

1ère partie  
Production  
de la vapeur

2ème partie  
Utilisation  
de la vapeur

3ème partie  
Production  
de glace

4ème partie  
Memento  
Technologique

**5ème partie  
vers d'autres  
horizons**



## 5ème Partie "Vers d'autres horizons"

La 5ème partie de la documentation de soleil-vapeur.org regroupe diverses rubriques relatives à l'énergie solaire



Accédez à la  
documentation  
complète de

[www.soleil-vapeur.org](http://www.soleil-vapeur.org)

# PROPOSITION DE CHAUFFAGE SOLAIRE D'APPOINT DU TYPE "à CALODUCS ETAGES" ADAPTE AUX HAUTES LATITUDES

Au vu du fonctionnement tout à fait satisfaisant du cuiseur solaire à caloducs étagés (cf la précédente rubrique), l'idée d'un chauffage utilisant le même procédé s'est rapidement imposée.

Le dispositif de chauffage comprend

- *un premier étage* de caloducs, constitué par un capteur à tubes sous vide et à caloducs du commerce, installé verticalement en façade Sud d'un bâtiment,
- *un second étage* de caloduc constitué
  - du collecteur du capteur précédent, qui est la "zone chaude" du second étage,
  - d'un tube à ailettes installé quasi-horizontalement à l'intérieur du bâtiment,
  - d'un tube de liaison entre le collecteur et le tube à ailettes, idéalement une simple traversée de mur, dans lequel circulent les flux croisés de vapeur et de condensats.

Page	
4	Section I DESCRIPTION
4	§ 1 Le principe du caloduc
4	§ 2 Le premier étage : un capteur à caloducs du commerce
4	§ 3 Le tube à ailettes
5	§ 4 Le tube de liaison
5	§ 5 Robinetterie et soupapes
5	§ 6 Le store d'occultation
6	Section II FONCTIONNEMENT
6	Le tarage des soupapes
6	Le remplissage en eau
6	Le fonctionnement normal
6	Le fonctionnement anormal
6	La régulation.
	Section III COMMENTAIRES
7	En quoi est-ce un dispositif particulièrement adapté aux hautes latitudes ?
7	Capteurs à tubes sous vide, et température ambiante
7	L'exposition vers le Sud
8	Est il possible de chauffer une pièce éloignée de la façade ?
8	La tenue au gel lors des très basses températures
8	Le dimensionnement de l'installation
8	Une installation rustique
8	faut -il faire le vide dans le second étage du caloduc ?

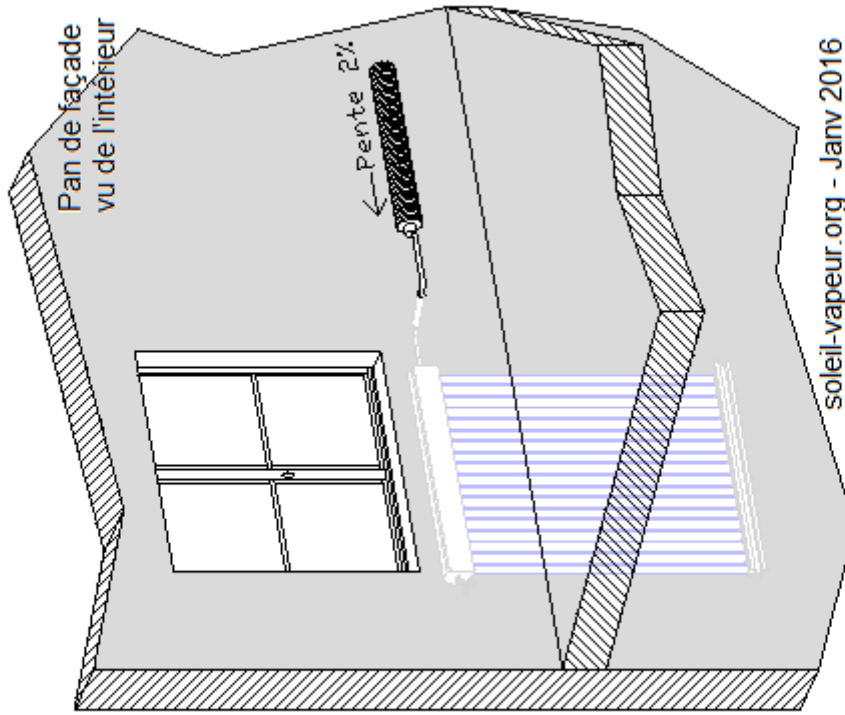
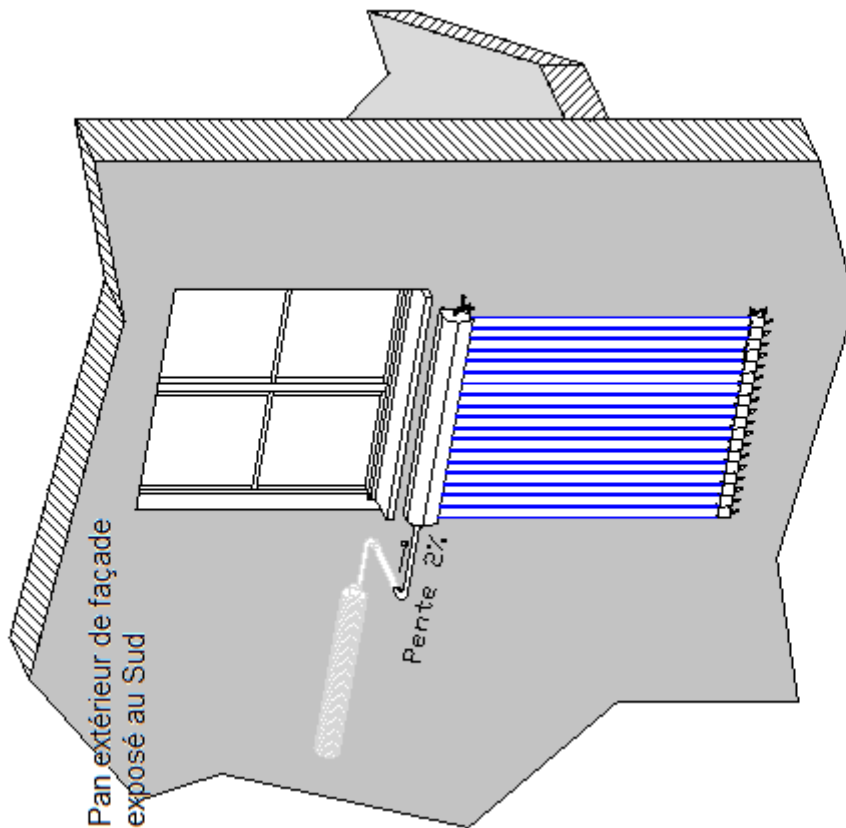
Nota 1 : Contrairement au cuiseur à caloducs étagés qui a été étudié, construit et testé par soleil-vapeur.org, la présente proposition de chauffage n'a pas fait à ce jour l'objet d'une réalisation, mais elle bénéficie bien sûr de toute l'expérience acquise à l'occasion du cuiseur.

Nota 2 La documentation est en accès libre sous licence "Créative Commons – Attribution/Share Alike", à savoir :

- les travaux de soleil-vapeur.org peuvent être utilisés, y compris à des fins commerciales, sous réserve de mentionner leur origine.
- tout utilisateur peut effectuer des modifications, y compris à des fins commerciales, sous réserve que ces modifications soient publiquement disponibles avec les mêmes droits que les travaux originaux.



Proposition de dispositif de chauffage solaire d'appoint  
du type "à caloducs étagés", adapté aux hautes latitudes



soleil-vapeur.org - Janv 2016

Le premier étage de caloducs est constitué d'un capteur solaire thermique à tubes sous vide.  
Le caloduc du second étage est composé du collecteur du capteur ci dessus, d'un tube à ailettes tenant lieu de radiateur à l'intérieur du bâtiment, et d'un unique tuyau de liaison dans lequel circulent les flux croisés de vapeur et de condensats.  
En variante du tube à ailettes : une réserve d'eau pour un stockage diurne de chaleur à utiliser pendant la nuit.  
N.B. le store d'occultation du capteur, pour la période d'été, n'est pas représenté sur le schéma.

## SECTION I – DESCRIPTION

### § 1 LE PRINCIPE DU CALODUC

Concernant le principe du transfert de chaleur par caloduc, le lecteur trouvera si besoin des premières indications en tête de la rubrique précédente, consacrée au cuiseur solaire à caloducs étagés ( dans la 5ème partie de la documentation de soleil-vapeur.org).

### § 2 LE PREMIER ETAGE : UN CAPTEUR À CALODUCS DU COMMERCE .

Ces capteurs sont usuellement employés pour la production d'eau chaude sanitaire, mais ils conviennent également pour la production d'eau chaude à usage industriel ou de chauffage domestique.

Toute la documentation sur ces capteurs est disponible sur le Net (il existe aussi des capteurs à tubes sous vide mais qui ne sont pas du type "à caloducs" : ces capteurs ne conviennent pas pour la présente utilisation)

Par exemple : capteur de 18 tubes de 1,80 m, dont la puissance maximum est de l'ordre de 1500 Watt. A titre de comparaison : c'est la puissance usuelle d'un radiateur électrique mural. Il est souhaitable que le collecteur horizontal, en tête du capteur, soit légèrement en pente de l'ordre de 2 % de façon à ce que les condensats de retour aillent jusqu'au fond dudit collecteur.



### § 3 LE TUBE À AILETTES

Les tubes à ailettes sont des produits industriels très courants. Pour notre application, le tube doit être en simple longueur (sans retour en épingle), installé légèrement plus haut que le capteur, avec une pente générale de l'ordre de 2 %

Le dimensionnement du tube à ailettes est à effectuer par un homme de l'art ; une documentation sur le sujet est disponible par exemple à l'adresse [ciat.fr](http://ciat.fr), afin d'approcher les ordres de grandeur.

## § 4 LE TUBE DE LIAISON

Tube en acier ou en cuivre, soigneusement isolé, traversant le mur de façade, avec également une pente de 2 %.

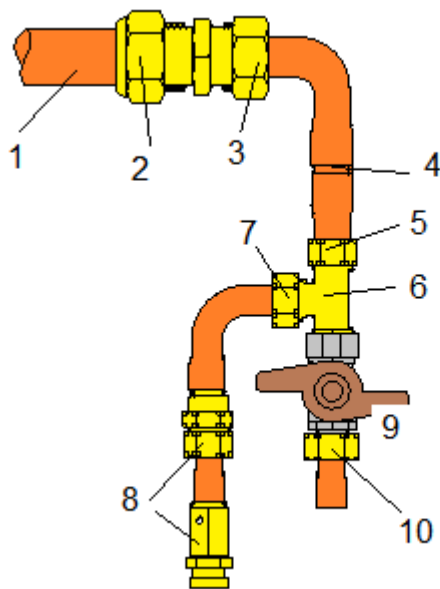
Le diamètre du tube doit permettre le passage des deux flux croisés de vapeur et de condensats. On devrait pouvoir admettre une vitesse de vapeur de l'ordre de 1 mètre/seconde ; quant au flux de condensats, il s'agit plutôt d'un écoulement au goutte à goutte.

Pour calculer la vitesse de la vapeur (en supposant par exemple une puissance de 1500 W et une pression max de 4 bar), voir par exemple les tables de vapeur dans le "Formulaire Sergot", disponible sur scribd.com.

Pour le cuiseur sus-nommé, un tuyau souple Ø intérieur 13 mm convenait très bien ; pour le cas présent, un tube cuivre Ø 22mm (soit Ø 20 mm intérieur) serait un maximum.

## § 5 ROBINETTERIE ET SOUPAPES

**1 - En partie basse**, l'extrémité du collecteur est équipée d'un robinet de vidange et d'une soupape de sécurité tarée à 4 bar (voir par exemple la documentation correspondante du cuiseur à caloducs)



- 1 extrémité du collecteur
- 2- Raccord bicon Ø 22 / Mâle G 1/2" avec face d'appui correcte pour recevoir un joint plat
- 3- raccord fer cuivre coudé F, G1/2" / Ø 12
- 4- manchon cuivre Ø 12
- 4- raccord fer-cuivre droit Ø 12 / F G3/8"
- 6- Te MMM G3/8"
- 7- raccord fer-cuivre coudé F 3/8" / Ø 12
- 8- soupape MSCdirect.com 78063195 brasée sur raccord fer-cuivre droit G 3/8"
- 9 Robinet à sphère M-F 3/8". Tous les robinets à sphère ont des joints souples, dont le matériau résiste plus ou moins bien à la chaleur. : voir les spécifications du fabricant.
- 10- douille annelée brasée sur raccord fer-cuivre droit F G 3/8" (facultative)

2- en partie haute, l'extrémité du tube à ailettes est équipée de même d'un robinet de remplissage, d'une seconde soupape de sécurité tarée à 4 bar, et facultativement d'un manomètre.

## § 6 LE STORE D'OCCULTATION

Il serait probablement utile de disposer pour la belle saison d'un store d'occultation, du type de ceux proposés pour protéger les terrasses et balcons, mais ce n'est pas indispensable : si l'énergie reçue par le capteur n'est pas évacuée, sa température augmente jusqu'à une température dite "de stagnation" de l'ordre de 200° C, mais sans dommage pour les composants, qui sont prévus à cet effet.

## SECTION II - FONCTIONNEMENT

Le fonctionnement du caloduc est un modèle de simplicité et d'élégance.

### Le tarage des soupapes

Tarer les soupapes à 4 bar avec de l'air comprimé à l'aide d'une pompe "à pied" pour pneumatiques de bicyclettes.

### Le remplissage en eau

Avant d'installer le capteur, mesurer le volume de son collecteur horizontal en le remplissant d'eau.

Pour un bon fonctionnement de la production de vapeur, il est nécessaire de conserver un "ciel de vapeur" au dessus de la surface de l'eau en ébullition dans le collecteur. En première approche, un remplissage pour moitié du volume du collecteur devrait convenir pour l'ensemble de l'installation, la quantité d'eau contenue dans le tube à ailettes (vapeur plus un filet de condensats) étant quasi-négligeable.

### En fonctionnement normal

La pression de vapeur s'établit entre 0 bar manométrique (début du fonctionnement) et 4 bar manométriques (tarage de la soupape). Plus la température augmente, plus la dissipation de chaleur par le tube à ailettes est importante, et on considère que, avec une température de 150° C, le tube à ailettes est capable de dissiper toute la chaleur qui lui est fournie. Il est donc préférable, par conception, de le surdimensionner légèrement. (et de le protéger par un capot pour éviter les brûlures)

Voir ci contre une table de vapeur.

Les collecteurs des capteurs à tube sous vide sont usuellement prévus pour une Pression Maximum de Service de 6 bar (avec en principe un Pression d'Épreuve de 9 bar). Il n'y a donc pas d'exagération à tarer la soupape à 4 bar, ce qui est une pression courante disponible sur le réseau d'eau d'une habitation.

### En fonctionnement anormal

Si la pression monte au-delà de 4 bar, les soupapes laissent échapper l'excédent de vapeur jusqu'à mettre à sec le second étage de caloduc. C'est alors la température du capteur solaire qui augmente jusqu'à atteindre la "température de stagnation" aux environs de 200° C, mais sans dommages pour le matériel.

### La régulation

Il n'y a pas à proprement parler de régulation, le système fonctionne au fil du soleil et "pied au plancher". S'agissant d'un système de chauffage d'appoint, c'est la régulation du système principal de chauffage de l'habitation qui lisse les variations de température.

pression mano- métrique bars	tempé- rature ° Celsius
0	100.0
0.5	111.6
1	120.4
1.5	127.6
2	133.7
2.5	138.0
3	143.7
3.5	147.2
4	152.0
4.5	155.6
5	158.9
5.5	162.0
6	165.0
6.5	167.8
7	170.2
7.5	173.0
8	175.4

## SECTION III – COMMENTAIRES

### **En quoi est-ce un dispositif particulièrement adapté aux hautes latitudes ?**

- le capteur solaire étant installé verticalement, il récolte donc d'autant mieux le rayonnement solaire que le soleil est bas sur l'horizon, ce qui est l'apanage des hautes latitudes en hiver – et ce qui n'interdit pas l'usage du capteur dans les moyennes latitudes, par exemple pour des lieux difficilement approvisionnables en énergies traditionnelles tels que des refuges de haute montagne ou autres lieux isolés.

- le capteur solaire recueille le rayonnement solaire direct, mais aussi le rayonnement solaire indirect ; tout le rayonnement solaire reflété par les étendues neigeuses – celui là même qui bronze la peau des skieurs – est mis à profit.

Les 1000 Watt d'ensoleillement par mètre carré (mesurés perpendiculairement aux rayons solaires) sont valables quelque soit la latitude sur la Terre. La traversée de l'atmosphère est plus importante près des Pôles que près de l'Equateur, entraînant une diffraction du rayonnement solaire, mais l'humidité des zones tropicales est aussi néfaste – et le capteur à tubes sait profiter du rayonnement indirect diffracté.

### **Capteurs à tubes sous vide, et température ambiante**

les capteurs solaires à tube sous vide fonctionnent quasiment aussi bien par temps froid que par temps chaud. Tout capteur thermique recueille non pas la chaleur du soleil, mais le rayonnement solaire, lequel est transformé en chaleur lorsqu'il rencontre un obstacle, par exemple le noir absorbeur à l'intérieur des tubes sous vide. Cette chaleur ne peut plus s'évader, en raison du vide entre les deux tubes concentriques (effet "bouteille thermos"), alors que dans le cas des capteurs plans, même à double vitrage (mais il n'y a pas de vide intermédiaire, sans quoi les deux vitres s'écraseraient l'une contre l'autre), les déperditions sont beaucoup plus importantes malgré l'effet de serre, ce qui limite à la fois leur puissance et le niveau de température disponible.

Dans le cas des capteurs à tubes sous vide, il est possible de poser la main sur le tube de verre même lorsque le caloduc à l'intérieur produit de la vapeur à 150 ° C ; inversement, le caloduc est donc très peu sensible à la température ambiante extérieure.

C'est un des intérêts majeurs des tubes « de Sydney » que d'avoir solutionné le problème du confinement de la chaleur après l'avoir piégée. « Le problème principal en énergie solaire thermique n'est pas tant de savoir la recueillir, que d'éviter de la perdre une fois qu'on l'a recueillie »

Il ne faut pas avoir peur de l'énergie solaire aux hautes latitudes !

### **L'exposition vers le Sud**

Une orientation précise du capteur en direction du Sud n'est pas indispensable. Si le mur recevant le capteur est orienté vers le Sud-Est ou vers le Sud-Ouest, il fonctionnera simplement mieux le matin ou le soir. Il est possible aussi, avec un support tubulaire adapté, de modifier l'orientation du capteur par rapport à l'orientation générale de la façade, mais au prix peut-être d'un certain désagrément esthétique.

### **Est il possible de chauffer une pièce éloignée de la façade ?**

Il est très probable que non : les flux thermiques en jeu sont faibles, les déperditions sont importantes, les performances seront réduites en raison de l'effet d'échelle (voir la rubrique éponyme dans la 5ème partie de la documentation), mais rien n'interdit d'essayer de transporter la vapeur sur quelques mètres.

### **La tenue au gel lors des très basses températures**

Il s'agit là d'un problème très important sur lequel l'équipe de soleil-vapeur n'a aucune compétence, mais gageons que les hommes de l'art fourniront une solution tant pour le premier étage (usuellement prévu pour des températures de -20° C) que pour le deuxième. Il conviendra de vérifier les caractéristiques physiques du fluide aux températures et pressions envisagées, ainsi que son éventuelle dangerosité

### **Le dimensionnement de l'installation**

C'est une affaire de spécialiste thermicien. Les fournisseurs de capteurs indiquent les performances thermiques de leur matériel, les performances des tubes à ailettes sont parfaitement connues. Toutefois, s'agissant d'un dispositif d'appoint, les marges de manœuvre sont assez larges, la principale condition à respecter étant un sur-dimensionnement du tube à ailettes par rapport au capteur.

### **Un petit stockage d'énergie.**

Au lieu de chauffer immédiatement l'ambiance intérieure de l'habitation, la vapeur pourrait être utilisée pour chauffer une masse d'eau contenu à demeure dans un récipient isolé installé à la place du tube à ailettes. Le soir venu, en enlevant l'isolation (à la manière des housses permettant de garder les théières au chaud), l'eau chaude restituerait les calories emmagasinées au cours de la journée. Par précaution, prévoir une capacité de stockage surdimensionnée par rapport au capteur, et prévoir un évent sur le récipient en raison de la dilatation lors de la mise en chauffe.

### **Une installation rustique**

Un grand intérêt de ce type de dispositif solaire est sa rusticité.

La quasi totalité des installations solaires domestiques de petite taille nécessitent de la haute technologie. Dans la cas de la production d'eau chaude, c'est la plomberie et la régulation toujours plus sophistiquées qui représentent la plus grande partie de la dépense, alors que le coût des panneaux proprement dits tend vers la baisse. Ce phénomène est encore plus flagrant dans le cas des petites installations photovoltaïques .

Un retour vers la simplicité et la rusticité apporterait un vent nouveau à la diffusion des installations solaires domestiques.

### **Faut -il faire le vide dans le second étage du caloduc ?**

L'eau bout et se vaporise à 100° C lorsqu'elle est à la pression de 1 bar, qui correspond environ à la pression atmosphérique au niveau de la mer. Si la pression est plus élevée, par exemple dans une enceinte fermée (et résistante), il faut atteindre une température plus élevée pour la voir se vaporiser, cf la table de vapeur ci dessus.

Mais si la pression est moins élevée, l'eau bout et se vaporise à une température inférieure à 100° C.



Ainsi, au Mont Blanc à 4800 mètres d'altitude, la pression n'est plus que de 0.5 bar, et l'eau bout vers 80° C . C'est aussi ce qui se passe dans les caloducs de cuivre des capteurs : en usine, les caloducs sont mis sous vide (partiel), si bien que le liquide qu'ils contiennent commence à se vaporiser dès que la température atteint 20 ou 30 ° C environ. Il n'est donc pas nécessaire d'attendre les 100° C pour profiter des capteurs.

Mais pour le caloduc du second étage dans le cas de notre installation de chauffage, s'il est à pression atmosphérique lorsqu'il est au repos, il ne commencera à fonctionner qu'à partir de 100° C. Il y aurait donc intérêt à le mettre sous vide (partiel), afin de grappiller les premières calories dès que possible, par exemple à partir de 35 ou 40 ° C.

Ce n'est pas bien difficile de mettre le second étage sous vide: par temps convenable, lorsque l'eau bout, il suffit d'ouvrir la purge en extrémité du tube à ailettes pendant quelques minutes, afin que la vapeur expulse l'air contenu dans le caloduc, puis de refermer la purge. Lorsque l'installation se refroidira, elle se mettra sous vide partiel, et à la prochaine occasion, elle démarrera à une température bien inférieure à 100 °.

Ce processus n'a pas été testé sur le cuiseur solaire, où de toute façon le propos est d'atteindre les 100° dans le récipient de cuisson; mais dans le cas d'une installation de chauffage, cela peut présenter un intérêt dans le cas d'un temps mitigé. (le manomètre est alors à remplacer par un mano-vacuomètre, qui indique la pression à partir de 0 bar absolu, et non pas à partir de 0 bar "manométrique").

Le seul problème est que le vide ne se maintiendra probablement pas très longtemps en raison de la robinetterie, alors que les tubes de cuivre des caloducs du premier étage sont fermés par brasage après mise sous vide. Refaire le vide dans le second étage n'est pas bien difficile, mais le système perd de sa simplicité initiale ; ou bien on peut envisager de sceller quasi-définitivement le système, c'est ce qui se fait sans toutes les installations frigorifiques.

Il faudrait essayer, le jeu en vaut probablement la chandelle.