

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



6ème Partie Liste des chapitres:

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



Accédez à la documentation complète de

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

www.soleil-vapeur.org

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 des 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 V LE CPC DU SECOND ETAGE ET LE COUPLAGE DU PREMIER ET DU SECOND ETAGE

pages

2 SECTION I Le concentrateur Parabolique Composé
Documentation issue de l'ouvrage de J.M. Chassériaux

9	SECTION II Un jeu à quatre variables
9	§ 1 – L'angle d'acceptance
10	§ 2 - Le tube- chaudière, dit aussi "bouilleur"
10	A) Tableau des dimensions commerciales disponibles
11	B) Volume et diamètre
11	§ 3 - La largeur de la pupille d'entrée
12	§ 4 – Le taux de concentration
14	§ 5 – Tableau des choix possibles
15	SECTION III - Calcul et dessin du CPC
15	§1 – Le calcul des points sur tableur
15	§ 2 – Le dessin sur DAO
16	SECTION IV – Le CPC final
16	§ 1 – Les valeur retenues
17	§ 2 – Sorties du tableur et dessin en DAO
18	§ 3 – Vérification graphique
19	§ 2 – Commentaires

Section I LE CONCENTRATEUR PARABOLIQUE COMPOSE

Lors de la définition d'un capteur, le couplage du premier et du second étage est l'étape la plus importante, la clé de voûte du système, pour laquelle il convient d'utiliser tous les moyens disponibles sans exclusive: le calcul, le dessin, et l'expérience – aussi ténue soit-elle.

C'est le principe du couplage d'un miroir (parabolique ou autre) en premier étage, avec un CPC en second étage, qui fait l'objet du brevet détenu par soleil-vapeur (10 Oct 1996 – N° 96 12588)

Voici ci dessous un extrait de l'ouvrage de J.M. Chasseriaux "Conversion thermique du rayonnement solaire", publié chez Dunod avec l'aide de l'AFME (qui précédait l'ADEME) en 1984. L'ouvrage est épuisé mais il est disponible en ligne chez scribd.com

8. — LES CONCENTRATEURS PARABOLIQUES COMPOSÉS (CPC)

Les concentrateurs paraboliques composés (CPC) sont des systèmes qui ne forment pas d'image du soleil. Ils ont tout d'abord été développés en physique des hautes énergies pour la détection du rayonnement Cherenkov mais leur intérêt pour la concentration du rayonnement solaire n'a été reconnu que récemment, par Winston, en 1974. Ils sont particulièrement intéressants dans les systèmes à deux dimensions car ils ont alors la concentration idéale. Cette propriété n'est malheureusement pas vérifiée à 3 dimensions aussi nous limiterons-nous ici au cas à 2 dimensions.

Sous sa forme la plus simple, un CPC à absorbeur plan est composé de deux arcs de parabole symétriques (voir fig. 6.32). Ces deux arcs n'appartiennent pas à la même parabole. Le foyer de la parabole de droite par exemple est en A et son axe est parallèle à BD et fait un angle θ_c avec l'axe de symétrie de la figure qui est normal à l'absorbeur et à l'ouverture. En C , la tangente à la parabole est parallèle à l'axe de symétrie.

L'angle de champ du CPC est θ_c c'est-à-dire qu'en supposant les miroirs parfaits, tous les rayons qui font un angle $\theta < \theta_c$ avec l'axe de symétrie atteignent l'absorbeur.

Pour calculer la concentration géométrique, considérons deux rayons incidents parallèles faisant l'angle θ_c avec l'axe de symétrie et passant par les deux bords de l'ouverture (voir fig. 6.32).

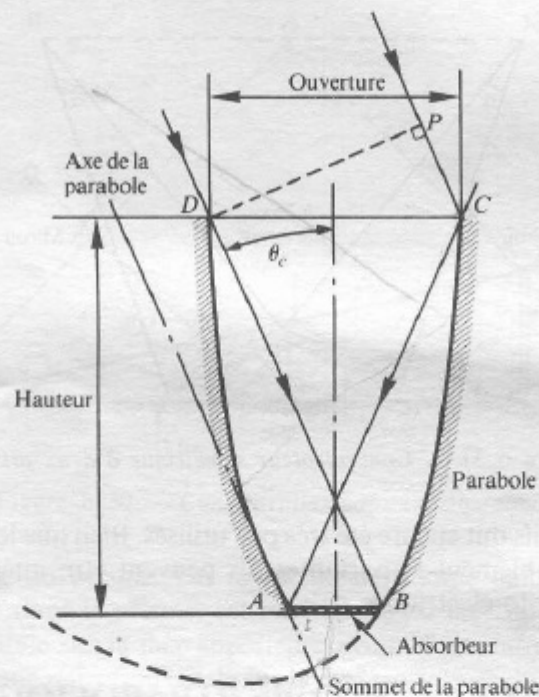


Figure 6.32. — Concentrateur parabolique composé.

Ces deux rayons vont après réflexion passer par le foyer A de l'arc de parabole BC . En vertu du principe de Fermat, les chemins optiques DBA et PCA doivent être égaux :

$$PC + CA = DB + BA$$

ou :

$$CD \sin \theta_c = BA$$

et :

$$C = \frac{CD}{AB} = \frac{1}{\sin \theta_c} = C_{\text{idéal } 2d}.$$

Si les CPC permettent d'atteindre la concentration idéale, ils présentent par contre l'inconvénient de nécessiter à concentration égale et pour un même absorbeur une surface de miroir plus importante que d'autres concentrateurs. Par un exemple, un CPC de concentration $C \gtrsim 10$ utilise deux fois plus de miroir qu'un capteur cylindro-parabolique comparable (voir exercice 6.8).

Fort heureusement, il est possible de réduire la surface des miroirs sans trop nuire aux performances du concentrateur. Il suffit pour cela de supprimer la partie supérieure du CPC. En effet, cette zone n'intervient que peu dans la concentration car le rayonnement incident y est presque parallèle aux miroirs. Les figures 6.33 et 6.34 permettent d'apprécier les effets de cette troncature.

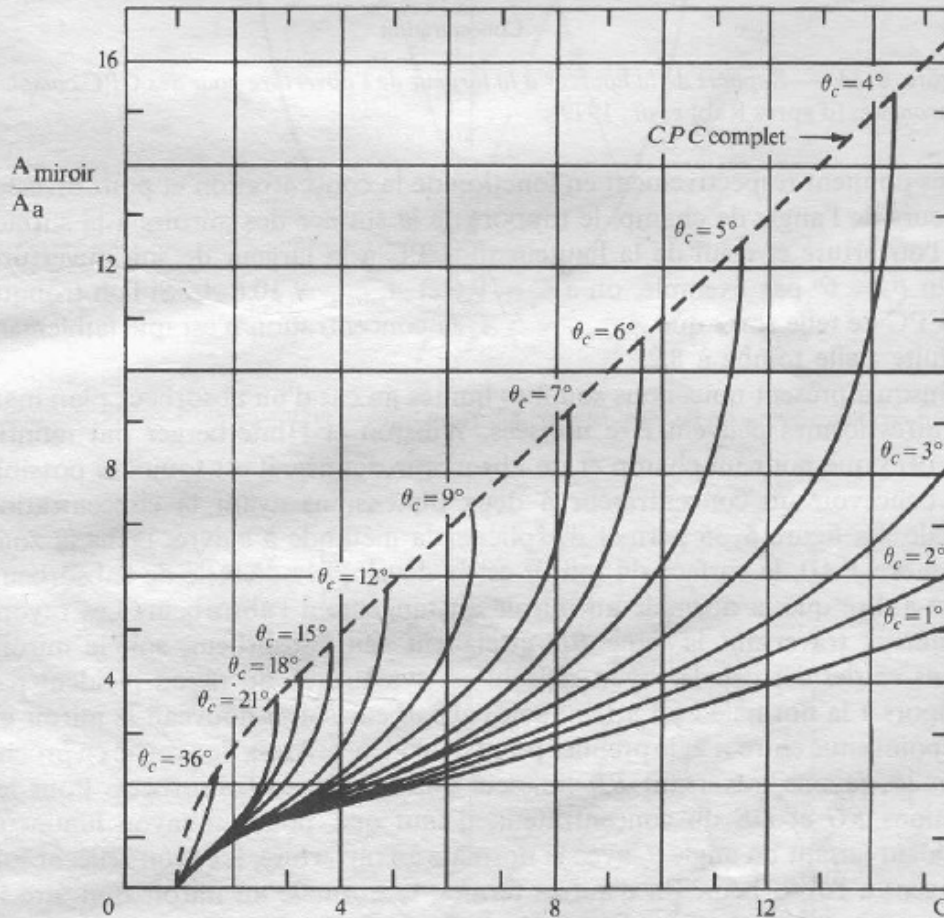


Figure 6.33. — Rapport de la surface des miroirs à la surface de l'ouverture pour des CPC complets ou tronqués (d'après Rabl et al., 1979).

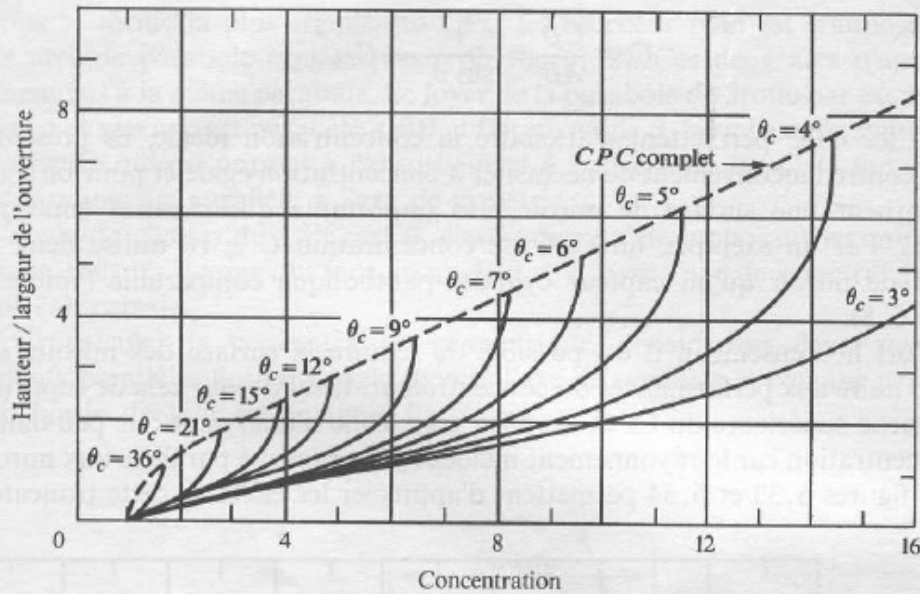


Figure 6.34. — Rapport de la hauteur à la largeur de l'ouverture pour des CPC complets ou tronqués (d'après Rabl et al., 1979).

Elles donnent respectivement en fonction de la concentration et pour diverses valeurs de l'angle de champ, le rapport de la surface des miroirs à la surface de l'ouverture et celui de la hauteur du CPC à la largeur de son ouverture. Pour $\theta_c = 6^\circ$ par exemple, on a $C = 9,6$ et $A_{\text{miroir}} = 10,6 A_a$. Si l'on tronque le CPC de telle sorte que $A_{\text{miroir}} = 5 A_a$ la concentration n'est que faiblement réduite : elle tombe à 8,2.

Jusqu'à présent nous nous sommes limités au cas d'un absorbeur plan mais d'autres formes peuvent être utilisées. Winston et Hinterberger ont montré en 1975 que pour un champ et un absorbeur donnés, il est toujours possible de concevoir un concentrateur à deux dimensions ayant la concentration idéale. La figure 6.35 permet d'explicitier la méthode à suivre. Dans la zone d'ombre FAD , la surface du miroir est la développée de celle de l'absorbeur, c'est-à-dire que la normale au miroir est tangente à l'absorbeur. Les rayons lumineux traversant la ligne BD atteignent soit l'absorbeur, soit le miroir. Dans ce dernier cas, le rayon réfléchi est symétrique du rayon incident par rapport à la normale et il atteint soit l'absorbeur soit à nouveau le miroir en un point situé entre A et le premier point d'incidence. Ainsi, de proche en proche tous les rayons traversant BD finissent par rencontrer l'absorbeur. Pour les sections FG et DE du concentrateur, il faut que, pour un rayon lumineux incident faisant un angle θ_c avec la normale à l'ouverture, le rayon réfléchi soit tangent à l'absorbeur. En d'autres termes, la normale au miroir doit être la bissectrice de l'angle TPS . En effet, on est ainsi assuré que les rayons faisant un angle $\theta < \theta_c$ avec la normale à l'ouverture atteindront après réflexion soit l'absorbeur, soit la droite BD . La courbe ainsi obtenue n'est en général pas une

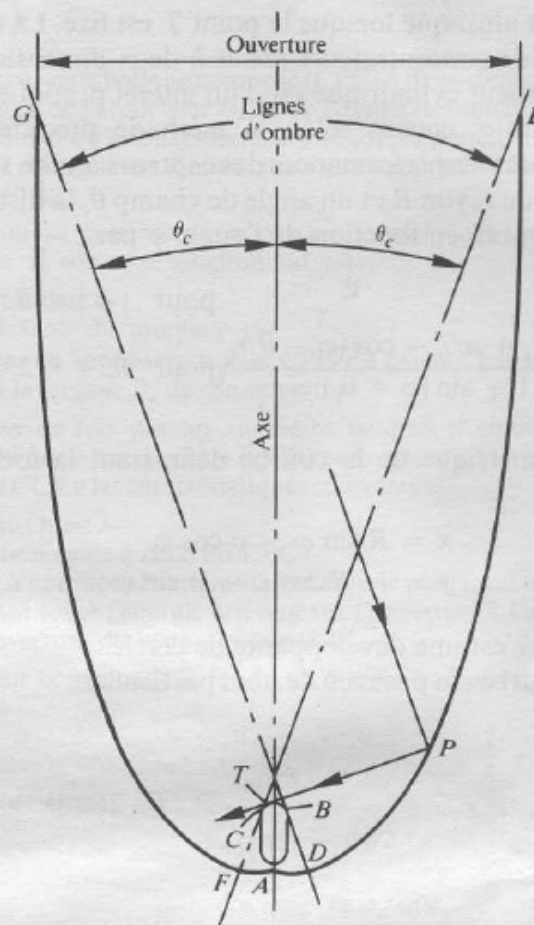


Figure 6.35. — Concentrateur idéal à deux dimensions avec un absorbeur quelconque.

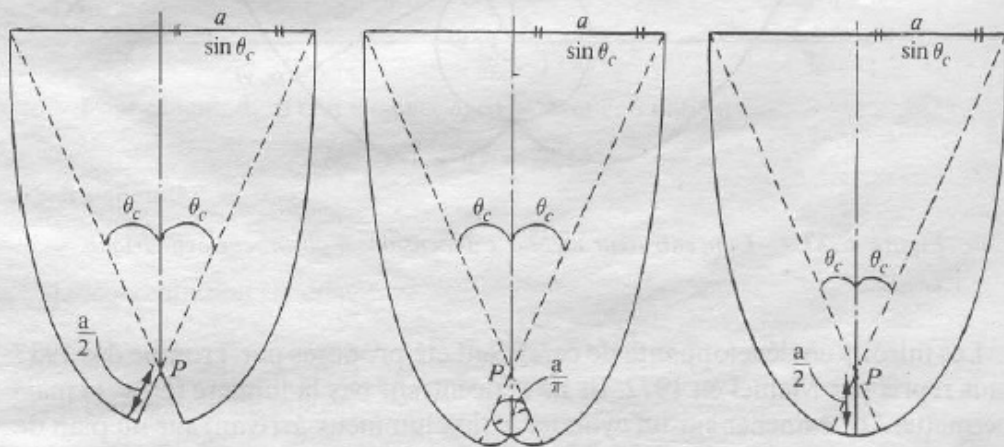


Figure 6.36. — Concentrateurs idéals à deux dimensions.

parabole. Il n'en est ainsi que lorsque le point T est fixe. La figure 6.36 donne quelques exemples de concentrateurs idéals à deux dimensions.

Le cas d'un absorbeur cylindrique est d'un intérêt pratique considérable. En particulier, des miroirs conçus selon la méthode précédente peuvent être utilisés pour améliorer les performances des capteurs à tube sous vide. Pour un cylindre absorbeur de rayon R et un angle de champ θ_c la distance ρ définie sur la figure 6.37 est donnée en fonction de l'angle φ par :

$$\rho(\varphi) = \begin{cases} R\varphi & \text{pour } |\varphi| \leq \theta_c + \pi/2 \\ R \frac{\varphi + \theta_c + \pi/2 - \cos(\varphi - \theta_c)}{1 + \sin(\varphi - \theta_c)} & \text{pour } \theta_c + \pi/2 \leq \varphi \leq 3\pi/2 - \theta_c \end{cases}$$

L'équation paramétrique de la courbe définissant la forme du miroir est donc :

$$\begin{aligned} x &= R \sin \varphi - \rho \cos \varphi \\ y &= -R \cos \varphi - \rho \sin \varphi \end{aligned}$$

Pour $\varphi \leq \theta + \pi/2$ c'est une développante de cercle.

Au-delà, cette courbe n'a pas reçu de nom particulier.

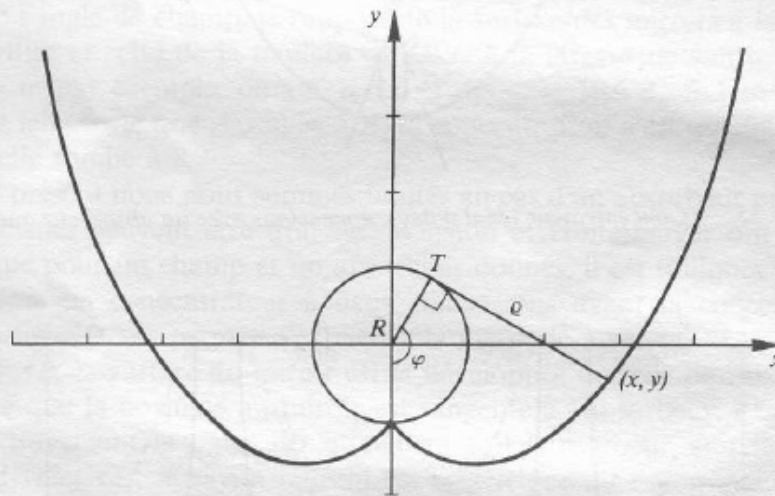


Figure 6.37. — Concentrateur idéal à 2 dimensions à absorbeur cylindrique.

Les miroirs en développante de cercle ont été proposés par Trombe dès 1957 puis repris par Meinel en 1972. Ils ne concentrent pas la lumière ($C = 1$) mais permettent de ramener sur un cylindre le flux lumineux arrivant sur un plan de même surface. Ils sont aujourd'hui couramment utilisés dans les capteurs à tubes sous vide.

Tel que décrit ci dessus, le CPC est destiné à être orienté vers le soleil, il reçoit alors directement des rayons parallèles entre eux, alors que dans le cas d'une utilisation comme second étage, le CPC est utilisé "à l'envers", gavé par un premier étage qui lui renvoie des rayons sous tous les angles, à condition toutefois de rester dans les limites de l'angle d'acceptance. Dans ce cas, la troncature du CPC telle qu'elle est exposée ci dessus est à manier avec prudence: s'agissant d'un flux solaire déjà partiellement concentré, il serait dommageable d'en perdre une partie."Perdre un peu de crème est plus grave que perdre un peu de lait."

A condition de respecter les règles de construction, il est possible d'envisager plusieurs configurations de CPC, notamment selon le niveau de température souhaité : une locomotive à vapeur pour marchandises n'avait pas la même configuration qu'une locomotive pour train express de voyageurs.

Certains auteurs (qui ?) ont proposé des CPC a-symétriques, d'autres ont proposé un CPC à deux étages pour renforcer la concentration solaire.

Pour le petit capteur de 2m² présenté en première partie, dont le premier étage ne comporte qu'une fraction de parabole, c'est le CPC tel que présenté à la page 260 de l'ouvrage de J.M.

Chasseriaux qui avait été retenu, avec un angle d'acceptance θ de 31 degrés. Dans le cas d'un capteur Fresnel, l'angle d'acceptance étant beaucoup plus important, de l'ordre de 45°, le choix d'un CPC tel que proposé à la page 264 est beaucoup plus pertinent

On retient notamment ici que quatre éléments sont liés: l'angle d'acceptance, le diamètre du tube receveur, la largeur de la pupille d'entrée, et le taux de concentration.

Pour faciliter les premières approches, on retient

Largeur de la pupille d'entrée = $(1/\sin \theta) * 3,14 * d$ d étant le diamètre du tube receveur

Taux de concentration "C" du CPC $C = 1/\sin^2 \theta = \text{pupille d'entrée}/\text{pupille de sortie}$; dans le cas du CPC à absorbeur cylindrique de la page 264, la pupille de sortie est égale au périmètre du cercle.

Hauteur du CPC : La formule $((\text{Pupille d'entrée} + \text{pupille de sortie})/2) * \cotg \theta$, qui convient parfaitement pour le CPC présenté page 260, n'est pas exactement adaptée au CPC de la page 264; elle fournit cependant une valeur approchée dont on se contentera ici à titre indicatif , mais uniquement pour les premières esquisses.

Section II UN JEU A QUATRE VARIABLES

On retiendra notamment ici que quatre éléments sont liés: l'angle d'acceptance, le diamètre du tube receveur, la largeur de la pupille d'entrée, et le taux de concentration.

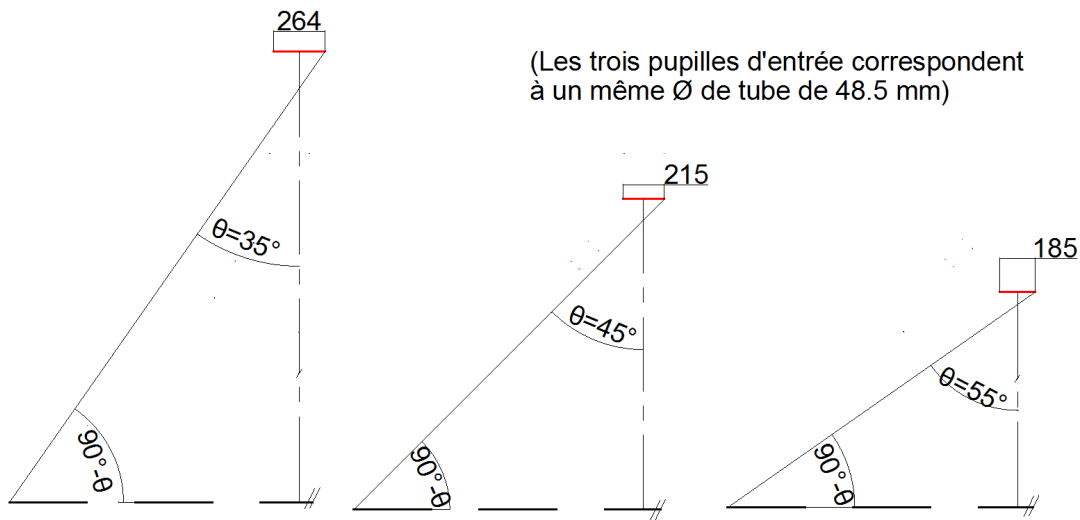
§ 1 – L'ANGLE D'ACCEPTANCE θ

L'angle d'acceptance peut être examiné principalement ici sous deux aspects

A) ANGLE D'ACCEPTANCE ET PROFIL DU CAPTEUR

Lorsque l'angle d'acceptance θ est peu élevé, l'angle $(90 - \theta)$ est important, le profil du capteur est donc élancé.

Lorsque l'angle d'acceptance θ est important, l'angle $(90 - \theta)$ est faible, le profil du capteur est donc écrasé. A partir d'un certain seuil, le flux réfléchi "s'étale" de façon démesurée sur la pupille d'entrée, et le capteur ne peut plus fonctionner



B) ANGLE D'ACCEPTANCE ET LARGEUR DE PUPILLE D'ENTREE

Largeur de la pupille d'entrée = $(1/\sin \theta) * 3,14 * d$

d étant le diamètre du tube receveur

Pour un diamètre de tube donné, la largeur de la pupille varie comme l'inverse du sinus de l'angle d'acceptance

Lorsque l'angle d'acceptance est peu élevé (et que le profil du capteur est élancé) la pupille d'entrée est large

Lorsque l'angle d'acceptance est important (et le profil du capteur est écrasé), la pupille d'entrée se rétrécit.

On conçoit bien que si l'on écrase exagérément la silhouette du capteur et que la pupille d'entrée se rétrécit, alors les flux réfléchis par les miroirs de rive, dont on a pu évaluer la largeur au précédent chapitre, atteindront la pupille d'entrée du CPC sous un angle tel qu'il s'étaleront sur une surface plus large que l'ouverture de la pupille.

Il y a donc un angle d'acceptance au delà duquel il est inutile de se risquer, quelques croquis "sur coin de table", qu'il serait inutile de reproduire ici, suffisent pour s'en convaincre.

La limite n'est pas franche, on peut admettre des marges de manoeuvre variées selon la qualité de réalisation, l'heure ou la saison d'utilisation préférentielle, l'habileté du conducteur (voire une conduite automatisée), etc...

Au vu de toutes ces considérations, et d'autres encore, et compte tenu de l'expérience acquise, l'angle d'acceptance maximum a été fixé ici à 45°. Rien toutefois ne prouve que ce soit le bon ou le meilleur choix.

Mesure de l'angle d'acceptance

Dans le cas d'un CPC couplé à un premier étage, les rayons lumineux parviennent sous des angles différents (ils ne sont pas parallèles entre eux). L'angle d'acceptance est donc mesuré dans le cas extrême d'un rayon provenant de l'extrémité d'un miroir de rive jusqu'à l'extrémité opposée de la pupille du concentrateur, et non pas jusqu'au milieu de la pupille, cf les schémas ci dessus.

§ 2 LE DIAMETRE DU TUBE

Sur le choix du tube du bouilleur (tube acier sans soudure éprouvé en usine à 50 bar)), voir le memento technologique en quatrième partie de la documentation.

A) TABLEAU DES DIMENSIONS COMMERCIALES DISPONIBLES

Dimensions des tubes pour canalisation					
Dénominations			Diamètre ext x épaisseur courante	Poids en Kg/ Ml	Volume int. en litres/Ml
DN	Pouce	"chauffage"			
DN 20	3/4"	20x27	26.9 x 2.3	1.40	0.39
DN 25	1"	26x34	33.7 x 2.9	2.20	0.61
DN 32	1 1/4"	33x42	42.4 x 2.9	2.82	1.05
DN 40	1 1/2"	40x49	48.3 x 2.9	3.25	1.42
DN 50	2"	50x60	60.3 x 3.2	4.51	2.28
DN 65	2 1/2"	66x76	76.1 x 3.2	5.75	3.82
DN 80	3"	80x90	88.9 x 3.2	6.76	5.35

B) VOLUME ET DIAMETRE

1-Le choix du volume du tube doit tenir compte de deux éléments: le confort de la conduite manuelle, et la nécessité d'un ciel de vapeur.

Dans le cas d'un capteur à conduite manuelle, il est souhaitable de disposer d'une heure de fonctionnement sans avoir à recharger la chaudière, soit, d'après les relevés effectués précédemment, un volume de 0,5 litre par mètre carré par heure. Il serait possible de se contenter de moins, sous réserve d'un travail plus contraignant pour le conducteur. Le fait de disposer d'un volume confortable permet aussi, pendant le temps de la cuisson proprement dite (peu gourmande en vapeur) d'accumuler de l'énergie à utiliser au moment de la mise en chauffe de la séance suivante, à l'instar des conducteurs de locomotives, qui profitaient des pentes pour accumuler de la vapeur en prévision de la rampe prochaine.

Dans le cas du capteur qui nous intéresse ici, on peut retenir le chiffre de 1 litre d'eau consommée par mètre linéaire de capteur.

Dans un bouilleur tubulaire tel que celui qui nous intéresse ici, il est indispensable de disposer d'un ciel de vapeur, c'est à dire d'un volume libre au dessus de l'eau, de façon à limiter le primage, c'est à dire l'entraînement de gouttelettes d'eau par la vapeur.

Le comportement de l'eau à l'intérieur du tube étant quelque peu analogue à celui de l'huile d'une friteuse en pleine action, il n'est pas aisé de fournir un chiffre pertinent

Le volume d'un tube Ø 42,4 est faible

Le volume d'un tube Ø 60,3 est un peu trop important

2-Le diamètre du tube.

Le choix du diamètre du tube impacte directement la largeur de la pupille d'entrée, voir §3 ci dessous.

Noter que

- après avoir défini un CPC, il est toujours possible d'installer un tube de diamètre supérieur à celui qui est prévu, de façon à être certain d'intercepter tous les rayons
- un tube de diamètre excessif pénaliserait le fonctionnement du capteur en raison des pertes thermiques: quelque soit leur pouvoir absorbant, les surfaces sont toujours des causes de pertes.

§ 3 - LA LARGEUR DE LA PUPILLE D'ENTREE

A) PUPILLE D'ENTREE ET DIAMETRE DU TUBE

Le diamètre du tube et la largeur de la pupille d'entrée du CPC sont intimement liés par la relation **Pupille d'entrée** = $(1/\sin \theta) * 3,14 d$

pour un angle d'acceptance de 45

Diamètre du tube	Largeur de la pupille *
33,7	149,7
42,4	188,3
48,3	214,5
60,3	267,9
76,1	338,0

B) PUPILLE D'ENTREE ET LARGEUR DE LA TACHE DU FLUX REFLECHI

Au vu des résultats du chapitre précédent, l'encombrement maximum théorique de la tache du flux solaire réfléchi est de 102 mm. Il s'agit toutefois d'un chiffre obtenu dans des conditions extrêmes (au Solstice et à 9h00/15h00) concernant seulement les deux miroirs Rive Sud et Inter Sud, conditions pour lesquelles il ne faut pas pénaliser les autres périodes de fonctionnement.

Retenons ici, de façon quelque peu arbitraire, le chiffre de 90 mm.

C) PUPILLE D'ENTREE, CONFORT DE CONDUITE ET ERREURS TOUTES CATEGORIES CONFONDUES .

Concernant la conduite manuelle, au vu des résultats du chapitre II concernant le suivi du soleil, on sait que le débattement maximum apparent du soleil au cours d'une journée entre 9h00 et 15h00 est de $8,08^\circ$ le matin, et $8,08^\circ$ en sens inverse l'après midi. On sait aussi par expérience des capteurs précédents que, si le conducteur dispose d'une marge de manoeuvre de l'ordre de 1° entre deux repointages, alors la conduite du capteur est confortable.

Rappel: le nombre de repointages est quasi nul à l'équinoxe, et élevé aux solstices; le nombre de repointages est moins élevé aux alentours de midi, et plus élevé en début et fin de journée. On peut retenir, comme ordre d'idée, le chiffre de deux à quinze repointages au cours d'une journée de six heures, en fonction de la saison.

Concernant le flux réfléchi, les erreurs à prendre en compte ici sont

- les erreurs de conception et de calcul
- les erreurs de fabrication et d'installation
- la qualité de réflectivité des miroirs.

Une fois fixée la largeur de la pupille d'entrée, et une fois que l'on a retranché les 90 mm alloués au flux réfléchi, tout le reste de la pupille d'entrée est à partager entre la conduite du capteur, et les erreurs de toutes sortes.

§ 4 LE TAUX DE CONCENTRATION

A) LE TAUX DE CONCENTRATION DU CPC

Le taux de concentration du CPC fait désormais figure de parent pauvre, il n'a plus guère qu'à suivre le mouvement.

Selon la géométrie du CPC, le taux de concentration "C" du CPC $C = 1/\sin \theta$

θ	C
50	1,555
45	1,414
40	1,305

En fait le taux de concentration du CPC ne nous importe pas du tout.

Dans le capteur proposé ici, le CPC n'est pas utilisé pour son pouvoir de concentration, il est utilisé ici pour sa capacité à rediriger vers une cible donnée les rayons qui traversent sa pupille d'entrée, sous condition de respecter un certain angle. Le CPC est détourné de son rôle originel, il nous sert d'entonnoir à rayons.

B) LE TAUX DE CONCENTRATION GENERALE DU CAPTEUR

Le taux de concentration que l'on pourrait retenir est le rapport entre la surface de captation du rayonnement solaire, et la cible, c'est à dire le périmètre du tube. La surface de captation d'un capteur Fresnel est éminemment variable au long de la journée et au long de l'année, en raison des effets cosinus transversal et longitudinal, cf le grand tableau du chapitre III.

La surface des miroirs est de $5 \times 0,40 = 2,00$ m. Considérons ici, quelque peu arbitrairement, un effet cosinus de 0,9, soit une surface de captation de 1,80 m²

Rapport entre la surface de captation et la surface (périmètre) du tube

Surface de captation	Tube diamètre	surface	rapport
1,8 m ²	0,0337	0,106 m ²	17,0
1,8 m ²	0,0424	0,133m ²	13,5
1,8 m ²	0,0483	0,152 m ²	11,8
1,8 m ²	0,0603	0,189m ²	9,5
1,8 m ²	0,0761	0,239m ²	7,5
1,8 m ²	0,0889	0,279m ²	6,5

Attention, dans le tableau ci dessus il n'est pas tenu compte de l'effet d'ombre du second étage sur le premier

Quel est le taux de concentration souhaitable ?

Un niveau de température inutilement élevé est source de pertes pures. Un delta de température de l'ordre de 20 degrés Celsius entre la température de la vapeur et celle du contenu du récipient est suffisant, un delta T de 40 à 45° est très confortable, au delà, il est nuisible. Il faut bien se pénétrer du fait que l'utilisation d'une flamme de gaz à 1850°, ou d'une flamme de bois de feu à 600-800°, relève de la gabegie – la seule excuse étant que l'on ne dispose de rien d'autre.

Le petit capteur de soleil-vapeur de 2 m² a un taux de concentration de l'ordre de 23 mais sous une géométrie différente, seule une partie du tube-bouilleur est insolée et le miroir a une largeur de 1,25m. Le temps permettant, le capteur produit de la vapeur à 140/150°, permettant la stérilisation médicale à 121° C. On a même pu constater, lors d'essais d'à-sec de chaudière (donc sans extraire d'énergie) une température de 260° C qui faisait fondre les brasures à l'étain, qu'il a fallu remplacer par des brasures fortes.

La configuration proposée ici n'a pas encore été réalisée, mais un taux de concentration de 12,5 paraît être le bon choix.

Rappelons ici que la densité énergétique surfacique d'un capteur de Fresnel est moins élevée que celle d'un capteur cylindro-parabolique de même encombrement pour des raisons très simples (espacement des miroirs et effet cosinus transversal), le niveau de température est donc moins élevé. Pour alimenter en vapeur la machine à glace proposée dans la troisième partie de la documentation, il conviendrait de disposer d'un capteur Fresnel de plus grande envergure afin d'atteindre les 180°C nécessaires à la désorption de la zéolite.

§ 5 - TABLEAU DES CHOIX POSSIBLES

diam tube en mm	42,4	42,4	42,4	42,4	42,4
Volume en litres	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05
pupille sortie = périmètre du tube	133,136	133,136	133,136	133,136	133,136
Angle d'acceptance θ	35	40	45	50	55
Pupille entrée = $(1/\sin \theta) * \text{périmètre du tube}$	232,12	207,12	188,28	173,80	162,53
Hauteur *	260,82	202,75	160,71	128,77	103,51

diam tube en mm	48,3	48,3	48,3	48,3	48,3
Volume en litres	1,42	1,42	1,42	1,42	1,42
pupille sortie	151,662	151,662	151,662	151,662	151,662
Angle accept.	35	40	45	50	55
Pupille entrée = $(1/\sin \theta) * \text{périmètre du tube}$	264,41	235,94	214,48	197,98	185,15
Hauteur *	297,11	230,97	183,07	146,69	117,92

diam tube en mm	60,3	60,3	60,3	60,3	60,3
Volume en litres	2,28	2,28	2,28	2,28	2,28
pupille sortie	189,342	189,342	189,342	189,342	189,342
Angle accept.	35	40	45	50	55
Pupille entrée = $(1/\sin \theta) * \text{périmètre du tube}$	330,11	294,56	267,77	247,17	231,14
Hauteur *	370,93	288,35	228,56	183,14	147,21

* voir remarque en fin de section I sur le calcul de la hauteur

Angle θ	35	40	45	50	55
Sin θ	0,57	0,64	0,71	0,77	0,82
$1/\sin \theta = \text{taux de concentration du CPC}$	1,74	1,56	1,41	1,31	1,22

Colonnes de droite du tableau : l'angle d'acceptance est considéré comme trop élevé

Ligne supérieure : un tube Ø 42,4 est insuffisant

Ligne inférieure : un tube Ø 60,3 est excessif

Colonne de gauche : la silhouette du capteur est inutilement élancée.

Section III – CALCUL ET DESSIN DU CPC

§ 1 - LE CALCUL DES POINTS SUR TABLEUR

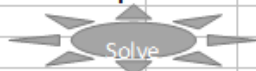

La feuille de calcul a été dressée par François Veynant, de Open Source Ecologie France,

[Elle est disponible en téléchargement ICI.](#)

Dans sa forme la plus simple, elle permet d'introduire l'angle d'acceptance (1) et le diamètre du tube souhaité (2), et d'obtenir les points permettant de tracer le CPC en x et y (colonnes D et E), le 0,0 étant au centre du tube receveur. La pupille de sortie, égale au périmètre du tube receveur, est centrée sur l'origine du système d'axes de construction du CPC.

Les colonnes G à K concernent le petit schéma (selon le logiciel utilisé, quelques traits parasites peuvent apparaître sur le schéma, il n'y a pas lieu de s'en formaliser).

En (3) et (4) sont rappelés l'ouverture et la hauteur du CPC, la hauteur étant mesurée à partir du point 0,0.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Modélisation Concentrateur Parabolique Composé :										
pour récepteur cylindrique de concentrateur solaire										
Open Source Ecologie France & Soleil Vapeur										
paramètres										
résultats										
Paramètres de la géométrie										
Angle d'acceptance	theta_c	①	45,00°							
	theta_c		0,79 rad							
Diamètre extérieur du tube	D	②	48,30 mm							
Rayon du tube	R		24,15 mm							
Ouverture du CPC	L_pupille	③	214,59 mm							
phi limite 1	theta_c+pi/2		2,36 rad							
			135,00°							
phi limite 2	3pi/2-theta_c		3,93 rad							
			225,00°							
Rho limite 2			175,89 mm							
phi	phi	rho(phi)	x	y	x	y	phi_tube	x_tube	y_tube	
(°)	(rad)	(mm)	(mm)	(mm)	④	(mm)	(rad)	(mm)	(mm)	
	0	0,00	0,00	0,00	141,45	0,00	141,45	0,00	24,15	0,00
	1	0,02	0,42	0,00	-24,15	0,00	-24,15	0,17	23,78	4,19
	2	0,03	0,84	0,00	-24,16	0,00	-24,16	0,35	22,69	8,26
	3	0,05	1,26	0,00	-24,18	0,00	-24,18	0,52	20,91	12,08
	4	0,07	1,69	0,00	-24,21	0,00	-24,21	0,70	18,50	15,52
	5	0,09	2,11	0,01	-24,24	-0,01	-24,24	0,87	15,52	18,50

§ 2 LE TRACE PAR DAO

Les points sont à saisir manuellement, puis à relier par une spline à lisser ensuite. Il suffit de saisir environ un dixième des points. La vérification de la saisie s'effectue aisément en imprimant la copie d'écran de la fenêtre de contrôle.

D'autres méthodes sont possibles bien sûr, en fonction des logiciels disponibles.

Section IV – LE CPC FINAL

§ 1 – LES VALEURS RETENUES

Une fois les pré-choix effectués, en fin de section II, il ne reste plus en lice que deux cas de figure

diam tube en mm	48,3	48,3
Volume en litres	1,42	1,42
pupille sortie	151,662	151,662
Angle accept.	40	45
Pupille entrée = $(1/\sin \theta) * \text{périmètre}$	235,94	214,48
Hauteur *	230,97	183,07

Le choix final se porte sur un angle d'acceptance de 45° , avec un tube fictif $\varnothing 46,8$ mm, donc une pupille d'entrée de 208 mm.

Une fois retranchés les 90 mm réservés pour la largeur du flux réfléchi (Section II- § 3-B) il reste 118 mm à partager entre le conducteur et les erreurs en tous genres.

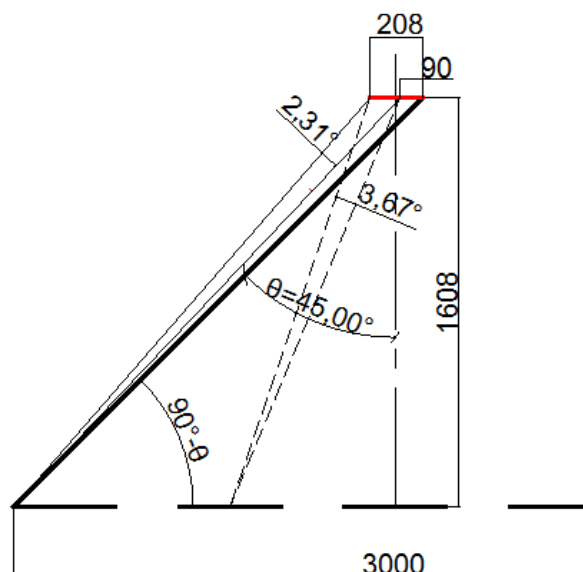
Pour le miroir Rive Sud, cela représente un angle de $2,31^\circ$

Pour le miroir Inter Sud, cela représente un angle de $3,67^\circ$

Les autres miroirs ont une largeur de tache de flux réfléchi bien moins large que 90 mm, leur cas est donc encore plus favorable.

Dans le cas du petit capteur de 2 m^2 , cette valeur était de $2,67^\circ$. Compte tenu du fait que le cas de figure des 90 mm est pessimiste, on considère que les $2,16^\circ$ conviennent

Le tube réel sera au \varnothing commercial usuel de 48,3 mm; le fait de calculer le CPC sur un diamètre fictif légèrement plus faible que le diamètre réel permet d'éviter quelques erreurs de précision, voir ci dessous la vérification graphique



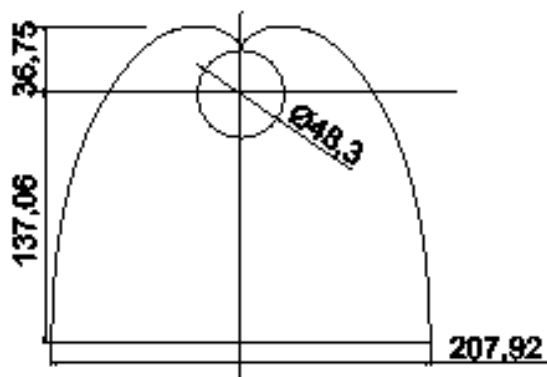
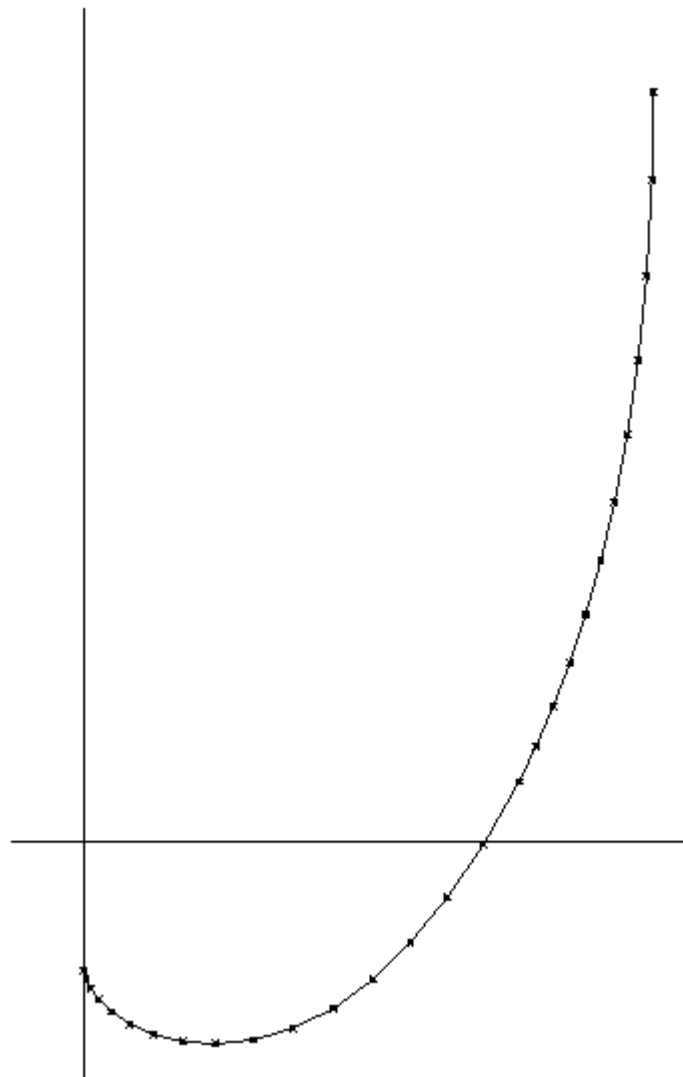
§ 2 SORTIES DU TABLEUR ET DESSIN EN DAO

$\theta = 45^\circ$		
Tube \varnothing 46.8		
	x	y
1	0,00	-23,40
11	0,05	-23,83
21	0,38	-24,92
31	1,20	-26,58
41	2,71	-28,65
51	5,08	-30,91
61	8,39	-33,13
71	12,68	-35,04
81	17,94	-36,33
91	24,05	-36,75
101	30,84	-36,03
111	38,09	-33,94
121	45,51	-30,31
131	52,76	-25,03
141	59,60	-18,15
151	66,31	-10,00
161	72,92	-0,36
166	76,18	5,12
171	79,40	11,12
176	82,57	17,68
181	85,67	24,90
186	88,68	32,85
191	91,57	41,64
196	94,32	51,39
201	96,87	62,25
206	99,17	74,40
211	101,15	88,08
216	102,70	103,54
221	103,69	121,14
225	103,96	137,06

A) SORTIE DU TABLEUR il est suffisant de saisir un dixième des points tant que Y est négatif, et ensuite un point sur 5

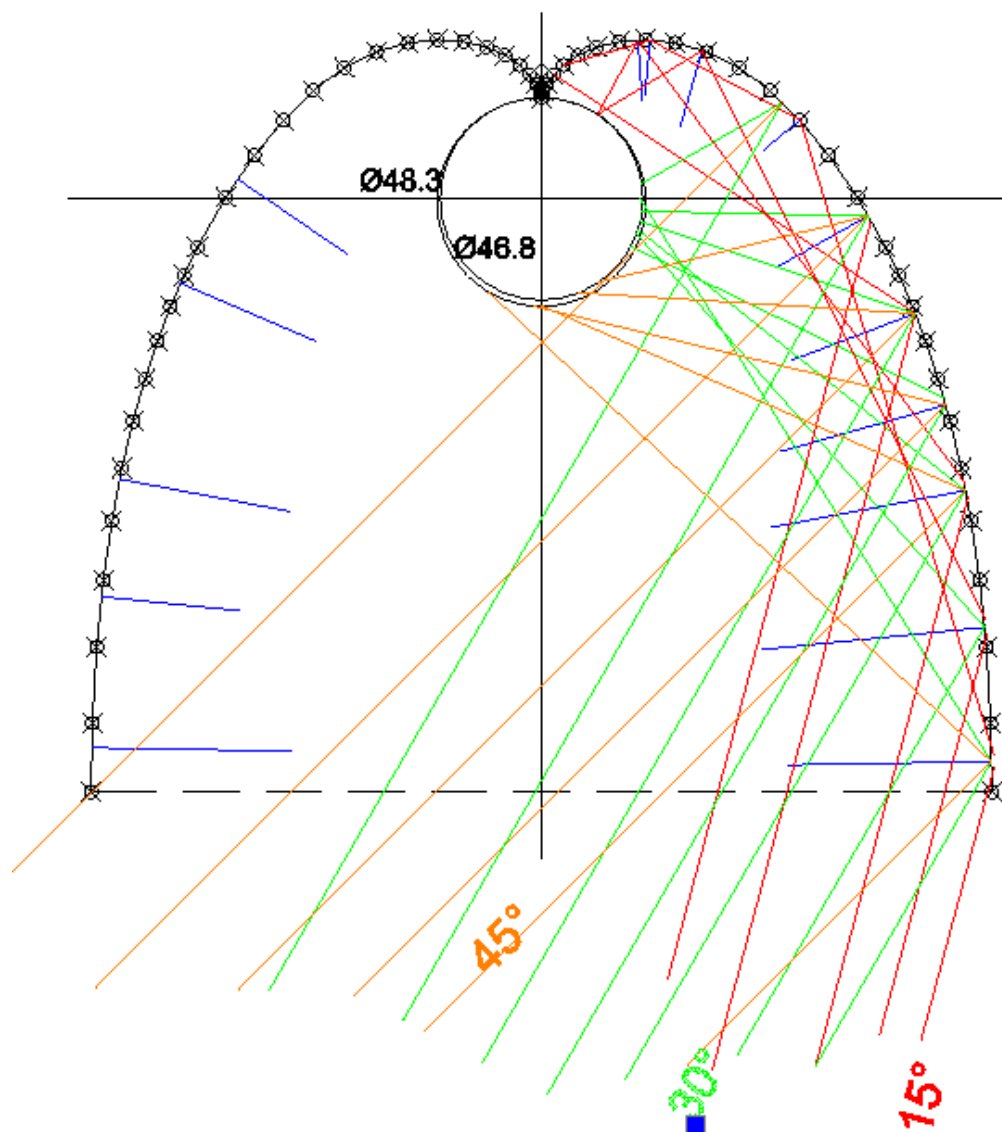
B) DESSIN EN DAO

Après avoir saisi les points, relier les points entre eux par des segments de droite, et conserver les points tant que la vérification du § suivant n'a pas été effectuée.



§ 3 VERIFICATION GRAPHIQUES

avec tubes Ø48,3 et Ø46,8



Il est très aisé de tracer des perpendiculaires aux tangentes de la courbe (= des perpendiculaires aux segments) et de tracer les rayons et leur réflexion. Le nombre de réflexions est variable; toutes les réflexions secondaires n'ont pas été tracées sur le dessin ci dessus.

§ 4 – COMMENTAIRES

- Il aurait peut-être été avantageux d'avoir une silhouette de capteur légèrement plus élancée, de l'ordre de 42 ou 42,5° (?) au lieu de 45° afin d'être un peu plus à l'aise au regard des multiples petites erreurs de conception et de fabrication.
- On peut facilement constater que la marge de manoeuvre pour la définition d'un capteur Fresnel avec CPC est assez étroite, elle ne laisse pas beaucoup de place à la fantaisie.