

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	6ème partie Cuiseur Fresnel à conduite manuelle
---	--	---------------------------------------	---	--	--



6ème Partie Liste des chapitres:

► **Chap I Vue d'ensemble du cuiseur "Fresnel"
à conduite manuelle**



Accédez à la
documentation
complète de

www.soleil-vapeur.org

Conception du cuiseur

- Chap II Le suivi du soleil par un capteur "Fresnel"
- Chap III – Les miroirs sous tous leurs angles
- Chap IV – Le rayon de courbure des miroirs
- Chap V – Le CPC du second étage et le couplage du premier et du second étage
- Chap VI – Paramètres, choix initiaux, et commentaires

Etude du cuiseur

- Chap VII – Etude des poutres du premier étage
- Chap VIII – Etude des miroirs du premier étage
- Chap IX – Etude du Concentrateur Parabolique Composé
- Chap X - Etude de la charpente
- Chap XI – Etude du dispositif de manœuvre ds miroirs
- Chap XII – Etude du circuit de vapeur
- Chap XIII – Etude de l'installation au sol

Construction du cuiseur

- Chap XIV – Les poutres
- Chap XV – Les miroirs
- Chap XVI – Le Concentrateur Parabolique Composé
- Chap XVI I– La charpente
- Chap XVIII – Le dispositif de manœuvre des miroirs
- Chap XIX – Le circuit de vapeur
- Chap XX– Installation du capteur
- Chap XXI – Variantes.

Chapitre I VUE D'ENSEMBLE DU CUISEUR "FRESNEL" A CONDUITE MANUELLE

pages

3 SECTION I Caractéristiques principales du cuiseur "Fresnel" propose par
soleil-vapeur.org

- 6 SECTION II Le premier étage
- 8 SECTION III – Le second étage
- 9 SECTION IV – Capteur symétrique et capteur Offset
- 11 SECTION V - La charpente
- 13 SECTION VI – La conduite manuelle
- 14 SECTION VII - Le circuit de vapeur

INTRODUCTION : LE CAPTEUR FRESNEL

Un capteur solaire dit "à miroirs de Fresnel" est un capteur linéaire généralement utilisé pour produire de l'énergie thermique, comprenant

- un premier étage composé de plusieurs travées de miroirs mobiles qui captent le rayonnement solaire et le renvoient vers un second étage

- un second étage composé usuellement d'un concentrateur recevant le rayonnement solaire, et dans lequel est disposé un tube contenant un fluide thermique

Le suivi du soleil est assuré par une rotation des miroirs tout au long de la journée.



Capteur Fresnel produisant de la vapeur pour une laiterie en Sardaigne - cspfolar.com

Les avantages d'un capteur Fresnel sont entre autres une simplicité de construction et une certaine modularité, ainsi qu'une moindre prise au vent que les capteurs à grand miroir cylindro-parabolique.

Sur l'historique des capteurs Fresnel, consulter notamment la thèse de François Veynand <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00001786/01/veynandt.pdf> pages 26 à 28

Dans cette sixième partie de la documentation de soleil-vapeur.org le propos est de fournir tous les éléments nécessaires à la conception, l'étude et la construction d'un cuiseur solaire basé sur un capteur de type «Fresnel» produisant de la vapeur à 100 /164° C (0 à 6 bar), à conduite manuelle, destiné à la cuisson alimentaire et aux petites installations agro-alimentaires, par exemple : laiteries abattoirs, précuissons, semouleries, fabrication de bière, de savon, extraction d'huiles essentielles, etc.

La gamme de puissance est de l'ordre de quelques kW, c'est à dire une puissance supérieure aux cuiseurs solaires déjà proposés dans la documentation de soleil-vapeur (capteur de 2 m², cuiseur à caloducs étagés), mais bien inférieure aux installations industrielles qui sont d'ores et déjà disponible sur le marché.

Le premier chapitre présente ci dessous une vue d'ensemble du cuiseur solaire basé sur un capteur Fresnel proposé par soleil-vapeur. Les chapitres suivants reprendront un par un tous les éléments qui le composent, y compris les détails de fabrication et d'assemblage.

SECTION I – CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DU CUISEUR "FRESNEL" PROPOSE PAR "SOLEIL-VAPEUR"

Afin de disposer d'un niveau de température suffisant pour procéder aux opérations de cuissons alimentaires ou agro-alimentaires, il est nécessaire de concentrer le rayonnement solaire, et donc d'assurer un suivi tout au long de la journée.

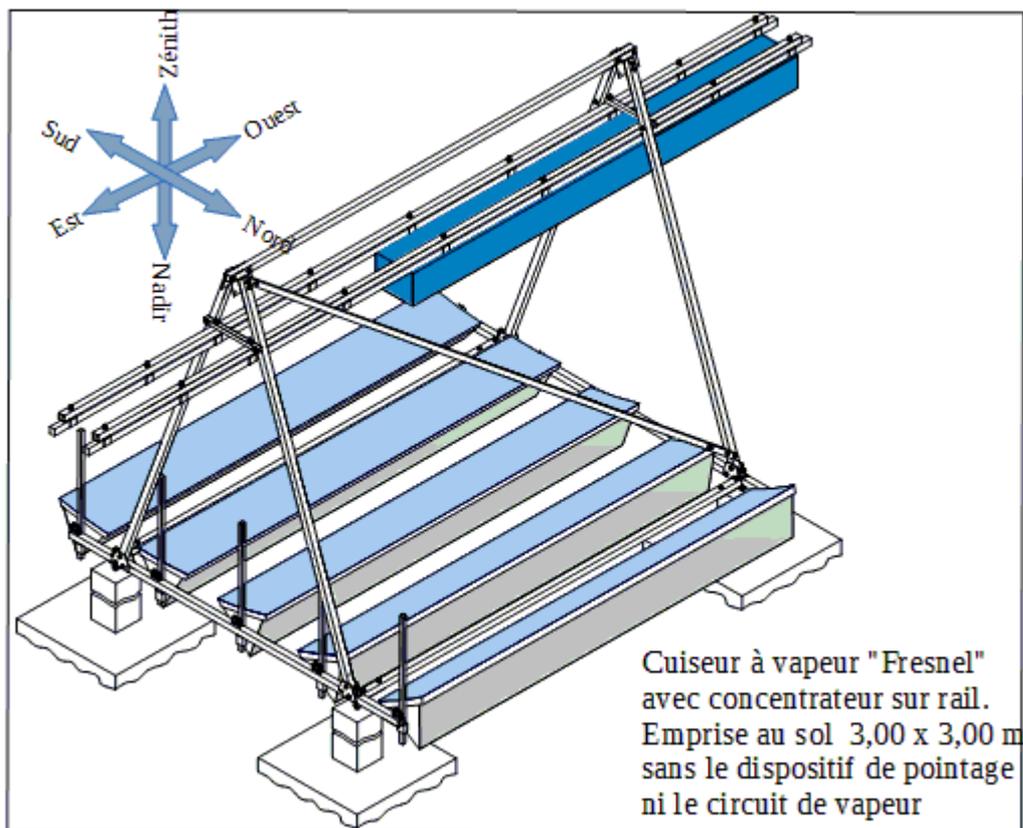
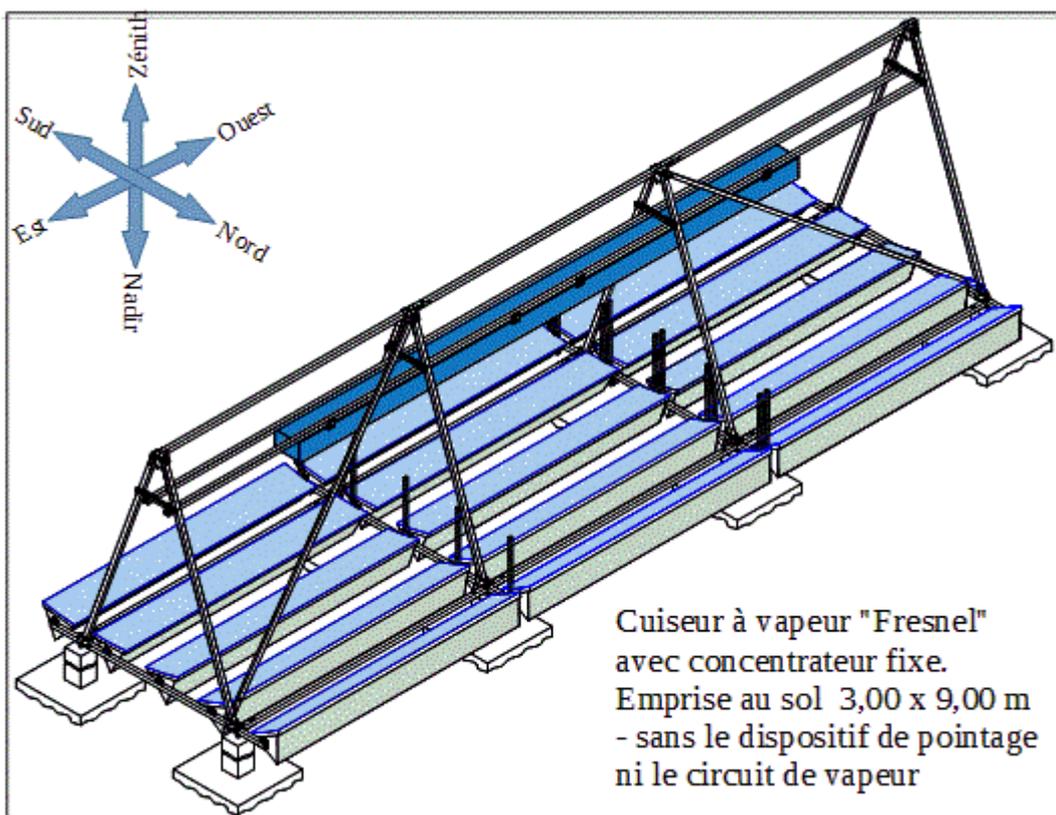
Le choix s'étant porté sur un suivi manuel (qu'il sera toujours possible d'automatiser ultérieurement), le capteur linéaire sera dans le sens Est-Ouest, toutes les explications sur ce point sont fournies au chapitre II

Le premier étage est composé d'une ou plusieurs travées de miroirs, en fonction de la puissance souhaitée. Chaque travée comprend cinq files de miroirs plus ou moins espacés.

Le second étage est un Concentrateur Parabolique Composé de R. Winston contenant le tube-chaudière dans lequel l'énergie solaire transforme l'eau en vapeur.

L'effet d'extrémité

Tous les capteurs solaires linéaires subissent un « effet d'extrémité » : le soleil n'étant que très exceptionnellement à l'aplomb du capteur, le rayonnement reçu par le premier étage est renvoyé vers le second étage avec un certain décalage longitudinal, d'où une perte d'énergie renvoyée dans l'environnement . Dans le cas de très longues installations industrielles, ou bien selon la latitude du lieu d'implantation, cette perte est négligeable ; mais dans le cas d'une petite installation comme celle dont il est question ici, la perte serait rédhibitoire. Deux solutions sont disponibles : soit en prolongeant quelque peu le premier étage par un élancement à chaque extrémité , soit par un dispositif de translation du second étage. Les deux versions sont retenues tout au long des prochains chapitres. Le principe du schéma optique reste identique quelle que soit la version.



Capteur Symétrique et capteur Offset : dans le cas d'un capteur offset, le second étage est disposé non pas dans l'axe et au dessus des miroirs, mais sur le côté et au niveau du sol, et le champ de miroirs est incliné. Cette configuration est adaptée aux moyennes et hautes latitudes, voir la section IV ci dessous.

La charpente en tubes métalliques percés et assemblés par boulonnage relie les deux étages.

Le fluide thermique utilisé ici est la vapeur d'eau, telle qu'elle a déjà été utilisée pour le capteur cylindro-parabolique de 2m² présenté en première partie de la documentation de soleil-vapeur.org

La conduite du capteur est entièrement manuelle. Le conducteur est chargé d'orienter les miroirs au cours de la journée à l'aide d'un dispositif vis/écrou, et d'alimenter la chaudière en eau fraîche à vaporiser à l'aide d'une pompe .

Le dispositif de cuisson comprend essentiellement une plaque de cuisson chauffée par la vapeur sur laquelle repose le récipient de cuisson, le tout étant installé dans un caisson isolé : le plus important, en matière de cuisson solaire, n'est pas tant de collecter l'énergie solaire, que d'éviter de la perdre une fois qu'on l'a collectée.

Un capteur solaire pour quoi faire ? Le capteur-cuiseur solaire présenté ici est un outil professionnel et non pas un outil à usage familial ou personnel. C'est donc un outil destiné à fonctionner sans discontinuité pendant six heures par jour de 9 à 15hoo solaires, chaque jour de temps clair bien établi c'est à dire avec un rayonnement solaire direct de 850 Watt /m² ou plus.

Il est quelque peu comparable avec les les trépieds à gaz que l'on retrouvait en zones rurale et semi rurales pour faire bouillir la lessiveuse et le stérilisateur à conserves, dont la puissance, variable selon les modèle, est de l'ordre d'une demi douzaine de kW.



Vers un capteur plus puissant ?

La puissance du capteur présenté ici est modulable à volonté selon le nombre de travées, mais il n'est pas envisagé de l'allonger indéfiniment : il s'agit d'un outil professionnel de dimension artisanale, mais pas d'un outil industriel, pour lequel il existe désormais sur le marché des installations « clé en main », voir par exemple industrial-solar.de Un dernier chapitre de la 6ème partie de la documentation présente les cotes de fabrication d'un capteur plus puissant, avec 7 files de miroir. Mais au-delà de 7 files de miroirs et de quelques travées, on quitte le domaine de connaissances de soleil-vapeur.org

Les prochaines sections du présent premier chapitre présentent succinctement les différents composants du capteur, dont la description détaillée sera reprise dans les chapitres suivants, y compris les plans d'exécution.

SECTION II - LE PREMIER ETAGE

Le premier étage est composé essentiellement

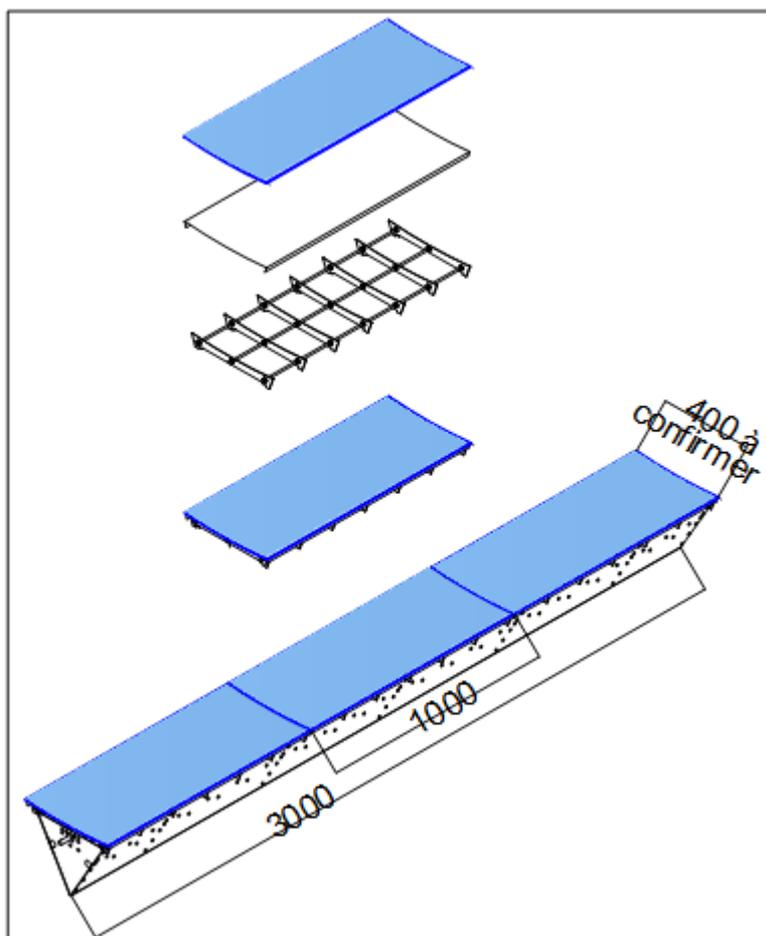
- de miroirs avec leurs supports,
- de poutres-caisson orientables

A) LES MIROIRS ET LEURS SUPPORTS

Les miroirs proprement dits sont de simples tôles d'aluminium anodisé poli, d'épaisseur 0,5 mm

Pour des raisons de tenue mécanique, il est nécessaire de supporter les miroirs en aluminium par des tôles d'acier laqué épaisseur 0,8 mm

Les tôles d'acier sont elles-mêmes supportées par des profils métalliques épaisseur 1,2 mm, espacés de 15 à 18 cm, découpés selon des rayons de courbure spécifiques à chaque file de miroirs. La découpe des profils s'effectue à la machine à commande numérique (laser, jet d'eau..., mais il



est tout à fait possible également de les découper à l'aide d'une toupie portative, après confection manuelle d'un gabarit.

Les miroirs et leurs supports sont assemblés en éléments manu-portables de 1,00m de long qui seront déposés sur les poutres-caissons

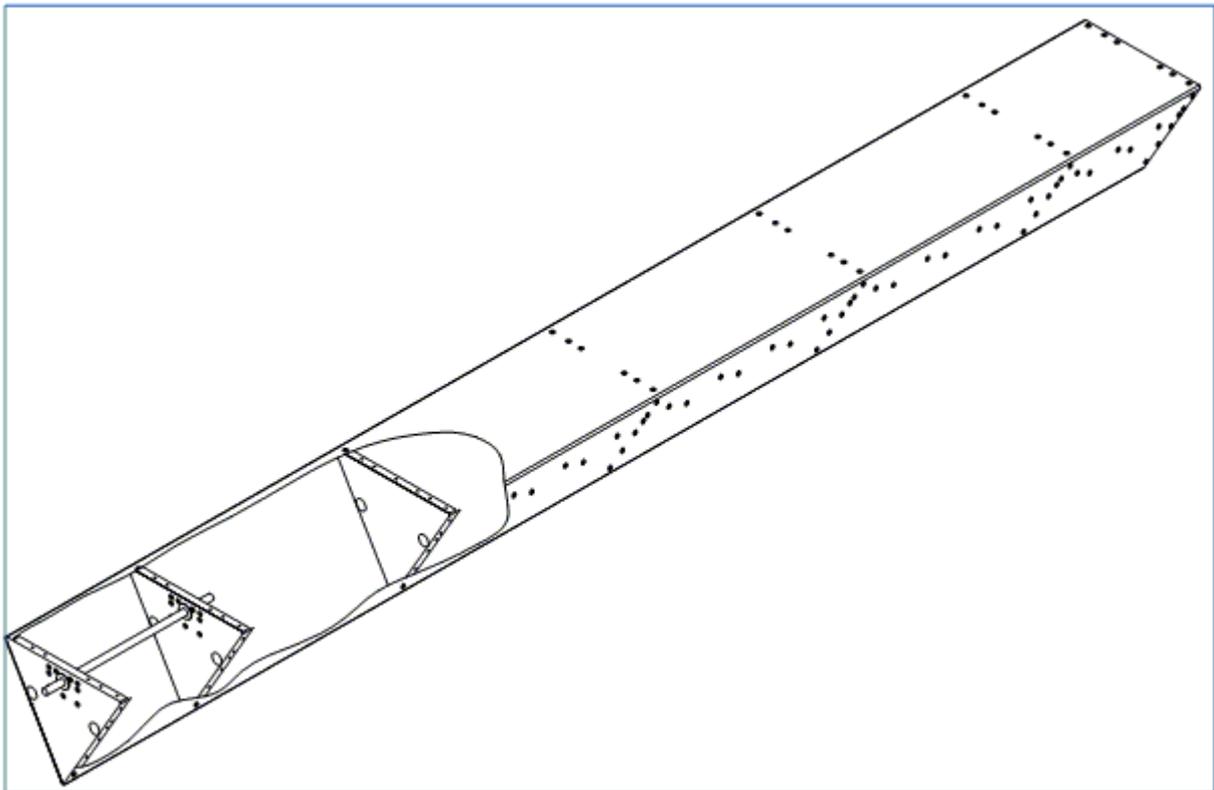
Chaque travée comporte cinq files de miroirs, la largeur totale brute d'une travée étant fixée ici à trois mètres. Pour la présente étude, la largeur des miroirs unitaires est fixée à 0,40 m, soit une largeur totale nette de $5 \times 0,40 = 2,00$ mètres, et leur espacement est fixé à 0,25m. Ces valeurs sont à optimiser ultérieurement en fonction de la latitude du lieu d'implantation ; la densité énergétique surfacique peut donc varier d'une installation à une autre.

B) LES POUTRES-CAISSON

Les poutres-caisson triangulaires sont confectionnées dans de la tôle d'acier pliée de 8/10èmes renforcée par des entretoises, l'assemblage est effectué par des rivets aveugles.. Elles reposent sur la charpente par l'intermédiaire d'axes en inox et de paliers en Nylon, afin de pouvoir les orienter pour assurer le suivi du soleil.

La longueur des poutres a été fixée à trois mètres. Chaque travée de capteur est donc un carré de 3 x 3 mètres, garni de 6 m² environ de miroirs (la valeur de 6m² étant à préciser en fonction de la latitude)

Le fait de dissocier d'une part les poutres-caissons et d'autre part les miroirs et leurs supports permet d'optimiser, pour chaque capteur, les rayons de courbure des miroirs

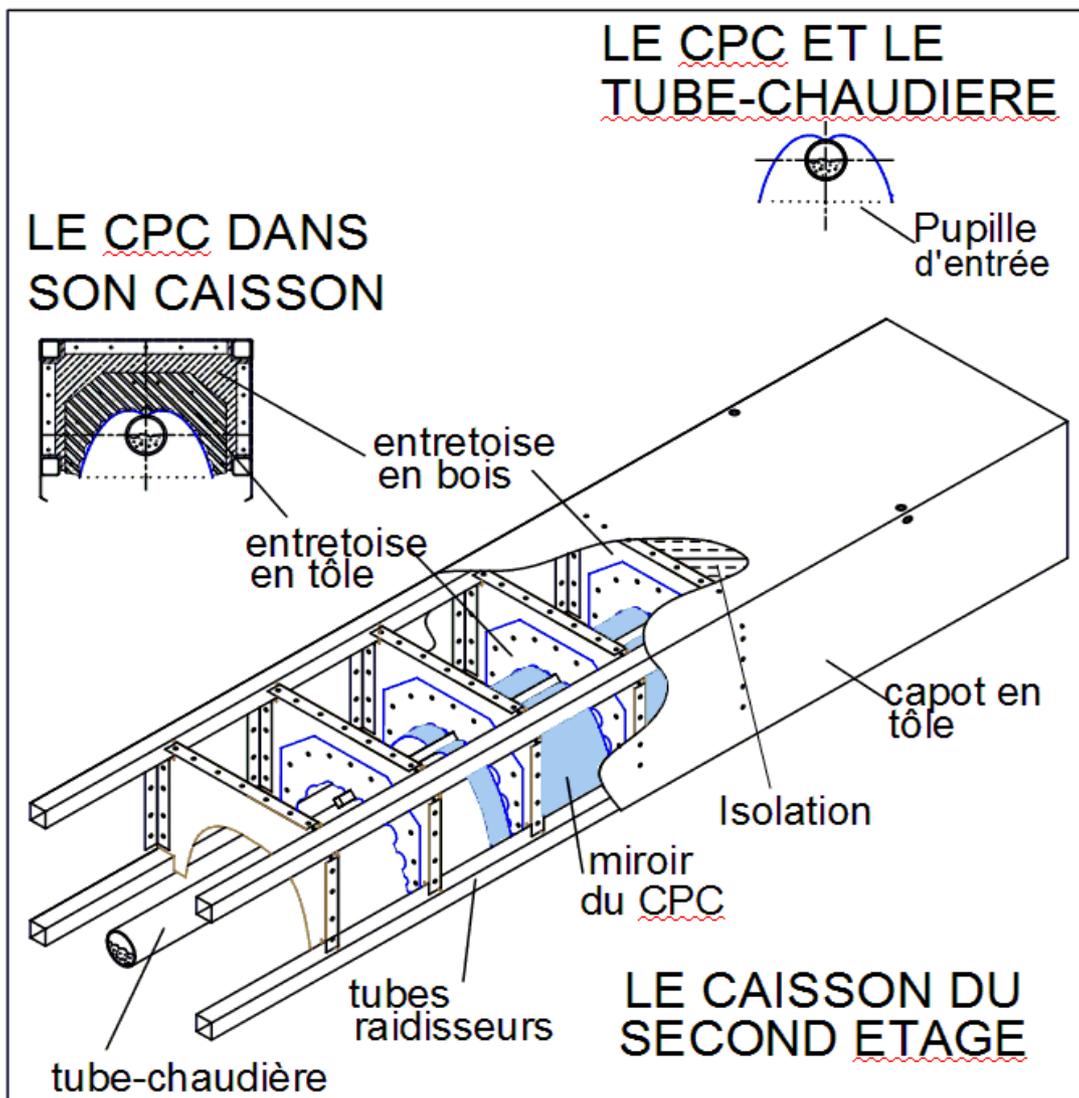


SECTION III - LE SECOND ETAGE

Le second étage est un Concentrateur Parabolique Composé de R. Winston.

Le CPC est un dispositif optique composé de deux fractions d'arcs de parabole qui permet de rediriger vers une cible tous les rayons qui pénètrent par sa pupille d'entrée, à condition qu'ils y parviennent selon un angle inférieur à un angle limite dénommé angle d'acceptance ; dans notre cas , la cible est le tube-chaudière installé au fond de CPC

En première approche, le CPC peut être considéré comme un entonnoir, c'est grâce à lui que la conduite manuelle du capteur devient possible. Son rôle de concentrateur, pour ce qui est de notre propos immédiat, est relativement secondaire



Des premiers renseignements concernant le CPC sont disponibles en 1ère partie de la documentation, Chap II Section V, et dans l'ouvrage "conversion thermique du rayonnement solaire" de JM Chasseriaux, sur Scribd.com

Le design du couplage entre le premier étage et le Concentrateur Parabolique Composé est la clé de voûte du capteur. Les renseignements concernant ce couplage proprement dit sont disponibles au chapitre V, Les renseignements concernant la construction du CPC sont disponibles dans le chapitre XV

SECTION IV – CAPTEUR SYMETRIQUE ET CAPTEUR OFFSET

Sur les représentations de capteurs Fresnel ci dessus, le second étage est installé au dessus et dans l'axe du premier étage, le champ de miroirs est horizontal, et il renvoie les rayons solaires en direction du zénith.

Sur une proposition de Hugo Frédéric, le second étage pourrait aussi être installé au niveau du sol ou bien quelque peu au dessus, en décalage par rapport à l'axe longitudinal, le champ de miroir étant alors incliné par rapport à l'horizontale.

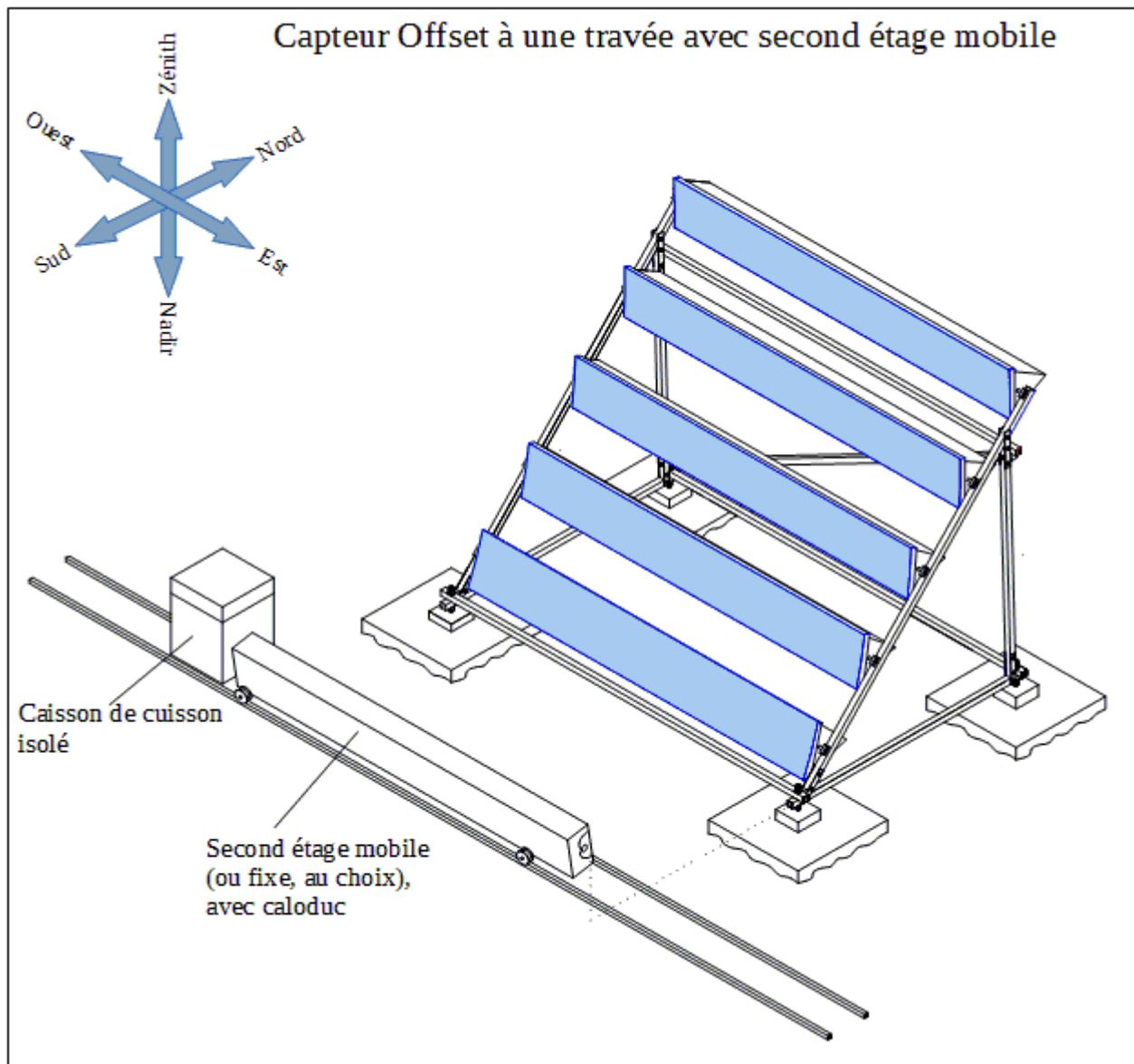
La première disposition – capteur "symétrique" - convient très bien pour une installation située aux basses latitudes, et notamment en zones intertropicales, là où le soleil passe au-delà du zénith pendant une partie plus ou moins importante de l'année.

Mais lorsque l'on se dirige vers les moyennes latitudes, cette disposition devient moins performante en raison d'un effet cosinus transversal (voir à ce sujet le chapitre II) et d'un effet d'ombre entre miroirs de plus en plus importants ; c'est alors qu'une disposition a-symétrique prend la relève.

La seconde disposition -capteur "offset"- améliore nettement le rendement énergétique par m² de miroir, et rend possible l'utilisation d'un capteur solaire du type "Fresnel" dans les moyennes latitudes, voire même dans les hautes latitudes, voir à ce sujet le chapitre III "Les miroirs sous tous leurs angles

Un autre intérêt majeur du capteur Fresnel Offset est de disposer le second étage au niveau du sol, et de faire fonctionner le tube chaudière comme un caloduc. La contrainte de l'alimentation manuelle en eau fraîche à vaporiser, ainsi que le réglage de la purge, sont supprimés, ce qui représente une grande simplification pour l'utilisateur. Voir au sujet du caloduc la rubrique "cuisser solaire à caloducs étagés", en 5ème partie

La disposition offset est inutilisable pour un capteur Fresnel installé en basses latitudes ; le rendement serait médiocre en raison de l'effet cosinus transversal désastreux, et le capteur ne fonctionnerait pas du tout une fois que le soleil aurait passé le zénith. Et un capteur offset orienté Nord-Sud ne fonctionnerait que pendant la moitié de la journée



La disposition offset n'est possible que pour des capteurs orientés Est-Ouest, qui reçoivent le soleil toujours sur la même face. Afin de tenir compte de l'effet d'extrémité, les deux solutions envisagées pour les capteurs symétriques (prolongement du premier étage par un élanement à chaque extrémité Est et Ouest, ou bien dispositif de translation du second étage) sont applicables ici, comme sur l'illustration ci dessous. Dans le cas d'installations de petite taille comme celles qui nous intéressent ici, il n'y a pas de surcoût en termes de structure métallique ; il en serait autrement dans le cas de très grands champs de miroirs, mais ce n'est pas notre propos.

L'inclinaison générale du premier étage peut être optimisée pour chaque latitude ; toutefois, afin de ne pas compliquer à loisir l'étude du capteur, nous n'envisagerons dans la suite de la documentation, que le seul cas de figure d'une orientation à $46,90^\circ$ de l'horizontale , le chiffre de

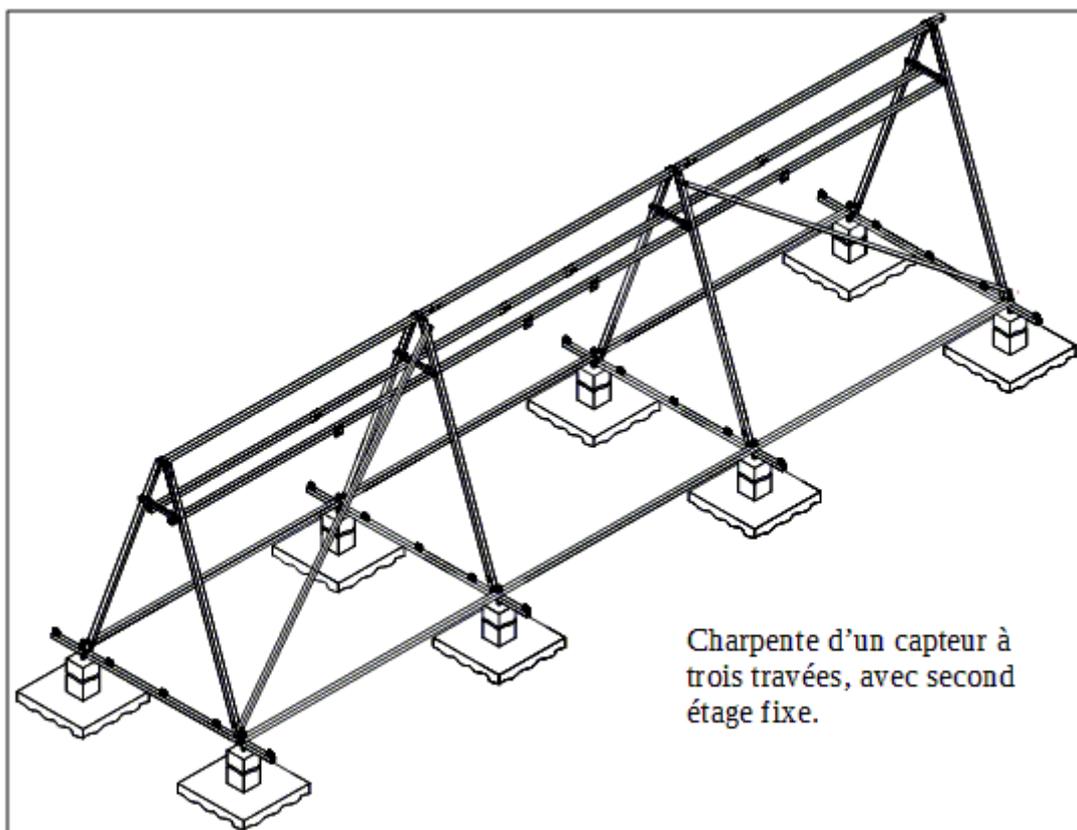
46,90° correspondant à deux fois l'angle de l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre sur le plan de l'écliptique (23,45°).

Dans le cas d'un capteur Offset, le Concentrateur Parabolique Composé du second étage mérite un étude particulière. Il ne suffit pas de basculer de 90° environ un CPC provenant d'un capteur symétrique, il convient de le configurer de façon à confiner correctement les calories (par exemple via un CPC a-symétrique, ou bien à l'aide d'un miroir de renvoi?), mais cette étude n'a pas encore été réalisée dans le cadre de la présente documentation.

SECTION V – LA CHARPENTE

La charpente est principalement constituée de tubes percés et assemblés par boulonnage et par platines en fer plat. Le seul outillage nécessaire est alors réduit à une tronçonneuse et une perceuse sur colonne professionnelle avec un mandrin "16 mm".

La charpente repose sur des dés en béton, parfaitement implantés et nivelés à la lunette, qui assurent la bonne géométrie du capteur et sa tenue au vent.

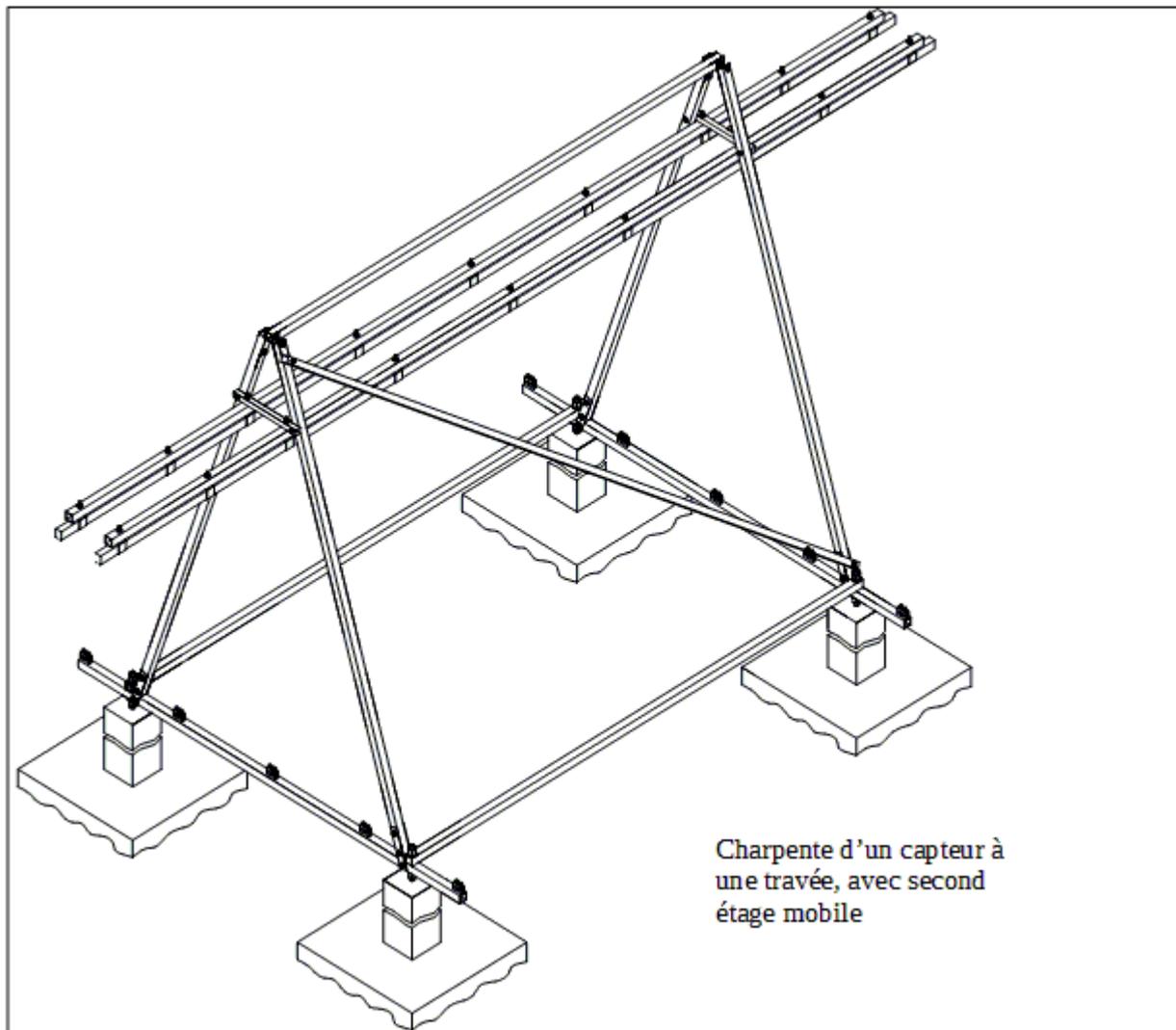


Pour plus de détails, télécharger ici une [vue d'ensemble de la charpente](#) au format .pdf, à zoomer à libitum.

La charpente repose sur des dés en béton, parfaitement implantés et nivelés à la lunette, qui

assurent la bonne géométrie du capteur et sa tenue au vent.

La quasi-totalité des éléments de charpente sont communs aux différentes versions du capteur-cuiseur Fresnel.



SECTION VI - LA CONDUITE MANUELLE

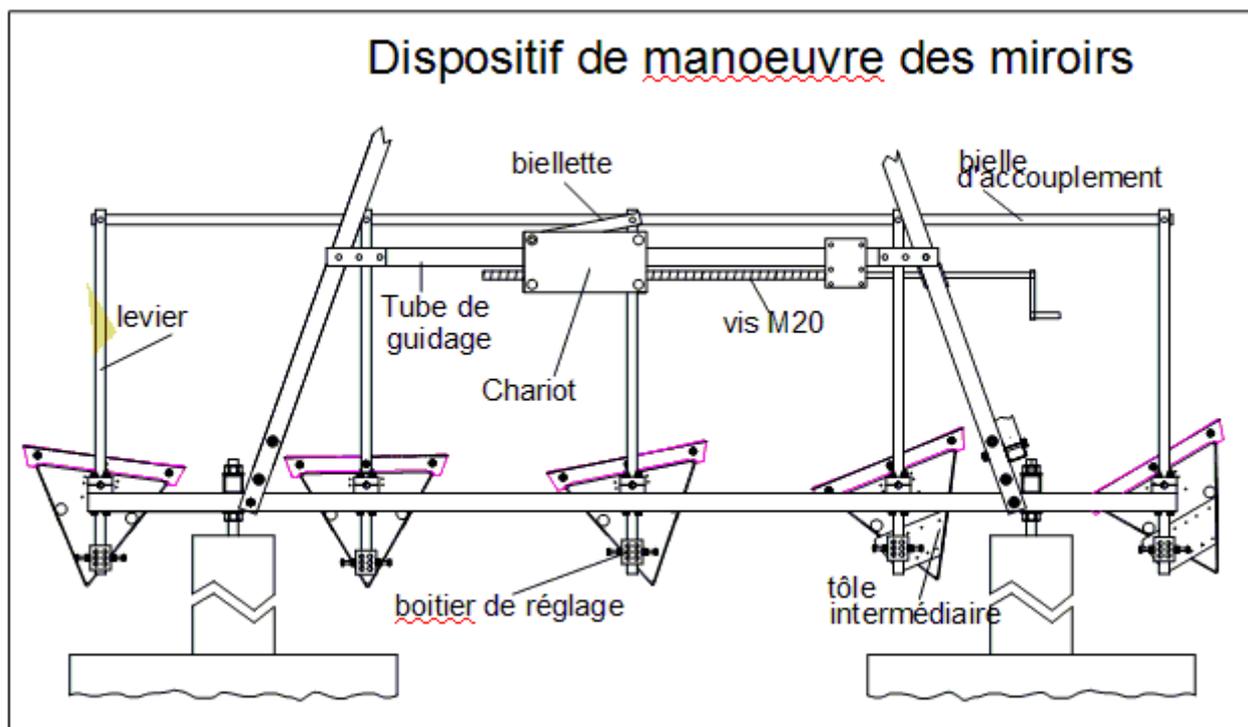
La possibilité d'une conduite manuelle est un des apanages de l'orientation Est-Ouest

Dans le cas d'un capteur linéaire orienté Est-Ouest, le débattement angulaire quotidien des miroirs entre 9h00 et 15h00 oscille entre 0° au jour de l'Equinoxe et $4,04^\circ$ au jour de Solstice, et le débattement annuel est de $31,53^\circ$ d'un Solstice à l'autre. Tous les renseignements sur ce point sont fournis notamment au chapitre II "Le suivi du soleil par un capteur Fresnel".

D'autre part le Concentrateur Parabolique Composé en second étage joue le rôle d'un "entonnoir à rayons" : pour peu que sa géométrie soit correctement configurée, le suivi du soleil minute par minute devient inutile.

Dans ces conditions, il devient tout à fait possible d'envisager une conduite manuelle du capteur, dont le degré de contrainte n'est pas supérieur à celui de la conduite d'un feu de bois. Et il sera toujours possible d'automatiser/motoriser ultérieurement la conduite.

Parmi les multiples solutions possibles, le choix s'est porté ici sur un dispositif vis/écrou à manivelle.



Une étape intermédiaire entre la conduite manuelle et la conduite automatique serait l'installation d'un signal sonore et/ou lumineux avertissant le conducteur lorsque un repointage des miroirs est nécessaire.

SECTION VII - LE CIRCUIT DE VAPEUR ET LE DISPOSITIF DE CUISSON

L'énergie solaire est un flux dilué . Il convient d'abord de la concentrer pour atteindre le niveau de température nécessaire -c'est le rôle du jeu de miroirs- et ensuite de la transporter jusqu'au point d'utilisation à l'aide d'un fluide thermique. Parmi quelques possibilités telles que l'huile ou l'eau pressurisée, le choix s'est porté ici sur la vapeur.

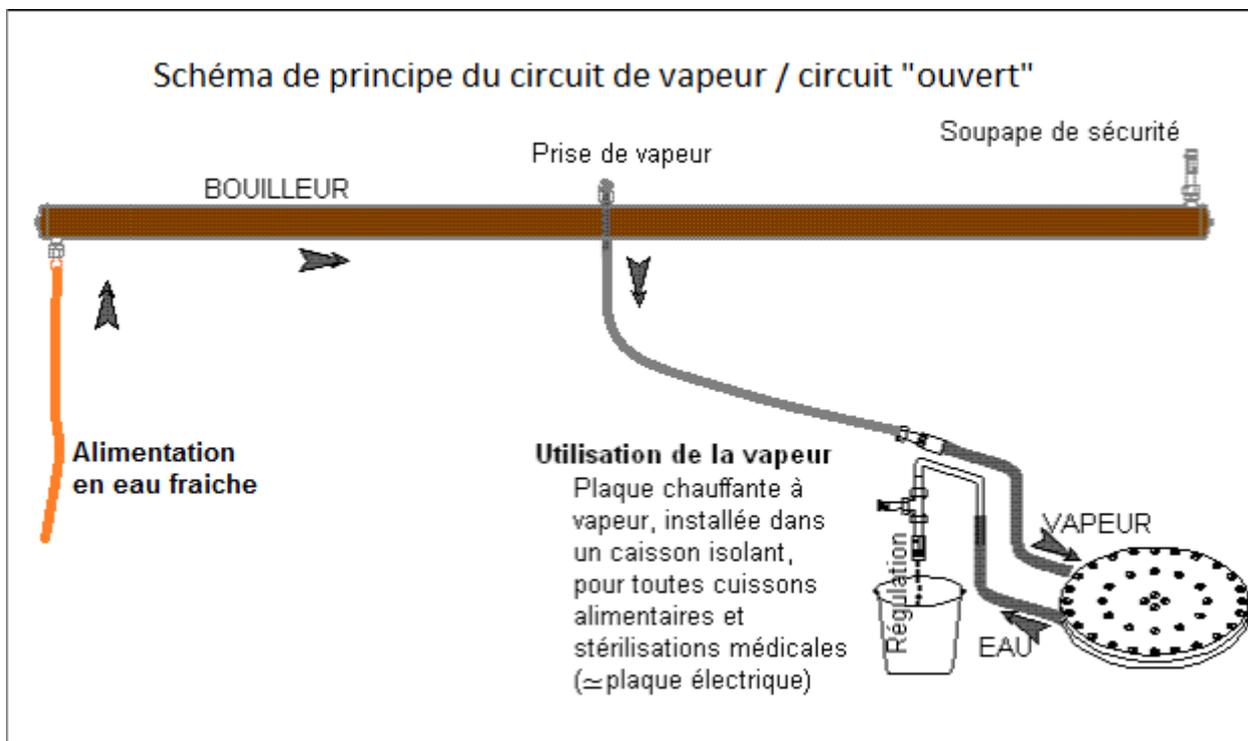
De la documentation sur la vapeur est disponible au chapitre NNN de la 4ème partie .

Le circuit de vapeur est différent selon qu'il s'agit d'un capteur Fresnel symétrique, ou d'un capteur offset.

§ 1 CIRCUIT DE VAPEUR ET DISPOSITIF DE CUISSON D'UN CAPTEUR SYMETRIQUE

C'est un circuit classique d'une installation à vapeur à usage thermique :

- une pompe alimentaire manuelle permet au conducteur d'envoyer dans la chaudière de l'eau fraîche à vaporiser.
- la chaudière, dénommée également "bouilleur", est réduite à sa plus simple expression, à savoir un tube installé dans le fond du Concentrateur Parabolique Composé du second étage. Sous l'effet de la conversion du rayonnement solaire en énergie thermique, l'eau passe de l'état liquide à l'état vapeur, et emmagasine une grande quantité de chaleur.
- la vapeur est dirigée vers une plaque chauffante, tout à fait analogue à la plaque chauffante d'une cuisinière électrique, mais dans laquelle est taillée une engravure où circule la vapeur ; ce faisant, la vapeur cède son énergie thermique et retourne à l'état liquide, les "condensats"



- l'eau liquide est restituée à l'environnement via un petit robinet, que le conducteur peut manoeuvrer peu ou prou afin de réguler la puissance thermique de la machine.

Il s'agit donc d'un circuit ouvert

En cas d'absence d'eau dans la chaudière, la production de vapeur s'arrête de fonctionner et la chaudière monte en température.

On peut rappeler ici que nombre d'accidents de chaudières avaient lieu lorsque, à cause d'un manque d'eau, la chaudière montait en température parfois jusqu'au rouge, et que le chauffeur l'alimentait brusquement. La vaporisation intense provoquait alors une pression telle que la chaudière pouvait en éclater.

Ici (hélas) on ne court pas ce risque, le niveau de température en cas d'à-sec ne dépasse guère 260° C, et en cas d'alimentation intempestive à ce niveau de température, on n'entend guère que les craquement de contraction du métal qui, c'est vrai, n'apprécie pas beaucoup l'opération.

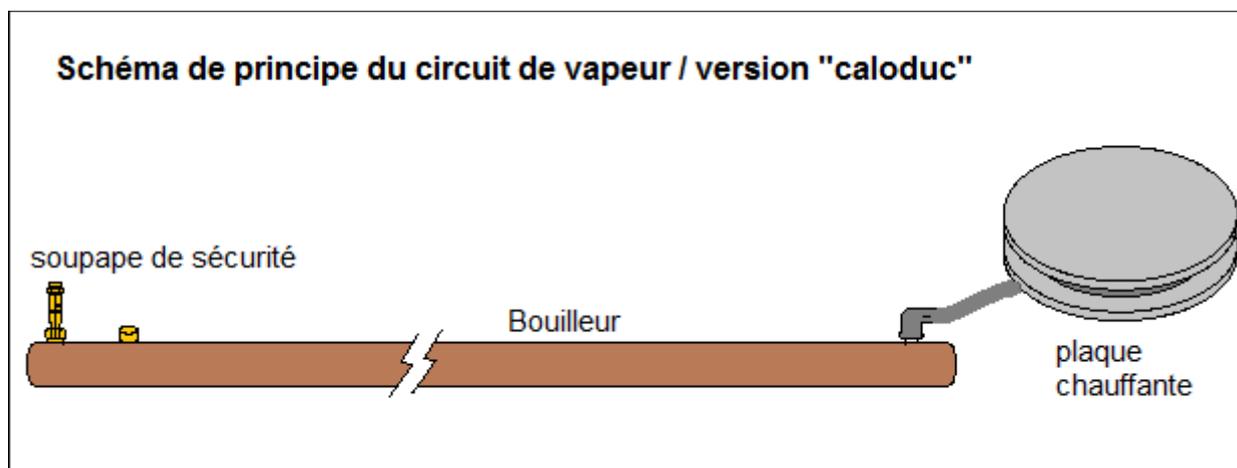
§ 2 CIRCUIT DE VAPEUR ET DISPOSITIF DE CUISSON D'UN CAPTEUR OFFSET

Dans le cas d'un capteur offset, le dispositif de production de vapeur se trouve à la hauteur de l'utilisateur, il faut donc en profiter pour utiliser un dispositif de caloduc, plus confortable pour l'usager que le dispositif précédent.

La vapeur produite dans la chaudière est conduite vers une plaque chauffante dont le dessus a exactement le même aspect que la plaque précédente, mais qui est simplement creuse à l'intérieur au lieu d'être parcourue par une engravure. Dans la cavité, la vapeur cède son énergie thermique, l'eau revient à son état liquide et retourne vers la chaudière par le même chemin qu'à l'aller : les deux flux d'eau et de vapeur se croisent dans le même tube, c'est le principe du caloduc.

Il s'agit donc d'un circuit fermé, différent toutefois d'un circuit en thermo-siphon dans lequel il y a un tube aller et un tube retour

dans notre cas une différence de niveau de l'ordre de quelques centimètres est suffisante. Le dispositif proposé ici est tout à fait analogue au second étage du "cuiser à caloducs étagés" proposé dans la 5ème partie de la documentation, à laquelle le lecteur pourrait se référer.



§ 3 CARACTERISTIQUES COMMUNES AUX DEUX CIRCUITS

Une différence de température de 20 à 30° C entre le contenu du récipient et le fluide thermique est suffisante ; pour porter à ébullition l'eau contenue dans un récipient, il suffit de disposer de vapeur à 120 ou 130° C. (Dans les grandes cuisines collectives utilisant des récipients de plusieurs centaines de litres, certaines installations fonctionnent à 112° C ; notons ici que l'utilisation d'une flamme de gaz à 1800° C relève de la gabegie pure et simple)

La pression de vapeur est de l'ordre de quelques bars, ce qui correspond à la pression d'air dans des pneumatiques d'automobile, ou à la pression de l'eau de ville.

L'énergie solaire est gratuite, mais sa collecte ne l'est pas. Afin de ne pas perdre immédiatement l'énergie que l'on vient de collecter, les plaques chauffantes et récipients de cuisson sont disposés dans des caissons isolés. L'isolation du caisson permet en outre de bénéficier de l'effet "marmite norvégienne" : pendant un passage nuageux d'une dizaine de minutes, la température ne diminue que de quelques degrés, donc la cuisson se poursuit quasi-normalement.