

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	<b>6ème partie</b> <b>Cuiseur Fresnel à</b> <b>conduite manuelle</b>
---	--	---------------------------------------	---	--	--



**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](http://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 III LES MIROIRS SOUS TOUS LEURS ANGLES

pages

3 Section I LA PROBLÉMATIQUE

4 Section II LA MÉTHODE

4	§ 1 Le schéma de base
5	§ 2 La méthode
5	§ 3 Un exemple
9	Section III LE TABLEAU D'ENSEMBLE
9	§ 1 Téléchargement spécifique du tableau
9	§ 2 Affichage et impression
9	§ 3 Vue miniature du tableau
9	§ 4 Valeurs angulaires positives et négatives
11	§ 5 Description d'une vignette
11	§ 6 Tableau récapitulatif simplifié
13	Section IV QUELQUES COMMENTAIRES SUR LE TABLEAU
13	§ 1 – le maillage général du tableau
13	§ 2 – capteur Fresnel symétrique et capteur Fresnel offset
13	§ 3 effet d'ombre et optimisation de la largeur des miroirs
14	§ 4 effets cosinus, effets d'ombre, densité énergétique surfacique et température de la vapeur
14	§ 5 – capteur est-ouest, capteur nord-sud, et cylindro-parabolique

## Section I - LA PROBLEMATIQUE

Dans le cas d'un capteur cylindro-parabolique, comme par exemple le petit capteur présenté en 1ère partie de la documentation de soleil-vapeur.org, le suivi du soleil par le miroir est relativement simple : il n'y a qu'un seul miroir, du type cylindro-parabolique, et il s'agit de maintenir son plan focal correctement dirigé vers le soleil.

Dans le cas du capteur-cuiseur du type "Fresnel", la situation est nettement plus compliquée ; il y a plusieurs files de miroirs positionnées différemment vis à vis du soleil et du second étage, donc chaque file de miroirs a une courbure différente. Ce sont des miroirs pseudo-plans (légèrement cintrés en forme d'arc de cercle), et le rôle du conducteur sera de maintenir leur plan axial dans le plan de symétrie de l'angle formé par le soleil / le miroir/ et le second étage, avec toutefois une légère marge de manœuvre permise par le CPC du second étage qui joue son rôle d'entonnoir.

Pour pouvoir déterminer le rayon de courbure des miroirs dans le prochain chapitre, il est indispensable de connaître préalablement leurs positions angulaires remarquables au cours de l'année à savoir

- **lors de la position de référence, aux Equinoxes** à midi
- **lors de la position extrême au Solstice d'Hiver** à 9h00 ou 15h00
- **lors de la position extrême au Solstice d'Été** à 9h00 ou 15h00

Les positions angulaires varient selon la latitude. Les neuf latitudes envisagées dans ce chapitre III sont

- **l'Équateur à la latitude 0°** ; c'est la latitude de référence. La position de référence absolue du capteur est à l'Équateur, aux Equinoxes, et à l'heure de midi.
- **les latitudes 23,45° (Tropique) et 46,9°** tant pour l'hémisphère Nord que pour l'hémisphère Sud, et pour un capteur Fresnel symétrique. Un seul hémisphère devrait suffire, mais que celui qui n'a jamais fait de confusion entre les notions de symétrie, d'effets miroir, d'inverses et de contraires, sans oublier la gauche et la droite, ni l'Est et l'Ouest, jette la première pierre...)
- **les latitudes 46,9° et 70,35°** (au delà du cercle polaire...), tant pour l'hémisphère Nord que pour l'hémisphère Sud, pour un capteur Fresnel offset

Les latitudes sont donc étagées tous les 23,45°, et cela nous fait un total de  $9 \times 3 = 27$  vignettes, chaque vignette portant sur les 5 miroirs du capteur.

Le tout est présenté sur un seul très grand tableau d'ensemble à la section III .

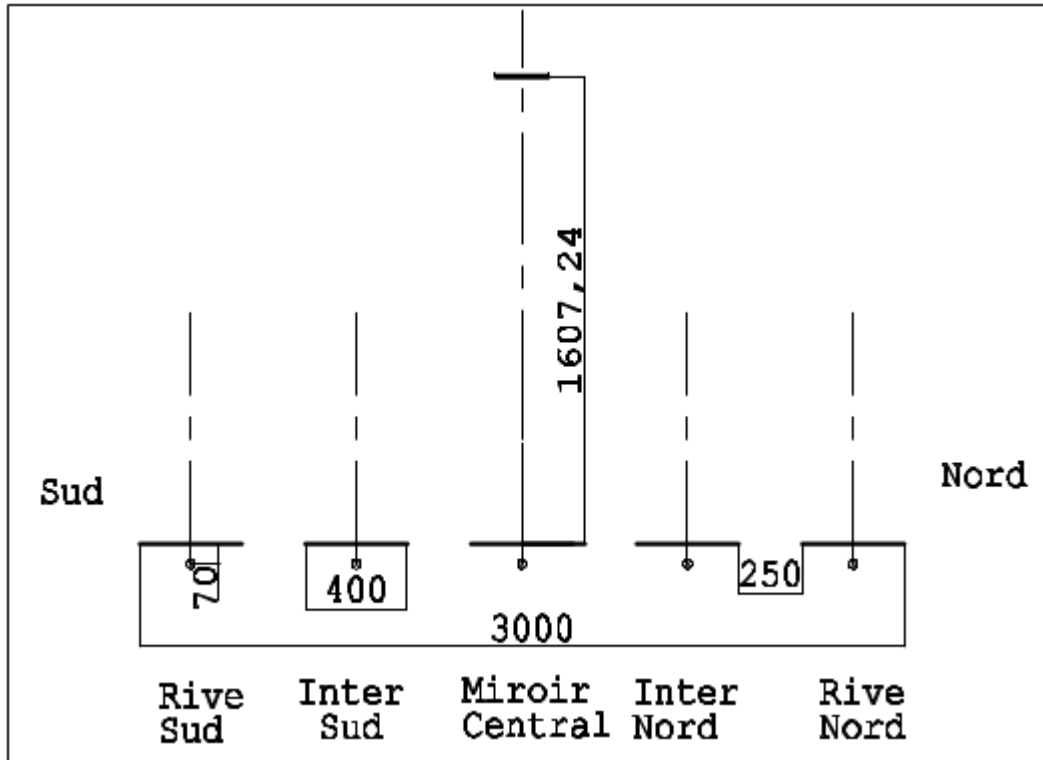
Le fait de visualiser les différentes positions des miroirs permet en outre

- d'observer l'effet d'ombre entre les miroirs, à cause duquel l'utilisation d'un capteur "Fresnel" devient médiocre puis impossible au-delà d'une certaine latitude.
- d'observer l'effet d'ombre du second étage sur le premier, ce qui pénalise quelque peu les performances thermiques de l'ensemble.
- d'observer l'effet cosinus transversal évoqué précédemment.

## Section II LA METHODE

### § 1 LE SCHEMA DE BASE

La recherche des positions angulaires a été effectuée à partir de l'exemple de capteur retenu tout au long de cette étude, selon le schéma suivant



L'observateur est placé à l'Est du capteur, et regarde vers l'Ouest. Le Sud est à sa gauche, et le Nord est à sa droite

Noter que la cote 1607,24 a pour point de départ le plan fictif horizontal des miroirs, et non le plan des axes de rotation. La cote de 70 mm résulte des calculs de recherche du centre de gravité de la poutre, effectués par ailleurs.

Pour chaque latitude, la position de référence du soleil est sa position à midi aux jours de l'Equinoxe. A ce moment là, le rayon solaire atteignant la latitude en question forme avec la verticale du lieu un angle égal à la co-latitude, c'est à dire  $90^\circ$  moins la latitude du lieu. Sur les schémas, cet angle est nommé  $\beta$ .

Aux Solstices d' Hiver et d' Eté et à l'heure de midi,  $\beta$  varie de plus ou moins  $23,45^\circ$ .

Aux Solstices d'Hiver et d'Eté, à 9h00 et 15h00, c'est à dire aux heures extrêmes prises en compte dans cette étude,  $\beta$  varie de  $8,08^\circ$  supplémentaires (cf animation GIF en fin du chapitre précédent) ; c'est cette valeur, à 9h00 et 15h00 qui est prise en compte ici.

Entre ces deux dates, la valeur de l'angle varie selon une courbe sinusoïdale disponible en 1ère partie de la documentation de soleil-vapeur.org, chapitre II Section III § 1, mais dont le détail ne nous intéresse pas au premier chef pour le moment.

On ne considère ici que le rayon solaire venant frapper le milieu du miroir, c'est au au chapitre suivant que l' on s'occupera de la courbure du miroir.

## § 2 - LA METHODE

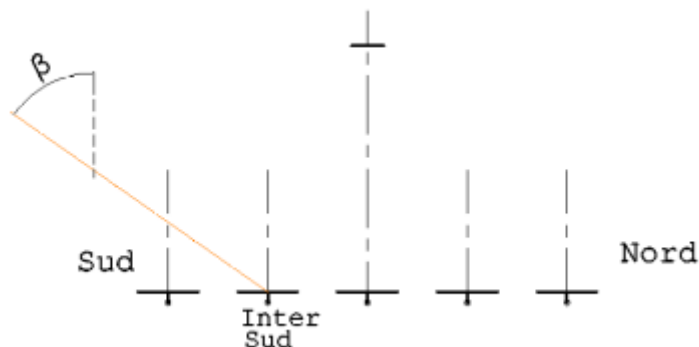
La détermination de la position angulaire de chaque miroir s'effectue ici par une méthode graphique, par approches successives à l'aide d'un logiciel de DAO, et non par calcul. En l'occurrence, c'est le logiciel Draftsight qui a été utilisé, c'est l'équivalent de Autocad, avec l'avantage d'être disponible gratuitement en version de base

Noter ici une complication importante pour le travail sur DAO : l'axe sur lequel pivote l'ensemble poutre-miroirs n'est pas situé sur l'axe de symétrie du miroir, mais il est situé à 70 mm en dessous du plan du miroir, pour des raisons de centre de gravité, et pour des raisons de facilités de construction (voir plus loin le chapitre "Etude de la poutre"). Le miroir ne pivote donc pas sur son axe de symétrie, mais il "roule" autour d'un cercle fictif de rayon 70 mm. Nous verrons plus tard que c'est sans gravité, mais pour le moment, cela complique notablement le processus de recherche des positions angulaires des miroirs, c'est le prix à payer pour que le conducteur ne se retrouve pas indéfiniment à conduire une machine mal équilibrée

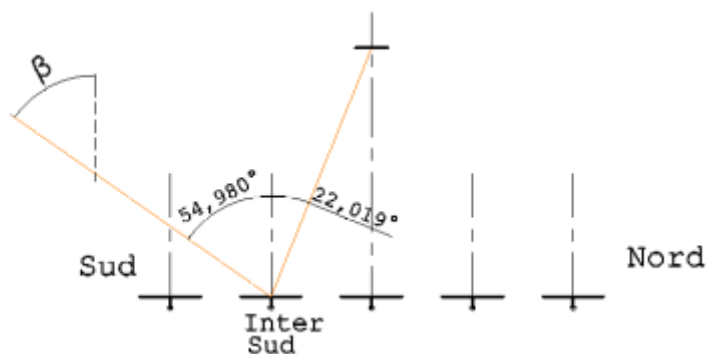
## § 3 UN EXEMPLE

Soit par exemple le cas du miroir Inter Sud d'un capteur installé à la latitude 23,45° Nord, au jour du Solstice d'Hiver, et à 9h00/15h00

$$\begin{aligned}
 \beta = & 23,45^\circ \text{ (en raison de la latitude : } 23,45^\circ \text{)} \\
 & + 23,45^\circ \text{ (en raison du jour dans l'année : Solstice d'Hiver)} \\
 & + 8,08^\circ \text{ (en raison de l'heure: 9h00/15h00)} \\
 & \text{-----} \\
 & = 54,980
 \end{aligned}$$



Tracer un rayon réfléchi provisoire depuis le pied du plan axial du miroir jusqu'au milieu de la pupille d'entrée du second étage, et relever les deux angles entre le plan axial et le rayon incident d'une part, et le rayon réfléchi provisoire d'autre part.

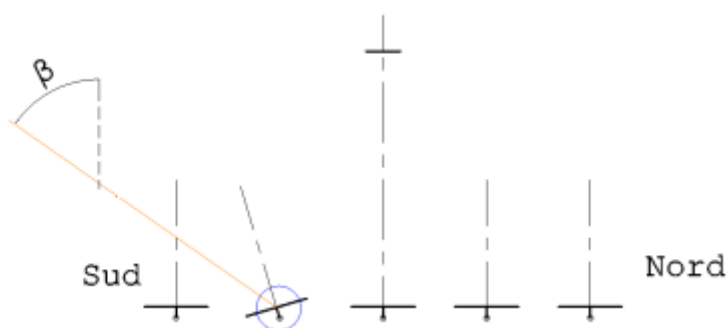


La bissectrice devrait se situer à  $(54,980 + 22,019) / 2 = 38,499^\circ$  du rayon incident et du rayon réfléchi.

Il convient donc, dans un premier temps, d'orienter le miroir vers le Sud sur  $38,499 - 22,019 = 16,480^\circ$

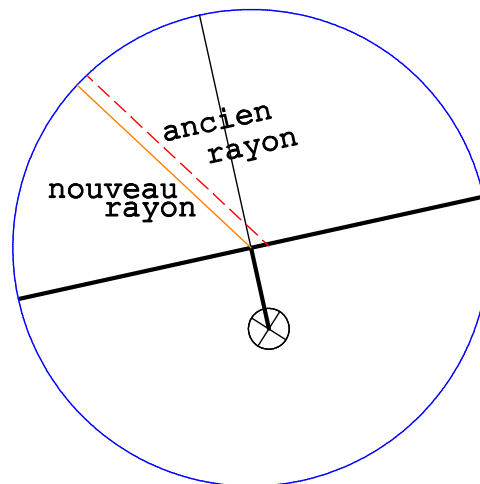
*Supprimer immédiatement le rayon réfléchi provisoire et les deux mesures d'angles, qui ne nous sont plus d'aucune utilité, et qui risquent d'être source de confusion.*

Pivoter ensuite le miroir selon un angle de  $16,480^\circ$  sur l'axe de la poutre qui le supporte (et non sur le pied du plan axial...)

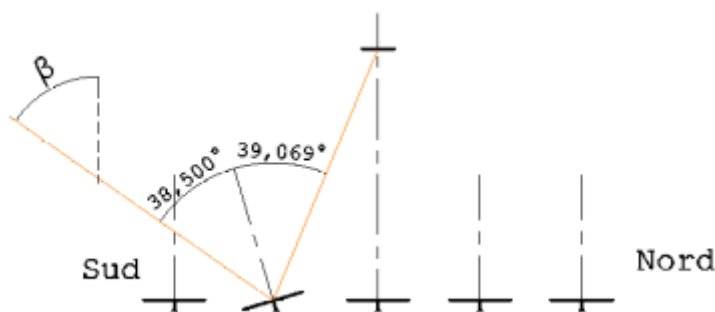


C'est ici que l'on retrouve la petite complication signalée en fin de la section précédente : après la rotation du miroir, et en raison du décalage de 70 mm, le rayon incident n'aboutit plus au pied du plan axial. *Zoomer sur la zone autant que besoin* pour faire apparaître clairement le décalage, puis déplacer le rayon incident pour qu'il parvienne au bon endroit.

Pour effectuer ce déplacement, le rayon doit être saisi expressément par son extrémité, en ayant soin de vérifier qu'il ne soit pas saisi "par aimantation" à un autre emplacement, par exemple à son intersection avec le miroir plan fictif, ce qui serait une source d'erreurs incompréhensibles ultérieurement.

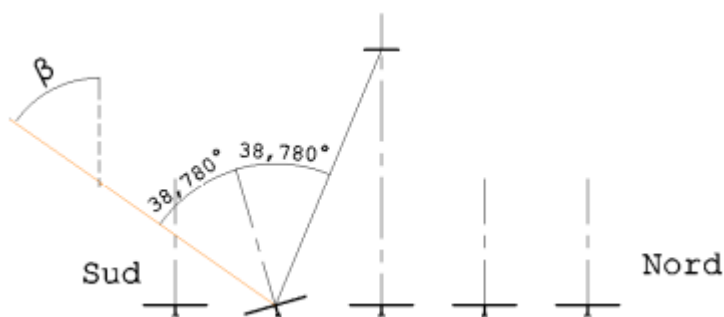
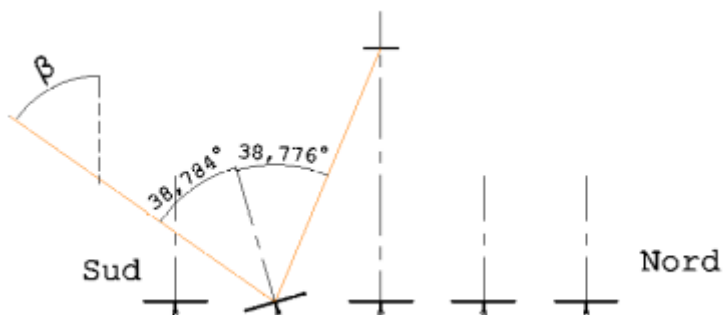


Puis tracer le nouveau rayon réfléchi provisoire, mesurer à nouveau les angles,



calculer, effacer le rayon réfléchi et les deux mesures d'angle, pivoter, zoomer autant que besoin, , déplacer le rayon incident, tracer un nouveau rayon réfléchi etc.. jusqu'à ce que les mesures d'angles soient égales. C'est l'aspect besogneux de la méthode, mais en fait c'est assez rapide, trois ou quatre approches sont suffisantes pour obtenir une précision au millième de degré.

Ne pas s'offusquer du fait de *travailler au millième de degré* : c'est un luxe sans frais disponible grâce à la DAO. Bien sûr aucun miroir en réalité ne travaillera avec une précision du millième de degré, mais c'est un moyen de faire des auto-contrôles, et on en aura bien besoin quand il s'agira de déterminer la courbure des miroirs. L'"à peu près" a envoyé au cimetière des tombereaux entiers de projets de capteurs solaires, il est inutile d'en rajouter



Des conseils ?

- travailler au 1 /1000ème de degré
- ne pas hésiter à zoomer
- effacer le rayon réfléchi et les mesures d'angles provisoires dès qu'elles sont inutiles
- lors du déplacement du rayon incident, veiller à bien le saisir au pied, et non pas à une intersection
- vérifier les résultats par confrontation avec les vignettes "symétriques en diagonale" par rapport à la vignette de référence absolue (à l'Equateur aux Equinoxes à Midi). Si le travail est effectué correctement, les valeurs angulaires relevées correspondent au 1/1000ème de degré près.



## **Section III – TABLEAU D'ENSEMBLE DE QUELQUES POSITIONS ANGULAIRES REMARQUABLES DES MIROIRS D'UN CAPTEURS FRESNEL**

### **§ 1 - TELECHARGEMENT**

Le tableau d'ensemble [est à télécharger ici au format .pdf](#), et à zoomer ensuite autant que besoin. Ce tableau n'est bien sûr valable que pour le schéma de base tel que défini précédemment

### **§ 2 - AFFICHAGE ET IMPRESSION**

Le format .pdf permet de zoomer à volonté sans dégradation de l'image, pour afficher ad libitum des groupements de vignettes.

Pour l'impression, le tableau en taille réelle est au format A0, mais il est possible de l'imprimer en sur plusieurs feuilles ("option affiche" sur l'imprimante), ou de n'imprimer à volonté que ce qui est affiché à l'écran ("autres options" puis "vue active"), le travail s'achevant ensuite avec des ciseaux et de la colle.

### **§ 3 - VUE MINIATURE DU TABLEAU**

Sur la page suivante, une miniature du tableau permet d'en appréhender l'organisation. Les trois colonnes correspondent aux Solstices (à gauche et à droite) et aux Equinoxes (au milieu) Chaque ligne correspond à une latitude ; dans la partie centrale, il est question d'un capteur de Fresnel symétrique ; les deux lignes du haut et les deux lignes du bas du bas, correspondant aux hautes latitudes, sont consacrées à un capteur de Fresnel Offset.

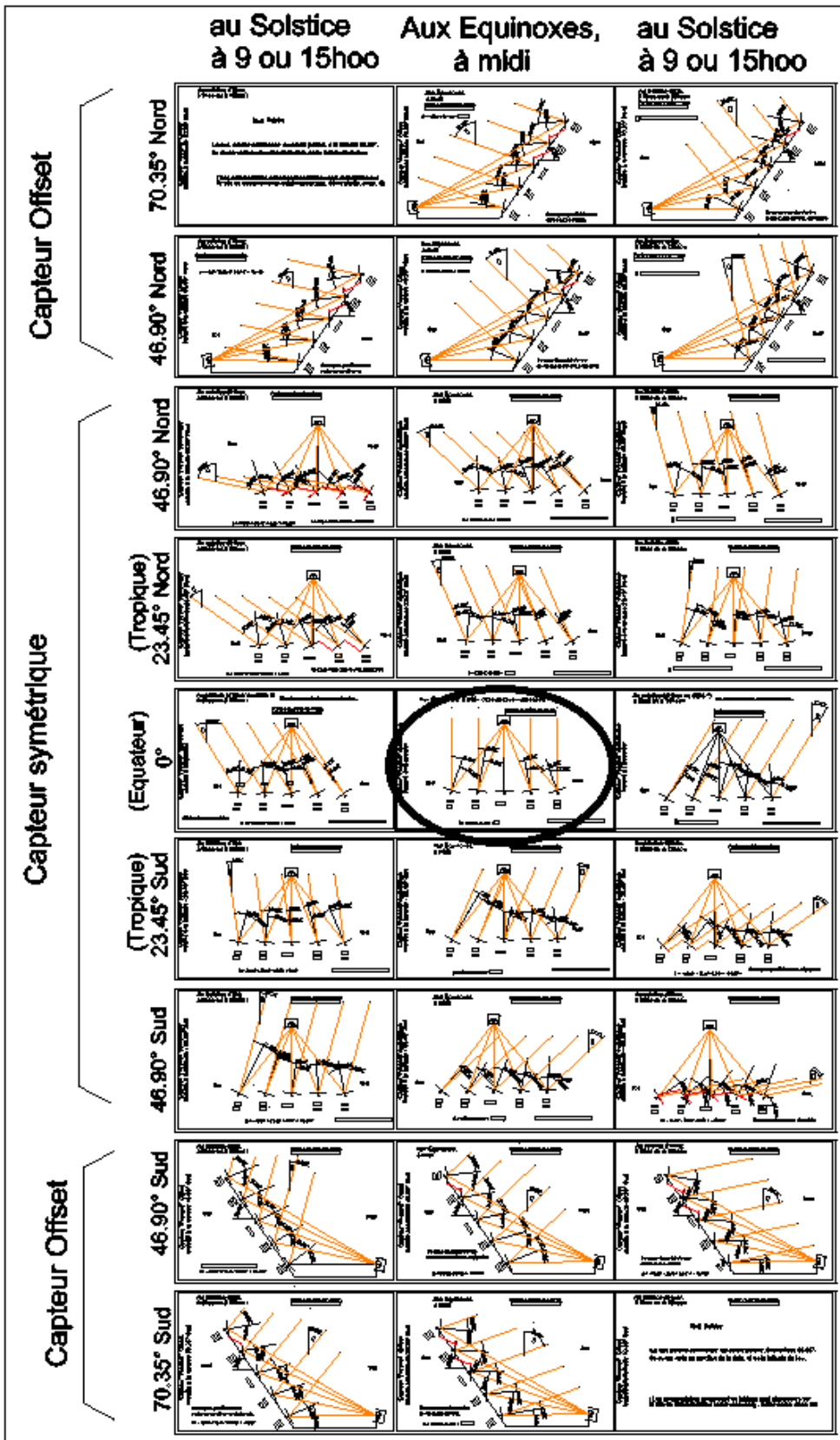
Bien que ce tableau ne soit qu'une miniature, il est possible de remarquer les symétries en diagonales des vignettes par rapport à la vignette centrale de "référence absolue"

### **§ 4 - VALEURS ANGULAIRES POSITIVES ET NÉGATIVES**

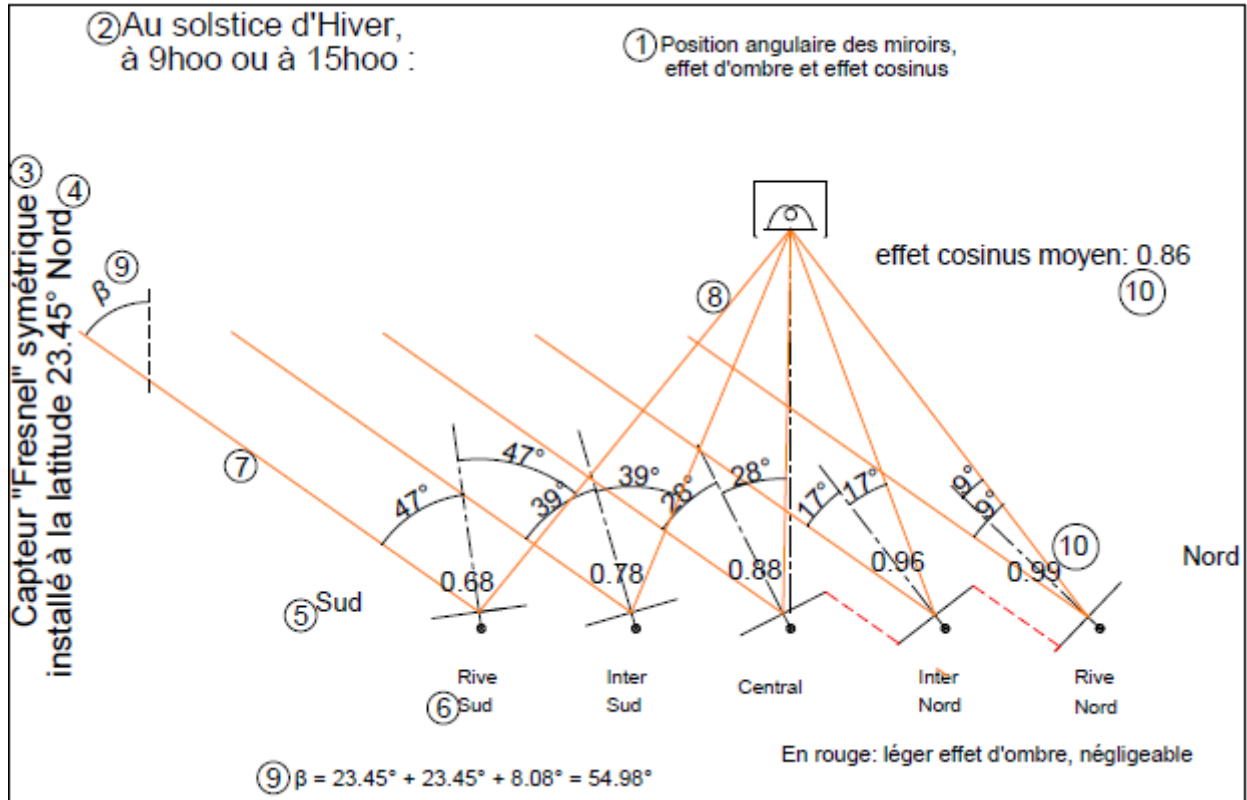
Par convention, les latitudes sont positives dans l'hémisphère Nord, et négatives dans l'hémisphère Sud.

Par convention, l'angle entre le soleil et la verticale du lieu est positif en allant vers le Sud, et négatif en allant vers le Nord.

Vue miniature du Tableau d'ensemble des positions angulaires des miroirs d'un capteur Fresnel



## § 5 - DESCRIPTION D'UNE VIGNETTE



1 Titre de la vignette

2 Date et heure

3 Type de capteur : symétrique ou Offset

4 Lieu d'installation

5 Orientation

6 Désignation du miroir

7 Rayon incident

8 Rayon réfléchi

9 Angle entre la verticale et le rayon incident

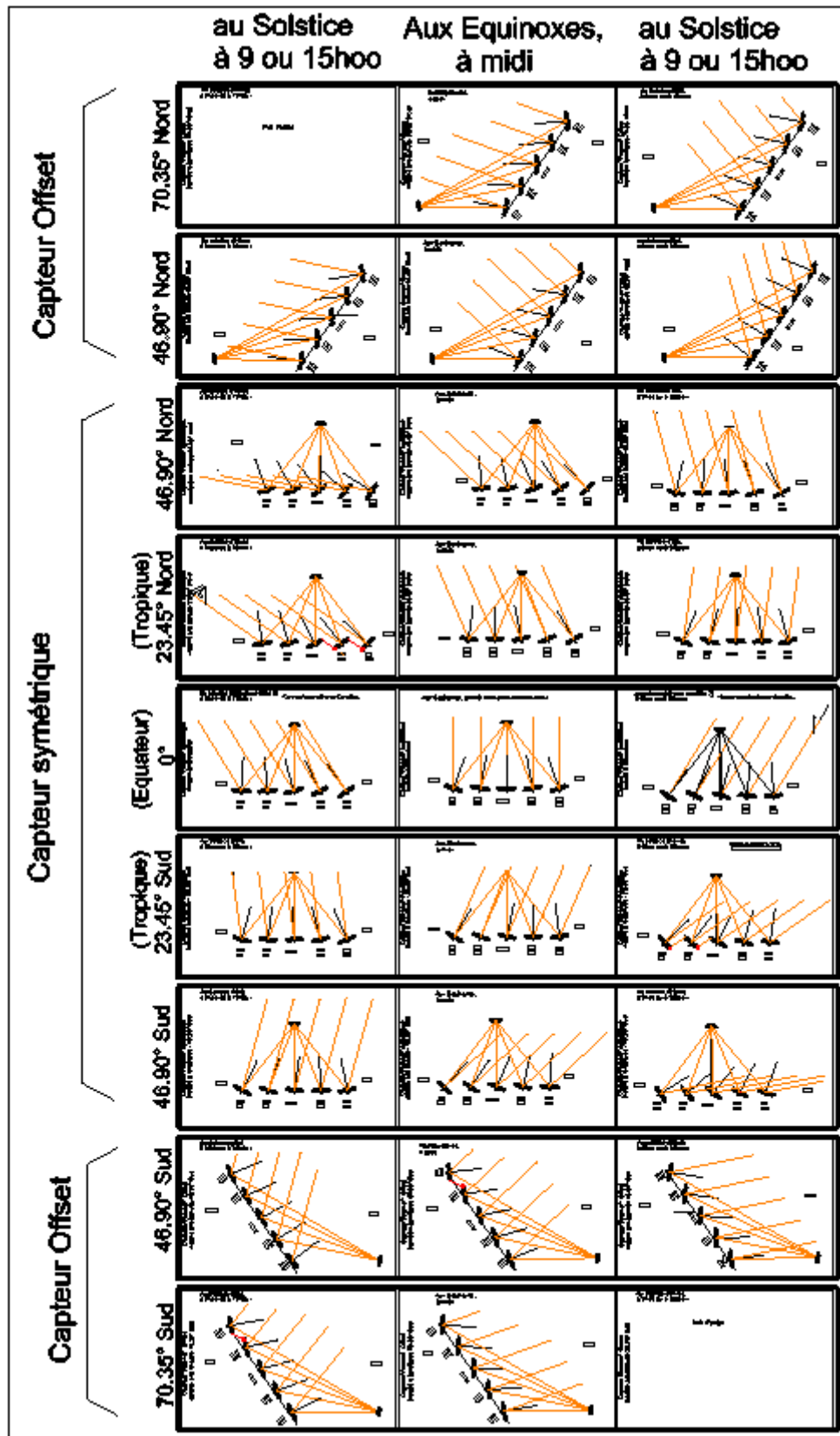
10 Effet cosinus.

## § 6 - TABLEAU RÉCAPITULATIF SIMPLIFIÉ

Rappelons le but initial du travail de ce chapitre : il s'agit, pour chaque latitude envisagée, de connaître graphiquement les différentes positions angulaires des miroirs par rapport à la pupille d'entrée du CPC, afin de pouvoir déterminer, au chapitre suivant, leur rayon de courbure le plus adéquat.

Il convient donc de disposer d'un tableau simplifié, contenant simplement les silhouettes des miroirs et épuré de toutes les informations non utiles pour la détermination du rayon de courbure. Ce tableau est [disponible ICI](#) au format .pdf, il est [également disponible ICI au format .dwg](#), c'est à dire réutilisable en CAO/DAO pour déterminer les rayons de courbure des miroirs.. Une miniature de ce tableau est présentée page suivante, afin d'en appréhender plus facilement l'organisation. ( Selon le navigateur utilisé, il est possible que le fichier .dwg ne s'ouvre qu'en lecture seule; il est alors possible de le recopier sous un autre nom, afin de l'utiliser pour déterminer les rayons de courbure).

Tableau récapitulatif simplifié des positions angulaires des miroirs



## **Section IV – QUELQUES COMMENTAIRES SUR LE TABLEAU D'ENSEMBLE**

### **§ 1 – LE MAILLAGE GENERAL DU TABLEAU**

Les latitudes sont étagées tous les  $23,45^\circ$  ; c'est un maillage très lâche, il faudrait à terme un maillage beaucoup plus serré, par exemple tous les  $4$  ou  $5$  ou  $6^\circ$  ? C'est à l'usage, notamment au chapitre suivant lors de la détermination des rayons de courbure des miroirs qu'il serait possible de fixer un maillage convenable.

Pour le moment, il s'agit de fournir un cadre d'ensemble solidement établi sur lequel il soit possible de s'appuyer pour d'autres cas de figure peu ou prou similaires mais installés à d'autres latitudes. Dans la gamme de puissance qui nous intéresse, la physionomie du capteur Fresnel proposée ici est une physionomie "moyenne" ; il est possible de dessiner des capteurs quelque peu différents par homothétie, donc avec des valeurs angulaires très proches. A noter : l'homothétie s'arrête au diamètre de la chaudière, donc à la pupille d'ouverture du CPC, qui ne sont pas proportionnels à la largeur du premier étage.

Pour chaque latitude, seuls trois cas de figure sont envisagés, aux solstices et aux équinoxes. Si besoin, il est toujours possible de connaître la hauteur précise du soleil à toute heure du jour et de l'année, voir par exemple 1ère partie, Chap I, page 17

### **§ 2 – CAPTEUR FRESNEL SYMETRIQUE ET CAPTEUR FRESNEL OFFSET**

La juxtaposition des deux types de capteurs pour une même latitude de  $46,9^\circ$  met en évidence l'intérêt du capteur offset à partir d'une certaine latitude.

Attention : la physionomie du capteur offset proposé ici n'est qu'une esquisse qui n'a pas fait l'objet d'une véritable étude concernant notamment l'inclinaison générale du support des axes de rotation des miroirs, ou bien la distance entre le premier et le second étage, ou bien la hauteur du CPC par rapport au sol. Quant au CPC lui-même, il ne serait pas opérationnel dans la position dans laquelle il est présenté ici (prévoir une rotation de  $90^\circ$ , et un miroir de renvoi en dessous du CPC?). En matière de capteur Offset, tout est à étudier, notamment pour optimiser l'inclinaison générale au regard de la latitude d'installation, qui pourrait être bien inférieure à  $45^\circ$

Quant au capteur offset installé à la latitude  $70,35^\circ$ , c'est à dire au-delà du cercle polaire, c'est par pure curiosité d'esprit; l'excursion ne coûte pas cher... et vaut quand même le détour.

### **§ - 3 EFFET D'OMBRE ET OPTIMISATION DE LA LARGEUR DES MIROIRS**

C'est un intérêt majeur du tableau : pour les cas de figure présentés, il est facile de déterminer graphiquement, avec une règle et un crayon, l'importance d'un éventuel effet d'ombre entre les miroirs, et/ou de décider d'élargir les miroirs afin d'améliorer le rendement du capteur.

Effet d'ombre et élargissement des miroirs ne sont pas incompatibles : il est tout à fait admissible de souhaiter augmenter la puissance d'un capteur en élargissant les miroirs, tout en admettant un certain effet d'ombre en début et fin de journée aux alentours des solstices.

Dans certains cas de figure il peut être intéressant d'avoir des miroirs de différentes largeurs depuis le Sud vers le Nord pour un même capteur, tout en conservant des entraxes identiques.

Enfin, dans le cas d'un capteur Offset, ne pas oublier de tenir compte de l'effet d'ombre "en

retour" sur les rayons réfléchis.

Tout est affaire de choix (période d'utilisation dans l'année, heure d'utilisation au cours de la journée...) pour optimiser la configuration définitive du capteur.

La question de l'effet d'ombre portée du second étage sur le premier n'a pas été traitée, mais il ne faudra pas oublier de la prendre en compte lorsqu'il s'agira dévaluer le rendement du capteur

#### **§ 4 EFFETS COSINUS, EFFETS D'OMBRE, DENSITE ENERGETIQUE SURFACIQUE ET TEMPERATURE DE LA VAPEUR .**

Les vignettes du tableau des positions angulaires des miroirs mettent en exergue l'importante diminution de surface de captation réelle de l'énergie solaire par un capteur de Fresnel, notamment dans les cas extrêmes en début et fin de journée, ou en fin de saison d'hiver, en raison de l'effet cosinus transversal, de l'effet cosinus longitudinal, de l'effet d'ombre entre miroirs, et de l'effet d'ombre du second étage sur le premier..

C'est au concepteur, en liaison avec l'utilisateur, d'effectuer les choix qui s'imposent compte tenu de l'ensemble des spécificités afférentes au capteur, en gardant à l'esprit que le fait de privilégier un paramètre revient toujours à en pénaliser un autre, et que le fait de privilégier les extrêmes aux dépens du milieu est rarement satisfaisant

Le taux de concentration étant conventionnellement défini comme le rapport entre la surface de captation et la surface du récepteur (= surface du tube du bouilleur), la variation de la densité énergétique surfacique impacte directement non seulement la quantité mais aussi le niveau de température de la vapeur disponible.

La rusticité d'un capteur Fresnel a donc un certain coût.

#### **§ 5 – CAPTEUR EST-OUEST, CAPTEUR NORD-SUD, ET CYLINDRO-PARABOLIQUE**

**les commentaires ci dessus ne sont valables que pour un capteur est-ouest**

Le débattement angulaire annuel des miroirs d'un capteur Est-Ouest est limité à 32 °, alors que le débattement quotidien des miroirs d'un capteur Nord-Sud est de l'ordre de  $22,5 + 22,5 = 45^\circ$

Dans le cas d'un capteur Est-Ouest, la plage de fonctionnement étant moins large, la courbure des miroirs est plus adaptée donc plus efficace.

Un capteur cylindro-parabolique, dont c'est l'axe qui est pointé vers le soleil, ne connaît que l'effet cosinus longitudinal, il ne connaît pas d'effet cosinus transversal ni aucun effet d'ombre. Par contre le poids de charpente au m<sup>2</sup> de miroir ainsi que l'importance de l'ancrage au sol ont un coût supérieur à celui de la rusticité d'un capteur Fresnel