris dans cette offre : travaux de ferblanterie et couverture, échafaudage, raccordements électriques

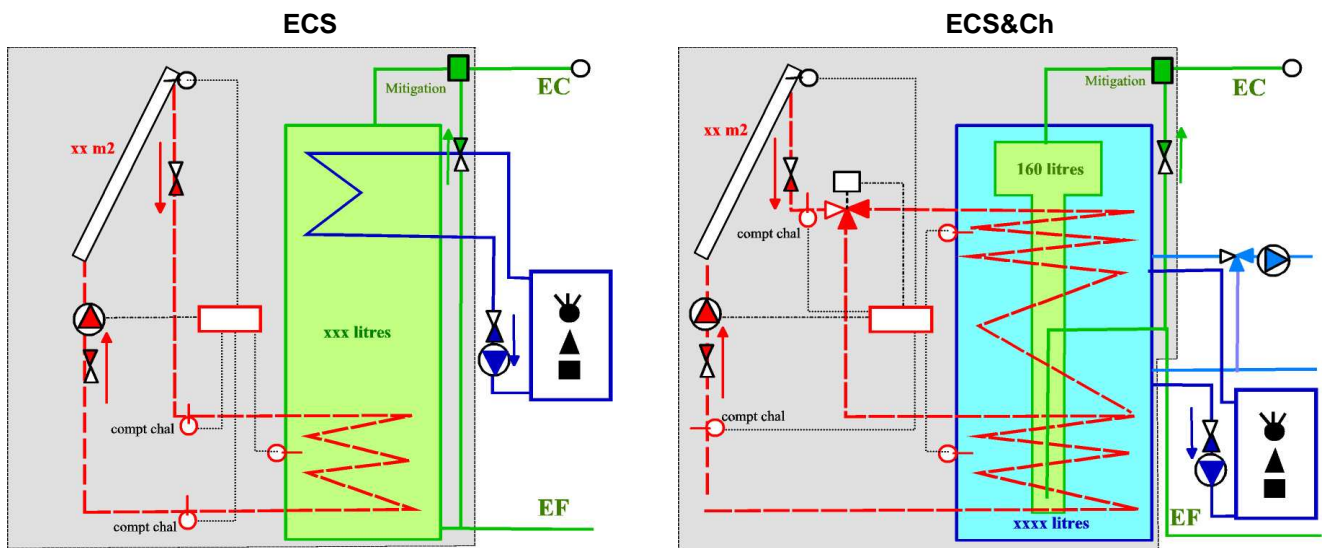
COMMENTAIRE

Les devis ci-dessus concernent une installation de 25-30 m² en ville de Genève. L'architecte avait demandé deux soumissions (A et B), en conformité avec les exigences du ScanE. Les deux offres se montaient à 105'000.- et 115'000.- TTC pour 30.4 m², soit entre 3'450.- et 3'780.-/m² TTC.

L'examen des soumissions montre une similitude de style. Ce qui suit ne peut pas être prouvé et de ce fait nous utilisons le conditionnel : si deux entreprises s'étaient entendues pour présenter de concert deux offres prohibitives aptes à donner au maître de l'ouvrage l'impression que les coûts ainsi énoncés étaient plausibles, elles ne s'y seraient pas pris autrement.

Suite à cela, l'architecte a quand même eu un doute. Il a demandé une offre à un installateur Sebasol. Son offre se monte à 39'000.- En fait, à cause des longs délais et de modifications sur le chantier qui ont compliqué certains travaux, l'installation a finalement été facturée à 44'000.- Ce rapport de l'ordre de 0.4 entre les coûts TTC montre que les offres à 105 et 115'000.- sont fantaisistes.

ANNEXE 2 : Cahier des charges clef-en-main SPF172 par installateur agréé Sebasol



La zone en gris comprend les travaux couverts par un devis standard et correspond à l'estimatif de coût standard

Sont compris :

- ✓ production des documents administratifs pour les subventions, dimensionnement avec logiciel professionnel.
- ✓ pose des capteurs en toiture, y compris découverture du toit et travaux de ferblanterie solaire.
- ✓ pose et raccordements des conduites solaires (jusqu'à 60 ml aller-retour), yc isolation et percements légers.
- ✓ groupe hydraulique (pompe, vanne de surpression, robinets, manomètre, débitmètre) et vase d'expansion.
- ✓ régulation électronique / compteur de chaleur avec display digital, y compris sondes.
- ✓ chauffe-eau émaillé pour l'ECS, accumulateur combiné avec 2 échangeurs pour la stratification en l'ECS&Ch
- ✓ Si nécessaire sortie de cave de l'ancien chauffe-eau si colonne/non intégré à la chaudière (par. ex : combinée), raccordement du nouveau sur l'arrivée d'eau froide et le départ d'eau chaude (ou sur le chauffe-eau classique), y compris mitigeur de température, mise en eau, raccords diélectriques contre les courants vagabonds.
- ✓ mise en eau circuit solaire (yc antigel), paramétrage régulation, mise en service et contrôle de qualité.
- ✓ garantie de 2 ans.

Ne sont pas compris :

- autorisation de construire
- éventuels échafaudages
- surcoût pour chauffe-eau inox (de manière générale spécifié en option)
- évacuation de l'ancien chauffe-eau en décharge.
- protections pluie/soleil lors de conduites posées en extérieur (caissons, descentes)
- percements lourds, rhabillages et travaux lourds de génie civil, yc support séparé dans le terrain
- mise en place d'une dérivation électrique depuis tableau etc.
- branchement sur la chaudière ou branchement du courant fort sur le corps de chauffe électrique.
- distribution chauffage, distribution sanitaire dans le bâtiment.
- tous travaux non spécifiés dans le cahier des charges standard

Options et configurations alternatives pour ceux qui en veulent plus (non comprises dans estimatif standard) :

- brassage entre chauffe-eau solaire et fossile (augmentation de la capacité d'été)
- by-pass d'été (permet d'éteindre une chaudière combinée)
- charge en bascule : un chauffe-eau ECS à gauche, un accumulateur de chauffage à droite

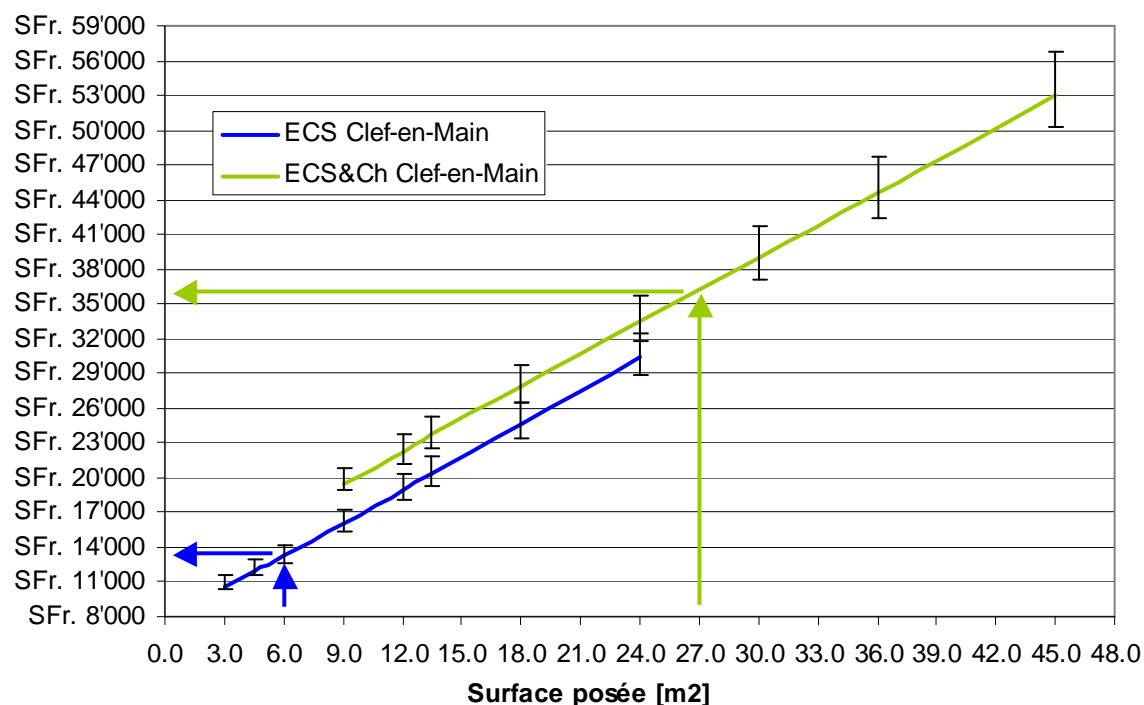
- charge piscine de la surproduction estivale (seulement si installation ECS&Ch dans bâtiment **correctement** isolé)
- support dans terrain, vidange partielle des capteurs en été, champs de pentes et orientations différents etc.
- toutes orfèvreries solaires hors de portée de produits standardisés industriels (mais gare : le bel ouvrage se paie!)

Estimatif de coût d'une installation solaire thermique en clef-en-mains. Selon un cahier des charges défini au verso

Légende : ECS = Eau chaude sanitaire, ECS&Ch = Eau chaude sanitaire & appoint au chauffage.
Installation typique en habitat individuel : ECS : 6m², ECS&Ch : 18 m²

Subventions état 12.07

Estimatif de coût solaire thermique en clé-en-main



Genève

ECS et ECS&Ch individuel 1'800.- + 200.-/m²
ECS collectif 3'500.- + 350.-/m²

Vaud

ECS et ECS&Ch bât. existant 2'400.- ou 300.-/m²
ECS, bât. à construire rien
ECS&Ch, bât. à construire 2'400.- ou 300.-/m²

Valais

ECS et ECS&Ch individuel 1500.- pour Minergie sinon 0.-
ECS collectif 800.- + 160.-/m², Minergie ou Plus ancien que 2000, max. 7m² par appart.

Fribourg

ECS et ECS&Ch 500.- + 100.-/m²

Neuchâtel

ECS et ECS&Ch individuel 2'000.-
ECS collectif 1'000 + 150.-/m²

Jura

ECS et ECS&Ch individuel 1'000.-
ECS collectif 1'000.- + 100.-/m²

Moins-values et subventions indirectes typiques (HT)

Construire/rénover, chauffe-eau Email 2'500.- Inox 5'000.-
Construire/rénover, accu. combiné Env. 10'000.-
Construire/refaire toit, tuiles 1.15 x S_{capteurs} x 40.-
Rénovation, remise d'impôt 15% du coût après subv. directe

Les conditions de construction sont standard et doivent respecter le label de qualité SPF172/EN12975. Le montant est brut TTC. Les cas spéciaux (travaux additionnels de génie civil etc.) et les goûts de luxe restent réservés. Les moins-values, remises d'impôts et subventions ne sont pas comprises.

L'installation comprend le chauffe-eau et l'intégration en toiture des capteurs. Les autres spécifications figurent dans le cahier des charges des installateurs agréés Sebasol www.sebasol.ch/cahier.pdf ou au verso. Toute comparaison avec un devis doit l'être à cahier des charges

ANNEXE 3 : Offre d'un installateur agréé Sebasol qui s'applique à l'exemple de la cause 5, installation solaire de 135 m² d'absorbeur net.

| | Q | DESIGNATION | PRIX UNITAIRE | TOTAL |
|------|---|---|--------------------|------------|
| bloc | 1 | Fourniture et pose de 90 capteurs solaires (135 m ² nets) SOLAR SUPPORT K6 sélectif intégrés sur 2 supports sur le toit de _____, avec ferblanterie cuivre ou à choix. | 58'500.00 | 58'500.00 |
| bloc | 1 | Fourniture et pose des conduites solaires en tube de cuivre avec isolation épaisseur minimale 25 mm hors passages particuliers, compensateurs de dilatation si nécessaire et câble de sonde. | 23'700.00 | 23'700.00 |
| bloc | 1 | Fourniture et pose de 2 chauffe-eau SSH double émaillé 1000 litres garanti 5 ans, isolation 10cm et anode de protection contre la corrosion. Connexion sanitaire des chauffe-eau, avec vis de rappel isolées, configuration en préchauffage sur le chauffe-eau fossile existant. Installation de brassage pour augmenter la capacité solaire. . Echangeur externe à plaques pour charge solaire avec groupe hydraulique sanitaire (circuit secondaire). Mitigation. | 23'300.00 | 23'300.00 |
| bloc | 1 | Fourniture et pose d'un groupe de circulation double 1 1/4" avec 2 circulateurs (circuit primaire), clapets anti-retour, soupape de sécurité, thermomètres, manomètres, débitmètre analogique, débitmètre numérique, vase d'expansion 2x140L, antigel. Régulation solaire automatique capable de gérer 2 champs solaires d'orientation différente, avec affichage numérique des paramètres de fonctionnement. Compteur de chaleur avec affichage numérique de la puissance produite et des kWh totaux. Connexion solaire aux chauffe-eau. | 25'510.00 | 25'510.00 |
| bloc | 0 | Option : système de chauffage d'appoint | 0.00 | 0.00 |
| bloc | 0 | Option : radiateur de surchauffe | 0.00 | 0.00 |
| bloc | 1 | Travaux additionnels : protection des lignes sur toiture plate par caisson | 1'570.00 | 1'570.00 |
| bloc | 1 | Travaux additionnels : grue ou tout système de levage (accès difficile) pour amenée des modules en toiture. A sa demande, les percement et échaffaudages sont à la charge du maître de l'ouvrage | 4'150.00 | 4'150.00 |
| bloc | 1 | Travaux additionnels : 2 supports bois/promatisé/inox pour 60m2 et 75m2, contreventements latéraux et de profondeur, lestage | 14'960.00 | 14'960.00 |
| bloc | 0 | Travaux additionnels | 0.00 | 0.00 |
| bloc | 1 | Mise en service et essai. | 1'310.00 | 1'310.00 |
| bloc | 1 | Divers et imprévus 3% | 4'590.00 | 4'590.00 |
| | | | Total hors TVA | 157'590.00 |
| | | | TVA | 11'976.84 |
| | | | Total TVA comprise | 169'566.84 |

Calculs simples

- Le rapport d'absorbeur net sur l'enveloppe externe des capteurs, dite aussi densité d'absorbeur nette par rapport à la surface des capteurs, vaut $(60 \text{ (1er champ)} + 75 \text{ (2ème champ)}) / (65.95 \text{ (1er champ)} + 82.34 \text{ (2ème champ)}) = 0.91$
- La densité d'absorbeur net sur la surface de la toiture vaut $135/221 = 0.61$ mais on pourrait caser encore 22.5m² au besoin et atteindre une densité de l'ordre de 0.71, ce qui est honorable pour des capteurs plan vitrés sur toit plat. A notre connaissance, seuls des capteurs non vitrés posés horizontalement et faisant office de couverture peuvent battre cela. Les contraintes des capteurs non vitrés et la pente nulle sont cependant à prendre en compte pour le calcul de la production (cf. remarques en page 7).