

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



Accédez à la  
documentation  
complète de

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

**1ère Partie** Liste des chapitres:

Chap I – Dossier de calculs

Chap II – Conception du capteur

Chap III – Etude du capteur

Chap IV – Etude du circuit de vapeur

Chap V – Construction du capteur

► **Chap VI– Installation, Conduite, Performances, Maintenance,**

Chap VII – La malle pédagogique

Chap VIII – Programmes et plans informatiques.

Chap IX – Ombre portée d'un baton

Chap X – les positions du capteur

## Chapitre VI INSTALLATION, CONDUITE, PERFORMANCES, MAINTENANCE

pages

### Section I – INSTALLATION DU CAPTEUR

3	§ 1 les délicates négociations préalables
3	§ 2 anticiper les positions du soleil au cours des saisons
4	§ 3 chercher le nord
7	§ 4 tracer l'alignement est-ouest et vérifier l'absence d'effet d'ombre
8	§ 5 les fourreaux (installation permanente)
9	§ 6 les coulisses directement fichées dans le sol (installation foraine)
10	§ 7 l'axe horizontal (installation permanente)
11	§ 8 l'axe horizontal (installation foraine)
12	§ 9 la charpente
15	§ 10 monter le CPC 1ère partie
15	§ 11 installer le bloc d'alimentation et la purge "ouest"
15	§ 12 monter le bouilleur
15	§ 13 achever le montage du cpc
16	§ 14. Support du récipient de cuisson, et abri pour le conducteur

### Section II – CONDUTE DU CAPTEUR

18	§ 1 A quelle heure commencer la journée ?
18	§ 2 Les manipulations en début de journée
20	§ 3 Le suivi du soleil-Vapeur

- 20 § 4 La translation des miroirs
- 20 § 5 L'alimentation en eau fraîche
- 21 § 6 A quelles température / pression faut-il travailler
- 21 § 4 comment reguler la pression / temperature ?
- 22 § 8 et si la pression monte trop ?
- 22 § 9 et s'il n'y a plus de pression ?
- 22 § 10 en fin de cuisson
- 22 § 11 en fin de journee

### Section III -LES PERFORMANCES DE LA PRODUCTION DE VAPEUR

- 23 § 1 La pesée des condensats
- 24 § 2 Brefs rappels de la physique de l'eau
- 25 § 3 Mesure de la production d'énergie thermique
- 25 § 4 Calcul de la puissance
- 26 § 5 Mesure de l'ensoleillement
- 26 § 6 Calcul du rendement
- 26 § 7 L'effet cosinus horaire
- 27 § 8 La mise en chauffe du matin
- 27 § 9 Remarques
- 28 § 10 Les performances du point de vue de l'utilisation de la vapeur

### Section IV -MAINTENANCE

- 29 § 1 Travaux d'entretien courant
  - Purge quotidienne du bouilleur
  - Graissage du piston plongeur
  - Contrôle du poids des condensats
- 29 § 2 Entretien périodique
  - Contrôle de la soupape de sécurité
  - Nettoyage du grand miroir et des miroirs du Concentrateur
  - Entretien de la soupape de régulation automatique
- 30 § 3 Ajustements saisonniers du capteur
  - Modification de la hauteur de l'axe de rotation, et vérification de l'horizontalité
  - Retournement du capteur

## SECTION I INSTALLATION DU CAPTEUR

### § 1 LES DELICATES NEGOCIATIONS PREALABLES

L'installation d'un ensemble de cuisson ou de stérilisation solaire est un moment extrêmement délicat. Il est possible que le capteur débarque comme un intrus dans un milieu qui ne lui est pas forcément acquis d'avance, ou qui est franchement hostile à l'opération, même s'il s'agit d'un milieu professionnel salarié dont on vient bousculer des habitudes solidement ancrées.

Même si le principe de l'installation du capteur est acquis, les négociations sur le terrain concernant les derniers détails avant l'implantation sont le reflet de l'attitude intime, vis à vis du capteur, des personnes qui vont le recevoir. L'utilisation de l'énergie solaire implique certaines exigences difficilement contournables: emplacement par rapport aux bâtiments existants, orientation, effet d'ombre, etc... C'est avant même l'implantation du capteur qu'il faut faire preuve de pédagogie.

### §2 ANTICIPER LES POSITIONS DU SOLEIL AU COURS DES SAISONS

Selon la période à laquelle est effectuée l'implantation du capteur, il faut bien anticiper les différentes positions du soleil au cours des saisons et au cours de la journée.

La position de référence du capteur est le midi solaire au jour de l'équinoxe 22 Sept/22 Mars. Ce jour là, le soleil indique la direction du Sud comme tous les jours au midi solaire (du moins pour l'hémisphère Nord), et sa hauteur dans le ciel est égale à  $90^\circ$  moins la latitude du lieu (les latitudes vont de  $0^\circ$  à l'équateur à  $90^\circ$  au pôle)

#### **Le débattement en hauteur**

Au cours de l'année, et par rapport à la position de référence, le soleil, à midi solaire, a un débattement en hauteur de plus ou moins  $23^\circ$  degrés selon la saison, plus  $9^\circ$  pour le pointage horaire, soit  $32^\circ$  de part et d'autre de la position de référence, le maximum étant aux solstices des 24 juin/24 décembre. L'amplitude totale est donc de  $65^\circ$  environ. Si l'on se trouve entre les tropiques, le soleil passe la verticale du lieu, et "bascule" de l'autre côté, il n'est donc pas judicieux d'adosser le capteur à un mur exposé au Sud.

#### **Le débattement Est-Ouest**

De part et d'autre du capteur, vers l'Est et vers l'Ouest, le terrain doit être bien dégagé de tout arbre ou construction susceptible de faire de l'ombre, d'autant plus que l'on peut utiliser le capteur pendant une bonne demi-heure avant et après les heures théoriques de fonctionnement (de 9 à 15 h); le capteur n'a alors pas un très bon rendement, mais cela permet de le mettre en chauffe, ou d'achever une cuisson, ce sont des possibilités dont il ne faut pas se priver.

### § 3 CHERCHER LE NORD

Il existe une multitude de moyens pour s'orienter. La boussole est en théorie le moyen le plus connu, c'est aussi un bon moyen de faire des erreurs, en raison de son imprécision, du champ magnétique terrestre, et des aléas magnétiques locaux.

Les téléphones portables et Internet étant à peu près universellement répartis, on s'en tient ici à une méthode faisant appel à ces moyens.

La Terre tourne sur elle-même autour d'un axe de rotation qui passe par les deux Pôles Nord et Sud. La surface de la terre est quadrillée par les longitudes et les latitudes. Les longitudes sont des lignes "verticales" joignant un pôle à l'autre. Les latitudes sont des lignes "horizontales" parallèles à l'Equateur.

Pour une longitude donnée, il est midi solaire, midi en Temps Solaire Vrai, lorsque cette longitude est "en face" du soleil. C'est le moment où le soleil, dans sa course pour la journée considérée, est au zénith, au plus haut dans le ciel. Pour une longitude donnée, cette hauteur à midi est plus ou moins importante en fonction de la latitude du lieu d'observation, mais cela est sans conséquence pour notre propos immédiat, les latitudes ne sont ici d'aucune utilité.

La longitude de référence est celle qui passe par l'observatoire de Greenwich, près de Londres en Grande Bretagne. Par convention il est 12 heures GMT lorsqu'il est midi solaire à Greenwich. C'est la référence du Temps Universel.

La Terre effectue une rotation de 360 ° en 24 heures, soit 15 degrés par heure, et Un degré en 4 minutes.

Pour un lieu considéré, si l'on connaît sa longitude, alors on sait calculer à quelle heure, exprimée en Temps Universel, il sera midi solaire en ce lieu. Dans le cas d'un lieu situé à l'Ouest de Greenwich il faut rajouter, aux 12 heures du midi solaire de Greenwich, une heure pour chaque tranche de 15° de longitude, et 4 minutes pour chaque degré de longitude. Dans le cas d'un lieu situé à l'Est de Greenwich, il faut faire la soustraction..

Pour connaître la longitude d'un lieu donné, consulter n'importe quel atlas ou carte de géographie, ou un GPS. Pour connaître l'heure en temps universel, consulter [www.greenwichmeantime.com](http://www.greenwichmeantime.com) ou téléphoner à un ami complaisant relié au WWW, et régler une montre sur cette heure.

Lorsque la montre affiche 12 H00, il est midi solaire à Greenwich. Lorsque la montre affiche l'heure calculée ci dessus, alors il est midi solaire au lieu considéré.

L'ombre d'un bâton planté bien verticalement en ce lieu indique, à midi solaire, la direction du Nord (du moins pour l'hémisphère Nord)

**Le chapitre IX est entièrement consacré à la "description de l'ombre portée d'un bâton planté verticalement sur un sol horizontal", afin de fournir une aide à la détermination de l'orientation Est-Ouest**

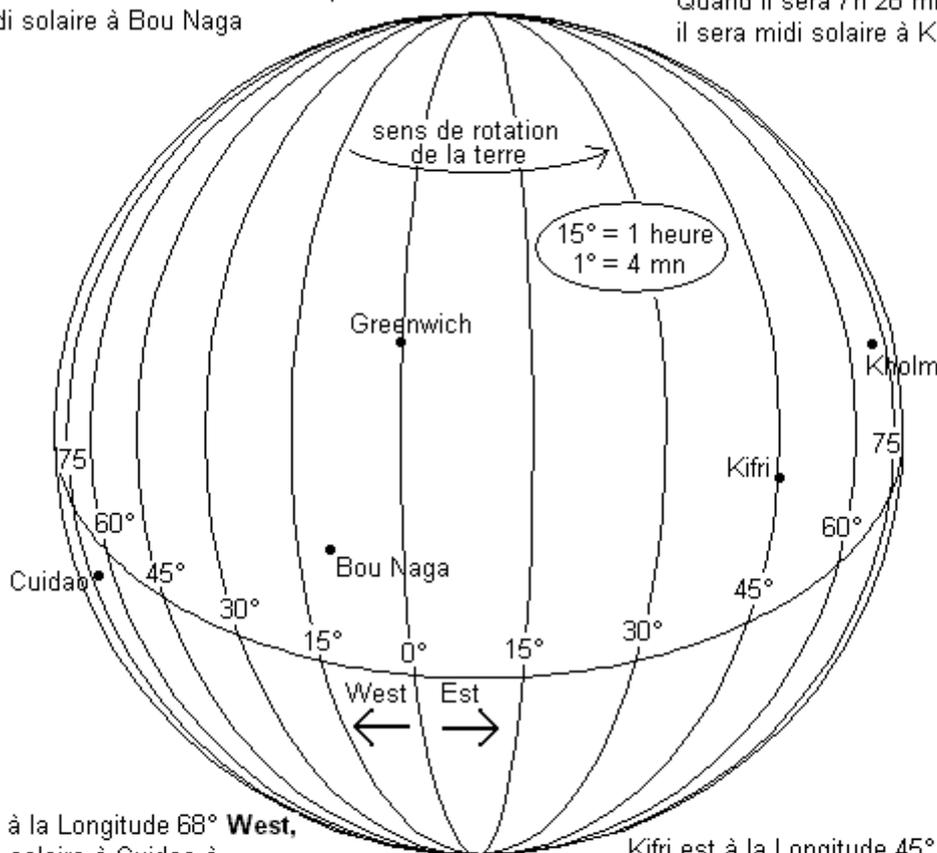
**Le chapitre X est entièrement consacré à la description des différentes "positions du capteur" au cours de l'année et au cours de la journée, afin de pouvoir anticiper sur le débatement maximum du capteur.**

## A LA RECHERCHE DU TEMPS SOLAIRE

Bou Naga est à la Longitude 13° **West**,  
 Il sera midi solaire à Bou Naga à  
 $13 \times 4 = 52$  minutes **plus tard** qu'à  
 Greenwich. Je règle ma montre sur  
[www.greenwichmeantime.com](http://www.greenwichmeantime.com)  
 Quand il sera 12h 52 mn à ma montre,  
 il sera midi solaire à Bou Naga

Kholm est à la Longitude 68° **Est**,  
 Il sera midi solaire à Kholm à  
 $(15 + 15 + 15 + 15) = 4$  heures et  
 $(8 \times 4) = 32$  mn

**plus tôt** qu'à Greenwich.  
 Je règle ma montre sur  
[www.greenwichmeantime.com](http://www.greenwichmeantime.com)  
 Quand il sera 7h 28 mn à ma montre,  
 il sera midi solaire à Kholm



Cuidao est à la Longitude 68° **West**,  
 Il sera midi solaire à Cuidao à  
 $(15 + 15 + 15 + 15) = 4$  heures et  
 $(8 \times 4) = 32$  mn  
**plus tard** qu'à Greenwich.  
 Je règle ma montre sur  
[www.greenwichmeantime.com](http://www.greenwichmeantime.com)  
 Quand il sera 16h 32 mn à ma montre,  
 il sera midi solaire à Cuidao

Kifri est à la Longitude 45° **Est**,  
 Il sera midi solaire à Kifri à  
 $(15 + 15 + 15) = 3$  heures  
**plus tôt** qu'à Greenwich.  
 Je règle ma montre sur  
[www.greenwichmeantime.com](http://www.greenwichmeantime.com)  
 Quand il sera 9h à ma montre,  
 il sera midi solaire à Kifri

GMT (Standard Time)

Thursday, 27 September

6:47:58

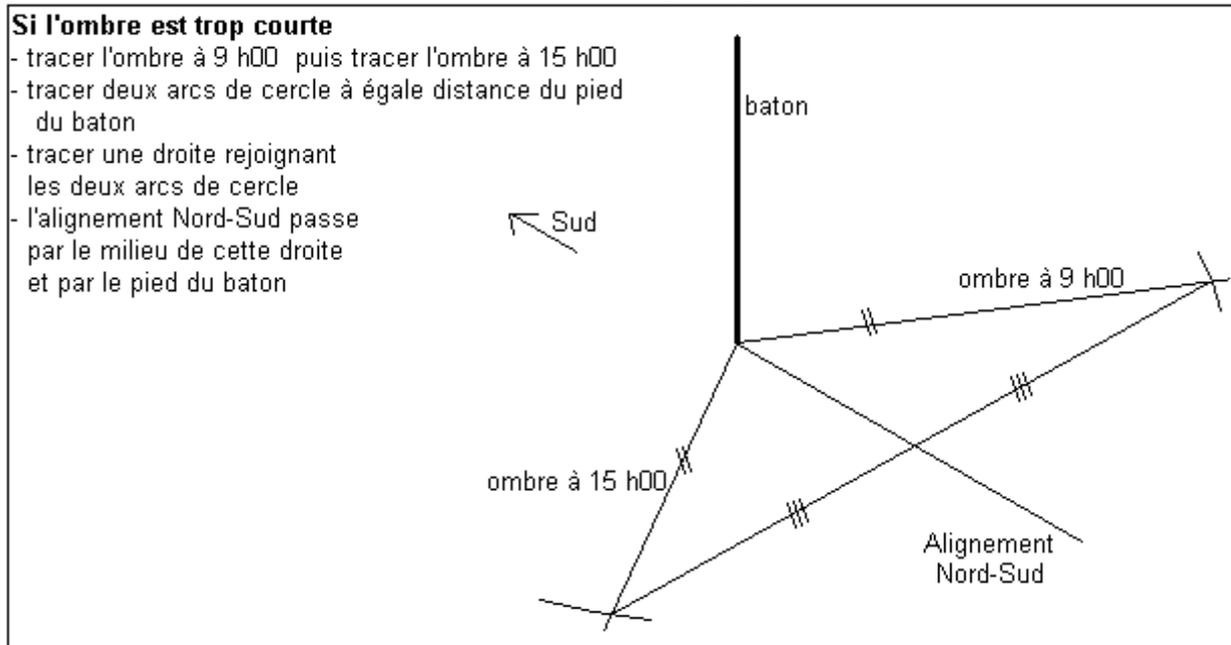
(GMT + 0:00)

[www.greenwichmeantime.com](http://www.greenwichmeantime.com)

### Remarque 1 Si le baton est trop court

C'est à midi que les ombres sont les plus courtes. Lorsque l'on est près des tropiques, l'ombre du baton risque d'être vraiment trop courte. On peut remplacer le baton par une perche fermement fixée à laquelle on suspend une corde lestée. L'ombre de la corde indique le Nord. Si il y a du vent, on peut noyer le lest dans une bassine d'eau pour ralentir le balancement.

Si l'on est entre les tropiques et selon la saison, le soleil de midi est à la verticale, et l'ombre est encore trop courte. On peut alors faire un premier tracé à 9 H00 solaire (lorsque la montre affiche l'heure calculée moins trois heures) et faire un second tracé à 15 H00 solaires. La direction Nord-Sud est la bissectrice de l'angle ainsi tracé. Pour dessiner la bissectrice, tracer avec une ficelle deux arcs de cercle à égale distance du pied du bâton et coupant les deux tracés initiaux, puis tracer une droite entre les deux intersections. La bissectrice passe par le milieu de cette droite.



### Remarque 2 heure légale et heure solaire vraie.

En un lieu considéré, l'heure légale est parfois très éloignée de l'heure solaire. En raison des changements d'heure d'été/heure d'hiver, le décalage peut être supérieur à deux heures, mais peu importe en l'occurrence.

### Remarque 3 Il n'est pas toujours midi à midi...

Pour un lieu donné, l'heure à laquelle le soleil est au zénith n'est pas la même tous les jours, elle varie au cours de l'année de plus 10 minutes à moins 20 minutes environ, selon une courbe calculée par l'équation des temps. Le phénomène est rapidement évoqué au chap. II section IV..., il est très bien expliqué dans Wikipedia, et il est bien connu des cadraniers (qui fabriquent les cadrans solaires). L'heure GMT n'est qu'une moyenne, comme l'indique son nom Greenwich *Mean Time*, temps *moyen* de Greenwich.

Il s'ensuit pour nous plusieurs conséquences

a) une fois le capteur installé, c'est un véritable cadran solaire. Notamment, à midi, l'ombre d'un montant Sud de la poutre vient parfaitement s'aligner avec un montant Nord. Mais cela n'est vrai que quelques jours par an. Un non alignement ne signifie pas que le capteur a été mal implanté, il n'est que de le savoir.

- b) On peut toujours tenter de tenir compte de la courbe de l'équation des temps, mais on a à peu près une chance sur deux de se tromper et d'aggraver la situation. (que le navigateur qui ne s'est jamais trompé en faisant le point ou en effectuant des calculs de marée jette la première pierre.)
- c) il est inutile de chercher une précision extrême au positionnement du capteur, qui sera toujours orienté un peu plus vers l'Est ou un peu plus vers l'Ouest, il fonctionnera donc, globalement, très légèrement mieux le matin, ou légèrement mieux l'après midi, mais compte tenu de la multitude de paramètres régissant le fonctionnement d'un capteur, c'est non mesurable et sans importance. En l'occurrence, il est préférable faire une vérification supplémentaire générale de l'orientation, plutôt que de s'enliser dans les détails.

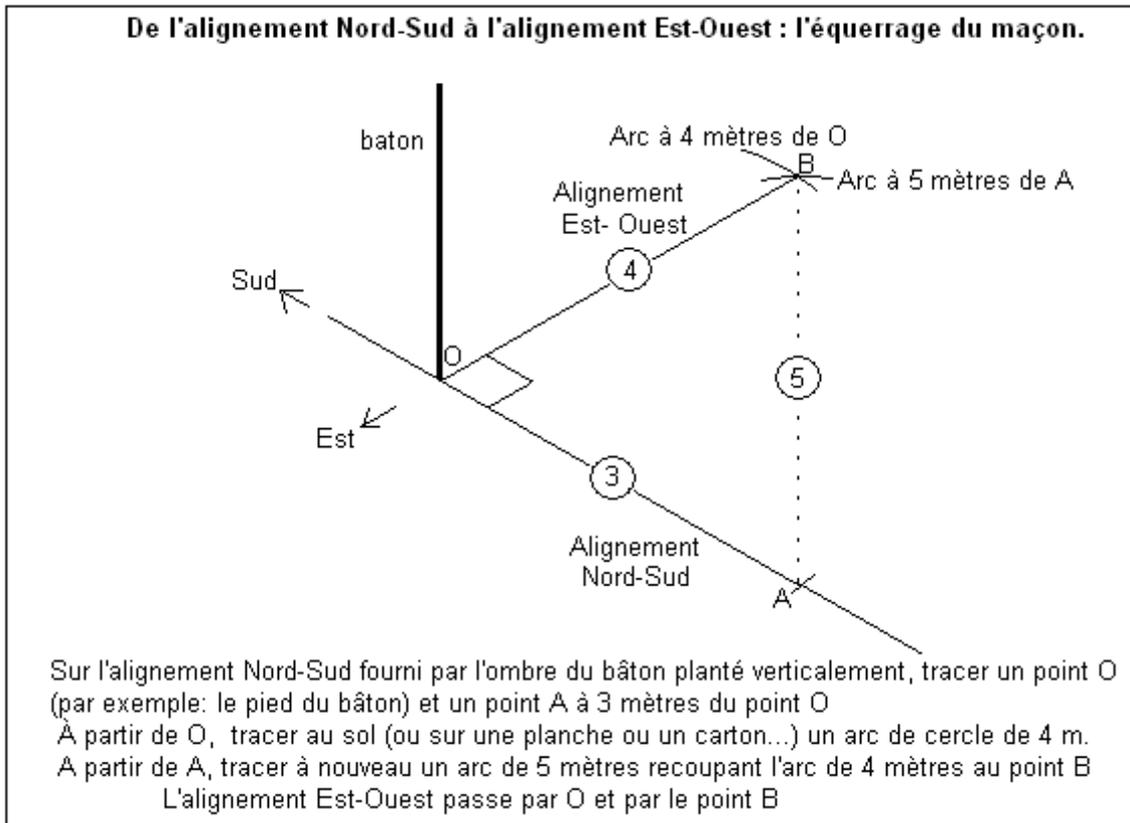
#### **§ 4 TRACER L' ALIGNEMENT EST-OUEST et VERIFIER L'ABSENCE D'EFFET D'OMBRE**

La ligne Est Ouest est perpendiculaire à la ligne Nord Sud. Il convient donc de tracer un angle droit, selon la méthode des maçons "3 / 4 / 5" (ou bien "1,5 / 2 / 2,5"), c'est à dire selon le théorème de Pythagore.

Tendre un cordeau sur l'alignement Nord/Sud. Sur ce cordeau, tracer un point O (par exemple: le pied du baton), puis tracer un point A à 3 mètres de O. À partir de O, tracer au sol (ou sur une planche ou un carton...) un arc de cercle de 4 m. A partir de A, tracer à nouveau un arc de 5 mètres recoupant l'arc de 4 mètres au point B

L'alignement Est-Ouest passe par O et par le point B

C'est sur cette ligne Est-Ouest que seront installés les deux pieux supportant l'axe autour duquel pivotera le capteur. On peut translater la ligne en veillant à ce qu'elle reste bien parallèle à la ligne d'origine.



### § 5 MISE EN PLACE DES DEUX FOURREAUX (Installation permanente)

Il s'agit de planter dans le sol, sur la ligne Est-Ouest, deux fourreaux en tube 50 x 60 L = 1,15 m qui recevront chacun une coulisse en tube 40 x 49. Les têtes des coulisses recevront à leur tour le tube axe horizontal autour duquel pivote le capteur. La hauteur des coulisses est réglée à volonté, en fonction de la saison.

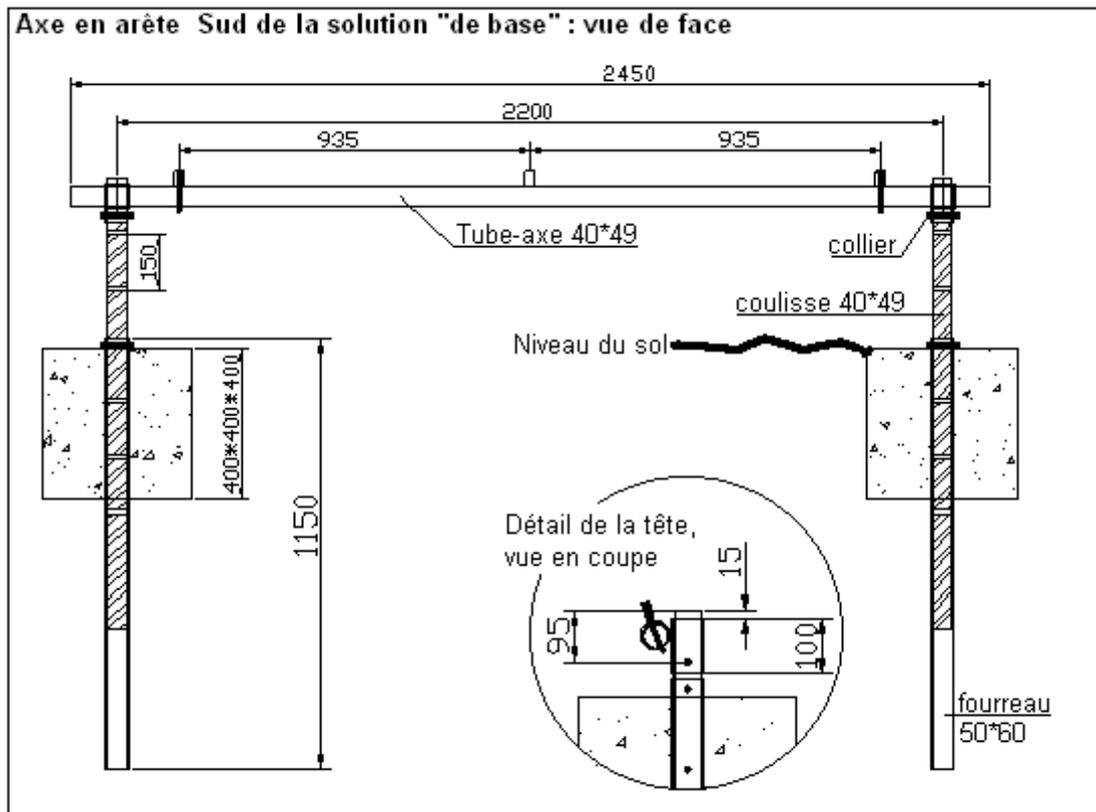
Implanter les deux fourreaux sur la ligne Est-Ouest, entraxe 2,20 mètres

Amorcer les trous à la barre à mine et à la masse, puis enfoncer un tube 40x49 à la masse pour faire un avant trou. Le tube se charge en terre, il faut le ressortir fréquemment, tous les 6 à 10 cm pour le vider en le frappant sur une pierre. Enfoncer enfin le fourreau Ø 50 x 60 entièrement dans le sol. Les percements en tête de fourreau sur lesquels sera brochée la coulisse Ø 49 mm. devront toutefois rester accessibles

Veiller

- à recouper la tête des fourreaux si elles sont trop déformées par les coups de masse
- à ce que les deux percements en tête des des fourreaux soient bien de niveau, peu importe le dénivelé du terrain, ou la hauteur exacte des têtes

S'agissant d'une installation permanente il est préférable de bloquer les têtes de fourreau. Une fois les fourreaux en place, terrasser autour des têtes et couler à même le bon sol des dés en béton dimensions 40 x 40 x 40 cm environ, que l'on peut armer avec un ou deux fers à béton Ø 6 mm ou moins formés en cercle. Un béton assez maigre est suffisant (30 kg de ciment, une très grande brouettée de gravillons, et une brouettée de sable) à condition d'effectuer soigneusement le mélange.



On peut aussi creuser le sol à l'aide d'une tarière, disponible chez les loueurs de matériel de bâtiment, chez les loueurs de matériel de bricolage (pour la pose des poteaux de clôture), dans les jardineries (pour les plantations), et sur les sites commerciaux spécialisés dans les loisirs d'équitation (pour les poteaux de clôture). Le diamètre minimum des tarières étant de l'ordre de 80 mm, il faut combler l'espace entre le sol et le tube avec un mortier, confectionné avec un seau de ciment pour 2 ou 3 seaux de sable. Selon la nature du sable ou même de la terre sablonneuse disponible, le mortier peut être très sec, ou liquide. Dans ce dernier cas, boucher le bas du tube en l'entourant d'un chiffon.

Frapper le tube à petits coups de marteau pour vibrer le mortier et le faire descendre.

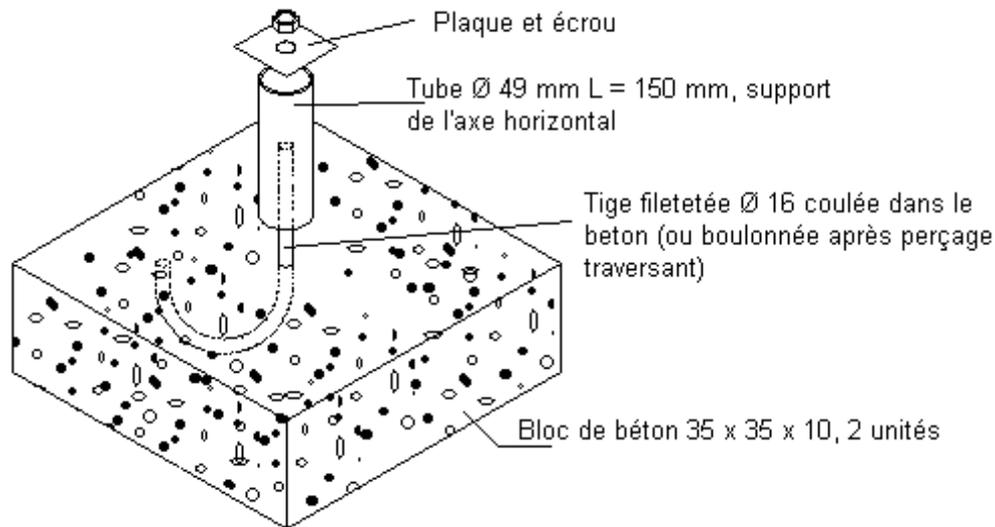
Le calfeutrement au mortier ne remplace pas le bloc de béton en tête des fourreaux, qui reste souhaitable.



## § 6 MISE EN PLACE DES DEUX COULISSES (Installation foraine)

Puisqu'il s'agit d'une installation temporaire, il sera inutile de régler la hauteur du tube-axe au fil des saisons. Les coulisses sont donc fixes et implantées directement dans le sol, entraxe 2,20 m, à une profondeur de l'ordre de 70 cm à 1,00 m. Veiller à ce que les coulisses soient suffisamment longues compte tenu de la latitude et de la saison, et à ce que le haut des coulisses soit quelque peu de niveau.

**Pour une installation très temporaire**, par exemple dans le cas d'une exposition pour un ou deux jours sur un sol bétonné ou bitumé, et pour peu que la latitude et la saison s'y prêtent, on peut confectionner deux blocs de béton légèrement armé, dimensions 35 x 35 x 10 cm sur lesquels on fixe, par des tiges filetées, deux chutes de tube Ø 49 mm longueur 12 à 15 cm, et l'on se retrouve dans le cas de figure précédent.

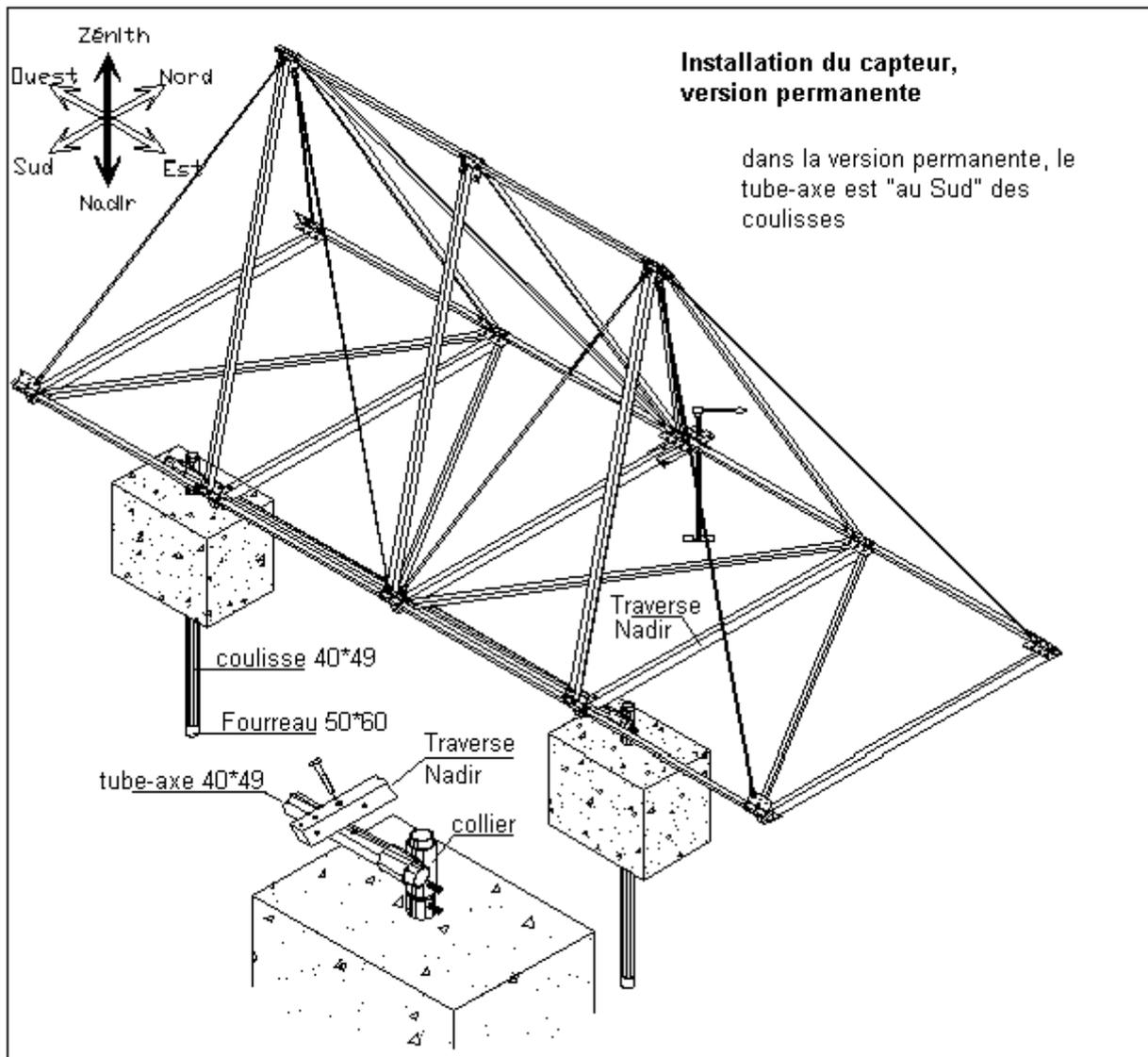


On peut aussi utiliser des demi-bordures de trottoir, dimensions 50 x 20 x 12 cm. Percer les bordures de part en part au Ø 16 mm (pour percer plus facilement le béton: poser les bordures sur chant, et percer horizontalement), installer des tiges filetées traversantes longueur 12 + 15 + 2 cm, sur lesquelles sont boulonnées les tiges filetées. Il est préférable d'orienter les bordures dans le sens Nord Sud, en raison de la poussée éventuellement exercée par le dispositif de pointage. Il est souhaitable que les petits tubes Ø 49 aient été débités sur un tour de façon à avoir des coupes d'équerre.

### § 7 L'AXE HORIZONTAL (installation permanente)

Les deux coulisses sont percées de façon identique, et sont à brocher dans les percements en tête des fourreaux. Pré-estimer la position des coulisses et de l'axe en fonction de la latitude et de la saison, cf le Chapitre III Section VI § 5. Il est peu probable que l'on trouve immédiatement la position optimum, mais ce n'est pas bien grave, il sera toujours possible de modifier la position de l'axe.

La liaison coulisses/tube axe s'effectue avec des colliers type colliers d'échaffaudage 40x49 / 40x49. Dans le cas d'une installation permanente, installer l'axe "au sud des coulisses" (pour l'hémisphère Nord). Installer l'axe de niveau en réglant la hauteur d'un des colliers sur sa coulisse. Bloquer modérément le collier sur la coulisse sans le déformer, mais **NE PAS BLOQUER** les colliers sur l'axe, car c'est à cet endroit que le capteur va pivoter.



Ultérieurement, les réglages saisonniers s'effectueront en modifiant la hauteur des coulisses dans les fourreaux.

### § 8 L'AXE HORIZONTAL (installation foraine)

On utilise les mêmes colliers d'échaffaudage. Pré-estimer la hauteur à la quelle il conviendrait d'installer l'axe, installer les colliers sur les deux coulisses, de niveau, et bloquer modérément sans déformer le collier. Tant qu'à manipuler un niveau, faire quelques repères de niveau sur les deux pieux, à toutes fins utiles.

Dans le cas d'une installation foraine, installer l'axe, "au nord des coulisses" NE PAS BLOQUER les colliers sur l'axe, pour permettre la rotation du capteur.

Pour faciliter le colisage du capteur, il est possible que l'axe  $\varnothing 49$  mm soit en deux parties, à relier par un fourreau  $\varnothing 60$  mm. Par sécurité, brocher l'axe et le fourreau avec des boulons ou de la tige filetée  $\varnothing 10$  mm. Par sécurité encore, l'axe n'étant pas serré dans les colliers, installer à ses extrémités deux boulons ou tiges filetées  $\varnothing 10$  mm pour empêcher une éventuelle translation et éviter que l'axe ne s'échappe d'un collier.

## **§ 9 LA CHARPENTE**

### **A) TRIER LES TUBES**

- les tubes de la partie centrale, à disposer au Nord de l'axe (pour l'hémisphère Nord)
  - trois longerons identiques, Nord, Sud, et Zénith
  - trois traverses Nadir
  - trois montants Nord
  - trois montants Sud
  - deux diagonales Nadir
  - deux diagonales Nord
  - deux diagonales Sud
  
- les tubes de l'élançement Ouest, à disposer à l'Ouest
  - deux petits longerons identiques, Nord et Sud
  - une traverse Nadir
  - une diagonale Nadir
  - une diagonale Nord
  - une diagonale Sud
  
- les tubes de l'élançement Est, à disposer à l'Est
- idem

### **B) DISTRIBUER LES PLATINES**

- Pour la partie centrale
  - 3 platines Nadir du côté Sud (liaisons Traverses Nadir/Longeron Sud), platines plates
  - 3 platines Nadir du côté Nord (Liaisons Traverses Nadir/Longeron Nord), platines plates
  - 3 platines Sud du côté Sud (Liaisons Montants Sud / Longeron Sud), pliées à 40°
  - 3 platines Nord du côté Nord (Liaisons Montants Nord/ Longeron Nord), pliées à 6°
  - 6 platines Zénith (Liaisons Montants Nord et Montants Sud / Longeron Zénith, pli à 23°
- Pour la l'élançement Ouest
  - 1 platine Nadir côté Sud
  - 1 platine Nadir côté Nord
  - 1 platine Sud
  - 1 Platine Nord
- Pour l'élançement Est
- idem

### **C) MONTER LA PARTIE CENTRALE**

Effectuer le montage à proximité de l'axe

**NE PAS SERRER EXAGEREMENT LES BOULONS POUR NE PAS ECRASER LES TUBES.**

Pointe Zénith



DETAIL DES  
ASSEMBLAGES

Pointe Sud

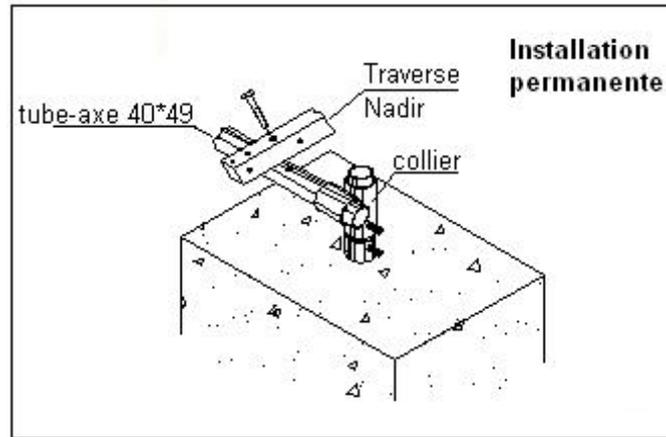


Pointe Nord

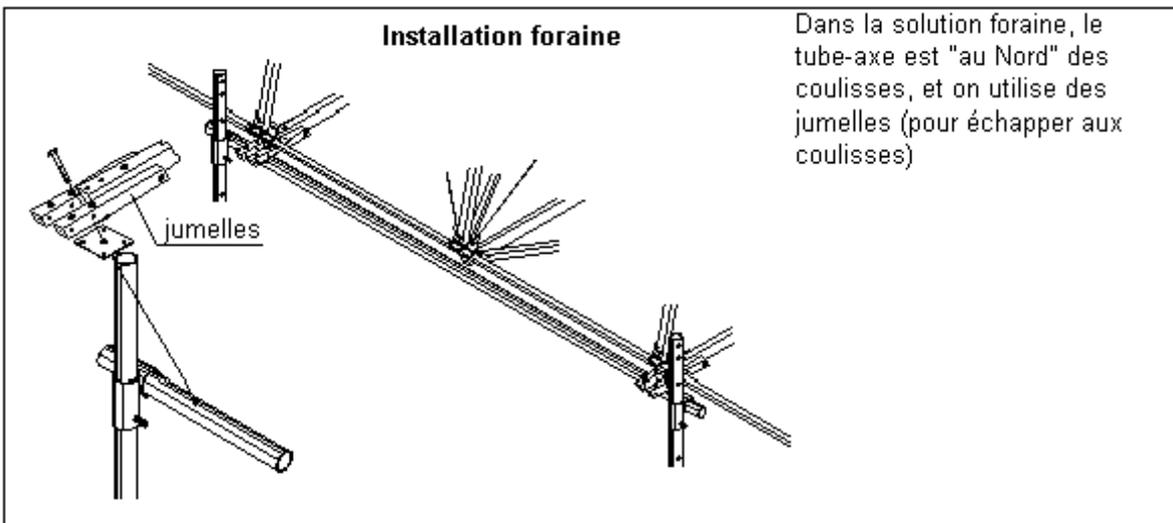


## D) INSTALLER LA PARTIE CENTRALE SUR L'AXE

- **dans le cas d'une installation permanente**, poser directement les traverses Nadir sur l'axe; boulons Ø 10 mm-



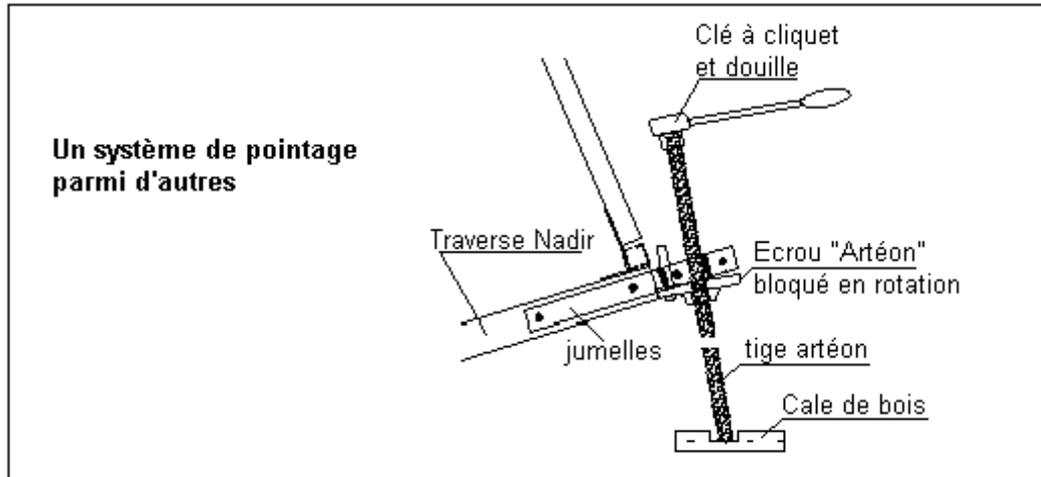
- **dans le cas d'une installation foraine**, installer les jumelles en tubes 25x25 en prolongement des traverses Nadir, et les petites platines en tôle



-**Dans les deux cas**, vérifier l'horizontalité du longeron "Sud", et rectifier si besoin la hauteur d'un des deux colliers. Utiliser un niveau à bulle, à placer en différents endroits sur le longeron Sud. Un niveau à bulle étant rarement parfait, on effectue un retournement du niveau sur lui-même (gauche/droite) et on vérifie la position de la bulle. Si le niveau est parfait, la bulle doit être parfaitement centrée par rapport aux repères de la fiole dans les deux cas. Si le niveau n'est pas parfait (ce qui n'est pas bien grave), il faut faire en sorte que l'écart de la position de la bulle par rapport aux repères de la fiole soit symétrique tant "à gauche" que "à droite".

### E) INSTALLER LE SYSTEME DE POINTAGE

Installer les deux jumelles en tube 25 x25 en prolongement de la traverse Nadir centrale, puis installer la vis de manoeuvre



### F) MONTER LES DEUX ELANCEMENTS

#### **§ 10 MONTER LE CPC**

Les capots du CPC se brochent avec des grosses pointes directement sur les montants Nord et Sud

#### **§ 11 INSTALLER LE BLOC D'ALIMENTATION ET LA PURGE "OUEST"**

Les montants Nord sont garnis de percements espacés de 20 cm. On y fixe le bloc d'alimentation à une hauteur convenable pour l'ergonomie et pour le raccordement avec le bouilleur.

#### **§ 12 MONTER LE BOUILLEUR**

Installer la soupape

Introduire le bouilleur dans le CPC, par exemple par l'extrémité Est du CPC.. Prendre soin du revêtement du bouilleur et des tôles du CPC.

Lorsque le bouilleur est à une quinzaine de cm de sa position définitive, installer le tube de cuivre d'alimentation et le tube de cuivre de la purge Ouest.

Continuer à translater le bouilleur vers l'Ouest dans sa position définitive

Raccorder le bloc d'alimentation et raccorder la purge Ouest.

Installer le thermomètre, sans oublier les quelques gouttes d'huile dans le doigt de gant. Eviter de répandre de l'huile sur le bouilleur, elle partirait en fumée à la première occasion, donnant l'impression que le CPC prend feu (ce n'est pas bien grave, mais cela fait inutilement perdre une journée...)

Raccorder le tuyau de prise de vapeur

#### **§ 13 ACHEVER LE MONTAGE DU CPC**

Installer soigneusement l'isolation en laine de roche, sans trop tasser mais en remplissant bien tous le volume du CPC.

Glisser la coiffe supérieure par une extrémité.

Fixer les plaques de fermeture Ouest et Est avec des vis à tôle.

Mettre la bâche de protection.

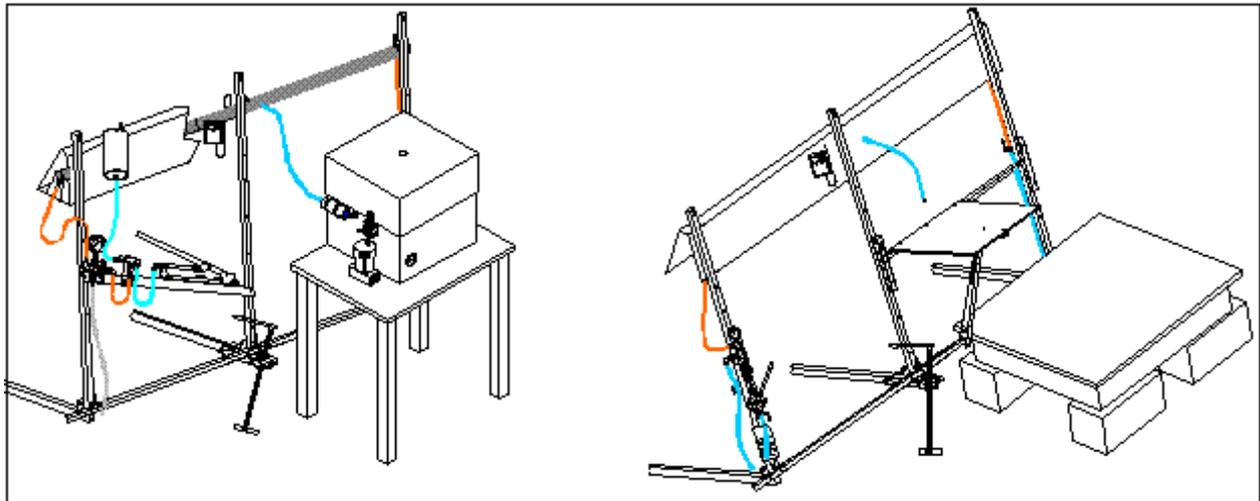
## § 14 SUPPORT DU RECIPIENT DE CUISSON ET L'ABRI DU CONDUCTEUR

Le récipient de cuisson doit se trouver immédiatement contre le capteur, chaque décimètre de tuyau de vapeur est une source de perte thermique.

A) UNE TABLE dimension 70 x 50 cm, apte à recevoir le caisson isolant et le dispositif de recueil des condensats, est la meilleure solution

### B) UNE ESTRADE

Le débattement du capteur au cours de l'année est de  $32^\circ$  autour de sa position de référence (à midi solaire au jour de l'équinoxe), soit un débattement de  $65^\circ$  au total. Au lieu de rallonger le tuyau de vapeur, il est préférable de construire une estrade suffisamment grande pour recevoir la table et le conducteur de l'installation. Une estrade réglable en hauteur est la meilleure solution, sans oublier un petit escabeau ergonomique en raison des manipulations de récipients chauds.

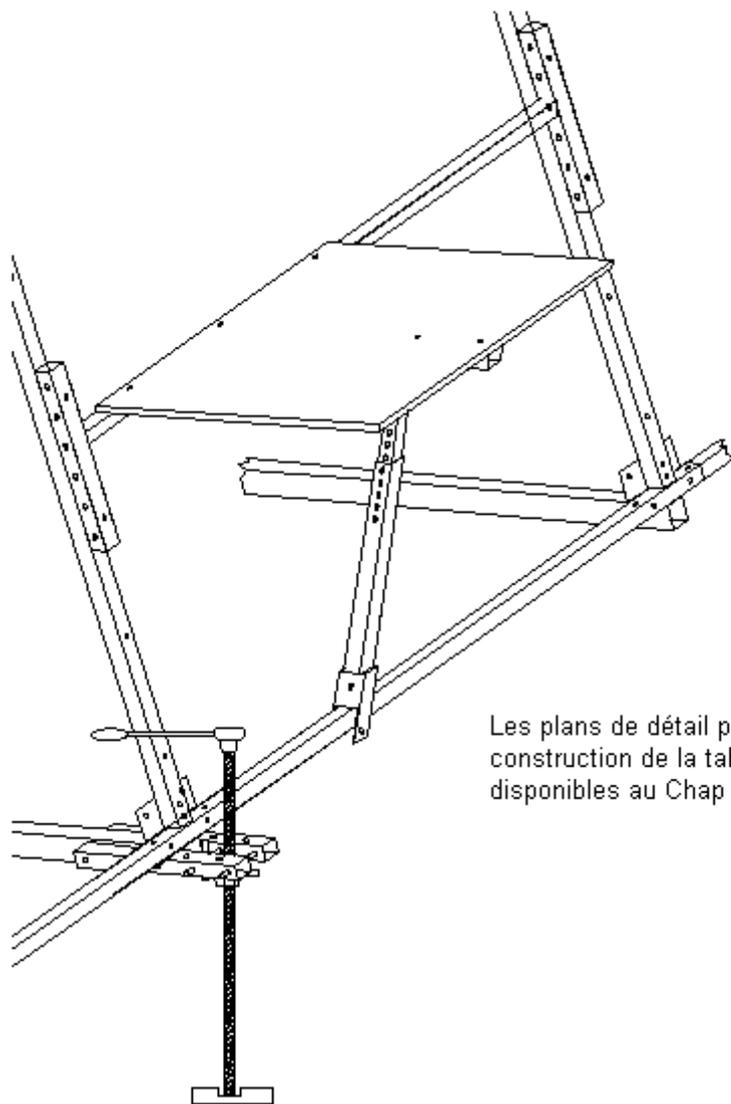


### C) UNE TABLETTE FIXEE A LA CHARPENTE DU CAPTEUR

On peut aussi installer le récipient sur une tablette fixée à la charpente du capteur, dont il faut modifier l'inclinaison au fil des saisons. Voir schéma ci dessous

### D) UN ABRI POUR LE CONDUCTEUR

C'est bien sûr indispensable. La diligence avec laquelle il est construit, ainsi que la qualité de sa construction, sont le reflet de degré d'acceptation de l'installation par le milieu social dans lequel il est implanté.



Les plans de détail pour la construction de la tablette sont disponibles au Chap V section V § E

## SECTION II CONDUITE DE L'INSTALLATION

Le capteur fonctionne exclusivement avec le rayonnement solaire direct, lorsque celui ci atteint un seuil de 825 à 850 Watt/m<sup>2</sup> d'ensoleillement direct, c'est à dire par un beau temps bien établi et sans nuage

### § 1 A QUELLE HEURE COMMENCER LA JOURNEE ?

Le capteur est conçu pour fonctionner de 9h00 à 15h00 solaires sans interruption. La meilleure période se situe autour de midi, entre 11h00 et 13H00, quand toute l'installation est chaude et que le rayonnement solaire est proche de la perpendiculaire au miroir.

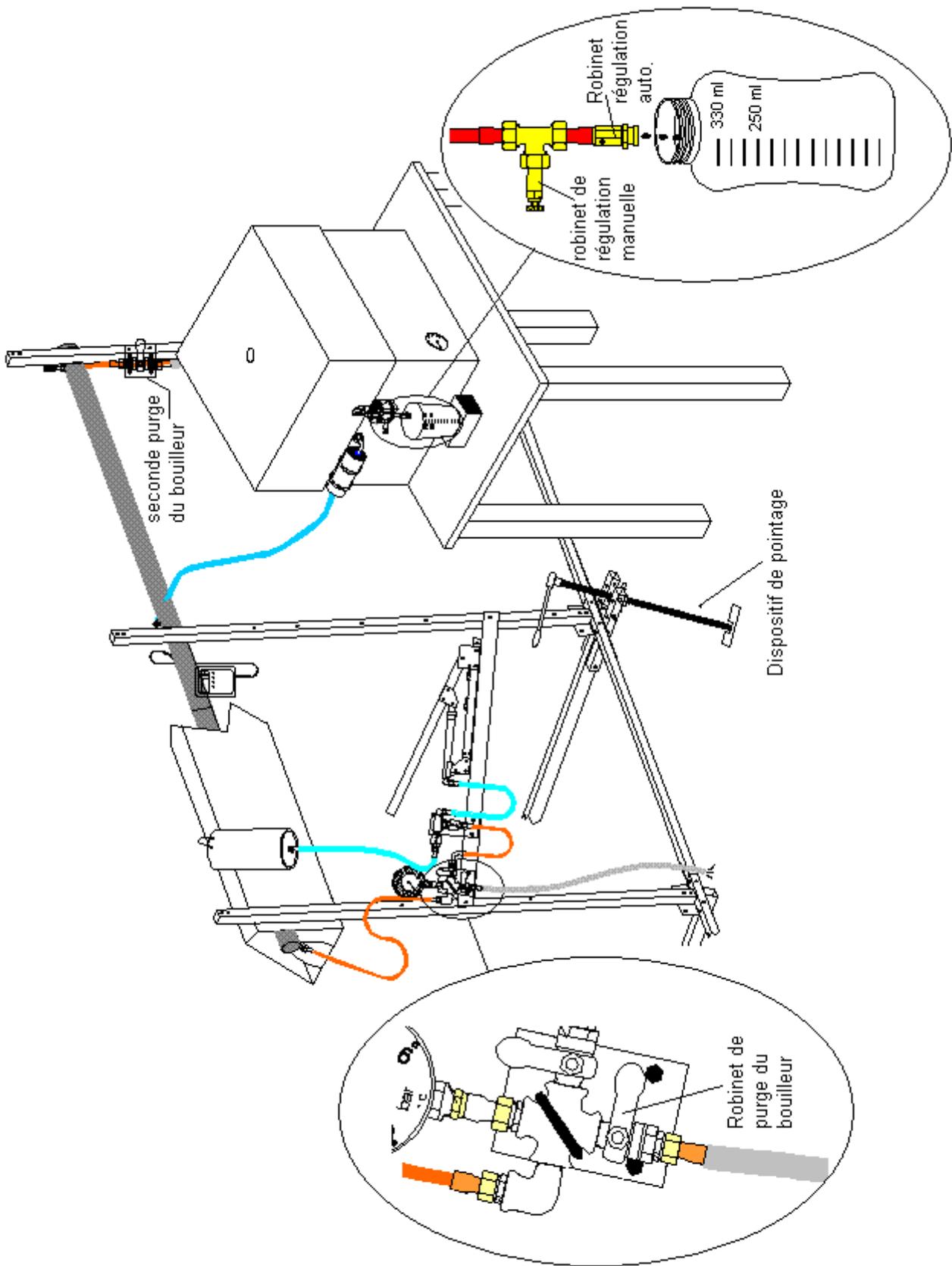
Mais il est possible de commencer la mise en chauffe une demi heure avant l'heure "officielle", et d'achever une cuisson après 15 H00.

Un habile conducteur mettra un point d'honneur à ce que son thermomètre affiche 100° C à 9h00 solaires (non obstant la question de l'équation des temps...)

Les récipients de cuisson et ou de stérilisation doivent être prêts suffisamment à l'avance, pour assurer à l'installation un fonctionnement continu. Comme toute machine thermique, l'installation solaire préfère travailler régulièrement.

### §2 LES MANIPULATIONS EN DEBUT DE JOURNEE

- Enlever la bache de protection du CPC.
- Installer le récipient de cuisson dans le caisson isolant, sans oublier une cuillère d'huile (alimentaire) répartie sur la plaque vapeur, pour favoriser le transfert thermique. Au sujet du caisson isolant, du récipient de cuisson, etc... voir la seconde partie de la documentation "Utilisation de la vapeur"
- Fermer les deux purges du bouilleur
- Ouvrir le petit robinet de régulation manuel en sortie du dispositif d'utilisation, si ce n'est déjà fait
- Alimenter le bouilleur avec 1,5 litre d'eau. Sous le simple effet du pompage, la pression de l'air augmente dans le bouilleur et chasse les condensats de la veille restés dans la plaque à vapeur.
- Installer un premier miroir, et vérifier le pointage du capteur. La position du capteur à 9 h00 est la même qu'à 15 H00, donc a priori elle est bonne si le capteur a fonctionné le jour précédent..
- Installer les autres miroirs; laisser la température monter
- Repointer le capteur.si besoin.
- Sous le simple effet de la chaleur, l'air se dilate dans le bouilleur et chasse les derniers condensats de la veille accumulés dans la plaque à vapeur, mais il ne s'agit pas encore d'une mise sous pression due à la production de vapeur.
- Lorsque la température de l'eau atteint 100° C dans le bouilleur, la production de vapeur commence, et sous une très faible pression non mesurable (égale aux pertes de charge dans le tuyau de vapeur et dans la plaque vapeur), elle commence à chauffer la plaque vapeur. Le robinet de régulation manuel, toujours ouvert, laisse échapper les condensats. La plaque à vapeur monte en température, et commence à chauffer le récipient
- Lorsque la plaque à vapeur atteint 100° C, elle absorbe beaucoup moins bien toute la chaleur apportée par la vapeur (il y a équilibre thermique). De la vapeur se mêle aux condensats, il est temps de fermer la purge pour laisser l'installation monter en pression, afin de disposer d'un niveau de température plus élevé que 100° C



### § 3 LE SUIVI DU SOLEIL

Le conducteur repointe le capteur autant que besoin. Les repointages sont

- plus fréquents le matin et le soir, et beaucoup moins fréquents aux environs de midi
- plus fréquents aux solstices, et moins fréquents aux équinoxes.

L'ordre d'idée est dix à douze repointages par jour, presque deux fois plus au 22 Dec et au 24 Juin, et aucun repointage au 22 Mars et au 22 Sept.. L'amplitude quotidienne de variation angulaire du capteur est, au maximum, de 8° aux solstices. Avec un dispositif tel que celui illustré ci dessus, un repointage consiste à manoeuvrer la tige filetée sur deux tours environ, à l'aide d'une clé à cliquet. Pour effectuer son repointage, le conducteur observe que le ruban solaire réfléchi par le grand miroir entre bien dans l'ouverture du Concentrateur. Le Concentrateur Parabolique Composé de R. Winston joue le rôle d'un entonnoir, c'est lui qui permet une conduite manuelle du capteur.

Le conducteur n'a que faire des considérations astronomiques, son geste est analogue à celui d'un éclairagiste de théâtre qui dirige son projecteur de poursuite sur un acteur.

### § 4 LA TRANSLATION DES MIROIRS

Supposons que le grand miroir recouvre la totalité de la longueur de la structure du capteur. A chaque heure de la journée, seule une partie du miroir serait utile: la partie Est au matin, la partie centrale vers le milieu de la journée, et la partie Ouest le soir. La longueur utile du miroir, à un instant donné, n'est jamais supérieure à la longueur du bouilleur.

Dans le cas d'un bouilleur de 1,80 mètre de long, on peut se contenter d'une longueur totale de 2,40 mètres de miroirs (soit: quatre éléments de 0,60 m), que le conducteur translate de temps à autre en les faisant glisser sur les pannes. C'est ici la solution qui a été retenue, mais on peut aussi bien préférer la première. C'est absolument sans incidence sur le fonctionnement du capteur.

### § 5 L'ALIMENTATION EN EAU FRAICHE

Le volume de la chaudière est de 2,5 litres, sa capacité utile est de 1,5 litre environ, car il est nécessaire de disposer d'un "ciel de vapeur" dans le bouilleur, afin d'éviter des entrainements d'eau dans le dispositif d'utilisation de la vapeur. Un entrainement d'eau n'est en rien dommageable pour l'installation, mais il n'apporte rien à son bon fonctionnement.

Sur une base de 0,250 kg de condensats par quart d'heure, le conducteur dispose donc d'une heure et demie d'autonomie, ce qui lui permet d'effectuer une séance moyenne de cuisson ou de stérilisation. Mais, au cours d'une séance de cuisson ou de stérilisation, les besoins en énergie thermique ne sont pas constants, il faut distinguer deux phases

- la montée en température, depuis la température ambiante jusqu'à 100 ou 121° C, qui nécessite un maximum d'énergie pour qu'elle ne soit pas démesurément longue. C'est là que le petit capteur de 2 m<sup>2</sup> avoue sa faible puissance (mais on sait en construire des plus grands, il n'est que de rajouter des m<sup>2</sup> de miroirs)

- le maintien en température, où il suffit d'un apport d'énergie équivalent aux pertes thermiques. Du fait de l'isolation du récipient le maintien en température nécessite beaucoup moins d'énergie que dans le cas d'un récipient à l'air libre. Le petit capteur de 2m<sup>2</sup> qui était sous- puissant devient sur puissant, la pression monte, de la vapeur s'échappe par la soupape de régulation ou bien l'ébullition

devient violente ou bien la pression monte excessivement dans le stérilisateur. (qui est muni, comme un autocuiseur, de deux soupapes)

La solution de facilité est alors de laisser le mélange de vapeur et de condensats s'échapper par la purge manuelle et/ou automatique.

La solution intelligente consiste à charger la chaudière en eau fraîche autant que besoin pour diminuer la pression, et être prêt pour la montée en température de la séance suivante.

Le conducteur du capteur doit charger sa chaudière en eau fraîche à bon escient, comme le mécanicien de locomotive à vapeur qui profite de descendre une pente pour charger sa chaudière et la mettre en pression avant d'aborder la prochaine rampe.

Laisser de la vapeur s'achapper par les organes de régulation (robinet manuel et soupape), c'est gaspiller de l'énergie thermique si chèrement conquise.

Ceci dit, le conducteur a toujours et à tout moment la possibilité introduire de l'eau fraîche dans le bouilleur.

## **§ 6 A QUELLES TEMPERATURE/PRESSION FAUT-IL TRAVAILLER ?**

1- Il existe une relation rigoureuse entre la pression de la vapeur et sa température. Si l'on dispose d'un manomètre, le thermomètre n'est pas nécessaire, sauf lors des premières utilisations de l'installation afin de mieux appréhender son fonctionnement

2- on constate qu'une différence de température de l'ordre de 20 à 30 ° C entre la vapeur et le contenu du récipient de cuisson est suffisante (ce fut la divine surprise lors des premiers essais de la plaque à vapeur)

a) s'il s'agit d'une cuisson à l'eau ou à la vapeur à pression atmosphérique du type "cuit vapeur", la température à l'intérieur du récipient de cuisson ne dépassera jamais 100° C (au delà, l'eau se transforme en vapeur, mais sa température n'augmente pas, même en utilisant une flamme à 1500° C). Il est donc suffisant de disposer de vapeur à 120 ou 130°C .

b) s'il s'agit d'une stérilisation médicale à 121° C dans un autoclave, il est suffisant de disposer de vapeur à 140 ou 150° C.

3- Dans toute installation thermique, les pertes sont d'autant plus importantes que sa température de fonctionnement est élevée. Il est donc nuisible de disposer de vapeur à plus de 130 ou 150° C (les quelques centaines de degrés du feu de bois, ou les 1500° de la flamme du gaz utilisés pour la cuisson alimentaire sont une gabegie à la mesure des pertes thermiques engendrées. Mais... c'est une habitude)

## **§ 7 COMMENT REGULER LA PRESSION / TEMPERATURE ?**

Le conducteur dispose de deux moyens pour réguler la pression / température

- le robinet de régulation manuelle, qui nécessite une présence à peu près constante

- le robinet de régulation automatique, qui permet une surveillance beaucoup plus souple.

L'utilisateur a le choix. Mais s'il choisit la purge manuelle, il faut quand même veiller à ce que la purge automatique soit réglée à 152° C / 4 bar au maximum, afin d'éviter un échappement intempestif par la soupape de sécurité noyée dans l'isolation.

En régime de croisière, les condensats s'écoulent au goutte à goutte, environ une goutte à la seconde.

## **§ 8 ET SI LA PRESSION MONTE TROP ?**

Quelle chance que de disposer d'énergie en abondance !

Avec un peu d'habitude, le conducteur et les autres personnes gravitant autour de l'installation sauront s'organiser et utiliser au mieux l'énergie solaire en mettant à profit les heures autour du midi solaire pour les opérations de cuisson les plus gourmandes en énergie, et les heures en fin de journée pour des cuissons type braisage.

## **§ 9 ET S'IL N'Y A PLUS DE PRESSION ?**

C'est peut être parce que le conducteur n'a pas repointé sa machine depuis quelque temps, et que le flux solaire est en train de dilater les tôles du CPC.

Mais c'est peut être aussi parce que le conducteur n'a pas chargé à temps sa chaudière qui se retrouve à sec, avec le thermomètre (s'il y en a un) qui grimpe et un manomètre qui descend. Une solution est alors de pomper immédiatement, discrètement et doucement, de l'eau fraîche. Il s'ensuit une vaporisation assez violente et des craquements dans le bouilleur. La solution élégante est de dépointer le capteur pendant quelques minutes (vers le Sud, pour ne pas risquer de fondre les tuyaux souples avec le rayonnement solaire concentré), pour laisser le bouilleur se refroidir un peu. En tout état de cause, le choc thermique est sans aucune mesure avec les explosions mortelles de chaudières industrielles chauffées au rouge et intempestivement rechargées en eau.

## **§ 10 EN FIN DE CUISSON**

En fin de cuisson, enlever le récipient du caisson isolant, et s'il y a du soleil, introduire immédiatement le récipient suivant qui doit avoir été préparé à l'avance.

## **§ 11 EN FIN DE JOURNEE**

Afin d'expulser autant que faire se peut les impuretés qui s'accumulent inévitablement dans le bouilleur, il est souhaitable en fin de journée de garder un peu de pression afin de le vidanger en ouvrant alternativement l'un des deux robinets de purge du bouilleur.

En fin de circuit d'utilisation de la vapeur, il est souhaitable également d'ouvrir le robinet de régulation manuelle, et/ou de régulation automatique dans lesquels peuvent également s'accumuler des impuretés.

En fin de journée, laisser le robinet de régulation manuelle en position ouverte, prêt pour le lendemain.

Ramasser les miroirs dans leur caisse, et rouler la caisse à l'abri.

Remettre la bâche sur le CPC

## SECTION III -LES PERFORMANCES DE LA PRODUCTION DE VAPEUR

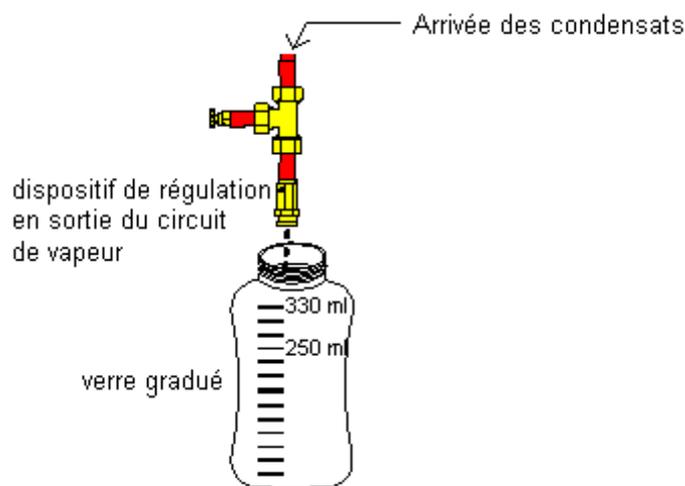
"Les statistiques, c'est comme les bikinis,  
ça donne des idées, mais ça cache l'essentiel"  
René Gendarme, Professeur d'Économie.

Les performances de l'installation peuvent être appréciées selon deux points de vue :  
du point de vue de la production de l'énergie : quelle quantité d'énergie le capteur met-il à disposition de l'utilisateur ?  
et du point de vue de l'utilisation de l'énergie : avec l'énergie disponible, quel résultat ai-je obtenu ?  
Il n'est question ici que du premier point de vue, le second sera abordé dans la seconde partie de la documentation "utilisation de la vapeur".

### §1 LA PESEE DES CONDENSATS

Le contrôle des performances s'effectue premièrement avant la remise de l'installation à son utilisateur, par exemple en utilisant le dispositif proposé dans le chapitre IV "Étude du circuit de production de vapeur". Ensuite, le contrôle quasi permanent des performances de production de vapeur doit faire partie de la "culture" du conducteur du capteur, d'autant qu'il est très facile à réaliser. Il existe plusieurs moyens de contrôle de la production de vapeur (voir le Memento technologique), mais on se contente ici d'un moyen très simple adapté à la situation : la mesure des condensats en sortie du dispositif d'utilisation.

Les condensats sont recueillis dans un récipient gradué. La production étant de l'ordre du quart de litre en un quart d'heure, un biberon de 330 ml convient parfaitement,



Le conducteur du capteur peut faire lui-même une interprétation simple des résultats, en les comparant avec les résultats de séances précédentes effectuées dans des conditions quelque peu identiques (ensoleillement, horaire de la séance par rapport au midi solaire), ce qui lui permet de contrôler le bon fonctionnement de sa machine.

L'interprétation élaborée des résultats nécessite quelques rappels de physique.

## § 2 BREFS RAPPELS DE LA PHYSIQUE DE L'EAU

L'unité de quantité d'énergie thermique est le Joule. Pour élever de Un degré Celsius la température de Un gramme d'eau, il faut disposer de 4,18 Joule

A partir d'un certain niveau de température l'eau se transforme en vapeur

**Le niveau de température de vaporisation** dépend de la pression à laquelle l'eau est soumise.

Lorsque l'eau est à la pression atmosphérique (= 0 bar manométrique), par exemple dans une casserole, elle bout à 100° C. Si la pression est plus élevée, par exemple dans un auto-cuiseur ou dans un bouilleur, le niveau de température de vaporisation augmente. Ces données sont disponibles dans les immuables tables de vapeur.

**La transformation de l'eau en vapeur** nécessite une très grande quantité d'énergie thermique, sans que pour autant la température augmente. C'est un phénomène physique tout à fait usuel pour tous les corps que l'on trouve dans la nature : Le changement d'état du solide vers le liquide, et du liquide vers le gazeux , nécessite une très grande quantité d'énergie thermique, sans commune mesure avec la quantité nécessaire pour élever sa température.

TABLE DE VAPEUR					
Energie thermique nécessaire pour produire Un kg de vapeur, à partir d'eau à 20°C			pression manométrique bars	température ° Celsius	Masse volumique kg/m <sup>3</sup>
Chaleur sensible kJ/kg	Chaleur latente kJ/kg	Chaleur totale de vaporisation kJ/kg			
335	2 257	2 592	0	100.0	0.58
384	2 226	2 610	0.5	111.6	0.86
420	2 201	2 621	1	120.4	1.12
450	2 181	2 631	1.5	127.6	1.36
476	2 163	2 639	2	133.7	1.63
494	2 148	2 642	2.5	138.0	1.87
518	2 133	2 651	3	143.7	2.12
533	2 120	2 653	3.5	147.2	2.37
553	2 108	2 661	4	152.0	2.62
568	2 097	2 665	4.5	155.6	2.86
582	2 086	2 668	5	158.9	3.11
595	2 076	2 671	5.5	162.0	3.35
607	2 066	2 673	6	165.0	3.60
619	2 057	2 676	6.5	167.8	3.84
629	2 048	2 677	7	170.2	4.08
641	2 039	2 680	7.5	173.0	4.32
651	2 031	2 682	8	175.4	4.56

Ainsi, la vaporisation de 1 gramme d'eau à pression atmosphérique / 100° C nécessite 2 257 Joule, alors que pour élever sa température de 20 à 100° C il suffit de(4,18 Joule x80 degrés = ) 334 Joule . On utilise les termes de chaleur de vaporisation (ou chaleur latente) d'une part, et d'autre part de chaleur sensible.

**Inversement**, lorsque la vapeur se transforme en eau, lors de la condensation, elle restitue intégralement sa chaleur de vaporisation. C'est grâce à ce phénomène thermique de changement d'état que la vapeur est un (excellent) fluide thermique, de loin le plus usité dans le monde, depuis les premières machines à vapeur jusqu'aux centrales nucléaires.

1 kiloJoule = 1000 Joule            1 MegaJoule = 1000 kJ

### § 3 MESURE DE LA PRODUCTION D'ENERGIE THERMIQUE

La mesure doit être effectuée alors que l'installation est en fonctionnement continu, que le manomètre reste à une pression constante à plus ou moins un demi-bar. Il faut bien sûr exclure les passages nuageux (comment les mesurer exactement?) et les rechargements du bouilleur en eau fraîche.

Il est nécessaire que toute la vapeur produite soit condensée. Un échappement de vapeur, non mesurable, fausserait les résultats. Toutefois, si l'installation travaille à une pression de 4 ou 5 bar, des légères fumerolles apparaissent en sortie des organes de régulation. En effet, les condensats passent rapidement d'une pression "élevée" à la pression atmosphérique, il est donc normal que se produise une certaine vaporisation.

Veiller également à ne pas ouvrir largement le robinet de régulation manuelle, ce qui laisserait s'échapper les condensats stockés dans la plaque à vapeur, et remplirait rapidement le verre gradué...

Soit une production de condensats de 250 grammes en quinze minutes, ce qui constitue un bon score que l'on atteint généralement aux alentours de midi. On suppose que l'eau introduite dans le bouilleur était à la température initiale de 20°, et que le bouilleur travaille à la température / pression de 138° C / 2,5 bar

d'après la table de vapeur ci dessus, l'énergie thermique produite est de

Chaleur sensible :	(250 grammes x 4,18 J x (138°-20°) =	123 310 Joules
Chaleur de vaporisation	(250 grammes x 2 148)	+ <u>537 000</u> .Joules
Chaleur totale		= 660 310 Joules

### § 4 CALCUL DE LA PUISSANCE

La puissance d'une machine est la quantité d'énergie (produite, consommée...) en une seconde.

L'unité de Puissance est le Watt. 1 Watt = 1 Joule par seconde.

Le capteur a produit 660 310 joule en (15 mn x 60 sec) 900 secondes

Sa puissance moyenne pendant cette période a été de 660 310 / 900 = 733,67 Watt, pour une surface de 2m<sup>2</sup> de capteurs. La puissance par m<sup>2</sup> est 733,67/2m<sup>2</sup> = 367W / m<sup>2</sup>

## § 5 MESURE DE L'ENSOLEILLEMENT

Il existe plusieurs types d'appareils pour mesurer le flux solaire. On se contente ici d'un appareil tel que celui présenté ci dessous, qui indique la puissance du flux solaire en Watt/m<sup>2</sup>, dont la précision est suffisante pour notre usage.



Appareil de mesure de l'ensoleillement

[www.gogreensolar.com/products](http://www.gogreensolar.com/products)

Daystar DS-05A Solar Digital Meter

Prix: 160\$ environ

En dirigeant l'appareil perpendiculairement au flux solaire, on mesure le flux global exprimé en Watt/m<sup>2</sup>. Puis on étend une main à une quarantaine de centimètres au dessus de l'appareil, qui ne mesure plus alors que le flux indirect. En faisant la soustraction "flux global moins flux indirect", on connaît le flux direct, celui qui nous intéresse. (Avec un tel procédé, la mesure du flux direct dépend de la taille de la main de l'opérateur et de la distance entre l'appareil et la main – dont acte.)

Le flux direct provenant du soleil porte le nom de D.N.I Direct Normal Irradiance (ou Insolation) = "the amount of solar radiation from the direction of the sun".

## § 6 CALCUL DU RENDEMENT

Soit un ensoleillement direct de 900 Watt/m<sup>2</sup>

Le rendement du dispositif de production de vapeur par rapport au flux solaire est de  
 $367 \text{ Watt} / 900 \text{ Watt} = 0,41$

## § 7 L'EFFET COSINUS HORAIRE

L'effet cosinus horaire s'invite ici comme un intrus qui vient embrouiller une situation que l'on croyait, à tort, assez simple. (cf Chapitre II, section IV § 5 alinéa 3)

Compte tenu des choix initiaux concernant la configuration du capteur, à savoir notamment "un miroir cylindro parabolique orienté Est-Ouest et pivotant sur son arête Sud", le soleil est "en face" du miroir aux alentours du midi, mais à 9h00 et à 15h00, les rayons solaires frappent le miroir selon un angle de 45 °. Cet angle varie tout au long de la journée. Pour un flux solaire D.N.I. constant, l'énergie reçue varie elle aussi, selon le Cosinus de l'angle d'incidence, et le fonctionnement du capteur en est affecté d'autant.

Capteur soleil-vapeur.org - Coefficient de réfraction du flux solaire en fonction de l'heure													
<b>Heure solaire</b>	9h 00	9h 30	10h 00	10h 30	11h 00	11h 30	12h 00	12h 30	13h 00	13h 30	14h 00	14h 30	15h 00
<b>Angle d'incidence du rayonnement sur le miroir, en °</b>	45 °	37.5 °	30 °	22.5 °	15 °	7.5 °	0°	7.5 °	15°	22.5 °	30°	37.5 °	45°
<b>Cosinus de l'angle = coefficient de réfraction du flux énergétique DNI</b>	0.71	0.79	0.87	0.92	0.97	0.99	1	0.99	0.97	0.92	0.87	0.79	0.71

Il est indispensable de tenir compte de l'effet cosinus horaire lorsque l'on mesure et calcule les performances du capteur. Le propos n'est pas de pondérer les chiffres pour faire apparaître des résultats virtuels (qui donc maîtrise les calculs de jauge des grands régates internationales de voiliers?) mais de fournir un début d'explication à des disparités de performances en fonction de l'heure à laquelle sont faites les mesures.

Lorsque l'on annonce des performances, la solution à retenir pourrait être de préciser systématiquement

- le type de mesure de l'ensoleillement (DNI = ensoleillement direct mesuré perpendiculairement au flux, et à l'exclusion de l'ensoleillement indirect)
  - à quelle heure solaire ont été effectués les relevés,
- en laissant à l'interlocuteur le soin d'interpréter les résultats comme il l'entend.

### Comment de débarrasser de l'effet cosinus horaire ?

La seule solution est de s'orienter vers un autre type de capteur, donc vers d'autres types d'embaras...

### § 8 LA MISE EN CHAUFFE DU MATIN

Chaque matin l'installation est à remettre en chauffe, mais le conducteur doit avoir à cœur de commencer son travail avant 9h00 solaires, pour mettre sa machine en chauffe même si la totalité du bouilleur n'est pas insolée, et afficher 100° C à l'heure "officielle" de début du fonctionnement du capteur

### § 9 REMARQUES

#### 1 L'Effet d'échelle

Les performances du petit capteur de 2 m<sup>2</sup> peuvent ne pas paraître mirobolantes

- **toutefois** ce capteur permet d'effectuer jusqu'à trois cycles quotidiens de stérilisation médicale avec un autoclave All American, dont deux cycles avec un autoclave de 14 litres, et un cycle (à midi) avec un autoclave de 24 litres. Voir sur ce sujet l'article paru dans The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene <http://www.ajtmh.org/content/87/4/602.abstract>

- **en raison de l'effet d'échelle**, redoutable en matière de machines thermiques, le capteur de 2m<sup>2</sup>, avec son rendement de 0,41 à midi, est à notre avis la plus petite dimension possible pour un capteur utilisant un fluide thermique. Un capteur de 16 m<sup>2</sup>, testé sur le site d'Odeillo en France, affichait un rendement de 55% calculé sur la moyenne de la journée.

- **Le capteur de 2 m<sup>2</sup>**, outre la stérilisation médicale, a une vocation essentiellement pédagogique

avant l'utilisation de capteurs beaucoup plus importants dans un cadre professionnel.

## 2 La perte thermique due à la chaleur sensible

Le conducteur introduit dans l'installation de l'eau à 20°, et il en ressort de l'eau à 100° (environ). Indépendamment du processus de chaleur de vaporisation/ décrit ci dessus, il y a une perte irrémédiable, qui correspond à l'énergie dépensée pour élever la température de l'eau de 20 à 100°

Soit une installation fonctionnant sous 2 bar. Pour chaque gramme d'eau,  
La chaleur sensible perdue est de  $(100^\circ - 20^\circ) \times 4,18 \text{ Joule} = 334 \text{ Joule}$   
La chaleur totale de vaporisation, selon la table de vapeur, est de 2 639 Joule

Le pourcentage de pertes est de  $334/2\ 639 \times 100 = 13\%$ . Dans le cas d'un feu de bois ou d'un brûleur à gaz, quelle est la proportion d'énergie thermique qui s'échappe autour du récipient ? (sans parler des plaques électriques, le rendement des centrales étant de l'ordre de 0,5)

## 3- Le recyclage des condensats

Le chiffre de 13% de pertes coupe court à toute velléité de recyclage des condensats pour des motifs thermiques, ce qui n'apporterait que des complications à l'installation et des tracasseries inutiles à son conducteur. Par contre, la réintroduction des condensats dans le bouilleur permet de limiter l'utilisation d'eau contenant des matières solides ou dissoutes qui inévitablement encrassent les circuits.

## § 10 LES PERFORMANCES DU POINT DE VUE DE L'UTILISATION DE LA VAPEUR

Cet aspect sera développé dans la seconde partie de la documentation "Utilisation de la vapeur". Il ne s'agit ici que d'un bref aperçu.

Pour l'utilisateur, ce qui compte n'est pas la production de vapeur, mais l'usage qu'il peut en faire (à condition qu'il n'y ait pas de gaspillage entre-temps...)

Un moyen très simple de mesurer les performances du point de vue de l'utilisation de l'énergie thermique est la méthode du "litre d'eau bouillante supplémentaire".

On porte à ébullition deux ou trois litres d'eau dans un récipient. L'installation étant en régime stable, on rajoute dans le récipient un litre d'eau froide à 25° C, et on mesure le temps de retour à l'ébullition.

Soit un temps de retour à l'ébullition de 11 mn et 35 secondes.

Calcul de l'énergie effectivement utilisée :  $(100^\circ - 25^\circ) \times 1000 \text{ grammes} \times 4,18 \text{ J} = 313\ 500 \text{ Joules}$

Calcul de temps de retour à l'ébullition :  $(11 \text{ mn} \times 60 \text{ sec}) + 35 \text{ sec} = 695 \text{ secondes}$

Calcul de la puissance effectivement utilisée:  $313\ 500 \text{ Joule} / 695 \text{ secondes} = 451 \text{ Watt}$

On pourra aussi calculer le rendement "énergie utilisée/énergie vapeur" (**0,62**) et le rendement "énergie utilisée/énergie solaire" (= **0,25** hors effet cosinus horaire )

**$0,41 \times 0,62 = 0,25$**  les rendements sont multiplicatifs... Tout ce qui est perdu sur un maillon de la chaîne est perdu pour toute la chaîne. L'énergie perdue, comme le temps perdu, ne se rattrape guère.

## **SECTION IV TRAVAUX PERIODIQUES ET MAINTENANCE**

### **§ 1 TRAVAUX D' ENTRETIEN COURANT**

**La purge quotidienne du bouilleur**, ou ouvrant alternativement l'un ou l'autre des robinets de purge du bouilleur, quand il reste encore un peu de pression, est indispensable afin d'évacuer les dépôts qui se forment inévitablement dans toute installation à vapeur. Il est recommandé également d'ouvrir de temps à autre le robinet de régulation manuelle en fin de circuit.

**Nettoyer les filtres**, du moins si des filtres ont été installés sur le circuit, et prendre note de leur niveau encrassement

**Nettoyer la pompe** en déposant le piston plongeur (voir Chap IV "circuit de vapeur")

**Le graissage du piston plongeur** de la pompe, avec un peu de suif, est à effectuer plusieurs fois par semaine. On peut aussi graisser la vis de manœuvre qui sert à pointer le capteur, le geste n'en sera que facilité.

**La mesure périodique du poids de condensats** produits en un quart d'heure, lorsque la machine est en régime établi, est indispensable pour contrôler son bon fonctionnement.

### **§ 2 ENTRETIEN PERIODIQUE**

**Contrôle de la soupape de sécurité.** La soupape de sécurité est noyée dans l'isolation, du côté Ouest. Il est donc préférable d'effectuer le contrôle le matin, lorsqu'il n'y a pas encore de miroir à l'aplomb de l'extrémité Ouest du Concentrateur.

Déposer la plaque de fermeture Ouest du Concentrateur et faire glisser vers l'Est la tôle de fermeture la coiffe du Concentrateur. Dégarnir l'isolation en laine de verre, protéger autant que possible l'isolation restante par des chiffons qui absorberont tout ou partie des échappements de la soupape. Débrancher le dispositif d'utilisation de la vapeur (cuisson ou stérilisation), et installer, à l'extrémité du flexible de vapeur sortant du bouilleur, un robinet pointeau manuel

Faire monter la pression, et vérifier que la soupape de sécurité échappe à 5,5 ou 6 bar. Si besoin, modifier le tarage de la soupape de sécurité (en accédant par le haut du CPC, et non par son extrémité Ouest, en raison des projections de vapeur).

Le danger potentiel serait une rupture ou un déboitement du tuyau de vapeur en sortie du bouilleur.

#### **Nettoyage du grand miroir et des miroirs du Concentrateur**

Ce nettoyage est à effectuer le moins souvent possible, afin de ne pas rayer le polissage des tôles d'aluminium. Commencer par un lavage à grande eau pour évacuer la poussière, utiliser éventuellement un produit liquide pour la vaisselle. On peut utiliser un chiffon doux mais avec des gestes très précautionneux.

#### **Soupape de régulation automatique**

Le débit goutte à goutte des condensats favorise l'encrassement du siège de la soupape de régulation. Si le clapet n'applique pas bien, il faut déposer la soupape et la transporter en lieu sûr afin de travailler sur table. Démonter la soupape, et effectuer deux opérations simples

- *rodage du siège du clapet* : utiliser le rodoir, c'est un pièce de métal ou de bois que l'on tient dans la main, dont l'extrémité est coupée proprement d'équerre, sur laquelle on colle d'abord

une pastille souple (chute de chambre à air ou autre), puis une pastille de feuille abrasive grade 600 (c'est à dire très très fin) Introduire le rodoir dans la soupape et lui faire effectuer quelques tours, et le siège du clapet redevient brillant à neuf.(voir Chap IV "circuit de vapeur")

- *Changement du clapet*, à découper avec un emporte-pièce Ø 10 mm dans une feuille de silicone rouge (à prélever si besoin sur un moule à pâtisserie en silicone) épaisseur 3,2 mm. Si besoin, superposer deux pièces de 1 mm

Après avoir déposé la soupape, il est préférable d'effectuer ces opérations en lieu sûr, sur une table, et non pas sur le terrain

### § 3 AJUSTEMENTS SAISONNIERS DU CAPTEUR

Au cours de la journée, le conducteur effectue périodiquement des repointages de son capteur en direction du soleil, selon une amplitude quotidienne de 8° au maximum (les jours de solstice). Mais ces repointages quotidiens se situent dans le contexte plus large des variations saisonnières dues aux 23,26° de l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre sur le plan de l'écliptique. L'amplitude annuelle est de 23,26° + 8° en été, plus 23,26° + 8° en hiver, soit au total environ 65° (et beaucoup plus si l'on veut travailler avant 9 h00 et après 15 h00).

Il est donc nécessaire de modifier la hauteur de l'axe de rotation du capteur, environ une fois par mois.

**La modification de la hauteur de l'axe de rotation** s'effectue en déplaçant verticalement les coulisses à l'intérieur des fourreaux. L'opération est plus aisée en déposant préalablement la charpente du capteur. Une fois le capteur remis en place, il est indispensable de vérifier l'horizontalité du capteur sur son axe, car le bon fonctionnement du bouilleur en dépend. Utiliser un niveau à bulle, à poser en plusieurs endroits sur le longeron Sud de la travée centrale du capteur. Un niveau à bulle n'est jamais parfait: effectuer un premier réglage en modifiant la hauteur d'un des colliers sur sa coulisse, puis retourner le niveau "gauche / droite". Si la bulle n'est pas bien centrée entre les marques de la fiole, faire en sorte que les deux erreurs "gauche" et "droite" soient symétriquement identiques ("la moyenne des erreurs est proche de la bonne valeur")

### **Retournement du capteur**

Lorsque il est installé en zone proche des tropiques, le capteur est de plus en plus cabré vers l'arrière lorsque l'on s'approche du solstice d'été. Au lieu de continuer à monter l'axe de rotation, la solution consiste alors à retourner le capteur, à lui faire faire demi tour. Quatre (ou six) personnes suffisent pour le manutentionner, sans avoir besoin de démonter le Concentrateur ni quoi que ce soit. Veiller à manutentionner le capteur en le portant par la partie centrale de la charpente, et non par les élanements Est et Ouest.

Ci dessous, un tableau des positions du capteur en fonction de la latitude et de la saison, extrait du chapitre II "Conception du capteur". En fait, on a intérêt à retourner le capteur à partir du moment où l'axe du plan focal passe la verticale du lieu. Noter que plan focal n'est pas matérialisé sur le capteur. On peut en retrouver la trace dans le chapitre II, mais il n'est pas plus utile au conducteur que les considérations astronomiques sur les solstices et les équinoxes.

## Tableau des positions du capteur, en fonction de la latitude et de la saison

