

1ère partie	2ème partie	3ème partie	4ème partie	5ème partie	6ème partie
Production	Utilisation	Production	Memento	vers d'autres	Cuiseur Fresnel à
de la vapeur	de la vapeur	de glace	Technologique	horizons	conduite manuelle



Accédez à la documentation complète de

www.soleil-vapeur.org

6ème Partie Liste des chapitres:

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

Conception du cuiseur

► **Chap II Le suivi du soleil par un capteur "Fresnel"**

Chap III – Les miroirs sous tous leurs angles

Chap IV – Détermination du 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 II LE SUIVI DU SOLEIL PAR UN CAPTEUR FRESNEL

pages

3 Section I RAPPELS PRÉALABLES

3 § 1 ensoleillement direct et ensoleillement diffus

3 § 2 Mouvements périodiques et point de référence

4	§ 3 Miroir cylindro-parabolique, miroir plan, et miroir cintré
5	§ 4 Effet cosinus
7	§ 5 La réflectivité des miroirs
7	§ 6 Effet d'extrémité
10	§ 7 Les effets d'ombre
11	Section II CYCLE ANNUEL ET CYCLE QUOTIDIEN
11	§1 Cycle annuel
13	§ 2 Cycle quotidien
14	Section III SUIVI DU SOLEIL PAR UN CAPTEUR FRESNEL ORIENTÉ NORD-SUD
14	§ 1 Le suivi au cours de la journée
15	§ 3 Les effets d'ombre
16	§ 2 L'effet d'extrémité
17	Section IV SUIVI DU SOLEIL PAR UN CAPTEUR FRESNEL ORIENTÉ EST-OUEST SYMETRIQUE
17	§ 1 L'effet d'extrémité
18	§ 2 Les effets d'ombre
18	§ 3 Le suivi au cours de la journée
18	A) Une première idée simple, mais complètement fausse
20	B) Calcul de la variation quotidienne autour de midi, à 9h00 et 15h00, au cours de l'année
22	§ 4 Amplitude de la variation annuelle
22	Section V SUIVI DU SOLEIL PAR UN CAPTEUR FRESNEL OFFSET ,
23	Section VI LE SUIVI QUOTIDIEN PENDANT UNE ANNÉE : ANIMATION.gif
23	A) Présentation de l'animation
24	B) Présentation d'une vignette
24	C) La rotation des miroirs

L'étude du suivi du soleil est un préalable indispensable avant de dessiner un capteur. Ce chapitre reprend en les complétant des éléments déjà exposés dans la première partie de la documentation de soleil-vapeur.org ; une formulation légèrement différente apporte parfois un éclairage nouveau....

La lecture de ce chapitre n'est pas indispensable, elle est même totalement inutile tant pour le constructeur (dans la mesure où il a des plans de réalisation à sa disposition) que pour le conducteur, dont le geste est identique à celui d'un éclairagiste de théâtre pointant son projecteur de poursuite sur un acteur, avec toutefois un cheminement bien limité : le parcours angulaire des miroirs entre 9h00 et 15h00 varie, selon la saison, entre zéro et 4,04° le matin, et autant l'après midi mais dans l'autre sens.

Section I - QUELQUES RAPPELS

§ 1 ENSOLEILLEMENT DIRECT ET ENSOLEILLEMENT DIFFUS

Le rayonnement solaire direct est celui qui parvient sur le capteur sans être aucunement perturbé par les nuages, ni diffracté par l'humidité ou la pollution contenues dans l'air.

Le rayonnement solaire diffus est la fraction de rayonnement direct renvoyée notamment par les nuages, l'humidité ou la pollution. Par temps nuageux, le rayonnement direct est nul, seul subsiste le rayonnement diffus.

La direction des rayons solaires directs est parfaitement précise, les ombres au sol sont franches. Le rayonnement solaire diffus vient de partout pour s'en aller nulle part, les ombres sont imprécises ou totalement absentes.

Tous les capteurs à miroirs, qui sont donc des capteurs soumis aux lois de l'optique, n'utilisent que le rayonnement direct : ils ne fonctionnent correctement que par beau temps clair bien établi, lorsque le contour des ombres sur le sol est franc.

Petit a-partie : les capteurs plans thermiques ou photovoltaïques sont capables d'utiliser le rayonnement solaire indirect, de même que les capteurs à tubes sous vide tels que ceux utilisés pour le cuiseur à caloducs, mais la puissance est bien plus faible, voire même insignifiante, en comparaison de la puissance disponible par un beau temps bien établi.

§ 2 MOUVEMENTS PERIODIQUES ET POINT DE REFERENCE

Dans un mouvement cyclique, le point de repère est la position médiane, à mi parcours du cycle, et non une de ses positions extrêmes.

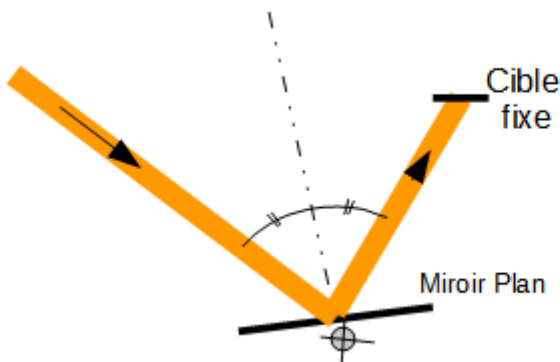
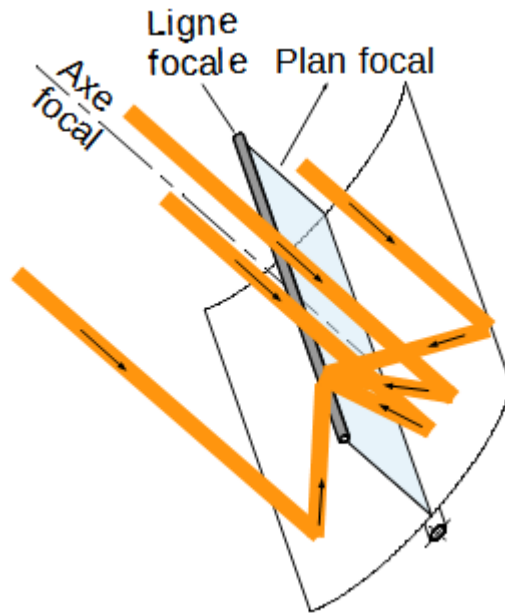
Ainsi pour le cycle annuel du périple de la Terre autour du soleil, le milieu du cycle se situe aux jours de l'équinoxe, les 22 Mars et 22 Septembre; la prochaine section tentera d'en expliquer le pourquoi.

Pour le cycle quotidien de la rotation de la Terre autour de son axe, le milieu du cycle se situe, comme son nom l'indique, à midi.

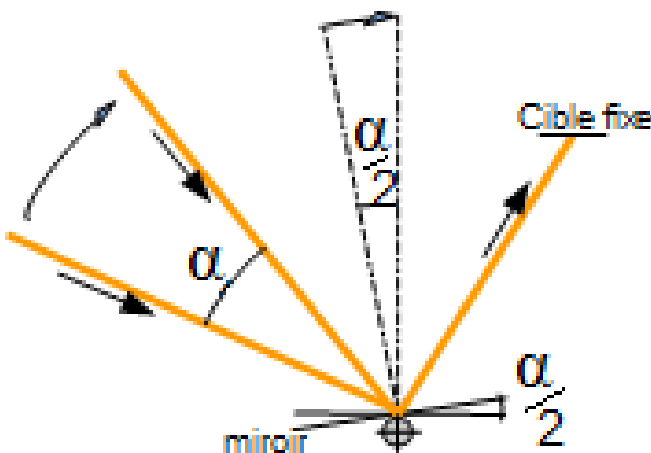
§3 MIROIR CYLINDRO-PARABOLIQUE , MIROIR PLAN , ET MIROIR CINTRE

1-Un miroir cylindro parabolique tel que celui présenté, par exemple, à la première partie de la documentation, renvoie les rayons parallèles du flux solaire vers le foyer linéaire de la parabole, situé sur le plan de symétrie de la parabole.

Le miroir et le foyer sont solidaires sur une même structure installée sur un seul axe parallèle au foyer. L'ensemble est en permanence orienté de façon à ce que le plan focal (= plan de symétrie du miroir) soit pointé vers le soleil



2-Dans le cas d'un capteur à miroir plan, le rayon solaire direct qui parvient sur le miroir est réfléchi vers la cible selon la loi de Descartes : le rayon incident et le rayon réfléchi sont symétriques par rapport à la normale au miroir au point d'incidence.



Si la source du rayon lumineux se déplace selon un angle α , et que l'on souhaite continuer à le réfléchir sur la même cible que précédemment, alors il convient de modifier l'orientation du miroir selon un angle $\alpha / 2$

Noter que lorsque l'on travaille en trois dimensions, la loi de Descartes peut toujours être décomposée sur deux plans orthogonaux, ce qui dans certains cas facilitera le raisonnement.

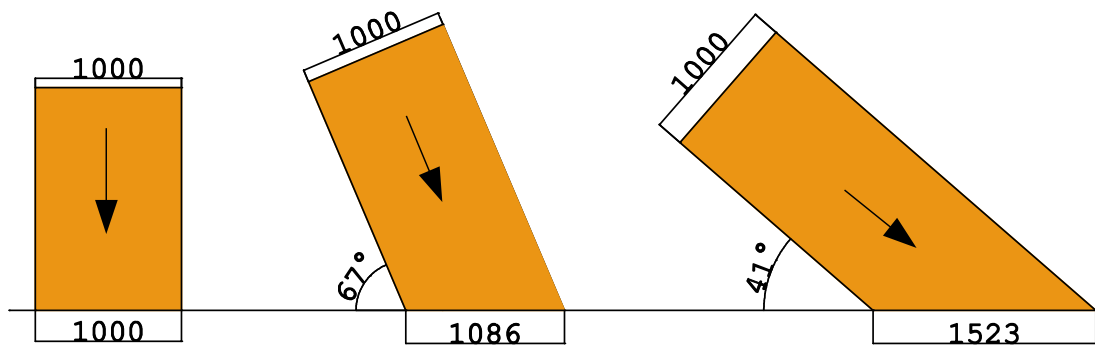
comparaison des deux dispositifs :

- dans le cas d'un capteur à miroir cylindro parabolique, la cible est mobile et le déplacement angulaire est égal à celui du soleil,
- dans le cas d'un capteur à miroir plan, la cible est fixe, et le déplacement angulaire du miroir est moitié moindre

3- Le miroir légèrement cintré nous fait entrer de plain pied dans de subtiles complications qui seront examinées en détail au chapitre IV. Il y sera question de miroirs à grand rayon de courbure, de l'ordre de 2,5 à 3 fois la distance entre le Concentrateur Parabolique Composé et le miroir concerné ; le terme de "miroir pseudo-plan" serait peut-être plus adéquat. Le rayon incident qui atteint le miroir en son centre est réfléchi comme si le miroir était plan, alors que le grand rayon de courbure permet de rétrécir quelque peu la largeur globale du flux réfléchi afin de le faire passer sans perte majeure par la pupille d'entrée du CPC.

§ 4 EFFET COSINUS

Lorsque le flux solaire parvient sur une surface plane, que ce soit un miroir ou bien un capteur plan, il "s'étale" plus ou moins en fonction de l'angle d'incidence, et par la même occasion il perd de son intensité. Lorsque l'incidence est proche de la normale, l'effet cosinus est quasiment négligeable, mais aux faibles angles d'incidence, il devient rédhibitoire.



Pour la commodité du raisonnement, on pourrait distinguer deux effets cosinus :

- le premier est dû au déplacement du soleil d'Est en Ouest au cours de la journée ;
- le second est dû à la variation de hauteur du soleil dans le ciel, au cours de la journée et au fil des saisons ;

Un capteur plan est soumis aux deux effets cosinus ci dessus, qui plus est se conjuguent Soit par exemple un capteur plan, correctement exposé au Sud, et incliné par rapport à l'horizontale de façon à être exposé perpendiculairement aux rayons du soleil au jour de l'Equinoxe à midi

("jour de référence").

Au cours de la journée, le soleil se lève à l'Est puis se couche à l'Ouest. Il y a donc un effet cosinus variable du matin au midi (réducteur au lever du soleil) et un effet cosinus variable du midi au soir (réducteur en fin de journée)

Un capteur cylindro-parabolique, dont le plan focal est en permanence pointé en direction du soleil, ne subit qu'un seul effet cosinus. S'il s'agit d'un capteur orienté Nord-Sud, il subit l'effet cosinus dû à la variation de hauteur du soleil dans le ciel. S'il s'agit d'un capteur orienté Est-Ouest, il subit l'effet cosinus dû au déplacement du soleil d'Est en Ouest ; c'est le cas du petit capteur de 2 m² proposé dans la première partie de la documentation de soleil-vapeur.org.

$\cos 10^\circ = 0,98$

$\cos 20^\circ = 0,94$

$\cos 30^\circ = 0,87$

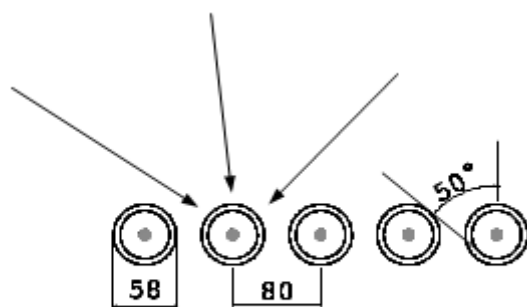
$\cos 40^\circ = 0,76$

$\cos 45^\circ = 0,707$

L'effet cosinus est important avant 9 h et après 15 h : c'est donc au milieu de la journée qu'il faut utiliser au mieux le rayonnement solaire

Un capteur "Fresnel" orienté Est-Ouest subit un certain effet cosinus en plus de l'effet Est-Ouest, du fait que les miroirs ne sont que très rarement perpendiculaires aux rayons solaires incidents. La perpendiculaire aux miroirs, ou leur plan axial dans le cas de miroirs cintrés, forme avec les rayons incidents un angle qui varie perpétuellement, qu'il sera possible de déterminer, lors de l'étude du prochain chapitre III intitulé "Les miroirs sous tous leurs angles" .

Dans le cas d'un capteur linéaire orienté Est-Ouest, comme c'est le cas pour le capteur Fresnel qui nous intéresse ici, on pourrait donc distinguer *l'effet cosinus longitudinal* parallèle au grand axe du capteur et dû au déplacement apparent du soleil de l'Est vers l'Ouest, et *l'effet cosinus transversal* perpendiculaire aux miroirs, dû à la variation de hauteur du soleil dans le ciel. Les deux effets se conjuguent, *l'effet cosinus total étant le produit de l'effet cosinus longitudinal multiplié par l'effet cosinus transversal*.



Capteur à tubes sous vide
Vu en coupe

Petit a-parte : **les capteurs à tube sous vide** (cf "le cuisinier à caloducs étagés", en 5ème partie) sont beaucoup moins assujettis à l'effet cosinus dû au déplacement du soleil d'Est en Ouest

§ 5 LA REFLECTIVITE DES MIROIRS

La réflectivité des miroirs n'est jamais égale à 100 %, elle varie beaucoup en fonction notamment de deux facteurs

- la qualité des miroirs ; un bon miroir en aluminium poli a une réflectivité de l'ordre de 90 à 95 %
- l'angle d'incidence sous lequel parvient le rayonnement . Les valeurs de réflectivité fournies par les fabricants de miroirs sont généralement valables pour des angles d'incidence proches de la normale ; mais lorsque l'angle d'incidence devient faible, les qualités de réflectivité diminuent très rapidement, notamment la spécularité du rayonnement réfléchi, ce qui est très fâcheux lorsque le miroir est chargé de concentrer le rayonnement qu'il reçoit.

Le défaut de réflectivité des miroirs vient amplifier l'effet cosinus.

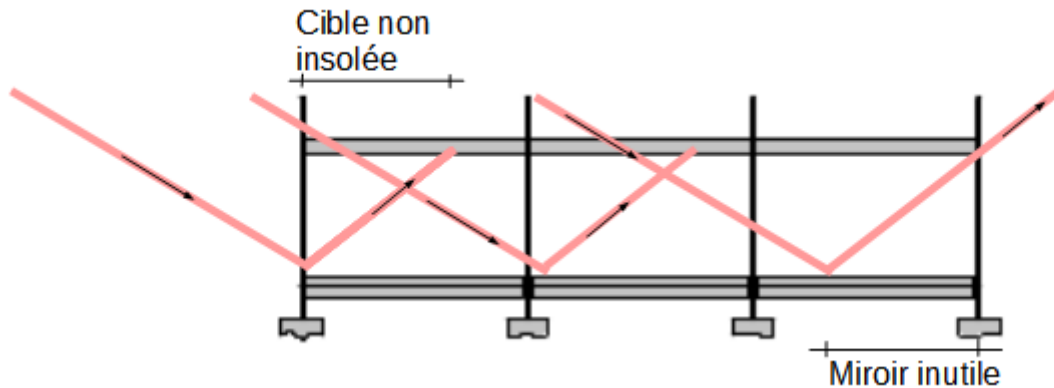
En l'absence de données chiffrées des fournisseurs, il est toutefois possible de se rendre compte quelque peu du phénomène à l'aide d'un crayon laser : observer la tache réfléchie lorsque le rayon laser est dirigé quasi-normalement à la surface, et lorsqu'il est dirigé sous un angle d'environ 40° par rapport à la normale

§ 6 L' EFFET D'EXTRÉMITÉ

Un capteur solaire linéaire subit forcément un effet d'extrémité.

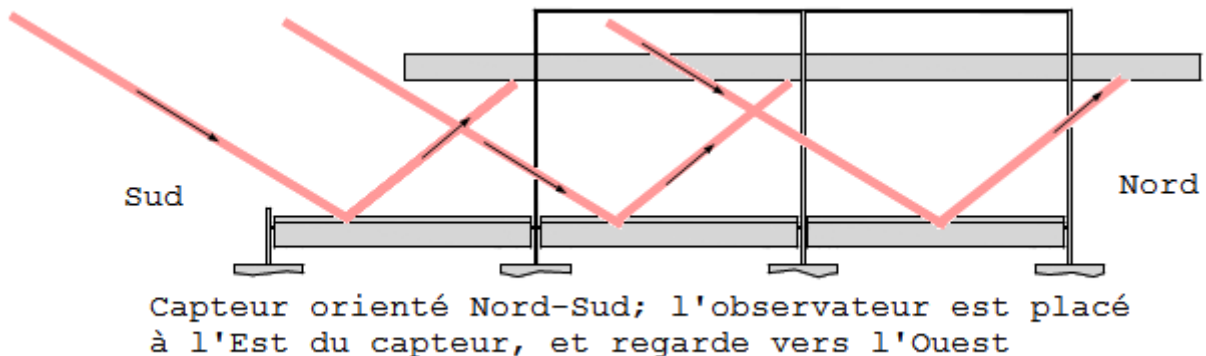
Lorsque le flux solaire parvient sur le miroir par une extrémité, alors il est réfléchi vers l'autre extrémité. Il s'ensuit que la cible, par exemple le tube chaudière contenu dans le second étage n'est insolé que partiellement. La partie non insolée joue le rôle de radiateur de refroidissement du fluide thermique, alors qu'à l'autre extrémité les rayons solaires sont renvoyés dans l'ambiante par une portion de miroir inutile.

Dans les schémas ci dessous, le capteur est installé sur l'hémisphère Nord, à une latitude moyenne



Dans le cas d'une très grande installation, l'effet d'extrémité n'est pas significatif ; mais dans le cas de petites installations, comme ici, il peut être rédhibitoire.

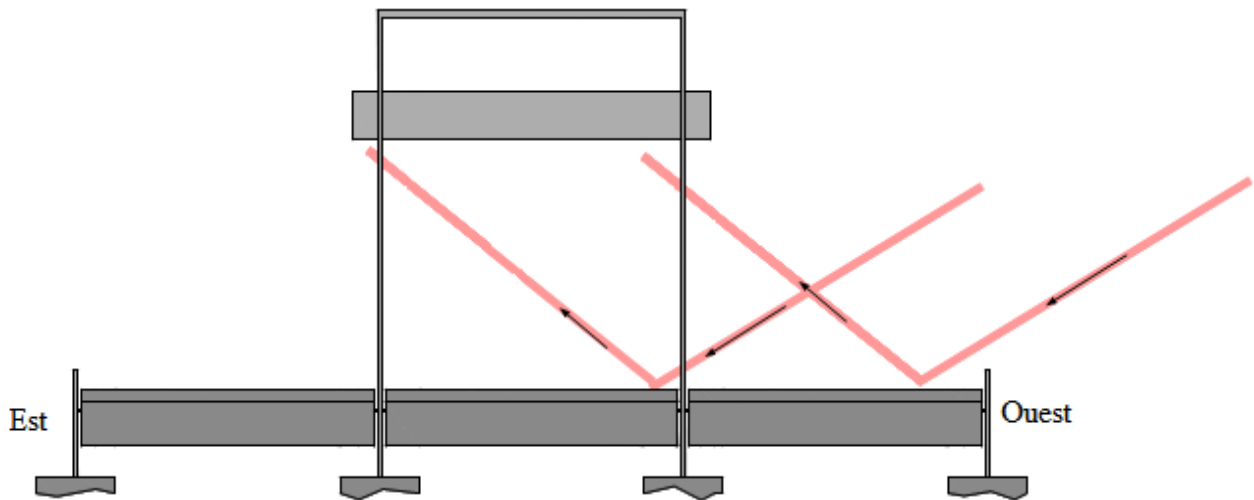
A) DANS LE CAS D'UN PETIT CAPTEUR LINÉAIRE ORIENTÉ NORD-SUD, les éléments de solution consistent à décaler la position du Concentrateur vers le Nord (ou vers le Sud dans l'hémisphère Sud), avec la possibilité de le déplacer au fil des saisons, ou bien de déplacer les miroirs



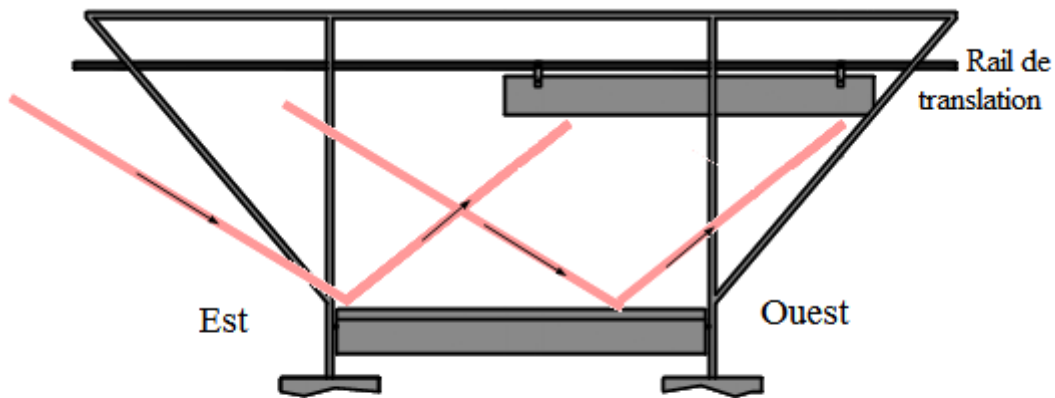
Toutefois, cette solution a des limites : lorsque le soleil est très bas sur l'horizon, les rayons sont renvoyés à l'infini à l'autre extrémité du capteur

B) DANS LE CAS D'UN PETIT CAPTEUR LINÉAIRE ORIENTÉ EST-OUEST, l'effet d'extrémité n'est pas saisonnier mais quotidien ; les solutions sont alors

- soit de prolonger les miroirs de l'étage inférieur vers l'Est et vers l'Ouest
- soit de translater le Concentrateur et sa chaudière au cours de la journée . Dans le premier cas, il y aura toujours une fraction de surface de miroirs inutilisée car les prolongations ne travaillent qu'alternativement au cours de la journée ; dans le second cas, le conducteur aura un peu plus de travail



Capteur orienté Est-Ouest avec miroirs prolongés, en fonctionnement vers 14h 00.
L'observateur est placé au Nord du capteur, et regarde vers le Sud



Capteur orienté Est-Ouest avec Concentrateur mobile, en fonctionnement à 10 h00 environ.
L'observateur est placé au Nord, et regarde vers le Sud

C'est cette seconde solution qui a été choisie pour la suite de cette étude. . Ce n'est pas un choix parfait, mais en architecture solaire, comme en architecture navale lorsqu'il s'agit de construire un bateau à voiles, il n'y a pas de solution parfaite, tout n'est que compromis afin de répondre pour le mieux aux besoins spécifiques du moment.

§ 7 LES EFFETS D'OMBRE

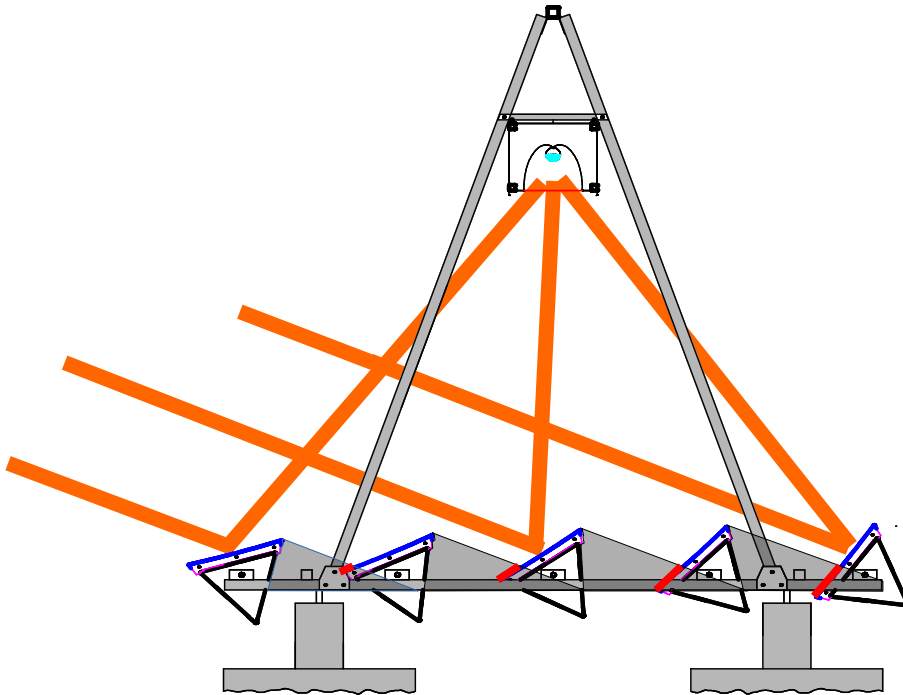
On peut distinguer trois effets d'ombre :

1- l'effet d'ombre causé par le second étage sur les miroirs primaires,

Cette question sera abordée dans les sections II et III .

2- l'effet d'ombre causé par les miroirs primaires entre eux

L'effet d'ombre des miroirs entre eux est un problème classique qui se pose pour tous les champs de miroirs. Il y a toujours des limites de fonctionnement, à définir par le concepteur en fonction de son projet.



En rouge: les zones d'ombre

Pour diminuer l'effet d'ombre entre miroirs, il est toujours possible de les écarter un peu plus, mais c'est au détriment de la densité énergétique surfacique. Dans le cas des capteurs type Fresnel, le rapport entre la surface des miroirs et l'emprise au sol est de l'ordre de 0,6 à 0,73 , selon François Veynand (Thèse INP Toulouse 2011, page 60).

3 - l'effet d'ombre causé par la structure sur les miroirs. Il est possible d'y remédier quelque peu en allégeant au mieux la structure, ou bien... en rajoutant quelques m² de miroirs.

Un capteur Fresnel Offset échappe à l'effet d'ombre du second étage, à l'effet d'ombre de la structure, et il permet de réduire l'effet d'ombre entre miroirs, notamment si l'inclinaison du champ de miroirs est optimisée en fonction de la latitude, ce qui permet en outre de réduire l'effet cosinus transversal.

Section II CYCLE ANNUEL ET CYCLE QUOTIDIEN

Le propos du capteur Fresnel présenté ici est d'obtenir un niveau de température de l'ordre de 100 à 160°, ce qui nécessite une certaine concentration du rayonnement solaire. Il nous faudra donc passer sous les fourches caudines des lois de l'optique.

La source du flux solaire étant perpétuellement en mouvement, il convient de l'examiner d'un peu plus près pour pouvoir correctement l'apprivoiser et faire un choix dans les modes de suivi.

Il n'y aura pas de solution miracle, il n'y a que des solutions plus ou moins bien adaptées au propos du moment, comme c'est pratiquement de règle en matière d'énergie solaire. Mais, au final, il faudra bien se décider à faire un choix

§ 1 LE CYCLE ANNUEL DE LA ROTATION DE LA TERRE AUTOUR DU SOLEIL

La Terre tourne autour du soleil en une année de 365 jours environ, selon un plan dénommé plan de l'écliptique.

La Terre tourne sur elle même en une journée de 24 heures environ, selon un axe fictif passant par les pôles Nord et Sud, et dont l'orientation est fixe au regard de la voûte céleste.

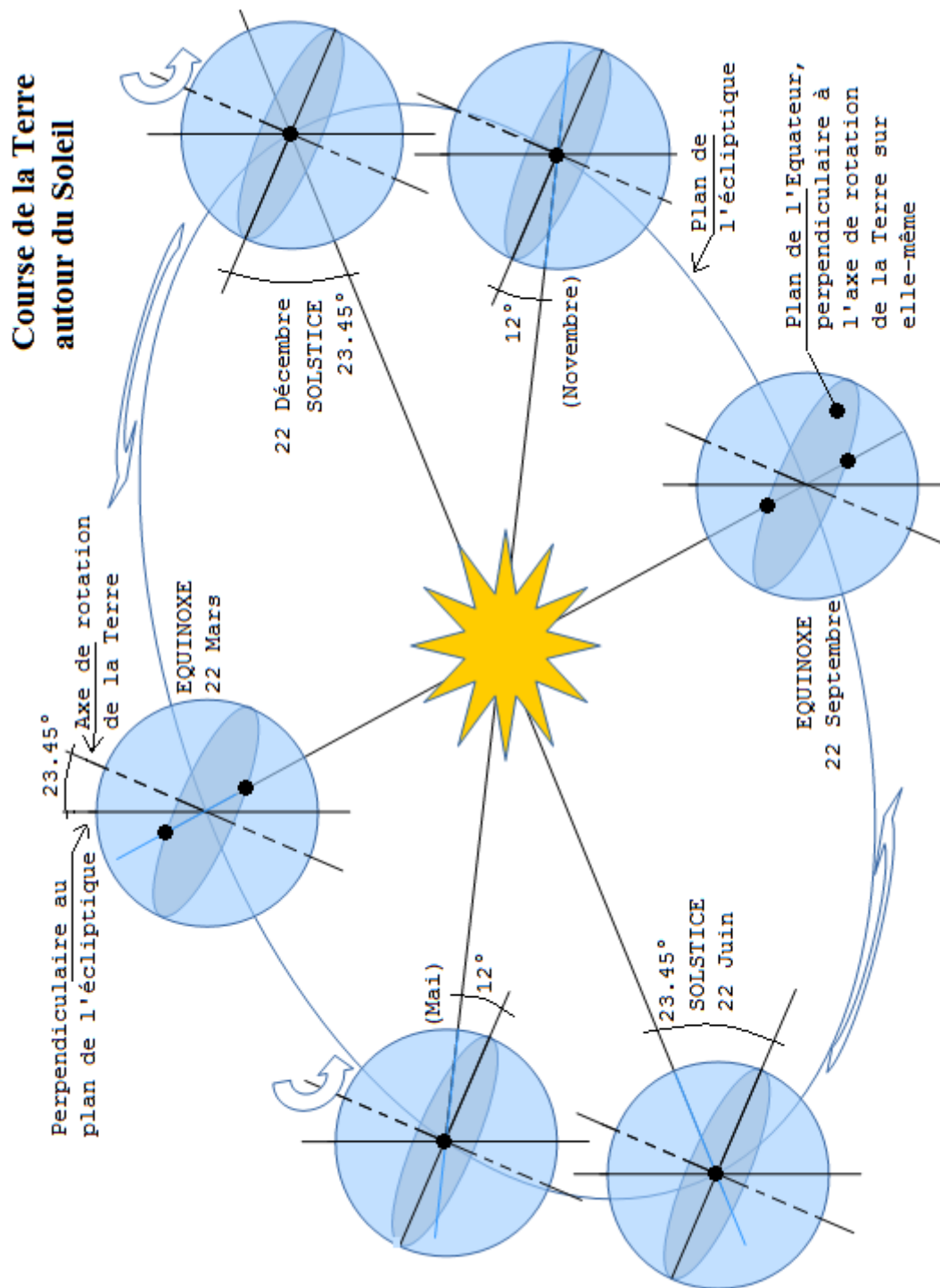
L'Equateur est un plan fictif perpendiculaire à l'axe fictif de rotation et séparant la Terre en deux hémisphères égaux.

Or il se trouve que l'axe de rotation de la Terre est incliné de 23.45° par rapport à la normale au plan de l'écliptique, ce qui entraîne toute une kyrielle de conséquences, notamment une variation périodique de l'angle nommé déclinaison formé entre d'une part la droite passant par le centre du Soleil et le centre de la Terre, et d'autre part le plan de l'Equateur.

Ci dessous, le schéma représente l'ensemble Terre-Soleil «vu de Sirius», en perspective pseudo-axonométrique (donc avec les déformations angulaires y afférentes, dont il ne faut pas se formaliser).

Le 22 Mars, la droite passant par le centre du Soleil et le centre de la Terre se confond avec le plan de l'Equateur, la déclinaison est nulle. Puis la déclinaison augmente progressivement. Le 22 décembre, elle passe par un maximum de 23.45°, correspondant à l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport à la normale au plan de l'écliptique. Elle diminue ensuite jusqu'à redevenir nulle au 22 Septembre, etc.

La courbe sinusoïdale représentant cette variation de la déclinaison est disponible en première partie de la documentation Chapitre II, Section IV, § 1. Conformément au principe énoncé à la première section du présent chapitre, la référence de la variation sinusoïdale se situe en milieu de cycle, c'est à dire aux jours de l'équinoxe, le 22 Mars et le 22 Septembre.



Les notions de Tropiques (à la latitude $23,45^\circ$) et de cercles polaires (à la latitude $90^\circ - 23,45^\circ = 66,55^\circ$), qui ne nous sont pas indispensables pour le moment, ne sont pas abordées ici

Pour notre besoin immédiat, on ne retient ici qu'une douzaine de valeurs de la déclinaison: aux deux jours de l'équinoxe bien sûr, aux deux jours des solstices aussi, plus quelques cas intermédiaires le 22 de chaque mois, présentés dans le tableau ci dessous, qui n'est qu'un extrait du tableau disponible en première partie de la documentation Chapitre II, Section IV, § 1.

Dates	Déclinaison
22 Mars Equinoxe	0,00
22 Avril	11,93
22 Mai	20,34
22 Juin Solstice	23,45
22 Juillet	20,24
22 Août	11,40
22 Septembre Equinoxe	0,61
22 Octobre	-12,10
22 Novembre	-20,64
22 Décembre Solstice	-23,44
22 Janvier	-19,93
22 Février	-10,87
22 Mars Equinoxe	0,00

Remarquer la symétrie des valeurs par rapport à n'importe quel diamètre de l'écliptique, sans se formaliser des très légères a-symétries, le cycle annuel étant de 365 jours *environ*, et sans tenir compte des années bissextiles.

Notre propos étant d'étudier la poursuite du soleil par un capteur solaire, une des conséquences de ce cycle annuel nous intéresse plus particulièrement, à savoir: la variation de la hauteur apparente du soleil dans le ciel au fil des jours.

Au jour de référence, c'est à dire au jour de l'Equinoxe, et à l'heure de référence, c'est à dire à l'heure de midi, la hauteur du soleil dans le ciel par rapport à l'horizontale est égale à la co-latitude du lieu d'observation. (la co-latitude = 90° moins la latitude.)

Autrement dit, on retient pour notre usage, que, **au jour de référence et à l'heure de référence, le soleil forme avec la verticale un angle égal à la latitude du lieu d'observation.**

Ainsi, à la latitude 30° (par exemple), au jour de l'Equinoxe et à midi, le soleil forme un angle de 30° avec la verticale., Puis cet angle va osciller de plus ou moins 23.45° , de façon inverse selon qu'il s'agit de l'hémisphère Nord ou de l'hémisphère Sud.

Et en dehors de la référence de midi, la hauteur du soleil dans le ciel va encore varier, au cours de la journée, en raison du cycle quotidien dû à la rotation de la terre sur son

axe

§ 2 LE CYCLE QUOTIDIEN DE LA ROTATION DE LA TERRE SUR SON AXE

Le cycle quotidien de la rotation de la Terre sur elle même serait simple à appréhender si l'inclinaison de l'axe de la Terre sur le plan de l'écliptique ne venait pas, là encore, compliquer les choses, comme par exemple les variations relatives de la durée du jour et de la nuit.

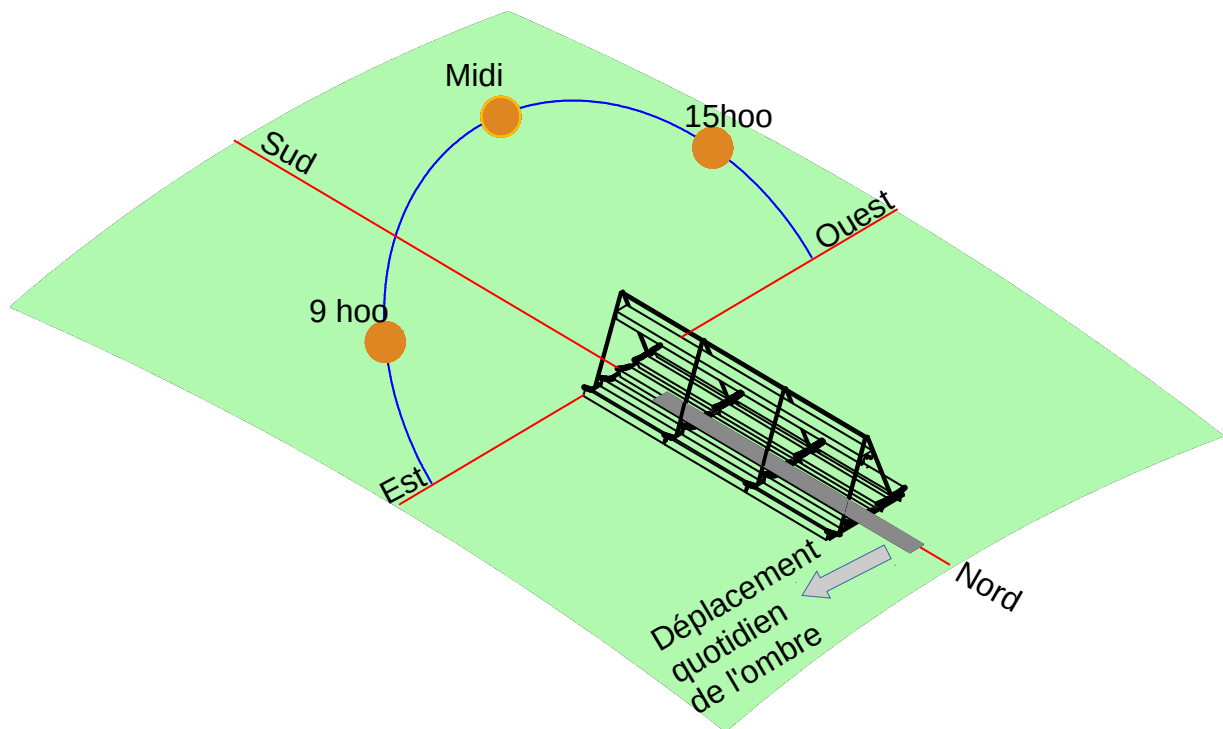
La situation est compliquée aussi lorsqu'il s'agit de décrire le suivi permanent du soleil au cours de la journée, notamment dans le cas d'un capteur orienté Est-Ouest. Commençons donc , dans la section suivante, par envisager le cas d'un capteur Fresnel orienté Nord-Sud .

Section III LE SUIVI DU SOLEIL PAR UN CAPTEUR "FRESNEL" ORIENTE NORD-SUD

§1 LE SUIVI AU COURS DE LA JOURNEE

Le suivi du soleil par un capteur orienté Nord-Sud est relativement simple.

Au jour de référence de l'Equinoxe, la course angulaire du soleil dans le ciel est de $360/24 = 15^\circ$ par heure. Avec un déplacement angulaire par heure aussi important, la poursuite du soleil ne peut qu'être automatisée, c'est pourquoi cette configuration n'a pas été retenue.



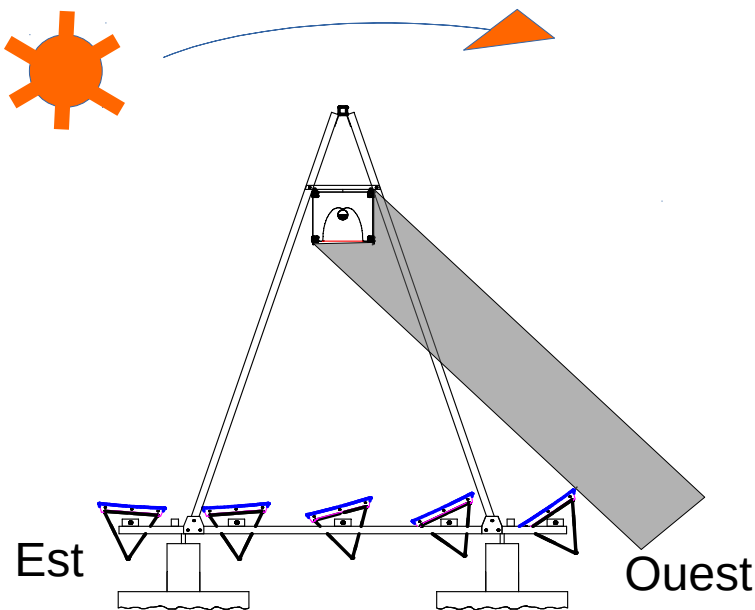
Ci dessus : Capteur type "Fresnel " installé sur l'hémisphère Nord et orienté Nord-Sud.
L'observateur est situé au Nord-Nord Est du capteur, et regarde vers le Sud Ouest

§ 2 LES EFFETS D'OMBRE

Effet d'ombre entre les miroirs :

La question de l'inévitable effet d'ombre entre les miroirs du premier étage a été mentionnée à la section précédente. Dans le cas d'un capteur orienté Nord-Sud, c'est en début et fin de journée que les miroirs font de l'ombre l'un sur l'autre. La configuration Nord-Sud n'étant pas retenue ici, il n'y a pas lieu de chercher à déterminer l'effet d'ombre, mais si besoin la méthode utilisée pour une configuration Est-Ouest (voir section IV) est tout à fait transposable

Effet d'ombre du second étage sur le premier :



Capteur orienté Nord-Sud ; l'observateur est placé au Nord du capteur, et regarde vers le Sud

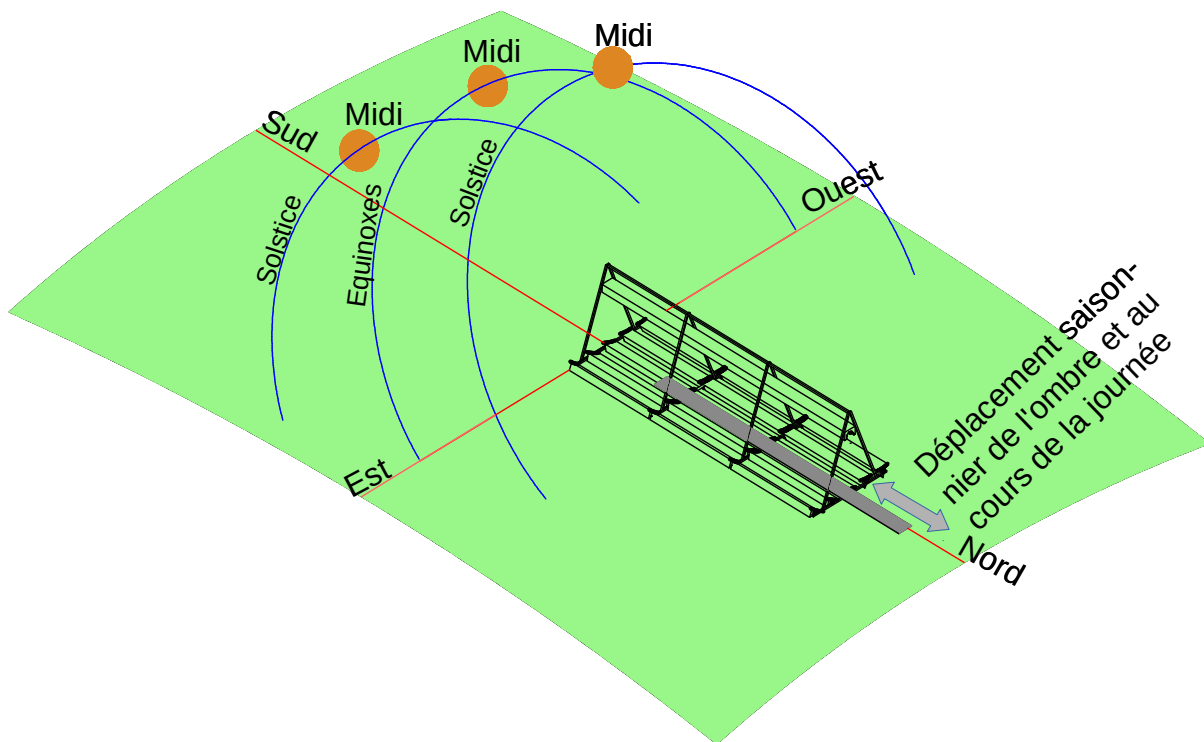
L'heure précise à laquelle le concentrateur du second étage commence à faire de l'ombre sur les miroirs du premier étage dépend de la configuration géométrique du capteur. Dans le cas de figure "moyen" ci contre, l'effet d'ombre a lieu principalement de 9h00 à 15 h00, c'est à dire pendant la pleine période de travail du capteur. L'ombre passe successivement d'une rangée de miroirs à la suivante, de l'Est vers l'Ouest.

Cela viendra ultérieurement brouiller les subtils calculs de production de vapeur et de rendement de vapeur au m², selon que l'ombre porte plus ou moins sur un miroir ou entre deux miroirs...

§ 3 L'EFFET D'EXTREMITE

Au jour de référence et à l'heure de référence, le soleil forme avec la verticale du lieu d'implantation du capteur, un angle égal à la co-latitude, c'est à dire 90° moins la latitude du lieu. Pour un capteur installé à l'hémisphère Nord, par exemple à la latitude 40° , le rayon réfléchi à cet instant de référence est renvoyé vers le Nord du capteur. La partie Sud du Concentrateur Parabolique Composé n'est pas insolée, et le cas échéant le tube chaudière qu'il contient ne sert qu'à refroidir le fluide thermique chauffé par ailleurs.

L'angle relevé au jour et à l'heure de référence varie de $+23,45^\circ$ à $-23,45^\circ$ au fil des saisons. L'effet d'extrémité est d'autant plus important que l'on progresse vers les hautes latitudes.



L'effet d'extrémité saisonnier se combine avec un effet d'extrémité horaire : en début et fin de journée, le soleil est très bas sur l'horizon.

Les deux effets d'extrémité se combinent avec l'effet cosinus. A partir d'une certaine latitude, un capteur orienté Nord-Sud n'est plus opérationnel.

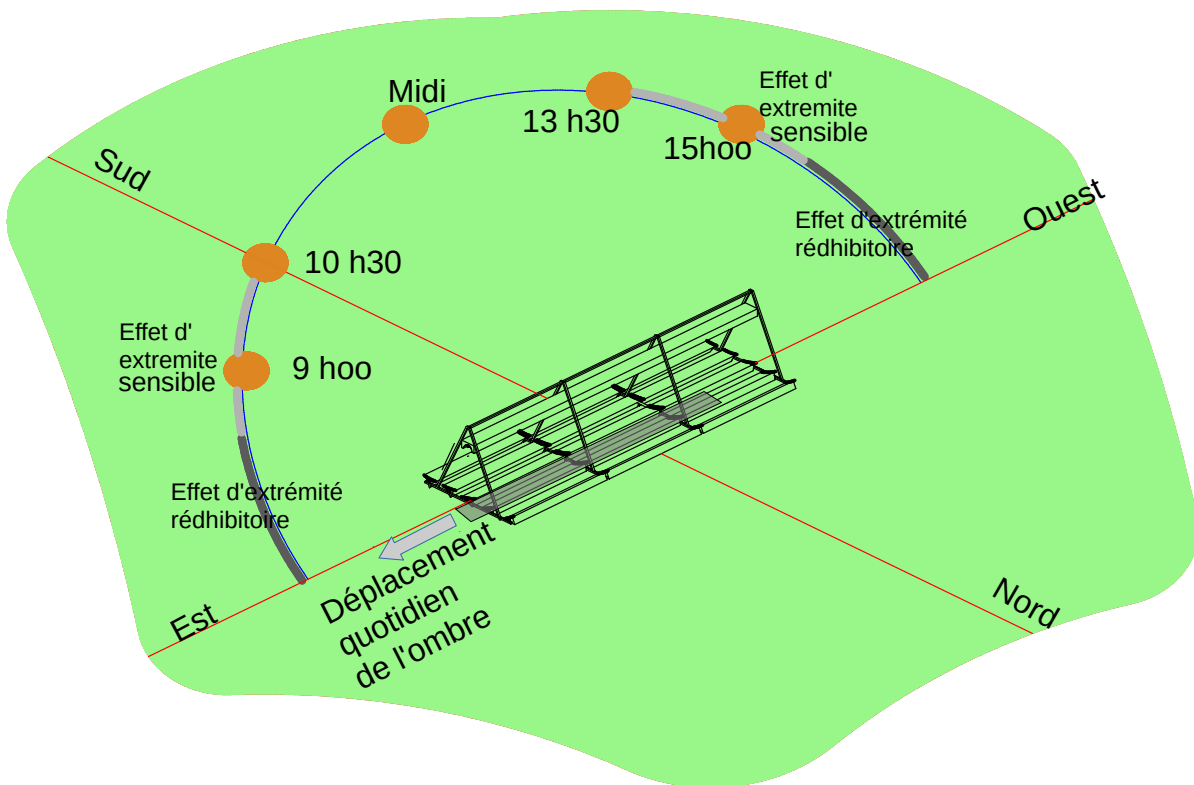
Dans le cas d'un capteur installé exactement à l'Equateur, le balancement de plus ou moins $23,45^\circ$ s'effectue par rapport à la verticale du lieu ; l'effet cosinus longitudinal est donc très limité, et peut même être négligé

SECTION IV LE SUIVI DU SOLEIL PAR UN CAPTEUR FRESNEL SYMETRIQUE ORIENTE EST-OUEST

§1 L' EFFET D'EXTREMITE

Dans le cas d'un capteur orienté Est-Ouest, l'effet d'extrémité est sensible en début et en fin de journée ; il se combine avec l'effet cosinus, et il est imparable, inhérent à ce type de capteur. Un capteur orienté Est-Ouest travaille médiocrement avant 8h00 et après 16h00 solaires, si ce n'est pour commencer la mise en chauffe ou pour achever une cuisson en profitant de l'isolation du récipient de cuisson (effet "marmite norvégienne").

Alors que dans le cas d'un capteur orienté Nord -Sud l'effet d'extrémité dépendait en grande partie de la latitude, dans le cas d'un capteur Est-Ouest il est quotidien, il est imparable, depuis l'Equateur aux hautes latitudes



A 9h00 du matin, le rayon réfléchi est renvoyé vers l'Ouest selon un angle d'environ 45°, et inversement le soir. La question de l'effet d'extrémité a été abordée précédemment, avec comme éléments de solution la prolongation du miroir primaire vers l'Est et vers l'Ouest, ou bien la translation du receveur sur un rail au cours de la journée, et c'est cette dernière solution qui a été retenue pour la suite.

§ 2 LES EFFETS D'OMBRE DANS LE CAS D'UN CAPTEUR SYMETRIQUE

L'effet d'ombre du second étage sur le premier est à envisager sous deux aspects

- pour une date donnée, le second étage fait de l'ombre sur une même file de miroirs tout au long de la journée de travail, voir schéma ci dessus
- d'une saison à l'autre, l'ombre change de file en fonction de la variation saisonnière de la hauteur du soleil dans le ciel, voir schéma ci dessous

Cos 10° = 0.98
Cos 20° = 0.94
Cos 30° = 0.87
Cos 40° = 0.76
Cos 45° = 0.707
Cos 50° = 0.64
Cos 55° = 0.57
Cos 60° = 0.5
Cos 65° = 0.42
Cos 70° = 0.34
Cos 75° = 0.26
Cos 80° = 0.17
Cos 85° = 0.09

L'effet d'ombre entre miroirs, dans le cas d'un capteur orienté Est-Ouest, est fonction de la latitude du lieu d'implantation. Il est nul sous les basses latitudes, mais à partir de 45° et plus, lorsque le soleil est très bas en hiver, il n'est plus guère possible d'utiliser un capteur linéaire à deux étages. C'est là une limite infranchissable, il faut s'orienter vers d'autres types de capteur comme le capteur Fresnel Offset, ou le capteurs cylindro-parabolique sur une seule file, ou le capteurs à tube sous vide (par exemple : le capteur à caloducs étagés, présenté dans la 5ème partie de la documentation)

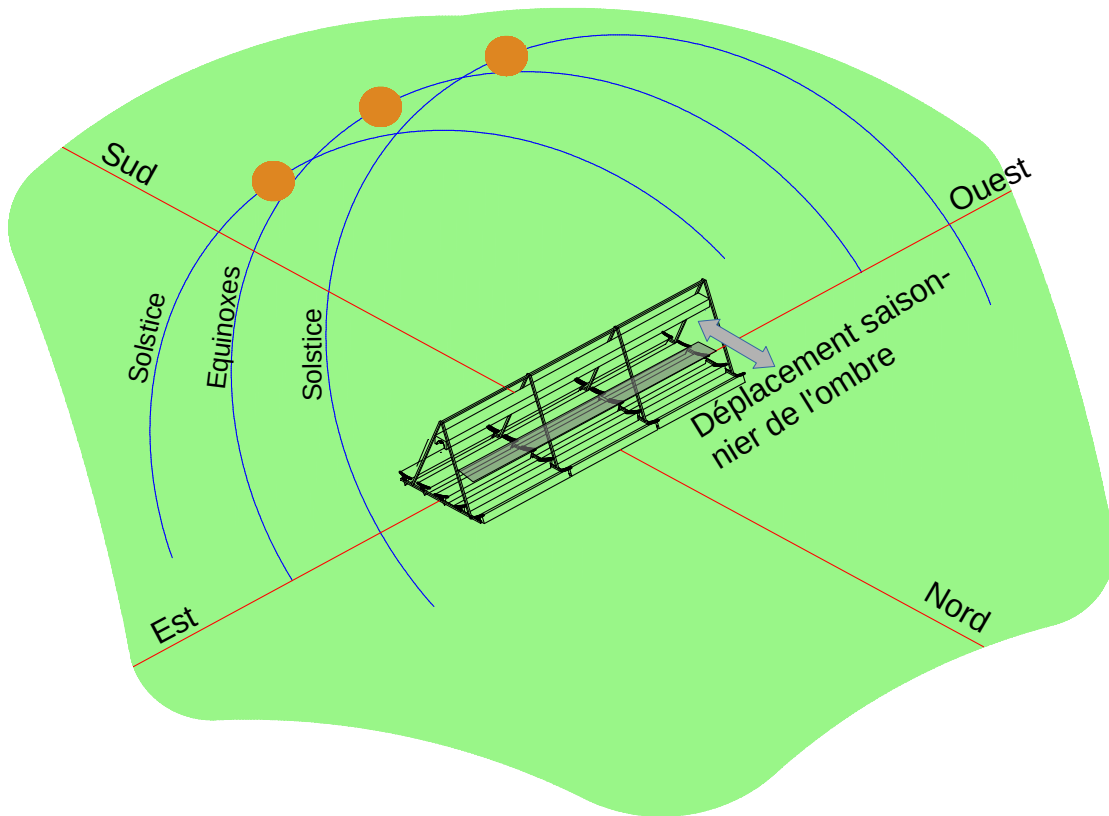
§ 3 LE SUIVI AU COURS DE LA JOURNÉE

Le suivi du soleil par les miroirs d'un capteur Fresnel orienté Est-Ouest est similaire au suivi du soleil par le capteur cylindro parabolique orienté Est-Ouest proposé dans la première partie de la documentation de soleil-vapeur.org, avec toutefois une différence : le parcours angulaire des miroirs pseudo-plans du capteur Fresnel est deux fois moins important que celui du miroir cylindro-parabolique.

A) UNE PREMIÈRE IDÉE, SIMPLE MAIS HELAS (presque) COMPLÈTEMENT FAUSSE

La course apparente du soleil dans le ciel s'inscrit dans un plan, plus ou moins élevé sur l'horizon en fonction de la latitude et de la saison. S'agissant d'un capteur orienté Est-Ouest, on pourrait penser que, le capteur étant bien réglé le matin selon l'angle formé par le plan et l'horizontale du lieu, il n'y aurait plus aucun réglage à effectuer jusqu'au soir.

C'est hélas sans compter avec l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre sur le plan de l'écliptique. Le raisonnement ci dessus est tout à fait valable lorsque le capteur se situe sur le plan de la course du soleil dans le ciel, ce qui se produit deux fois par an aux jours d'Equinoxes, mais la plupart du temps ce plan est soit "devant" soit "derrière" le capteur.



En hiver et pour l'hémisphère Nord, le soleil se lève et se couche au Sud d'une ligne Est-Ouest passant par un observateur (ou par le capteur).

En été, le soleil se lève et se couche au Nord de cette ligne Est-Ouest. (on peut sur le sujet consulter dans la première partie le chapitre IX "ombre portée...")

Ce balancement de plus ou moins $23,45^\circ$ au fil des saisons vient compliquer le suivi du soleil, sauf aux deux jours remarquables de l'Equinoxe, point de référence du balancement annuel ; ce jour là, le soleil se lève parfaitement à l'Est et se couche parfaitement à l'Ouest du capteur : aucun réglage n'est à effectuer pendant toute la journée.

- entre l'équinoxe et le solstice d'hiver, et avant ou après l'heure de midi, il faut *plonger le miroir vers l'avant* pour pouvoir le pointer vers le soleil, alors que

- entre l'équinoxe et le solstice d'été, et avant ou bien après l'heure de midi, il faut *cabrer le miroir vers l'arrière* pour pouvoir le pointer vers le soleil, (d'où l'impression fallacieuse que le soleil pourrait être plus haut dans le ciel à 9h ou 15h, par rapport à midi.)

Voir à ce sujet, 1ère partie, chapitre I, § 1,5,5

B) CALCUL DE LA VARIATION QUOTIDIENNE AUTOUR DE MIDI à 9h00 et à 15 h00, au cours de l'année

S'agissant d'un capteur orienté Est-Ouest, la contrainte du capteur est de maintenir le plan de symétrie Est-Ouest de chaque miroir dans le même plan que la bissectrice de l'angle formé par le soleil/le miroir/et le CPC. L'angle à prendre en compte pour l'orientation des miroirs n'est donc pas la hauteur du soleil. *L'angle à prendre en compte pour orienter le plan de symétrie Est-Ouest de chaque miroir est la projection de l'angle de hauteur du soleil dans un plan orthogonal au plan de*

symétrie et au plan horizontal, voir illustration page suivante. Cette projection atténue la variation de l'angle de rotation des miroirs autour du midi solaire.

Pour les calculs de l'amplitude de la variation quotidienne autour de midi, le lecteur voudra bien se reporter à la 1ère partie de la documentation, chapitre II, section IV § 2.

On peut ainsi compléter le tableau de la section II ci dessus ;

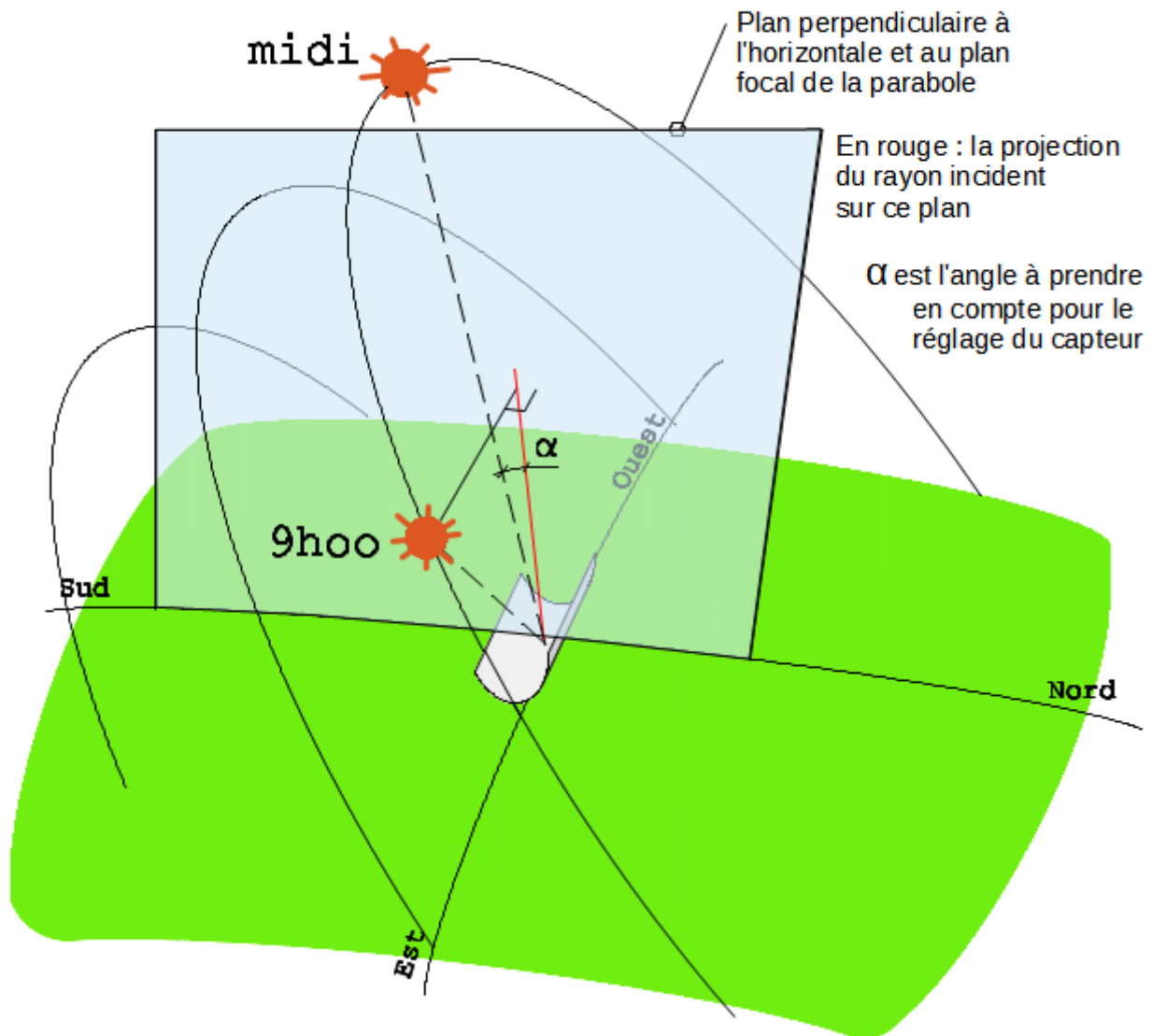
Dates	Déclinaison	Variation quotidienne à 9h00 et 15h00
22 Mars Equinoxe	0,00	0,00
22 Avril	11,93	4,71
22 Mai	20,34	7,33
22 Juin Solstice	23,45	8,08
22 Juillet	20,24	7,30
22 Août	11,40	4,52
22 Septembre Equinoxe	0,61	-0,25
22 Octobre	-12,10	-4,77
22 Novembre	-20,64	-7,40
22 Décembre Solstice	-23,44	-8,08
22 Janvier	-19,93	-7,22
22 Février	-10,87	-4,32
22 Mars Equinoxe	0,00	0

Par rapport à la position de référence, la variation de la "hauteur" du soleil à prendre en compte, à 9,h00 et à 15h00, est au maximum de 8,08° aux jours des solstices. C'est le jour où le conducteur du capteur a le plus de travail, environ une douzaine ou une quinzaine de repointages en 6 heures, en fonction de la configuration des rapports géométriques entre le premier et le second étage. Aux équinoxes (22 Septembre et 22 Mars), l'amplitude est nulle : le conducteur peut se reposer toute la journée...

Enfin, last but not least, s'agissant de miroirs réfléchissant un flux lumineux selon la loi de Descartes, la rotation des miroirs est deux fois moins importante que la variation de "hauteur" du soleil dans le ciel ; la conduite manuelle n'en est que facilitée.

ci dessous : schéma de la projection de l'angle de hauteur du soleil sur un plan orthogonal au plan de symétrie du capteur et au plan horizontal.

Le schéma est valable pour un capteur cylindro-parabolique comme pour un capteur cintré, mais dans le premier cas le miroir doit effectuer une rotation égale à α , alors que dans le second cas le miroir effectue une rotation égale à $\alpha/2$



§ 4 AMPLITUDE DE LA VARIATION ANNUELLE

Par rapport à sa position de référence à l'Equinoxe à midi, la hauteur du soleil dans le ciel varie de $+23,45^\circ$ au solstice d'été à $-23,45^\circ$ au solstice d'hiver.

En ajoutant à cette variation la variation quotidienne maximum autour de midi entre 9h00 et 15h00, on obtient une variation maximum annuelle de $(23,45=8,08) * 2 = 63,04^\circ$.

La variation maximum des miroirs cintrés sera deux fois moindre autour de la position de référence, soit $63,04/2 = 31,53^\circ$, c'est à dire environ 16° de part et d'autre.

Section V - SUIVI DU SOLEIL PAR UN CAPTEUR FRESNEL OFFSET ORIENTE EST-OUEST

Un capteur Offset est obligatoirement un capteur orienté Est-Ouest, le suivi du soleil est identique dans ses grands principes au suivi d'un capteur Est-Ouest symétrique .

L'EFFET D'EXTREMITE

Comme pour les capteurs précédents, la parade consiste soit à prolonger le premier étage par des élancements, soit à faire translater le second étage par le conducteur au cours de la journée.

LES EFFETS D'OMBRE DANS LE CAS D'UN CAPTEUR OFFSET

L'effet d'ombre entre miroirs est très fortement atténué par un choix judicieux de l'inclinaison du plan des miroirs, c'est l'intérêt majeur de la configuration Offset. Le prochain chapitre "Les miroirs sous tous leurs angles " est notamment consacré à cette question

L'effet d'ombre du second étage sur le premier est inexistant, du fait de l'installation du second étage au niveau du sol, ou du moins au niveau de l'utilisateur. (avec pour avantage collatéral la possibilité de transférer l'énergie thermique par caloduc)

EFFETS COSINUS

L'effet cosinus longitudinal (c'est à dire du matin qu soir) est strictement le même que pour un capteur symétrique ;

L'effet cosinus transversal est quant à lui nettement amélioré, voir notamment le chapitre III "les miroirs sous tous leurs angles".

LE SUIVI AU COURS DE LA JOURNÉE est strictement identique à celui d'un capteur symétrique

Section VI - SUIVI DU SOLEIL DURANT UNE ANNEE : UNE ANIMATION .gif

A) PRESENTATION GENERALE DE L'ANIMATION

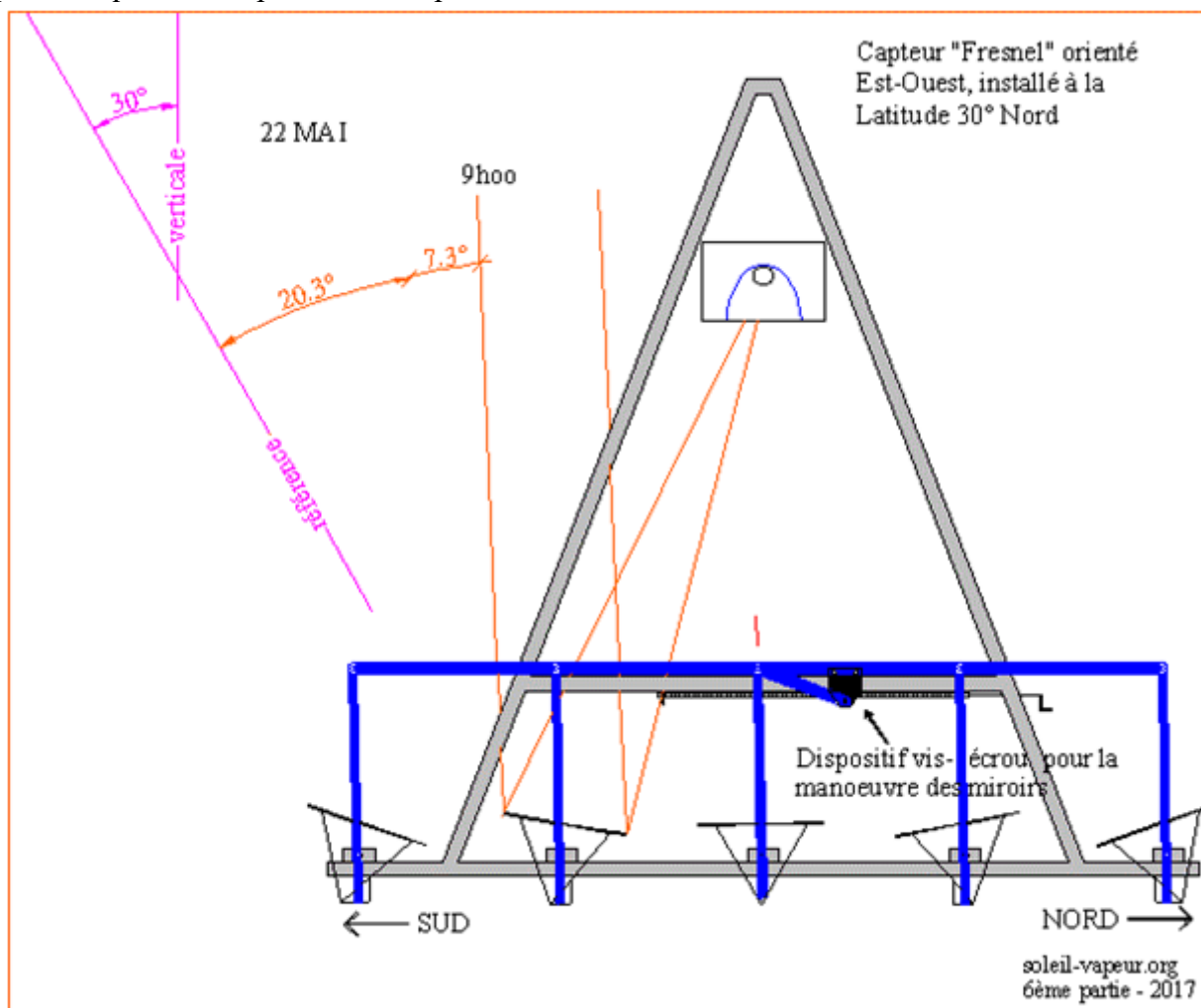
Télécharger ici une [animation représentant le suivi du soleil](#) par un capteur Fresnel orienté Est-Ouest

Il s'agit d'une illustration, ce n'est pas une explication et encore moins une preuve.

Il s'agit de représenter les différentes positions d'un capteur Fresnel installé à la latitude 30° Nord, orienté Est-Ouest, vu en coupe par un observateur placé à son extrémité Est.

Les cas de figure retenus sont

- les 12 dates du tableau ci dessous
- pour chaque date, la position du capteur à 9h00, à midi, et à 15h00



La droite marquée "référence" indique l'angle que fait le soleil avec la verticale du lieu d'installation du capteur, au jour de référence (aux Equinoxes) et à l'heure de référence (à midi). Comme indiqué Section II § 1 ci dessus, la valeur de cet angle est égale à la latitude du lieu.

À ce moment là, chaque miroir est installé dans sa position de référence, c'est à dire que le plan de symétrie de chaque miroir se confond avec la bissectrice de l'angle soleil/milieu du miroir/pupille d'entrée du CPC.

Chaque miroir a donc une orientation qui lui est propre, par rapport à l'horizontale du lieu.

Les leviers de manoeuvre sont installés parallèlement entre eux lorsque les miroirs sont en position de référence. Ils pourraient très bien être installés en position verticale, et balancer au fil du temps symétriquement de part et d'autre de la verticale. En fait ils sont installés avec un angle de 15 % environ par rapport à la verticale pour des raisons tout à fait secondaires d'encombrement du système vis-écrou . Une bielle d'accouplement permet la manoeuvre uniforme de tous les miroirs

Sur les vignettes, le tracé du flux réfléchi est effectué manuellement et sans précision, en respectant seulement la consigne selon laquelle la largeur du flux réfléchi par un miroir est égale au maximum à la moitié de la largeur de la pupille d'entrée. (voir chapitre IV)

B) PRESENTATION D'UNE VIGNETTE

L'exemple porte sur la vignette du 22 Mai à midi

Midi est l'heure de référence du jour en question. La valeur de 20,3° issue du tableau ci dessous indique l'angle que fait à midi le rayonnement incident par rapport à la référence des Equinoxes. Les miroirs quant à eux forment un angle de $20,3 / = 10,15^\circ$ par rapport à leur position de référence aux Equinoxes.

À 15h00, la hauteur apparente du soleil aura varié de $7,3^\circ$ par rapport midi, les miroirs auront été manoeuvrés de $7,3/2 = 3,66^\circ$, c'est à dire l'inverse de leur parcours du matin.

C) LA ROTATION DES MIROIRS

La valeur à prendre en compte pour la rotation des miroirs est égale à moitié de celle de la hauteur apparente du soleil dans le ciel. On peut donc compléter le tableau ci contre

Dates	Déclinaison	Déclinaison / 2	Variation quotidienne à 9h00 et 15h00	Variation quotidienne / 2
22 Mars Equinoxe	0,00	0,00	0,00	0,00
22 Avril	11,93	5,965	4,71	2,355
22 Mai	20,34	10,17	7,33	3,665
22 Juin Solstice	23,45	11,72	8,08	4,04
22 Juillet	20,24	10,12	7,30	3,65
22 Août	11,40	5,90	4,52	2,26
22 Septembre Equinoxe	0,61	0,305	-0,25	0,125
22 Octobre	-12,10	-6,05	-4,77	-2,385
22 Novembre	-20,64	-10,32	-7,40	-3,7
22 Décembre Solstice	-23,44	-11,72	-8,08	-4,04
22 Janvier	-19,93	9,965	-7,22	-3,61
22 Février	-10,87	5,435	-4,32	-2,16
22 Mars Equinoxe	0,00	0,00	0	0

2

à

la