

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

PROJET DE FIN D'ETUDES - 85

Gm. 0284

CONCEPTION ET REALISA-
TION D'UN STERILISA-
TEUR SOLAIRE OPTIMISE

DIRECTEUR :

MR A. WOLSKY, PHD.

AUTEUR :

ALYOUNE DIOP

CO DIRECTEUR :

MR I. BOCAR SY, ING., SINAES

À ma mère, pour toutes les
peines qu'elle a du supporter avec patience pour la réussite
de ses enfants,

À mon père pour sa noblesse
de caractère, sa grandeur d'âme, son estime
en mon endroit et l'éducation exemplaire
qu'il a, toute sa vie durant, donnée à ses
enfants,

À ma tante feu N'leje Datt,
morte si jeune, pour toute l'attention et l'estime
qu'elle a portées à ma personne. Que la terre
lui soit légère.

À tous ceux qui œuvrent
pour le progrès de l'humanité.

TABLE DES MATIERES

	Pages
<u>INTRODUCTION</u>	
Remerciements	viii
Preambule	ix
Sommaire	x
Conditions de stérilisation	xi
Realisation existante	xi
1. ETUDE THEORIQUE -	1
ANALYSE OPTIQUE	2
• 1-1. - Resultats théoriques et pratiques	2
1-1.1 L'élastique	2
1-1.2 Analyse de la trace du rayonnement	3
1-1.3 Effet de troncature des bords	4
1-1.4 " de diminution du centre	5
• 1.2 Rapport de concentration, largeur optimale du capteur.	5
1.2.1. Généralités	5
1.2.2. Orientation du capteur	6
1.2.3 Facteur de concentration, largeur optimale du capteur, du rayonnement concentré. et du récepteur.	8

2. CHOIX :	13
2.1 Choix optimal du capteur	14
2.1-1 : Position du problème, généralités	14
2.1-2 : Capteurs solaires à haute concentration	15
2.1-3 " " " moyenne et faible concentration	16
2.1-3-1 Rapport de concentration	16
2.1-3-2 Acceptation du rayonnement diffus. effet de serre	16
2.1-3-3. Réduction pratique des pertes calorifiques	18
2.2 Choix de l'absorbteur	20
2.2-1 considérations pratiques et choix. orientation	23
Nature du rayonnement concentré	23
2.2.2 Matériaux, constitution	23
2.3 : Vitrage.	24
3 . CONCEPTION	25
3-1 . Capteur	27
3-1.1 : Calcul des dimensions de tôle pour reflecteur	27
3-1-2 : Calcul de la distance focale	28
3-1-3. Rapport de concentration	30

3.2	Autoclave	32
3-2-1	Definition - conditions d'utilisation	32
3-2-2	Epaisseurs : calcul et vérification	32
3-2-3	Soudures	36
3-2-3-1	Contraintes dans le joint soudé	37
3-2-3-2	Calcul de l'épaisseur du cordon soudé	37
3-2-3-3	Soudure des fonds plats	38
3-2-4	Boulon de l'étrier	38
3-2-5	Etrier	40
4	EVALUATION ENERGETIQUE	42
4-1	Sterilisation - processus thermique	43
4-2	Evaluation de la surface de vitrage	45
4-2-1	Hypothèses	45
4-2-2	Surface de vitrage	46
4-2-3	Temps de réponse (inertie)	49
4-3	Quantité de chaleur nécessaire	50
4-4	" d'eau nécessaire.	50
5	CONSTRUCTION	52
5-1	Cylindre extérieur	53
5-2	" intérieur	53
5-3	Ouverture - autoclave	53

5-4 : Dispositif de fermeture sous pression	54
5-5 - Etrier	54
5-6 . Boulon de serrage	65
5-7 . Couvercle	55
6. EXPERIMENTATION	57
6-1 Temperatures interieures de l'auto- clave du nouveau sterilisateur	75
6-2 Resultats	76
7. DESSINS TECHNIQUES	77
8. ETUDE ECONOMIQUE	80
9. CONCLUSIONS. RECOMMANDATIONS	
9-1. Etancheite'	86
9-2 . Isolation thermique	86
9-3 . Reflecteur	87
9-4 - Corrosion	87
9-5 - Vitrage	87
9-6 . Orientation	88
9-7 - Performances.	88
ANNEXES	89
BIBLIOGRAPHIE	103

INTRODUCTION

REMERCIEMENTS :

Je tiens à remercier sincèrement :

- monsieur André Wolskij, pour sa disponibilité, son ouverture, ses documents et ses conseils,
- messieurs Gouré et Gy de la SINAES pour leurs conseils,
- les chercheurs du CERER et plus particulièrement monsieur Joseph Gaur et monsieur Pape Mody Thiaye pour leurs conseils,
- les techniciens de l'école et en particulier monsieur Bugeas pour leur appui,
- monsieur Thiaye et tous les hommes de troupe du casernement de l'école,
- enfin tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet.

PREAMBULE

Les centres de santé en zone rurale souffrent d'un manque notoire de sources d'énergie bon marché. Une des applications de l'énergie solaire thermique se trouve au niveau de la stérilisation solaire thermique des instruments et linges médicaux.

OPTION : Une stérilisation bactériologique complète est obtenue uniquement dans des stérilisateurs à autoclave et à air chaud ou au moyen d'oxyde d'éthylène gazeux. En zone rurale, la méthode utilisée consistant à faire bouillir les instruments dans de l'eau, ne parvenait pas à détruire certains virus résistants. Un tour d'horizon des méthodes existantes nous suggère d'orienter nos efforts vers la voie humide. En effet, le CERER a déjà travaillé dans la voie sèche. Une brève description de ce dispositif se trouve dans l'introduction. La stérilisation sous vapeur saturante humide permet :

- de réduire le temps de réponse du système (la stérilisation par air chaud requiert au minimum 2 heures),
- de réduire la chaleur à produire et ainsi, la température à atteindre (160° pour la voie sèche). Expérimentalement, on a prouvé que les virus les plus résistants étaient tués à 121°C en 20 min ou à 126°C en 6 min.

SOMMAIRE

L'objectif visé est d'obtenir un système maniable (poids et dimensions réduites), ayant un temps de réponse très réduit, peu coûteux, dont la fabrication ultérieure sera relativement facile au Sénégal, muni d'un volume d'autoclave plus important. Le concentrateur cylindro-parabolique a été retenu. Ici, il est obtenu par déformation plastique d'une tôle ^{d'aluminium recouverte} de mylar. Pour optimiser le système, le fond doit être aplati (génératrice) et les bords tronqués (voir étude). Une caisse de bois de dimensions et poids réduits contient un capteur cylindro-parabolique aplati dans le sens de la génératrice ainsi que l'autoclave fixé par rapport au support. L'autoclave se compose de deux cylindres coaxiaux de 180 mm et 160 mm de diamètres entre lesquels sera introduite de l'eau qui, portée à haute température, va s'évaporer et entrer dans le petit cylindre par des trous situés dans la génératrice supérieure de ce dernier. Le grand cylindre étant étanche, la pression va augmenter par suite de l'accroissement de la température et faciliter la stérilisation. Le grand diamètre de l'autoclave permet de corriger les erreurs de poursuite du soleil. Le suivi du soleil se fait par "système 2D" (rotation autour d'un seul axe horizontal) qui est le système retenu pour les concentrateurs linéaires.

CONDITIONS DE STERILISATION

Sous vapeur on a :

Temperature (°C)	* Pression (Atm.)	temps (min)
120	1,02	15min → 45min
126	1.37	10 min
134	1.9	3 min → 20min

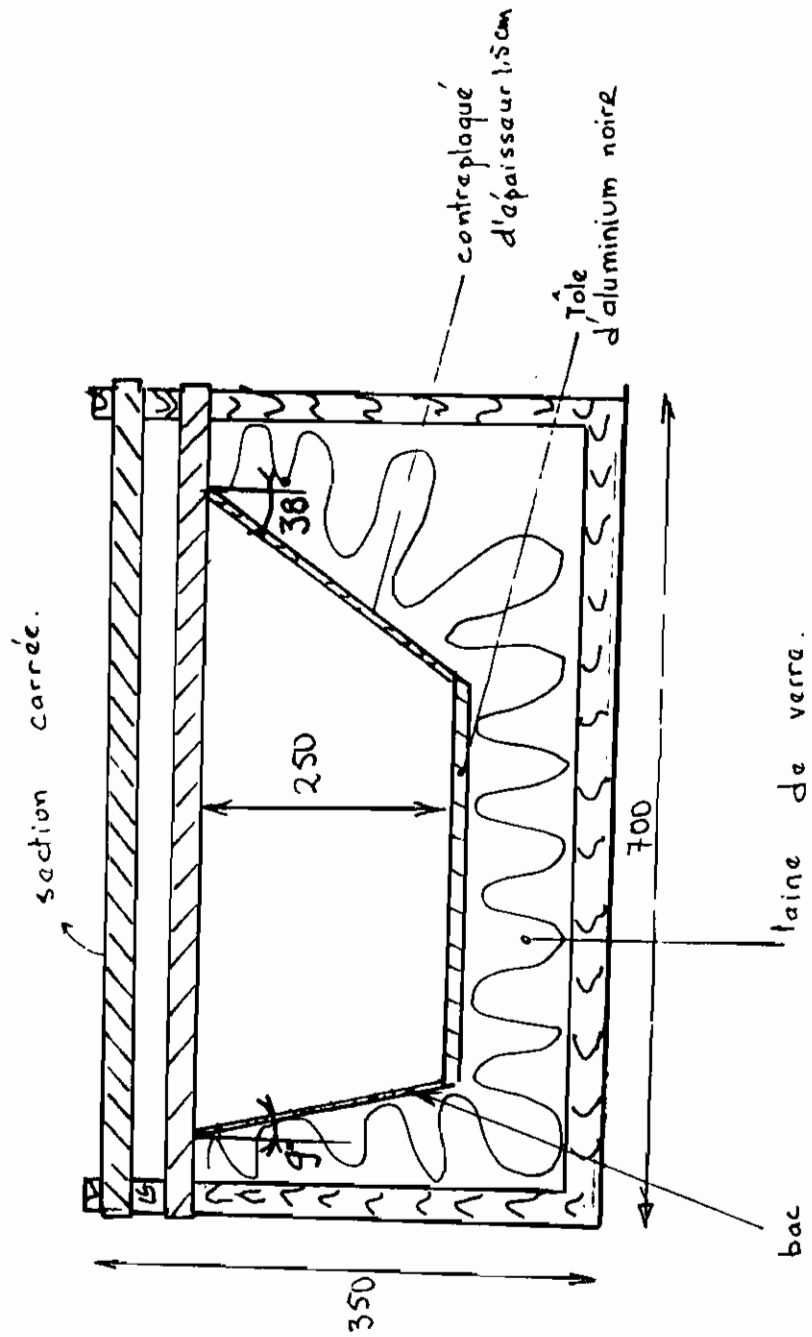
* 1atm. = 1.013bar = $1.013 \times 10^5 \text{Pa}$.

REALISATION EXISTANTE

Il s'agit du dispositif du CERER fonctionnant par effet de serre.

Au début il comportait un seul vitrage et coûtait 120000^F CFA. Les températures atteintes n'étaient pas élevées.

Le nouveau dispositif installé à Koulikounda comporte deux vitrages : celui qui est situé à l'extérieur est en flexiglas pour résister aux éventuels chocs, celui qui se trouve à l'intérieur est en verre. Ceci a permis de monter à des températures satisfaisantes.



STERILISATEUR - EFFET DE SERRE.

1

ETUDE THEORIQUE

ANALYSE OPTIQUE

1.1 Résultats théoriques et pratiques.

1.1.1 L'élastique : (C.R. désigne le rapport de concentration)

L'étude du profil élastique obtenu à partir de la déformation élastique d'une plaque faisant office de réflecteur utilisant la trace laissée par le rayonnement lumineux a montré que :

- on peut obtenir un $C.R._{max}$ de 6 quand le profil n'était pas tronqué.
- la troncature des bords du réflecteur augmente substantiellement le rapport de concentration maximal ($C.R._{max}$).
- la troncature du centre du réflecteur permet d'obtenir une distribution uniforme du flux solaire sur l'absorbeur. Ce genre de capteur donne une concentration moyenne (6 à 20 avec des températures de 80 à 150°C).

On approche la forme parabolique en déformant élastiquement une plaque métallique par application de deux forces égales et opposées P :

(Se référer à l'annexe 6 pour la section qui suit).

1.1.2. Analyse de la trace du rayonnement.

Une étude de la trace laissée par le rayonnement intercepté et réfléchi sur une ligne focale (ou aux alentours) a été réalisée pour des angles de bords variant entre 40° et 55° .

- Avec 40° , on obtient un excellent point focal pour les rayons se trouvant à 70% de la longueur de l'ouverture de part et d'autre du centre.

Les rayons tombants sur les bords de l'ouverture ne sont pas bien concentrés. Ceci est (en grande partie) dû au fait que la courbure du réflecteur est nulle sur les bords.

En augmentant l'angle de bord α , le focus central devient de plus en plus dispersé, bien que les rayons tombant sur les bords soient concentrés plus près du point focal.

Pour des angles de bord α dépassant 41° , le point focal se trouve en dessous de la ligne horizontale joignant les deux bords du réflecteur.

Pour les rapports de concentration de 5 à 6, on a vu que la dispersion des rayons du point focal n'est pas importante et que de grands facteurs d'interception sont obtenus en utilisant les réflecteurs élastiques.

Pour des rapports de concentration, la précision sur la position de l'absorbeur et l'angle de bord n'est pas critique. Pour des rapports de concentration plus élevés, facteur d'interception diminue.

1.1.3 Effet de la diminution des bords.

On a constaté que la diminution des bords augmente le rapport de concentration. Ceci est obtenu en déformant plastiquement les deux bouts du réflecteur.

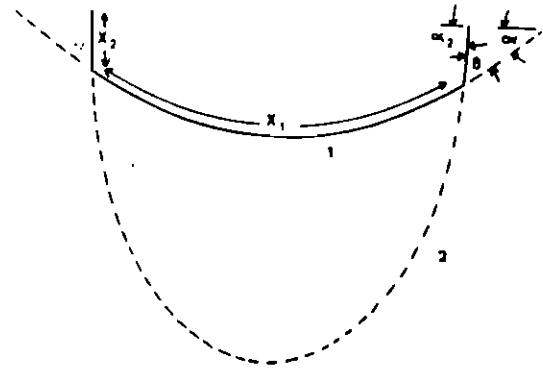
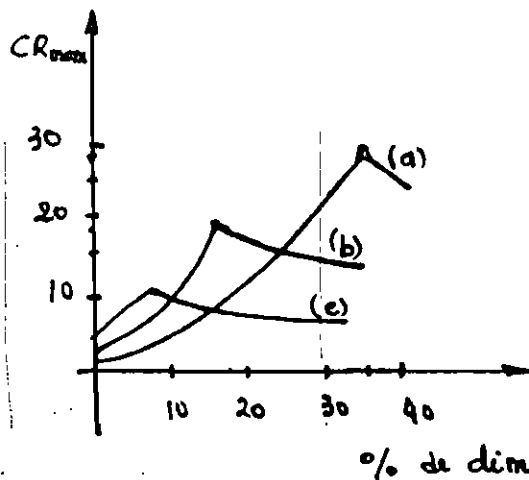


Fig. 7. Edge truncation.

On obtient $\alpha_2 = 90^\circ$

β = angle de déformation plastique des bords. $\beta = \alpha_2 - \alpha$

• Pour $\alpha = 40^\circ$, $CR_{max} = 27.4$ à 35% de diminution des bords. (courbe (a)).



Effet de la diminution des bords.

(a) : $\alpha = 40^\circ$

(b) : $\alpha = 45^\circ$

(c) : $\alpha = 50^\circ$

1.1.4 Effet de la diminution du centre.

Il s'agit de déplacer la ligne centrale du réflecteur au niveau de la ligne focale effective.

Cette diminution procure une uniformité relative de la distribution du flux dans le récepteur.

Il apparaît que le pourcentage d'aplatissement du fond requis pour une distribution uniforme est moins important que celui qui est requis pour obtenir une concentration maximale.

Conclusion :

Avec cette étude, on voit qu'avec l'élastique, on peut approcher facilement et à bon marché les performances des concentrateurs paraboliques. Ceci est le résultat de plusieurs expériences. [10]

1.2. Rapport de concentration, longueur optimale du capteur.

1.2.1 Généralités

Dans le cas de la focalisation linéaire, le rayonnement doit être perpendiculaire à la ligne focale. L'analyse suivante est particulière car elle traite le cas général où les rayons solaires directs sont quelconques et ne satisfont pas la condition sus-mentionnée. Le récepteur est considéré plan.

Le facteur de concentration locale s'exprime par :

$$C(x') = I_r(x') / I_0.$$

où x' : coordonnée dans l'absorbteur plan normale à la ligne focale.

$x' = 0 = x_0$: coordonnée du centre de l'absorbteur.

Si on appelle w_r la largeur de l'absorbteur, le facteur de concentration moyen s'écrit :

$$\bar{C}(w_r) = \frac{1}{w_r} \int_{-w_r/2}^{w_r/2} C(x') dx' = \frac{1}{I_0 w_r} \int_{-w_r/2}^{w_r/2} I_r(x') dx' = \frac{\bar{I}_r}{I_0} \quad (4)$$

avec $\begin{cases} \bar{I}_r : \text{rayonnement moyen tombant sur l'absorbteur} \\ I_0 : \text{rayonnement intercepté.} \end{cases}$

1.2.2. Orientation optimale du capteur.

Soient : \textcircled{S} : un vecteur unité dirigé vers le centre du soleil, S_1 et S_2 ses projections sur xz et zy qui sont les plans représentant P_T pour l'orientation E-O et ~~N-S~~ l'orientation N-S.

D'après la figure, on a : $\cos K_{E-O} = |S_1|$

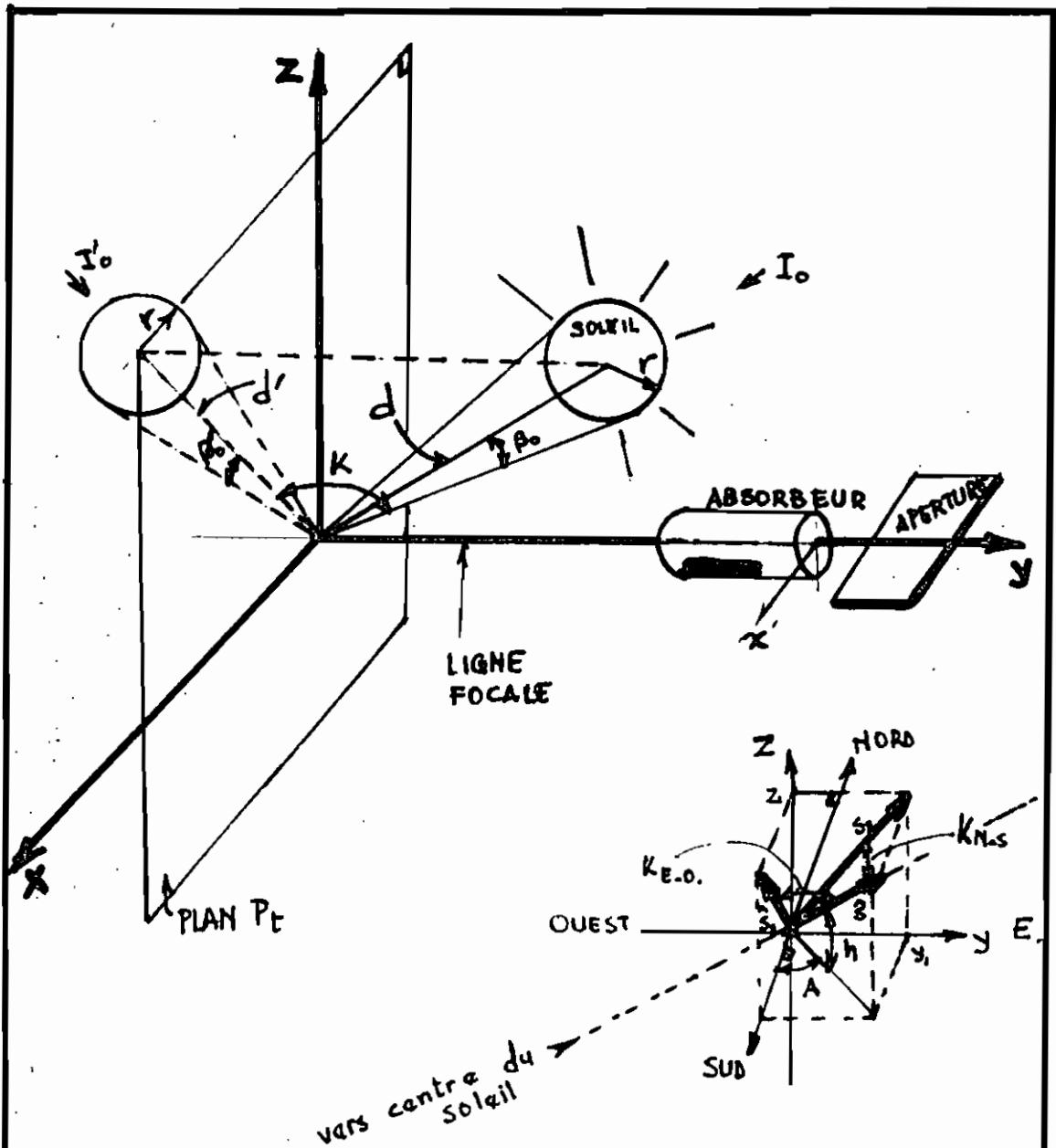
$$\cos K_{N-S} = |S_2|$$

$$\text{où } |S_1| = (x_1^2 + z_1^2)^{1/2} \quad \text{et} \quad |S_2| = (y_1^2 + z_1^2)^{1/2}$$

Pour : \textcircled{A} = angle azimutal

\textcircled{h} = altitude solaire, on a :

$$x_1 = \cos h \cos A \quad ; \quad y_1 = -\cos h \sin A \quad , \quad z_1 = \sin h.$$



Soit ω : l'angle de rotation du système de coordonnées pour autour de l'axe des y pour les cas d'orientation Nord.
 on obtient après calculs, pour δ : déclinaison solaire, t le temps

(5) $|K_{E-O}| = \arccos(1 - \cos^2 h \sin^2 A)^{1/2}$

(6) $|K_{N-S}| = \arccos \sqrt{\cos^2 h \sin^2 A + \cos^2 h (\operatorname{tg} h \cos \omega - \cos A \sin \omega)^2}$

Pour le cas E-O, P_t coïncide avec le plan méridien

(7) $|K_{E-O}| = \arccos(1 - \cos^2 \delta \sin^2 t)^{1/2}$, qui dépend la latitude

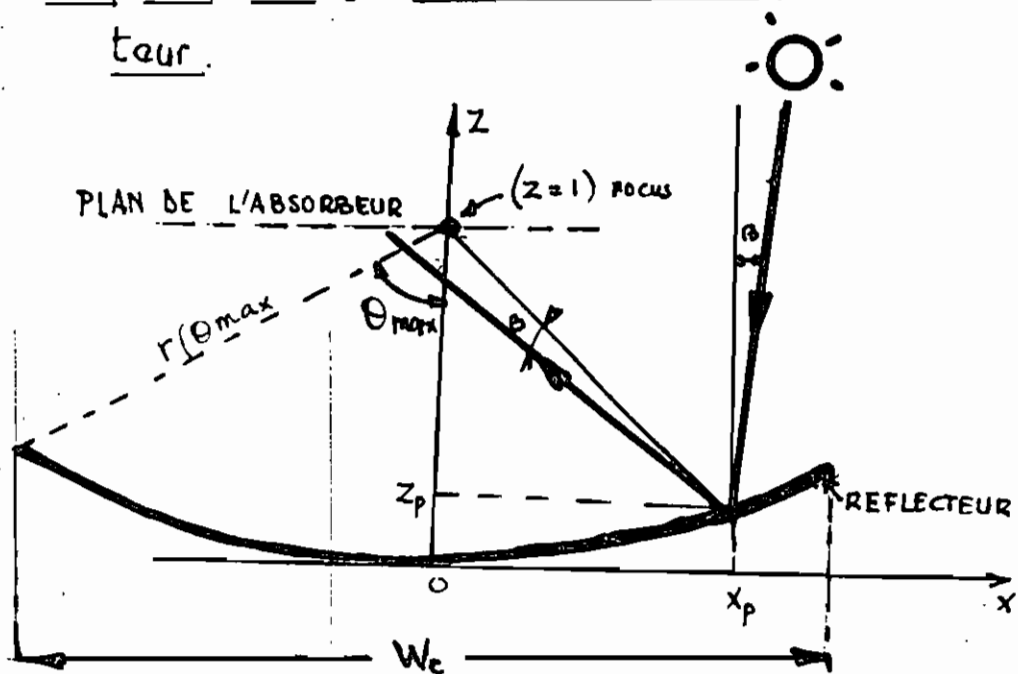
Si K est l'angle entre le rayon incident et le plan perpendiculaire à la ligne focale (P_t), on a vu - que :

- pour l'orientation Est-Ouest et l'orientation polaire : l'angle K est indépendant de la latitude.
- pour l'orientation Nord-Sud (horizontale), ceci n'est plus valable.

D'après les résultats obtenus, pour une orientation N-S, on peut obtenir un angle $|K|$ nul par des ajustements périodes de l'orientation du capteur.

Une étude sur l'orientation a été effectuée du point de vue 'efficacité'. Il en ressort que pour les cas pratiques, on peut prendre $0 \leq |K| \leq 60^\circ$ (8)

1.2.3 Facteur de concentration, largeur optimale du capteur, du rayonnement concentré et du récepteur.



Liste des symboles utilisés.

β_0 : demi angle d'aperture solaire

β'_0 : projection de β_0 sur le plan P_t , $\beta'_0 = \frac{r}{d'} = \frac{r}{d \cos \alpha} = \frac{\beta_0}{\cos \alpha}$

$\theta, \theta_{\max}, \theta_{\min}$:

$r(\theta) = D_{FC}$: distance entre un point du réflecteur et le point focal

$D_m = r(\theta_{\max})$. voir fig.

x_p, z_p : coordonnées d'un point de la parabole.

$x'(\theta, \beta)$: intersection du rayonnement réfléchi avec ($z=1$).

K : angle compris entre le rayon incident et le plan P_t .

a : petit axe de l'ellipse du rayon réfléchi

$C_i(x')$: facteurs idéals de concentration locale.

α_c : angle entre les rayons solaires incidents - projetés sur P_t et la normale à l'aperture.

P_c : pertes du capteur ou fraction d'énergie incidente sur l'aperture non réfléchie sur l'absorbeur.

C_A : facteur de concentration géométrique du capteur

w_r : largeur de réflecteur. l'absorbeur. (receiver).

P_t : plan perpendiculaire à la ligne focale.

r : rayon du soleil

d, d' : distance soleil-terre et sa projection sur P_t

w_c : largeur du capteur (aperture).

w_{mi} : valeur maximale de w_r lorsque la distribution d'intensité sur l'absorbeur est idéale.

Pour un point la parabole de coordonnées : (x_p, z_p) ,

$$x_p = r(\theta) \sin \theta$$

$$z_p = 1 - r(\theta) \cos \theta$$

$$\boxed{r(\theta) = \frac{2}{1 + \cos \theta}} \quad \text{et} \quad -\theta_{\max} \leq \theta \leq \theta_{\max}, \quad (9)$$

θ_{\max} étant le demi-angle de l'aperture.

donc $\cos \alpha \, dl = dx_p$.

$D_{Fc} = r(\theta)$: distance entre le point focal et un point du capteur. (F-C : FOCUS - CAPTEUR).

D'où : $D_m = r(\theta_{\max})$.

Considérons le cas pratique où les rayons solaires sont parallèles à l'axe de la parabole (voir figure), et soit β l'angle formé par un rayon incident et cet axe oz .

L'équation du rayon réfléchi au point (x_p, z_p) est alors :

$$\frac{z - z_p}{x - x_p} = -\cotg(\theta + \beta) \quad (10)$$

avec $-\beta'_0 \leq \beta \leq \beta'_0$.

Évaluons l'intersection du rayonnement réfléchi avec la ligne focale ($z=1$).

$$(10) \Rightarrow x'(\theta, \beta) = \frac{-2 \cos \theta}{1 + \cos \theta} [\tg(\theta + \beta) - \tg \theta] \quad (11)$$

Posons les conditions : $|K| \leq 60^\circ$ et $|\theta| \leq 70^\circ$.

La deuxième condition élimine le cas des rayons presque parallèles à l'absorbent.

$$\left(\theta \ll \frac{1}{\beta_0} < \frac{1}{\beta}\right) \Rightarrow \cos \beta \gg \text{tg} \theta \sin \beta.$$

$$\text{avec } (\beta < \beta_0 \ll 1) \Rightarrow x'(\theta, \beta) = - \frac{2(\beta + \beta^2 \text{tg} \theta)}{\cos(1 + \cos \theta)} \quad (12)$$

Les valeurs : $x'_1 = x'(\theta, -\beta_0)$ et $x'_2 = x'(\theta, \beta_0)$ donnent :

$$x'_0 \approx 0, \quad a \approx 2\beta_0 / [\cos \theta (1 + \cos \theta)].$$

finalement, après intégration, on obtient le facteur de concentration local idéal en fonction d'une coordonnée de l'absorbent plan :

$$C_i(x') = \frac{I_r(x')}{I_0} = \frac{4 \cos k}{\pi \beta_0} \int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \frac{(a^2 - x'^2)^{1/2}}{a} \cos \theta \, d\theta.$$

$$\text{où } \theta_{\min} = \begin{cases} \arccos \left\{ \frac{[-1 + \frac{(1 + \beta \beta_0)}{|x'|}]^{1/2}}{2} \right\} & \text{si } |x'| > \beta_0 \\ 0 & \text{si } |x'| \leq \beta_0 \end{cases} \quad (13)$$

Si θ_{\min} s'approche de θ_{\max} , on peut faire $\theta_{\min} = \theta_{\max}$

* Pour ce type de capteur : $\alpha_c = \rho_c = 0$

$$\text{et } W_c = \frac{4 \sin \theta_{\max}}{1 + \cos \theta_{\max}} \quad (14)$$

et enfin :

La largeur maximale correspondant à une intensité idéale -

$$w_{mi} = \frac{w_c}{C_A}$$

$$(15) \quad w_{mi} = 4 \cos \theta_{max} [\operatorname{tg}(\theta_{max} + \beta'_0) - \operatorname{tg} \theta_{max}] / (1 + \cos \theta_{max})$$

et le facteur de concentration C_A :

$$(16) \quad C_A = \frac{\sin \theta_{max} \cos(\theta_{max} + \beta'_0)}{\sin \beta'_0},$$

$$\text{avec } C_A = \frac{A_{\text{aperture}}}{A_{\text{recepteur}}} = \frac{w_c}{w_r}$$

$$(17) \text{ pour } w_r = w_{mi} \Rightarrow \bar{C}_i(w_{mi}) = \sin \theta_{max} \cos(\theta_{max} + \beta'_0) \frac{\cos k}{\sin \beta'_0}$$

Rappelons que ces formules sont établies en prenant : $(z=1)$, donc la distance focale unité. [8]

2

CHOIX

2-1 CHOIX DU CAPTEUR

2-1-1. Generalités - position du probleme.

Le rapport de concentration géométrique CR est :

$$(1) \quad CR = \frac{A_{\text{aperture}}}{A_{\text{absorbeur}}}, \quad A \text{ désigne l'aire.}$$

L'aperture désigne l'ouverture recevant les rayons solaires. D'après les courbes de CR en fonction de la température, on a constaté que la température croît avec le rapport de concentration CR.

Malais, nous voulons obtenir de hautes températures avec de faibles dimensions d'aperture ainsi qu'un absorbeur assez volumineux pour recevoir beaucoup d'instruments.

L'équation (1) suggère donc une optimisation des dimensions.

D'habitude, le but visé dans la conception des collecteurs solaires était d'avoir le maximum de concentration, à cause du besoin de température élevée. Dans notre cas, l'absorbeur contient les instruments à stériliser. Il doit donc être assez volumineux tout en respectant les conditions d'obtention d'une haute température.

L'absorbeur doit être choisi de façon à être le plus petit possible pour réduire les pertes calorifiques et assez large, de façon à intercepter la majeure partie du rayonnement incident.

On doit, considérer en outre le rayonnement avec la plus grande déviation possible θ_c (ou β selon les ouvrages). θ_c est l'angle entre la direction perpendiculaire à l'ouverture et le centre du soleil.

Cette déviation θ_c est due à la dimension finie du soleil et aux erreurs dus aux réflecteurs et à la poursuite solaire.

Le choix de la concentration optimale pour une application donnée inclut l'évaluation de plusieurs autres facteurs : optique, climatique, thermique, économique, etc..

2-1-2. Capteurs solaires à haute concentration

- Leur rapport de concentration est supérieur à 20; (la délimitation n'étant pas rigoureuse),
- ils nécessitent une grande précision dans la poursuite solaire et plus de précision dans la conception des éléments optiques, de façon à tirer le maximum de profit du rayonnement incident.

De légères couches de poussière peuvent affecter

fortement la performance de ces capteurs -

2.1.3. Capteurs solaires à moyenne et faible concentration.

2.1.3.1 Rapport de concentration.

Ces capteurs sont caractérisés par des angles d'incidence de 3° et plus ainsi que de grandes tolérances dans les erreurs de poursuite du soleil et les erreurs optiques sur les réflecteurs. Le rapport de concentration est compris entre 1 et 10 pour les géométries 2D.

2.1.3.2 Acceptation du rayonnement diffus.

Une propriété très importante des collecteurs à faible rapport de concentration est leur capacité d'accepter une partie du rayonnement diffus (relativement grande).

Les capteurs à concentration sont le siège de deux pertes supplémentaires : les pertes optiques et les pertes dues au fait que la majeure partie du rayonnement diffus n'est pas acceptée.

La fraction de rayonnement diffus captée est évaluée à $1/CR$, sans tenir compte des détails optiques.

Soient :

I_{df} : la composante diffuse du rayonnement

I_{TH} : le rayonnement global

I_D : le rayonnement direct.

on a : $I_{dh} = I_{TH} - I_D \cos \theta_H$ où θ_H est l'angle
 compris entre le soleil et l'horizon

Il n'y a pas encore dans la littérature une manière
 simple de calculer la quantité de rayonnement diffus.

En considérant le rayonnement diffus comme étant
 uniformément distribué dans l'espace, on peut estimer
 l'intensité du rayonnement diffus sur un capteur incliné.

Il peut être divisé en deux parties :

- une partie reçue directement du soleil (considérée uni-
 formément distribuée),
- une autre réfléchié par le sol.

Pour un capteur incliné d'un angle β par rapport
 à l'horizontale, on a :

$$I_D / I_{dh} = \int_{\Omega_s} \cos \theta \cdot d\Omega + \rho \int_{2\pi - \Omega_s} \cos \theta \cdot d\Omega$$

$$= \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \frac{(1 - \cos \beta)}{2}$$

où Ω_s est l'angle solide du ciel vu par le capteur
 et ρ la réflectivité du sol.

Selon E. Joseph GAY (USA) [9] pour un rayonnement diffus collecté sur l'absorbeur, il est indépendant de la surface géométrique de l'absorbeur ou du réflecteur, mais dépend de la taille de l'absorbeur, pour une surface donnée d'aperture A_a :

$$q_d = \pi (\rho \tau \alpha)_e A_a \cdot I_{de}$$

où : $(\rho \tau \alpha)_e$ représente l'ensemble des pertes dues aux matériaux du capteur (réflexion, transmission, absorption).

A_a : l'aire de l'aperture

2.1.3.3. Réduction pratique des pertes calorifiques :

D'après les résultats obtenus sur le premier prototype, on voit que des températures beaucoup plus importantes peuvent être obtenues :

- en diminuant le volume d'air sous le vitrage (donc en réduisant les pertes calorifiques par convection).
- en isolant les parois latérales car l'ancien prototype comportait des pertes considérables sur les parois latérales non isolées.

- en trouvant l'isolation adéquate du tuyau assurant l'apport en eau.
- en assurant une 'étanchéité' (la plus complète) de l'autoclave.
- en diminuant le volume d'eau à vaporiser, sinon les pertes calorifiques seraient très importantes et le temps de réponse très long.
- en optimisant les épaisseurs des matériaux constituant l'autoclave pour diminuer les pertes par conduction.
- en réalisant l'effet de serre pour récupérer les pertes par rayonnement dues à l'absorbeur (qui a des dimensions non négligeables à présent).
- en évitant au maximum d'avoir des matériaux à coefficient de conduction élevé qui ne soient pas irradiés par les rayonnements concentrés.

En effet, des pertes par conduction apparaissent sur tout élément non irradié du capteur (surtout métalliques), car la conduction s'exprime par:

$$Q_{\text{cond}} = k A \Delta t. \quad ; \text{ si } \Delta t \neq 0 \Rightarrow \underline{Q_{\text{cond}} \neq 0}, \text{ pour } A \neq 0$$

Δt : écart en température entre la surface irradiée et celle qui est non irradiée.

A : élément de surface

k : conductivité.

2.2 CHOIX OPTIMAL DE L'ABSORBEUR

2.2.1 Considerations pratiques et choix.

La largeur minimale de l'absorbeur est donnée par la formule (15) basée sur l'analyse optique: [8].

$$\frac{w_{mi}}{f} = 4 \cos \theta_{max} \frac{[\operatorname{tg}(\theta_{max} + \beta_0) - \operatorname{tg} \theta_{max}]}{1 + \cos \theta_{max}}$$

Le choix de l'absorbeur est un élément qui n'est pas suffisamment développé dans la littérature. On prend souvent $w_r = w_{mi}$ sans autres considérations.

Une approche plus exacte doit considérer que si la largeur w_r de l'absorbeur diminue, le facteur idéal de concentration augmente et ainsi fera augmenter l'efficacité de conversion thermique du capteur.

Inversement, si w_r diminue en deçà de l'image du rayonnement concentré w_{mi} , les pertes par radiation apparaissent.

Pour une température donnée d'opération (ici 121°C), le choix de la largeur de l'absorbeur doit être un compromis entre plusieurs facteurs, parmi lesquels l'orientation du capteur et ceux énumérés ci-dessus.

Sur la figure suivante, on donne les courbes donnant les coordonnées de l'absorbteur pour $\theta = 45^\circ$ (qui n'implique pas de pertes) en fonction du facteur idéal local de concentration pour différentes valeurs de l'angle $|K|$.

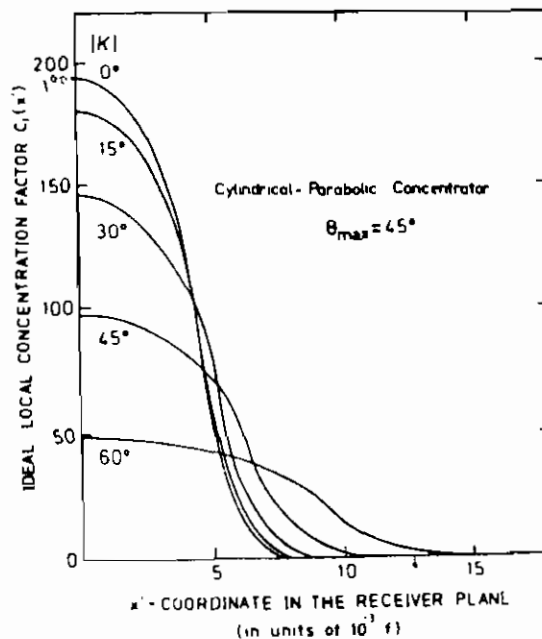


Fig. 6. Distribution of the ideal local concentration factor on the receiver plane of a cylindrical-parabolic concentrator, for several values of κ . The focal length is indicated by f .

On remarque que pendant que la largeur de l'absorbteur passe au double, on passe d'un maximum de 190 pour $K=0^\circ$ à 50 pour $|K|=60^\circ$.

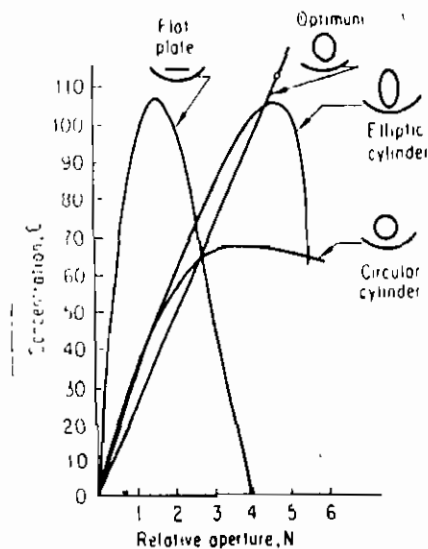
Coble a trouvé que la forme optimale à donner au récepteur est la forme parabolique pour un concentrateur ^{parabolique}. La modélisation par ordinateur sur le concentrateur S.L.S.T.E.S.T.F. a montré que l'efficacité peut ne pas être très liée à la taille du récepteur. Par exemple, un changement de $\pm 25\%$ sur le diamètre du récepteur

ne produirait que 2 à 3% de changement d'efficacité. Donc l'énergie perdue quand le rayonnement rate l'absorbeur sera partiellement contrebalancée par une amélioration des performances thermiques avec une bonne conception.

L'ordinateur a en outre montré que si le récepteur était déplacé de 3% du plan focal ($\approx 60\%$ du diamètre du récepteur), l'efficacité était réduite de moitié.

Ces résultats suggèrent que les absorbeurs doivent être surdimensionnés pour compenser les variations de distance locale. [3, p. 9-29]

Donc le point le plus important est la distance entre l'absorbeur et la ligne focale (pour notre cas).



- (ORIENTATION.)

D'après les études faites par Nicolas et DURAN, on a conclu que l'orientation polaire est beaucoup plus intéressante que l'orientation Est-Ouest du point de vue efficacité du système pour un concentrateur cylindro-parabolique. [10]

- (NATURE DU RAYONNEMENT CONCENTRÉ)

Le rayonnement n'est pas reçu de façon uniforme. De la Rue a montré en 1957 que le centre du soleil est plus chaud que son extrémité. Il ya ainsi une non uniformité additionnelle de la distribution du rayonnement solaire sur l'image théorique qui tend à produire des distorsions sur cette dernière. La plupart des réflecteurs solaires ayant un intérêt pratique ne sont pas des instruments optiques précis et produisent des images beaucoup plus grandes que les images théoriques.

2.2.2 Matériaux, constitution: (données pratiques)

L'absorbant peut être en aluminium (mais corrosion rapide) ou en acier. Il est peint en couleur ^{noire} (pour éviter les réflexions et foncée (pour avoir un bon coefficient d'absorption). Dans notre cas il est en noir foncé.

Cette peinture doit être très mince car les peintures

sont mauvaise conductrices de chaleur [1]

L'absorbeur peut être aussi recouvert de noir de fumée qui est meilleur du point de vue transfert de chaleur. Ce dernier a été choisi dans notre cas, car l'ensemble est protégé.

2.3. Vitrage

D'après le tableau donnant la température en fonction des rendements calculés, on peut faire un choix initial de deux vitrages (voir annexe 5).

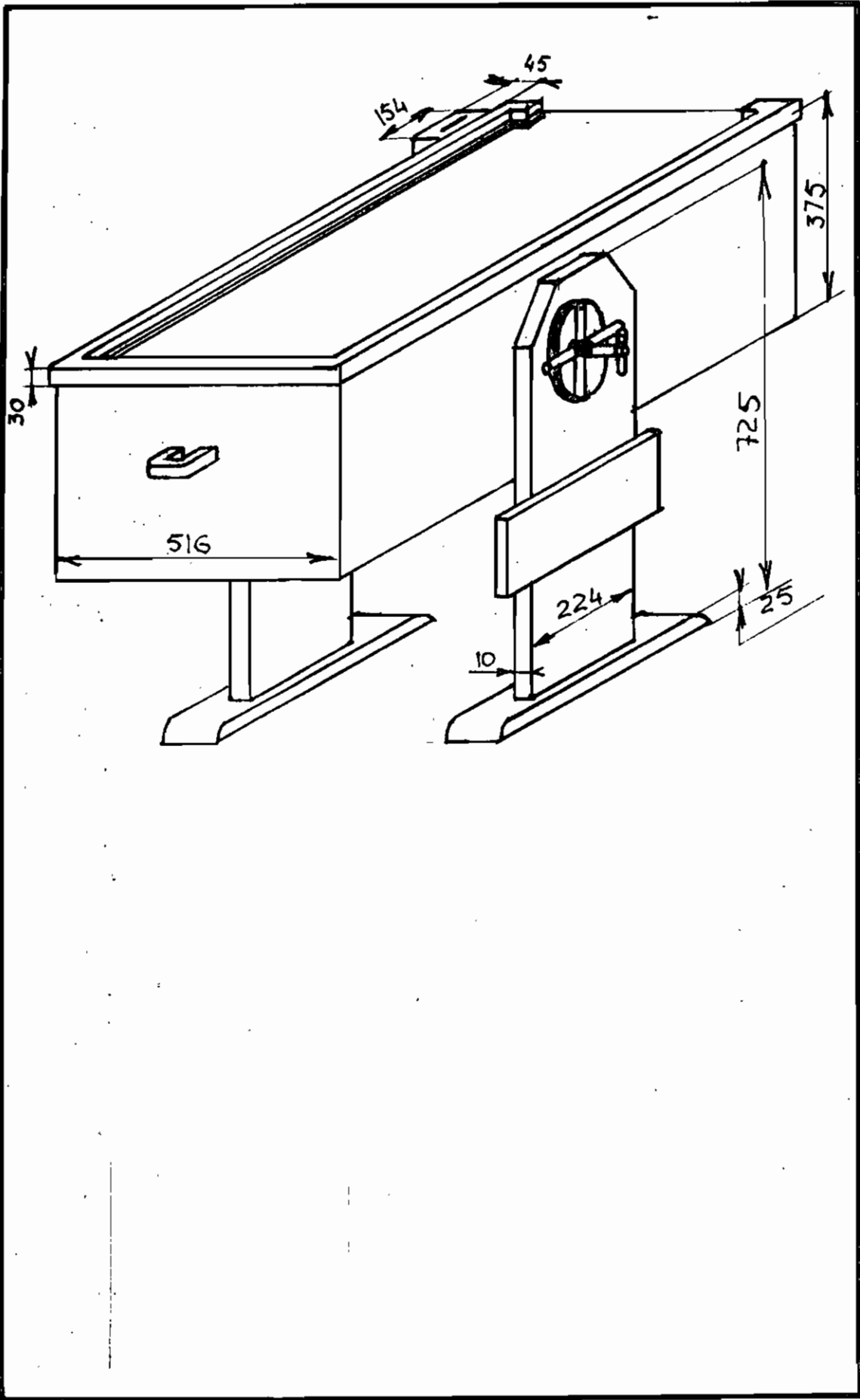
Il est important dans ce cas de placer le premier vitrage à environ 2,8 cm de la face absorbante, puis les autres à 1,5 cm.

Seul le vitrage supérieur doit être fixé rigidement.

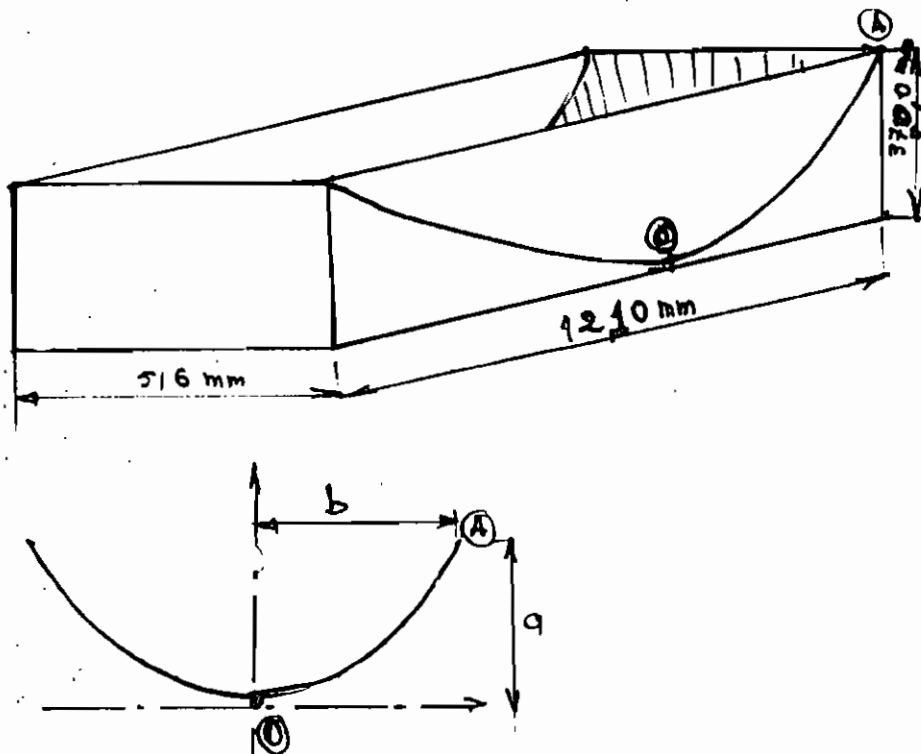
L'autre doit pouvoir se dilater librement (2 mm de chaque côté), sinon il éclaterait. [1]

3

CONCEPTION



3-1 CAPTEUR



3-1.1. Estimation des dimensions de tôle pour reflecteur

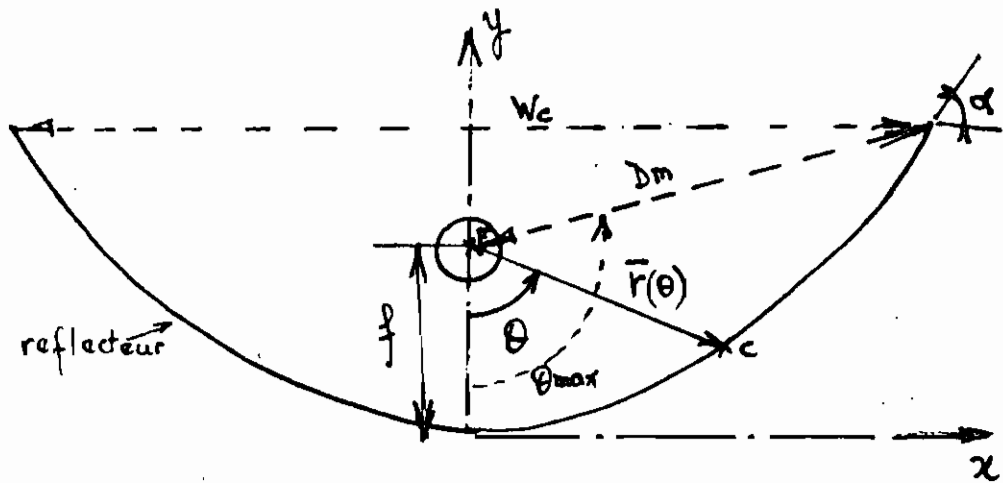
L'arc \widehat{OA} , d'après [21] s'écrit :

$$\widehat{OA} = \frac{b^2}{4a} \left[2.3026 \log_{10} \left(\frac{2a}{b} + \sqrt{1 + \frac{4a^2}{b^2}} \right) + \frac{2a}{b} \sqrt{1 + \frac{4a^2}{b^2}} \right]$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{pour } b = \frac{1.21}{2} = 0.605 \text{ m} \\ \text{et } a = 0.37 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow \widehat{OA} = 0.73 \text{ m}$$

Donc la longueur l_1 de la tôle vaut : $l_1 = 2\widehat{OA} = 1.47 \text{ m}$

3-1-2. Evaluation de la distance focale.



D'après l'étude théorique, on a vu que :

$$\frac{r(\theta)}{f} = \frac{2}{1 + \cos\theta} \quad (0)$$

donc $\frac{D_{FC}}{f} = \frac{2}{1 + \cos\theta}$, D_{FC} étant la distance entre

le point symbolisant la ligne focale (F) et un point C du capteur (reflecteur)

$$\text{Si on a } D_{FC_{\max}} = D_m \Rightarrow \frac{f}{\cos\theta_{\max}} = D_m \frac{(1 + \cos\theta_{\max})}{2} \quad (1)$$

$$\text{En outre, on a selon [6], } \frac{D_m}{W_c} = f_1 \left[1 + \frac{1}{(4f_1)^2} \right] \quad (2)$$

$$\text{avec } f_1 = \frac{f}{W_c} \quad (3)$$

$$\text{D'où (2) } \Rightarrow \frac{D_m}{W_c} = \frac{f}{W_c} \left[1 + \frac{1}{\left(\frac{4f}{W_c}\right)^2} \right] \quad (4)$$

$$\text{ou } \boxed{D_m = f + \frac{W_c^2}{16f}} \quad (5)$$

Les équations (2) et (1) donnent :

$$\frac{2f}{1 + \cos \theta_{\max}} = f \left[1 + \frac{W_c^2}{16f^2} \right] \quad (6)$$

$$\Rightarrow \frac{W_c}{4f} = \sqrt{\frac{2}{1 + \cos \theta_{\max}} - 1} \quad (7)$$

$$\Rightarrow \boxed{f = \frac{W_c}{4 \sqrt{\frac{2}{1 + \cos \theta_{\max}} - 1}}} \quad (8)$$

D'après l'analyse optique, nous avons les conditions optimales de dimensionnement basé sur les conditions d'orientation du capteur les plus défavorables ($|K| = 60^\circ$), qui se résument ainsi :

$$\left\{ \begin{array}{l} \theta_{\max} = 45^\circ \\ \alpha = 52^\circ \text{ à } 40^\circ \text{ (angle de bord).} \\ 5\% \text{ de troncature du centre du réflecteur} \\ 35\% \text{ " " des bords du réflecteur.} \end{array} \right.$$

Nous avons vu ainsi que d'après l'analyse de ^{la} tracé du rayonnement, la distance focale diminue si l'angle θ_{\max} augmente.

Si nous voulons réduire les dimensions de notre capteur et réduire les pertes inhérentes au volume d'air à chauffer compris entre le réflecteur et le vitrage, il nous faut :

- augmenter l'angle θ_{\max} pour diminuer la distance focale f

On a ; d'après l'équation (3) et l'équation (5)

W_c (m)	θ_{\max} (°)	f (m)	D_m (m)
0.9	70	0.32	0.48
0.9	101	0.19	0.45
1.21	101	0.25	0.62
* 1.21	115.73	0.19	0.67

Nous avons retenu le dernier cas car il nous donne une petite distance focale avec une largeur d'ouverture W_c de 1.21, ce qui va augmenter le rapport de concentration.

Pour arriver à cette valeur, il a fallu trouver l'équation donnant l'angle θ_{\max} en fonction de la distance focale f et de la largeur d'ouverture W_c (width of the concentrator).

On trouve :

$$\theta_{\max} = \cos^{-1} \left[\frac{2}{\left(\frac{W_c}{4f}\right)^2 + 1} - 1 \right] \quad (9)$$

3-1.3 Rapport de concentration : R.C.

Il s'agit du rapport de concentration géométrique (voir étude théorique).

C'est le rapport entre la largeur du capteur (ou de l'ouverture) et la largeur de l'absorbteur.

$$R.C. = \frac{1.21}{0.18} = 6.72$$

Nous nous situons dans la gamme des concentrations comprises entre 6 et 20. (*)

D'après [6] on a :

Concentration	Gamme de températures
(*) 6 à 20	100 à 150°C
50 à 100	200 à 400°C
150 à 200	500°C et plus
15000 à 20000	3000 à 4000°C

3.2. Autoclave :

3.2.1 Définition et conditions d'utilisation :

L'autoclave est une fermeture pour récipient sous pression maintenue fermée par la pression qui règne à l'intérieur ou par vis. Les autoclaves chirurgicales fonctionnant en présence d'eau, tous les objets qui y sont stérilisés doivent supporter l'humidité. Ces appareils sont réservés aux instruments métalliques ou en caoutchouc, résistant à ces conditions.

Les compresses, les gazes, les cotons et les matériaux fragiles sont stérilisés à sec, dans des étuves spéciales fonctionnant à la pression atmosphérique et à 165°C . [16]. L'autoclave désigne aussi la chaudière [18]

3.2.2. Calcul et vérification de l'épaisseur.

Définition des symboles :

s : épaisseur de l'enveloppe

d_e, d_i, d : diamètres extérieur, intérieur et moyen du grand cylindre.

$\sigma_t, \sigma_a, \sigma_r, \sigma_B$: contraintes tangentielle, axiale, radiale de rupture agissant sur l'autoclave.

p : pression intérieure développée par la vapeur dans l'autoclave.

V, V_B : coefficients de qualité de soudure et de

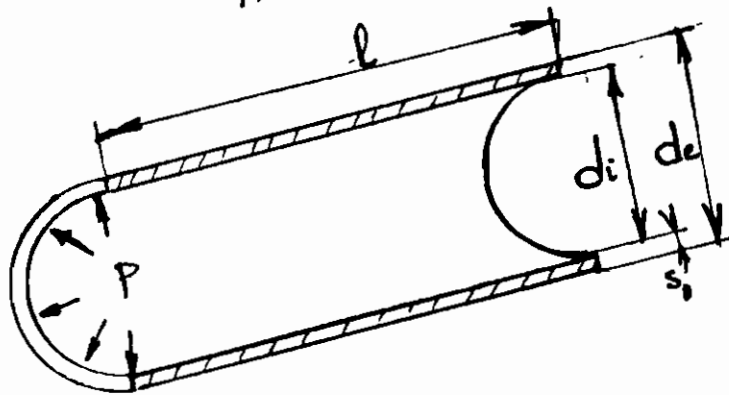
c, c_1 : coefficient pour fond plat et coefficient pour corrosion.

l : longueur de la génératrice du grand cylindre.

F : force de pression de vapeur

a : hauteur ou épaisseur du cordon soudé.

w : coefficient de qualité.



Une première conception selon l'approche de V. Feodosiev est présentée dans le projet de M^R E. Mbengua (84). [15]
 Nous proposons l'approche de Picolet et Grottel et celle de Jacques Muller qui nous permettent de dimensionner les épaisseurs de l'autoclave et de calculer les soudures en tenant compte de certains facteurs pratiques. [2] et [19]

Choix : $s = 2 \text{ mm}$ (fixée par le fait que le cylindre extérieur est un extincteur récupéré).

$$d_e = 180 \text{ mm}$$

$$d_i = 176 \text{ mm}$$

$$\Rightarrow d = \frac{d_e + d_i}{2} = 170 \text{ mm}$$

$$0.05d = 0.05 \times 170 = 8.50 \text{ mm} \Rightarrow s < 0.05d$$

Donc nous avons une enveloppe à paroi mince.

Le calcul des épaisseurs nous guidera lors de la construction de l'autoclave avec les matériaux locaux.

Calcul de contraintes:

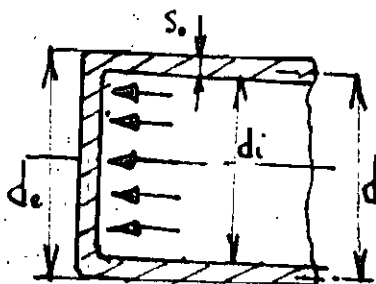
contrainte tangentielle : σ_t .

(1) On démontre que : $\sigma_t = p \frac{d_i}{2s}$ [2]

pour $p = 3 \text{ bars} = 0.3 \text{ N/mm}^2$ } on a:
 $d_i = 170 \text{ mm}$ } $\sigma_t = 13.20 \text{ N/mm}^2 = 133.0 \text{ bars}$.
 $s_0 = 2 \text{ mm}$

(ici on connaît déjà l'épaisseur de l'enveloppe car il s'agit d'un extincteur vide récupéré).

contrainte axiale : σ_a



on a : $\sigma_a = p \frac{d_i^2}{4ds_0}$ [2] (2)

pour $d = 179 \text{ mm}$, on trouve
 $\sigma_a = 68 \text{ bars}$

Contrainte radiale : σ_r

Chaque élément de surface intérieure est soumis à l'action de la pression intérieure p_i . La contrainte radiale σ_r vaut : $\boxed{\sigma_r = -p_i} = -3 \text{ bars}$. Elle est négligeable vis à vis des deux autres calculées précédemment.

Épaisseur.

$$\text{on a : } \boxed{s = \frac{p d_i V_B}{2 \sigma_B} + c} \quad [2] \quad (3)$$

c : supplément pour la corrosion.

→ Pour l'acier inoxydable, $c = 0$.

→ Pour l'acier ordinaire, $c = 1$ (ou plus en cas de forte corrosion).

V_B : coefficient de sécurité

on prend $V_B = 4$, pour eau à température supérieure à 120°C .

V : coefficient de qualité de soudure

σ_B : résistance de rupture pour calcul.

Prends $V = 0.6$ (exécution de la soudure par un soudeur agréé, soudage d'un seul côté).

Les tôles ordinaires et les tôles de construction ne sont pas utilisables pour des températures supérieures à 120°C

$$\text{On posant : } \begin{cases} p = 0.3 \text{ N/mm}^2 \\ d_i = 176 \text{ mm} \end{cases}$$

On remplaçant dans la formule (3) on obtient:

$$s = \frac{0.3 (N/mm^2) \cdot 174 (mm) \times 4}{2 \times \sigma_B \times 0.6} = \frac{176}{\sigma_B (N/mm^2)}$$

pour $c=0$.

TYPE	$\sigma_B (N/mm^2)$	$s (mm)$
17Mn4	250	0.34
19Mn5	570	0.31
13Mo3	490	0.36
13CrMo44	500	0.35

Donc, une épaisseur de $s=1mm$ serait largement suffisante pour un acier allié.

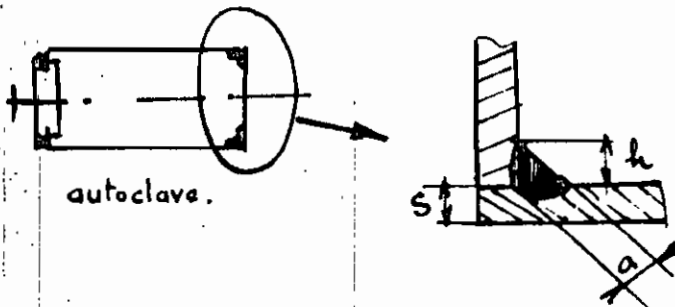
Pour une tôle MI, $\sigma_B = 380 N/mm^2 \Rightarrow s = 0.46$.

ou dans la norme française: XC12 $\rightarrow \sigma_B = 410 N/mm^2$.

3.2.3. Calcul de soudures [2] et [3]

Nous avons retenu la soudure d'angle plane.

Pour les soudures du fond du petit cylindre, on admet une épaisseur a comprise entre 0.45 et 0.5 s.



on a: $a_{max} \leq s$

3.2.3.1 Contraintes dans le joint soudé.

La contrainte essentielle qui agit ici est une contrainte de traction qui s'exprime par:

$$\sigma = \frac{F}{\Sigma a \cdot l} \quad (4)$$

avec:

F: force supportée par l'assemblage.

a: hauteur ou épaisseur du cordon soudé.

l: longueur utile du cordon sans les caractères terminaux.

3.2.3.2 Calcul de l'épaisseur du cordon soudé.

ν : coefficient de qualité.

$$\nu = 0.2$$

ν : coefficient de sécurité.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma \nu}{\nu} \quad (5)$$

En prenant comme base de calcul la limite de viscosité de la matière à la température d'utilisation, le coefficient de sécurité sera, pour les métaux à haute température, $\nu_v = 1.5$.

$$\text{Avec } p = \frac{F}{A} \quad A = \frac{\pi d_i^2}{4} = \frac{\pi (176)^2}{4} = 24328,49 \text{ mm}^2$$

$$\text{on a: } F = pA = 0.3 (\text{N/mm}^2) \times 24328,49 (\text{mm}^2) = 7298,5 \text{ N.}$$

la longueur du cordon de soudure sera :

$$l = \pi d_i = \pi \times 176.$$

$$(4), (5) \Rightarrow \boxed{\sigma_{adm} = \frac{F}{a \cdot l} \times \frac{v}{D}} = \frac{7298.5 \text{ (N)}}{a (\pi \times 176)} \times \frac{0.2}{1.5} \quad (6)$$

Pour une tôle MI, $\sigma_{adm} = 145 \text{ N/mm}^2$ (à 350°C),
l'épaisseur du cordon soudé vaut au minimum :

$$\underline{a_{min} = 0.012 \text{ mm.}}$$

3-2.3.3 Fonds plats :

Nous avons évité au maximum d'utiliser un fond plat car les fonds plats sont utilisés dans les très petits récipients. La pression augmente les contraintes dans l'enveloppe.

L'épaisseur de la tôle se calcule par :

$$\boxed{s = c \cdot d_i \sqrt{\frac{P V_B}{\sigma_B}}} + c \quad (7)$$

c : étant un coefficient qui dépend des conditions de transmission entre le fond et l'enveloppe.

$c = 0.35$ à 0.45 suivant la forme du fond.

3-2.4 Boulon de l'étrier

La recherche des contraintes exactes s'impose dans le cas des réservoirs sous pression intérieure [2]

* Une première estimation est faite, basée sur les formules de Jacques Muller (qui donnent une évaluation très rapide) - [19]

Soient :

d : diamètre à fond de filet (mm)

S : section à fond de filet (mm²)

F : effort de traction agissant sur la vis [kg].

t : fatigue du métal [kg/mm²].

on a :

$$\boxed{d = \sqrt{\frac{4F}{\pi t}}} \quad (8)$$

$t = 8 \text{ kg/mm}^2$ (acier, filetage au tour).

F est augmenté de 25% pour le serrage des brides avec joints élastiques.

$$\boxed{d = \frac{4 \times 1.25 F}{\pi \times t}}, \text{ et } t = \frac{1.25 F}{S} \quad (9)$$

en prenant $F = 7298.55 \text{ N}$

on trouve un diamètre de $d = 12.17 \text{ mm}$

La hauteur de la tête s'écrit :

$$\boxed{h = \frac{5}{8} d} = 7.6 \text{ mm}$$

Si on a : L = longueur du filetage en prise,

D :

$$(10) \quad \boxed{L \geq d} \quad \text{et} \quad \boxed{\frac{D}{d} = 1.4 \text{ à } 1.5}, \text{ soit } D = 1.45d = 17.64 \text{ mm.}$$

Puisque la force effective est inférieure à 7298.55 N
(car nous avons inclus dans le calcul de la section

résistante de l'autoclave, celle de la vis. Donc nous choisirons un boulon M 12 x 1.377, de classe 8.8 disponible aux ateliers [recueil de N.F. p 40, tableau 2].

*

Calcul du couple de serrage. p 85

La deuxième estimation basée sur l'approche de Vinet [20] est présentée en annexe 7

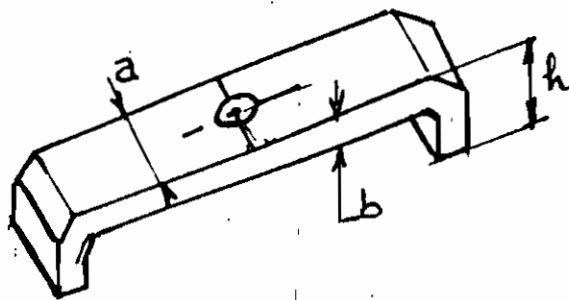
On trouve un couple de serrage de $T = 142 \text{ KNmm}$.

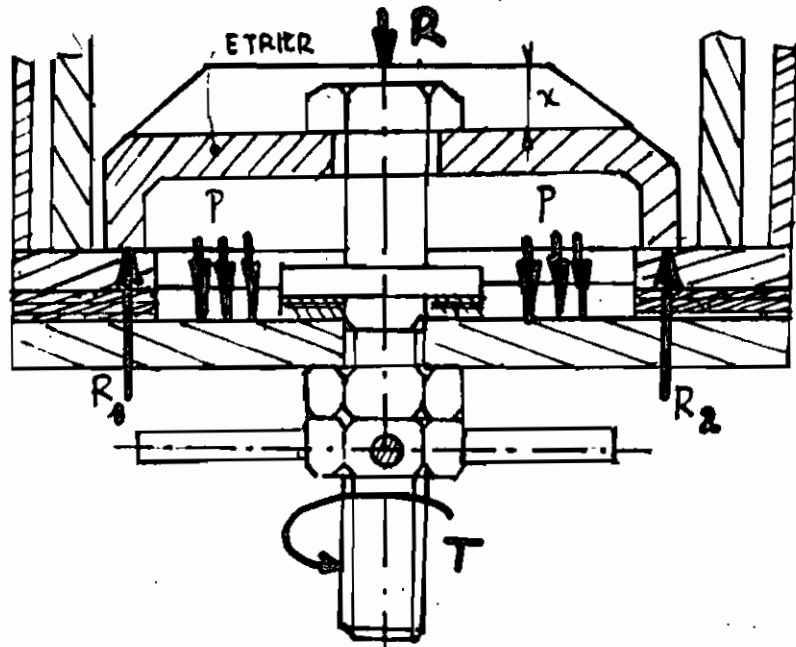
Vérification.

La même approche que celle du couple de serrage est utilisée (voir annexe 8).

On trouve que le boulon choisi est sécuritaire lors du serrage et après le serrage.

3-2-5. Etrier :





(voir Annexe J pour le calcul.)

L'étrier a été dimensionné avec un facteur de sécurité de 6. On trouve:

$$\begin{aligned} a &= 25 \text{ mm} \\ b &= 8 \text{ mm} \end{aligned}$$

L'acier choisi est un acier

XC 55.

* Cet acier est renforcé par deux plaques du même matériau de hauteur $x = 15 \text{ mm}$ et d'épaisseur 3 mm .

4

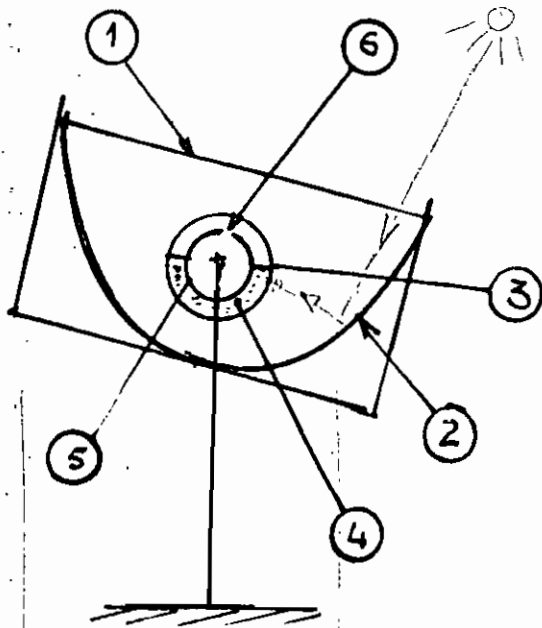
EVALUATION ENERGI-
TIQUE

L'analyse énergétique a déjà été étudiée dans le projet de Elimane Mbengue. [15]

Les résultats qui nous intéressent dans ce travail seront rappelés avec des modifications concernant le nouveau modèle. Certains calculs supplémentaires ont été effectués (quantité d'eau nécessaire).

4-1 STERILISATION. PROCESSUS THERMIQUE

Lorsque le capteur est orienté vers le soleil, une partie du rayonnement solaire capté est transmis par le vitrage (1) au réflecteur (2) qui le réfléchit à l'absorbeur (3). L'absorbeur



recouvert de noir de fumée réémet dans des longueurs d'onde comprises entre 4μ et 70μ , c'est à dire dans l'infrarouge.

Le vitrage en flexi-glas a la propriété de ne pas laisser passer l'infrarouge. Ainsi, la

major partie du rayonnement se trouve piégée entre le réflecteur (2) et le vitrage (1) (effet de serre). [Les plaques de l'ancien prototype (boosters) ont été éliminées car elles augmentaient les dimensions de l'appareil pour un faible apport énergétique (9.3%), sans compter le coût supplémentaire] [15]

Lorsque l'absorbeur est ainsi porté à haute température par l'intermédiaire du grand cylindre (3), il y a conduction à travers la paroi de ce dernier.

L'eau (4) ainsi chauffée est portée à ébullition. La vapeur rentre dans le cylindre de petit diamètre par l'intermédiaire des trous (6) placés sur sa génératrice supérieure.

L'énergie utile augmente la température de l'eau qui finit par se vaporiser quand la tension de vapeur est neutralisée. Cette vapeur recouvre les instruments contenus dans la chambre de stérilisation se condense en partie et les réchauffe. Cet échauffement se poursuit jusqu'à ce que la température de la chambre T_c soit égale à la température T_a de l'autoclave.

Lorsque l'énergie reçue est égale à celle perdue ($Q_{a,abs} = Q_{a,p}$), aucune production de vapeur ne s'opère si les flux reçus et perdus restent constants et identiques. Cependant, avec les modifications

atmosphériques continues (mouvement du soleil, déplacement des nuages, variations du vent, ...), le phénomène se comporte comme une succession d'équilibres instables accompagnés de variations de températures d'opération et de pressions pouvant entraîner la production ou la perte de vapeur.

4.2. EVALUATION DE LA SURFACE DE VITRAGE

4.2.1. Hypothèses :

1. Les pertes par conduction vers l'extérieur sont négligées dans un premier temps, le capteur étant supposé isolé thermiquement.
2. La température de l'autoclave est uniforme lorsqu'on s'approche du régime stationnaire bien qu'il y ait une dispersion due au régime stationnaire et à la répartition du rayonnement arrivant sur l'autoclave.
3. Les énergies de vaporisation de l'eau et de condensation de la vapeur sont considérées comme des phénomènes internes. Donc dans l'expression Q_{uSt} , il n'est pas tenu compte de l'énergie (négligeable par rapport à

celle qui amène l'eau à la température de stérilisation) nécessaire à la production de la vapeur occupant le volume libre de l'autoclave.

4.2.2. Surface du vitrage : A_v

Définition des symboles:

A_v, A_{ad}, A_d : Surfaces du vitrage, des disques latéraux, de l'autoclave

A_s : Surface de l'autoclave faisant face au soleil.

ρ_r : coefficient de réflexion de l'hémicylindre

H_n : rayonnement global

τ_v : transmittance du vitrage (flexiglas).

α_v : absorbance " "

$h_{v,air}$: coefficient de convection naturelle au dessous du vitrage.

$h_{a,air}$: coefficient de convection naturelle entre l'autoclave et l'air

$F_{a,v}$: facteur de forme autoclave - vitrage

$T_a, T_v, T_{ad}, T_e, T_s, T_{amb}$: températures de l'autoclave, du vitrage, des disques latéraux, de l'eau, de stérilisation, ambiante.

ϵ_a, ϵ_v : emissivités de l'autoclave, du vitrage.

σ : constante universelle de la loi de S. Boltzmann.

w_c : largeur de l'aperture.

L, l_1 : largeur du vitrage, longueur du réflecteur.

k, k_e : conductivités thermiques, de l'air, de l'eau.

Gr, Pr : nombres de Grashof et de Prandtl.

τ : temps de réponse du système.

t : " " stérilisation

Q_u, Q_a, q_{abs} : énergies utilest absorbée par l'autoclave.

\bar{Q}_{abs} : chaleur absorbée

m_{eau}, m_w, m_e : masses de l'eau, des instruments, de la chambre de stérilisation

c_{pe}, c_{pw}, c_{pc} : chaleurs spécifiques de l'eau, des instruments, de la chambre de stérilisation.

$h_{o, ad}$: coefficient de convection entre les disques latéraux et l'eau.

V_{eau} : volume d'eau nécessaire.

r : chaleur latente de vaporisation.

r_a : rayon de l'autoclave

l_c : espace entre les deux cylindres de l'autoclave.

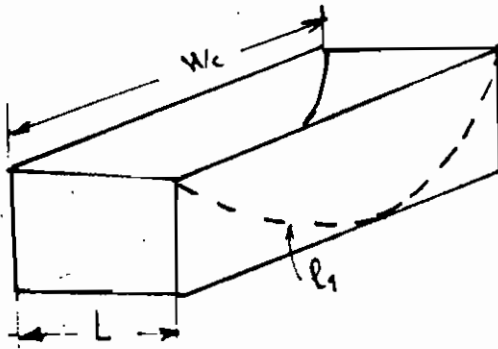
D' : côté du carré ayant la même surface qu'un des disques latéraux.

Avec un seul vitrage, sans plaques, on obtient :

$$(A_h p_R + A'a) H_n \tau_v + A_v H_n \alpha_v =$$

$$= \frac{h_{v,air} \cdot h_{a,air} \cdot A_a \cdot A_v (T_a - T_v) + A_a \epsilon_a \cdot \epsilon_v F_{av} \sigma (T_a^4 - T_v^4)}{A_a h_{a,air} + A_v h_{v,air}}$$

$$\text{avec } \left. \begin{array}{l} A_v = w_c \cdot L \\ A_h = l_1 \cdot L \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{A_v}{A_h} = \frac{w_c}{l_1}$$



La relation entre w_c et l_1 n'est pas linéaire. On fixera en annexe 4 un rapport tenant compte de la maniableté du système.

on obtient :

$$A_v \left[\frac{l_1}{w_c} p_R H_n \tau_v \alpha_a + H_n \alpha_v - \frac{h_{v,air} \cdot h_{a,air} \cdot A_a (T_a - T_v)}{A_a \cdot h_{a,air} + A_v h_{v,air}} \right] =$$

$$= - A'a H_n \tau_v \alpha_a + A_a \epsilon_a \cdot \epsilon_v \cdot F_{a,v} \sigma (T_a^4 - T_v^4)$$

Le calcul numérique la surface du vitrage A_v est effectué en annexe en remplaçant les coeffi-

cients et les variables par leurs valeurs. Le calcul a été effectué sur H.P. 67.

$$h_{a, \text{air}} = \frac{0.53 k_e}{2 \cdot r_a} (Gr \cdot Pr)^{1/4}, \quad r_a \text{ étant le}$$

rayon de l'autoclave.

On trouve : $A_v = 0.62 \text{ m}^2$ (voir annexe 4).
 $L = 0.516 \text{ m}$, pour $We = 1.21 \text{ m}$.

4.2.3. Temps de réponse (inertie du système)

Lorsque le système passe de la température ambiante à celle de stérilisation (T_s), un certain temps $\bar{\tau}$ se sera écoulé :

$$\begin{aligned} \text{On a : } Q_u \bar{\tau} &= (m_{eau} C_{pe} + m_w C_{pw} + m_c C_{pc}) (T_s - T_{amb}) = \\ &= h_{e,a} A_a (T_a - T_e) + 2 h_{e,ad} (T_{ad} - T_e) \bar{\tau} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \bar{\tau} = \frac{(m_{eau} C_{pe} + m_w C_{pw} + m_c C_{pc}) (T_s - T_{amb})}{h_{e,a} A_a (T_a - T_e) + 2 h_{e,ad} A_{ad} (T_{ad} - T_e)}$$

$$\text{avec } h_{e,a} = \frac{0.11 k_e (Gr Pr)^{0.29}}{r_a \ln \frac{r_a}{r_a - l_c}}$$

$$\text{et } h_{e,ad} = \frac{0.555 k_e}{D'} \cdot (Gr_{D'} \cdot Pr)^{1/4}$$

4-3 QUANTITE DE CHALEUR NECESSAIRE :

La quantité de chaleur absorbée par l'autoclave s'écrit :

$$Q_{a,abs} = (A_h p_a + A_a) H_n \bar{\epsilon}_v \alpha_a \quad [15]$$

pour un seul ouvrage, sans plaques (boosters).

$$\text{avec } A_a = 0.1475 \text{ m}^2$$

$$A_v = 0.62 \text{ m}^2$$

$$A_h = l_1 \times L = 1.47 \times 0.516 = 0.7585 \text{ m}^2$$

$$H_n = 651 \text{ W/m}^2$$

$$\bar{\epsilon}_v = 0.87$$

$$\alpha_a = 0.95$$

$$p_a = 0.76$$

$$\Rightarrow Q_{a,abs} = (0.7585 \times 0.76 + 0.1475) \times 651 \times 0.87 \times 0.95$$

$$Q_{a,abs} = 389.53 \text{ W} = 389.53 \text{ J/s}$$

Si on a un temps de réponse de $\bar{\epsilon} = 30 \text{ s}$,

$$\bar{Q}_{a,abs} = 11685 \text{ J} \approx 11.69 \text{ kJ}$$

4.4 QUANTITE D'EAU NECESSAIRE

Connaissant la quantité de chaleur nécessaire, on détermine la quantité d'eau requise en lisant sur une table thermodynamique (voir annexe n°1) donnant les propriétés à la température désirée. En fonction du temps, on a :

$$m_{\text{eau}} = \frac{\bar{Q}_{a, \text{abs}} \text{ (KW)} \times t \text{ (s)}}{r \text{ (KJ/kg)}} \approx V_{\text{eau}} \text{ (l)}$$

r étant la chaleur latente de vaporisation, donnée par la table thermodynamique en fonction de la température désirée. (annexe 1).

Calcul, (voir l'annexe 2).

Ainsi, si on veut atteindre 130°C , il faut un volume de 2.2575 l. d'eau, pour une durée maximale de stérilisation de 5^{h} (9^{h} à 14^{h}).

5

CONSTRUCTION

5.1 CYLINDRE EXTERIEUR DE L'AUTOCLAVE : (voir dessin N°1. Autoclave)

C'est la pièce n° ① du dessin 1.

Il s'agit d'un extincteur vide en acier inox résistant à 500psi de pression intérieure. Il est destiné à supporter la pression de vapeur.

5.2 CYLINDRE INTERIEUR : (élément ②)

Une tôle d'acier ordinaire d'épaisseur 5mm a été roulée puis soudée sur sa génératrice. Une autre tôle de même caractéristiques et épaisseur a été découpée selon un cercle puis meulée pour former un disque, ③. Ensuite, elle a été soudée sur le cylindre intérieur.

On a percé 3x10 trous de diamètre 4.5mm sur la génératrice du cylindre intérieur au moyen d'une perceuse.

5.3 OUVERTURE - AUTOCLAVE : ④

Une tôle d'acier identique à celle du cylindre intérieur a été découpée, meulée puis rectifiée au tour. (Remarquer son état de surface). Il doit avoir un très bon état de surface pour ne pas engendrer des fuites au contact avec le

joint d'étanchéité ⑪ (dessins 1 et 2)

Une ouverture ovale a été ensuite réalisée dans ce disque au moyen d'un chalumeau.

Les rebords (intérieurs) de ce trou ont été ensuite limés. La forme ovale permet l'ouverture par rotation de l'étrier d'un angle de 90° environ.

5.4 DISPOSITIF DE FERMETURE SOUS PRESSION

Plusieurs dispositifs ont été étudiés. Il a été retenu celui qui semble le plus simple à réaliser en série selon les possibilités qu'offre le marché, le matériel dont disposent nos "menuisiers métalliques" et selon le coût global de fabrication.

Dans notre cas, on n'a pas besoin de presse pour déformer le couvercle et l'étrier. (voir dessin N°2)

5.5 ETRIER : ⑤

Sur une plaque d'acier (XC55) de 8mm d'épaisseur on doit souder des bouts de 10mm aux deux extrémités (distantes de 154.3mm). La largeur de la plaque vaut 25mm.

La distance de 154.3mm permet de prévoir un

jeu pour palier aux problèmes de dilatations inhérents à l'accroissement de température dans des métaux différents. Il est prévu un dispositif de support.

5.6 BOULON DE SERRAGE : ⑥

Il s'agit d'une tige filetée de diamètre nominal 12mm. (voir les caractéristiques au chapitre conception)

Une plaque d'acier de 3mm d'épaisseur a été soudée de part et d'autre des bords

de la partie supérieure de l'étrier (voir dessins n° 1 et 2). Il constitue le dispositif de support ⑭

Un épaulement de forme circulaire a été ensuite soudé à 14.8mm de la tête de la vis. Il assure l'étanchéité au niveau du couvercle (car ce dernier est prévu pour recevoir le boulon de serrage). Cet

épaulement constitue le serre-joint ⑫

Le serrage est assuré au moyen d'écrou ⑦ muni d'une rondelle ⑩

5.7 COUVERCLE : ⑧

Il s'agit d'une plaque d'acier de même caractéristiques que le cylindre intérieur, d'épaisseur 5mm et de forme circulaire.

NOTE : La liaison entre l'élément ④ et le

Le cylindre extérieur a été très délicat. Elle consiste en une soudure à l'arc entre une tôle d'acier inox de faible épaisseur et une tôle d'acier ordinaire d'épaisseur 5mm. Ceci a été réalisé à l'aide de baguettes inox. L'acier ordinaire a été utilisé pour des problèmes de disponibilité.

6

EXPERIMENTATION

MATERIEL UTILISÉ :

- thermocouple (pour les mesures du 21.4.85 au 29.4.85)
- thermomètres : (mesures de températures ambiantes, températures de l'eau du stérilisateur N°1 et températures d'autoclave du 19.12.84 au 21.4.85).
- pyranomètre + mutimètre (mesures du rayonnement solaire).
- manomètre (intégré au nouveau stérilisateur).
- anémomètre + montre (vitesse du vent).
- cylindre gradué : (volume d'eau).

SYMBOLES :

- T_{a_1} : température au sein de l'autoclave ancien
 T_{a_2} : " " du nouvel autoclave
 T_{amb} : " ambiante
 I : intensité du rayonnement solaire
 V : vitesse du vent
 P_2 : pression au sein du nouvel autoclave.
 T_{f_1} : température prise à l'extérieur de l'ancien autoclave
 T_{f_2} : " " " " du nouvel autoclave

EXPERIENCE DU 19-12-1984.

Heure	$T_a(^{\circ}C)$	$T_v(^{\circ}C)$	$T_{amb}(^{\circ}C)$	$T_e(^{\circ}C)$
10 ^h 49	45	29	25	39
11 ^h 28	65	32	28	44
12 ^h 00	74	31	27.9	41.3
12 ^h 15	76	34	32	42
12 ^h 30	80	36	42	58.2
13 ^h 00	84	37.2	31.5	61.3

MODELE N°1. (84)

- 1 l d'eau -

- Ciel nuageux, beaucoup de vent et de poussière

- températures relevées au moyen de thermomètre

EXPERIENCE DU 27. 12. 84

Heure	$T_a(^{\circ}C)$	$T_v(^{\circ}C)$	$T_{amb}(^{\circ}C)$	$I(\frac{W}{m^2})$	$V(m/s)$
11 ^h	41	31.5	31.5	673.5	-
11 ^h 30	54	3.6	32	727	-
12 ^h	66	41	32	781	-
12 ^h 30	78	40	32.5	808	-
13 ^h 00	86	47	35.5	862	-
13 ^h 30	92	43	34	1131	2.54
14 ^h	94	40.5	35.5	1104.5	5.3
14 ^h 30	95	43.5	35.5	1131	9.1
16 ^h 30	72	35	32.5	350.2	4.13
17 ^h	65	33	31.5	80.8	4.13
17 ^h 30	58	31.5	30.5	13.5	4.13
18 ^h	54	27	27.5	-	-

MODELE N°1.

- masse d'eau : 1.44 kg

- debut : 10^h 30

- temps assez clair.


- instrument. temperature. thermomètre -

EXPERIENCE DU 29.12.84MODELE - 1

Heure	Ta(°C)	Tv(°C)	Tamb(°C)	I($\frac{W}{m^2}$)	V(m/s)
10 ^h 36	27.6	23.3	23	-	0.1
11 ^h 36	30.4	25	24.95	215,5	0.73
12 ^h 30	39.9	30,5	28	457.96	5.76
* 12 ^h 45	50	33.5	30.5	808,2	6.74
13 ^h 30	63	34	31.5	494,9	-
16 ^h 00	66	36	30.5	592,65	6.2
17 ^h 00	45	29.2	28.9	-	4.02
18 ^h 08	42	37.9	-	-	-

- Rayonnement
diffus.

- début 9^h30

- Apparition du soleil à
12^h45 et 16^h. 

- ciel nuageux
avec éclaircies.

EXPERIENCE DU 28.12.84.MODELE - 1

Heure	Ta(°C)	Tv(°C)	Tamb(°C)	I($\frac{W}{m^2}$)	V(m/s)
13 ^h 09	47	33,0	28.2	350.2	2.8
14 ^h 30	66	34	31	727.3	4.05
16 ^h 30	60	30.5	28	-	4
17 ^h 33	47	26	25.8	-	-

Rayonnement
diffus

début 10^h

EXPERIENCE DU 30-12-84.MODELE-1

debut 10^h47
1.428 kg d'eau

Heure	T _a (°C)	T _v (°C)	T _{amb} (°C)	T _c (°C)	I ($\frac{W}{m^2}$)	V(m/s)
11 ^h 26	46	33	31.5	40.3	751.3	0.5
12 ^h	68	39	32.2	55.9	1077.5	0.378
12 ^h 30	82	41.5	33.2	68.2	1131.4	1.2
13 ^h 02	92	48	34	78.2	1185.3	0.1
13 ^h 30	96	44.5	38	83	1158.4	-
14 ^h	99	45.5	35.5	86	-	0.39
14 ^h 15	99.5	43	34	91	1131.4	0.16

CAPACITE DECALORIFUGATION→ debut : 14^h25T_a = 95°C→ fin : 18^h02T_a = 37.5(T_{amb} = 26°C)DEUXIEME SERIE : (1985).EXPERIENCE DU 10-4-85MODELE-2

(sans vitrage,
sans isolation)

Debut : 9^h21

ciel nuageux,

0.25 l d'eau.

Heure	T _a (°C)	T _{refl} (°C)	T _{amb} (°C)	P (bar)	I ($\frac{W}{m^2}$)	V (m/s)
10 ^h	47	30	34	-	714.3	.31
11 ^h	55	32	37.5	-	671.9	.74
12 ^h 22	56	32	44	-	809.5	.43
* 13 ^h 15	65	45	41	-	857.1	.40
* 16 ^h 15	45	38	31	-	380.95	.15

↙ vitrage

(rayonnement essentiellement diffus, vent fort.)

Pas d'isolation du couvercle et de la conduite
alimentant le robinet et le manometre.

EXPERIENCE DU 11.4.85.PERFORMANCESCOMPAREES.

Heure	$T_a(^{\circ}C)$	$T_{a_2} (^{\circ}C)$	$T_{a_{amb}} (^{\circ}C)$	P (bar)	$V_{(m^3)}$	$I \left(\frac{W}{m^2} \right)$
10 ^h 00	...	45	29	-	0.96	571.4
11 ^h 02	64	59	35.8	-	0.18	761.9
12 ^h 00	85	64	-	-	0.895	819.1
12 ^h 20	-	66.5	42	-	1.16	876.2
13 ^h 05	99	71	-	-	0.29	876.2
14 ^h	99	68	34.8	-	0.63	809.5

à vide (sans eau)

NB: Le grand modèle est noté : 1 (à vide, sans eau).

Le petit modèle " " : 2 (nouveau)

Le nouveau modèle n'est pas isolé.

CONDITIONS ATMOSPHERIQUES:

ciel nuageux, beaucoup de vent, forte proportion de diffus,

Début: 9^h 30. pour ①

10^h - pour ②

Le nouveau modèle sera ensuite modifié, ^{car} malgré les pertes par conduction occasionnées par la manque d'isolation, la surface du réflecteur ne couvrait pas tout l'absorbant.

EXPERIENCE DU 13.4.85

MODELE ①

Heure	$T_a(^{\circ}C)$	$T_v(^{\circ}C)$	$T_{amb}(^{\circ}C)$	$T_e(^{\circ}C)$	$I(\frac{W}{m^2})$	$V(m/s)$
10 ^h 47	45.5	30.5	-	41	-	-
11 ^h 04	67.5	34	-	67	706.76	0.24
12 ^h 25	99	38.5	32.2	93	1047.62	-
15 ^h 45	69	39.5	33.2	67	628.57	-

Temps clair
vent.Debut: lever
du soleil.

EXPERIENCE DU 14.4.85

MODELE 1

Heure	$T_a(^{\circ}C)$	$T_v(^{\circ}C)$	$T_{amb}(^{\circ}C)$	$T_e(^{\circ}C)$	$I(\frac{W}{m^2})$	$V(m/s)$
10 ^h 18	41	31	-	40	780.95	-
12 ^h	99.5	42	35	94.5	971.43	0.17
12 ^h 45	104	52	38	95	971.43	0.73
* 17 ^h	60.5	31	-	55	523.8	-

temps clair,
venteux.Debut: 10^h.

* A 17^h, le stérilisateur était à l'ombre. Ceci a pour but de mesurer la capacité du grand stérilisateur de conserver la chaleur.

EXPERIENCE DU 19 - 4 - 85 .

MESURES COMPARATIVES

à 0.25 l d'eau , sans isolation du N°2

Heure	T _{a1} (°C)	T _{a2} (°C)	T _{amb} (°C)	I ($\frac{W}{m^2}$)	V (m/s)	P ₂ (bar)	T _{Couvercle 2} = T _{f2} (°C)
10 ^h 30	61	89	28.5	3476	0.47	0.2	-
11 ^h	85.2	-	32.5	11095	0.06	0.35	75
12 ^h 20	100	-	32	1319.09	1.15	0.4	86
13 ^h	102	-	29	1319.05	2.3	-	82
14 ^h	-	-	-	-	2.87	-	62
16 ^h	62	-	28	138.1	-	-	-

NB: La température de l'autoclave du nouveau stérilisateur n'a pas pu être relevé à partir de 11^h (voir T_{a2}, car le thermomètre ne pouvait plus être tenu par la main. En plus, il se refroidissait rapidement au contact de l'air ambiant.

La température au couvercle (extérieure)^{T_{f2}} a été relevée à la place, (couvercle non isolé).

Le stérilisateur N°2 a un seul vitrage.

Debut : 9^h 2 mn.

temps clair.

EXPERIENCE DU 20-4-85.

MESURES COMPARATIVES à 0.25l d'eau, sans isolation
du couvercle du N°2.

Heure	T _{a1} (°C)	T _{a2} (°C)	T _{f1} (°C)	T _{f2} (°C)	T _{amb} (°C)	I (W/m ²)	V (m/s)	P ₂ (bar)
10 ^h	54.5	-	32.5	54	24.5	175.14	3.3	0.2
11 ^h	-	-	60	65	24	-	4.24	0.45
12 ^h	81.5	-	82.5	62.5	24	476	1.79	0.45
13 ^h 30	83	-	72.5	75	28.5	1290.5	8.33	0.3
14 ^h	81	-	72	82.5	26.5	300	1.95	0.2

NB: Le nouveau stérilisateur est modifié, mais il n'est pas encore isolé thermiquement. Remarque l'évolution des températures mesurées à l'extérieur (par conduction) sur les masses métalliques (T_{f1} et T_{f2})

CONDITIONS ATMOSPHERIQUES:

- Rayonnement diffus
- vent très fort.

- Double vitrage du nouveau stérilisateur N°2..

Debut: 9^h02 mm.

EXPERIENCE DU 21.4.85.

MESURES COMPARATIVES.

à 0.25 l d'eau, * et isolation du nouveau stérilisateur

à $T_{f_2} = 102,5^\circ\text{C}$

Heure	T_{a_1} (°C)	T_{f_1} (°C)	T_{f_2} (°C)	T_{amb} (°C)	I ($\frac{W}{m^2}$)	V (m/s)	P_2 (bar)	T_{a_2} (°C)
9 ^h 30	34	36	40	22	4.76	0.66	0.1	50.95
10 ^h 07	44	37.5	47.5	22	109.5	0.99	0.1	58.45
11 ^h 12	78.5	75	77	27.5	966.7	0.75	0.25	87.95
12 ^h 00	99	90	102.5	-	-	0.74	0.4	113.45
12 ^h 37	-	108	110	28.5	1185.7	-	0.58	120.95
13 ^h 04	99	105	116	29	1190	0.43	0.6	126.95
13 ^h 42	101	101	112.5	29	1190	-	0.59	123.45
14 ^h 02	105	105	115	30.5	1191	-	0.6	125.95
16 ^h 40	76	76	75	27	176.2	-	-	85.95

* Les mesures sont effectuées au thermocouple, car le thermomètre brûlait les doigts et se refroidissait rapidement au contact avec le milieu ambiant.

Début: 8^h

Conditions atm. Rayonnement très diffus, vent

EXPERIENCE DU 22-4-85

MESURES COMPARATIVES. à 0.75 l d'eau (à 9°)

Heure	T _{a1} (°C)	T _{f1} (°C)	T _{f2} (°C)	T _{amb} (°C)	I ($\frac{W}{m^2}$)	V (m/s)	P ₂ (bar)	T _{a2} (min) (°C)
9 ^h	-	27.5	40	22	80.95	0.57	0	50.95
9 ^h 31	33	35	59	25	347.6		0.2	69.95
10 ^h	41	42	75	25.5	519.1	0.97	0.24	85.95
10 ^h 35	53.5	50	89.9	27.5	766.67	1.53	0.3	110.95
11 ^h	64	60	100	28	919.05	0.9	0.4	110.95
* 11 ^h 30	75.1	-	107.5	29.2	1033.3	1.16	0.45	* 118.45
12 ^h 04	91.5	-	114	29.5	-	2.05	0.62	124.95
12 ^h 30	100	-	115.2	29.5	1204.76	3.12	0.75	126.15
13 ^h 30	107.5	-	120	29.5	1259.4	1.91	0.70	130.95
* 14 ^h	107.5	-	120	29.5	1204.8	2.17	0.7	130.95
14 ^h 33	105	-	118	-	1195.2	2.17	0.61	128.95
15 ^h	100	-	115	-	1014.3	7.1	0.7	125.95
16 ^h 13	82	-	92.5	26	395.2	2.8	0.2	103.45
17 ^h	62	-	88	25.5	147		0.2	98.95
18 ^h	42.5	-	68.5	22	147	6.5	0.0	79.45

Début: 8^h.

temps clair, avec vent.

NB: Le stérilisateur ① n'est pas orienté.

← thermocouple.

EXPERIENCE DU 24.4-85.

Heure	T _{a1} (°C)	T _{f1} (°C)	T _{f2} (°C)	T _{amb} (°C)	I ($\frac{W}{m^2}$)	V (m/s)	P ₂ (bar)	T _{a2(min)} (°C)
9 ^h 45	44	-	51	24.2	595.5	-	0.2	61.95
11 ^h 20	80	-	80	27.1	876.2	0.5	0.3	90.95
11 ^h 33	-	-	-	-	-	-	0.4	-
12 ^h 06	97.2	-	95	27.2	-	-	0.41	105.95
12 ^h 33	102.5	-	97.5	27.2	1038	3.5	0.45	108.45

Debut : 8h

même volume d'eau que le 22.4-85

Rayonnement diffus, vent.

EXPERIENCE DU 23.4-85

Heure	T _{a1} (°C)	T _{f1} (°C)	T _{f2} (°C)	T _{amb} (°C)	I ($\frac{W}{m^2}$)	V (m/s)	P ₂ (bar)	T _{a2(min)} (°C)
9h	30	-	30	24	476.19	-	0	40.95
10h	41	-	50	-	685.71	-	0.2	60.95
11h	72.5	-	82.5	26	-	-	-	93.45
12h	99.9	105.1	105	27.5	-	-	0.4	115.95
16h30	80	-	82.5	26	-	-	0.25	93.45

- augmentation de 0,5l à 12h, d'où volume d'eau = 1.25l.

EXPERIENCE DU 26.4.85.

MESURES COMPARATIVES. à $\left. \begin{array}{l} V_2 = 2 \text{ l d'eau} \\ V_1 = 1.45 \text{ l.} \end{array} \right\}$

Heure	T_{a1} (°C)	T_{f2} (°C)	T_{amb} (°C)	I (W/m ²)	V (m/s)	P_2 (bar)	$T_{a2 \text{ min}}$ (°C)
10 ^h 30	62.5	75	25	857.1	1.03	0.45	85.95
11 ^h 40	82.5	82.5	25	971.4	1.02	0.9	93.45
12 ^h 03	105	87	25	1067.6	0.8	1	97.95
12 ^h 35	105.1	100	28	1095.2	1.5	1.25	110.95
13 ^h	106	104	27.5	1095.2	1.65	1.45	114.95
14 ^h 49	107.5	105	28.5	1028.6	0.35	1.45	115.95

↑
sans orientation

Début: 8^h.

NB: Le stérilisateur (2) comporte un seul vitrage.

On a obtenu $T_{f2} = 75^\circ\text{C}$ et 0.8 bar à 11^h40mn

alors que plus de la moitié de ce stérilisateur
était à l'ombre.

EXPERIENCE DU 27.4-85

MESURES COMPARATIVES à

$$\left. \begin{array}{l} V_2 = 2\ell. \text{ d'eau} \\ V_1 = 1.4\ell \text{ "} \end{array} \right\}$$

Heure	T _{a1} (°C)	T _{f2} (°C)	T _{amb} (°C)	I ($\frac{W}{m^2}$)	V (m/s)	P ₂ * (bar)	T _{a2 min} (°C)
9 ^h 28	42.5	50	23	571.4	0.72	0.3	60.95
10 ^h 38	65	80	25.2	838.1	+	0.46	90.95
11 ^h	75	85	27.2	876.2	1.4	0.5	95.95
11 ^h 34	92.5	92.5	28	942.9	1.75	1.1	103.45
12 ^h 07	105	101	29	1009.5	0.26	1.25	111.95
12 ^h 28	105	107.5	30	1076.2		1.31	118.45
13 ^h 11	109	111.5	30.5	1095.2	1.21	1.75	122.45

Debut : 8^h

- Ciel clair, avec vent.

- 1 seul ritrage sur le stérilisateur ②.

Rque: * → Le volume optimal d'eau est approché,
on note une bonne pression de stérilisation

EXPERIENCE DU 25.05.85.

Mesures comparatives de T_{f_2} et T_{a_2} .

Heure	T_{f_1} (°C)	T_{a_1} (°C)	$T_{f_2}^*$ (°C)	$T_{a_2}^*$ (°C)	T_{amb} (°C)	V (m/s)	I (W/m ²)
8 ^h 50	30.4	31	34	46	25.6	0.25	476.2
9 ^h 04	34	35	40	52.5	26	-	561.9
9 ^h 20	37.9	44.9	49	62.5	27	-	560.5
10 ^h 00	48.5	51	67.5	87.5	29	0.13	761.9
10 ^h 23	57	59	72.5	89.9	29	0.44	847.6
10 ^h 40	62	62.5	82	94	29.4	0.79	904.8
11 ^h 06	70	71	87.5	97.5	31	-	961.9
11 ^h 20	75	76	91.5	100	30.9	-	1028.6
11 ^h 47	85	82.5	96	101	31.2	-	1047.6
11 ^h 51	82.4	89.9	97	102	31.5	1.67	1057.1
12 ^h 31	85.8	92.5	97.5	102	32	-	1095.2

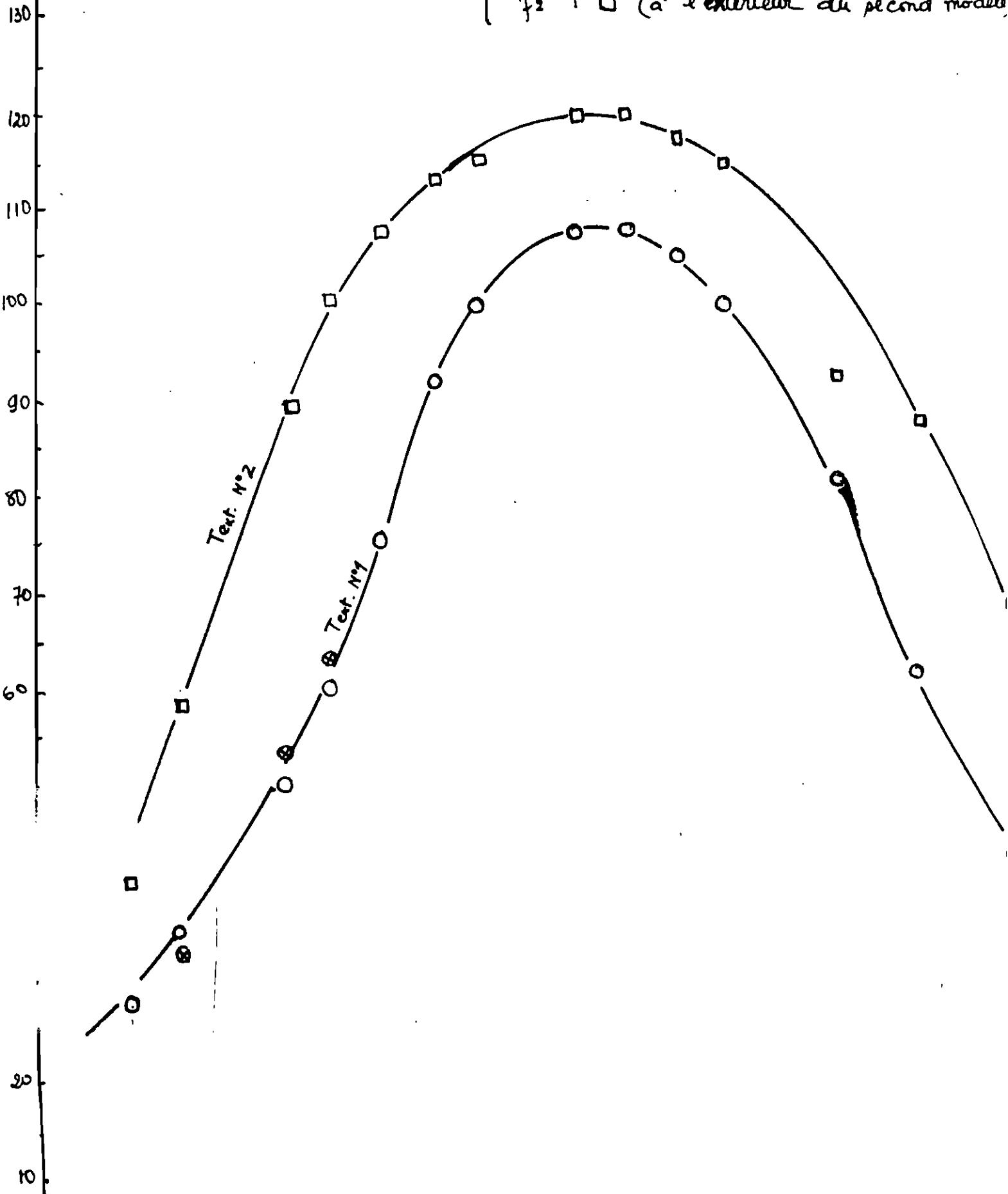
TEMPERATURE (°C)

22-4-85

$V = 0.75$ litres d'eau à 9h

p. 72

températures: $\left\{ \begin{array}{l} T_{a1} : \otimes \text{ (à l'intérieur du premier modèle)} \\ T_f : \circ \text{ (" l'extérieur " ")} \\ T_{p2} : \square \text{ (à l'extérieur du second modèle)} \end{array} \right.$



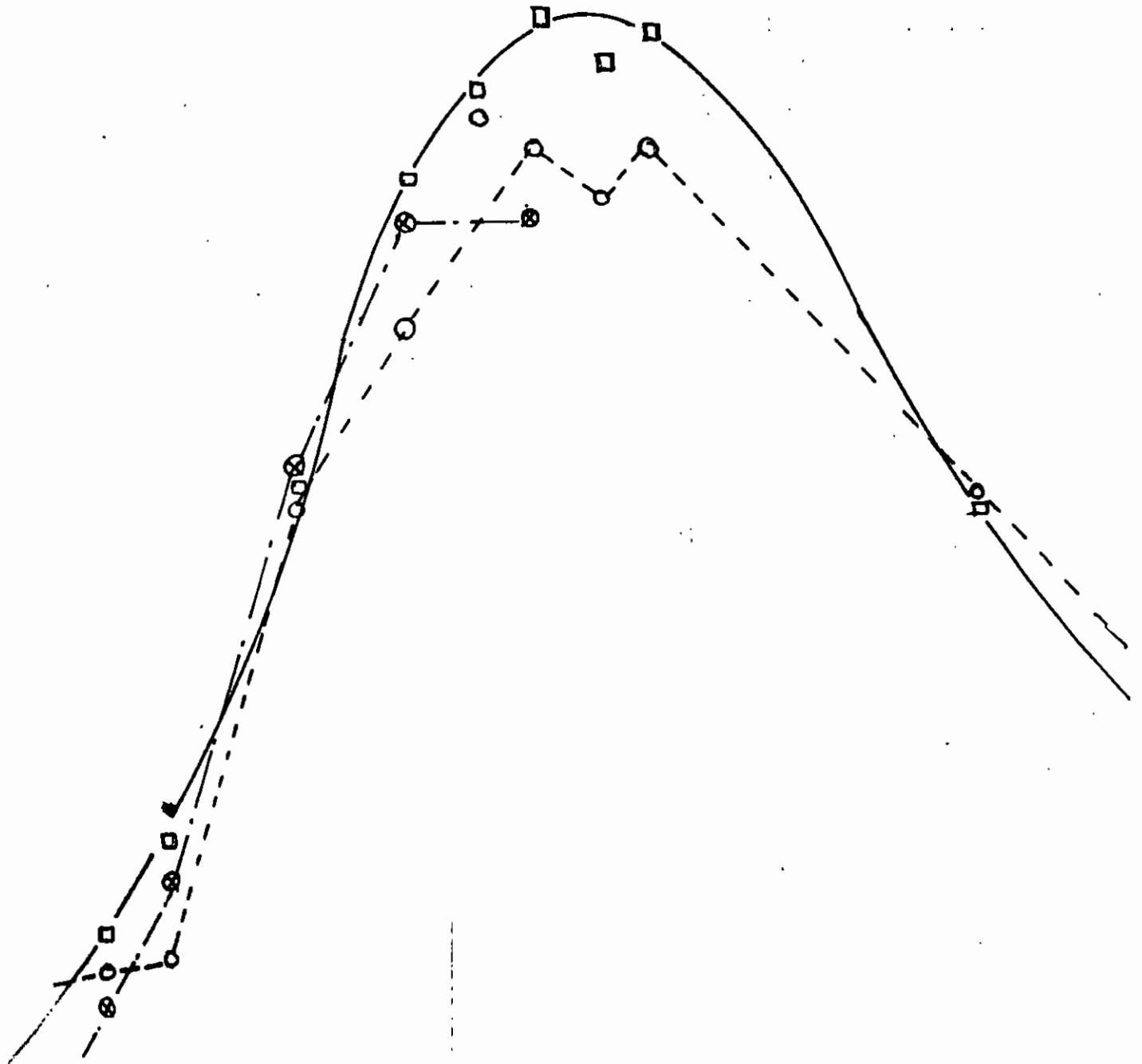
(80.95) (347.6) (519.1) (766.7) (914) (1033.3) (-) (1258.6) (1264.8) (1195) (1014) (395) (447) (En...)

21-4-85

0,25 litres d'eau, isolation à $T_{f2} = 102,5$

p.74

temperatures: { T_{a1} : \otimes (à l'intérieur du premier modèle)
 T_{f1} : \circ (à l'extérieur " " ")
 T_{f2} : \square (à " " du second modèle)



[4.76] [109.5] [966.7] [1185.7] [1196] [1191] [1762]

[ENSOLEILLEMENT
(W/m²)

61 TEMPERATURES INTERIEURS DE L'AUTO- CLAVE DU NOUVEAU STERILISATEUR.

T_{a_2} .

Dans l'expérience du 19-4-85, on peut remarquer que la température T_{a_2} n'a pas pu être lue à partir de 11^h car le thermomètre ne pouvait plus être tenu à la main.

En plus, l'ouverture de l'autoclave faisait chuter à chaque ^{fois} la pression lors des lectures de températures.

Ainsi, le Samedi 25-5-85, des mesures de la température à l'extérieur et à l'intérieur du nouvel autoclave (T_{p_2} et T_{a_2}) ont été effectuées (donc sans mesure de pression).

La différence moyenne entre ces deux températures vaut 10.95°C .

Notons que plus l'irradiation solaire augmente en intensité, plus il y a production de vapeur. Puisque l'autoclave ne pouvait être étanche (prise de la température T_{a_2}), il y a eu perte de chaleur au fur et à mesure.

Les températures T_{a_2} portées à droite des tableaux de mesure ont donc été estimées à partir de l'expérience du 25-5-85.

NB: Toutes les températures d'autoclaves T_a mesurées au thermomètre sont bien inférieures aux valeurs réelles car les thermomètres se refroidissent rapidement.

au contact de l'air. (comparer avec les mesures de Juin 84 [15])

RÉSULTATS:

Malgré les difficultés de mesure de la température du nouvel autoclave, on remarque que le nouveau modèle est plus performant que l'ancien du point de vue : temps de réponse, température, étanchéité.

Les températures de l'autoclave N°2 ont toujours été supérieures à celles de l'autoclave N°1, sauf avant l'isolation du couvercle de l'autoclave N°2 (le 20.4.85).

On remarque que lorsqu'on s'approche du volume optimal (voir évaluation énergétique) on obtient de bonnes pressions. (le 27-4-85 et le 26-4-85).

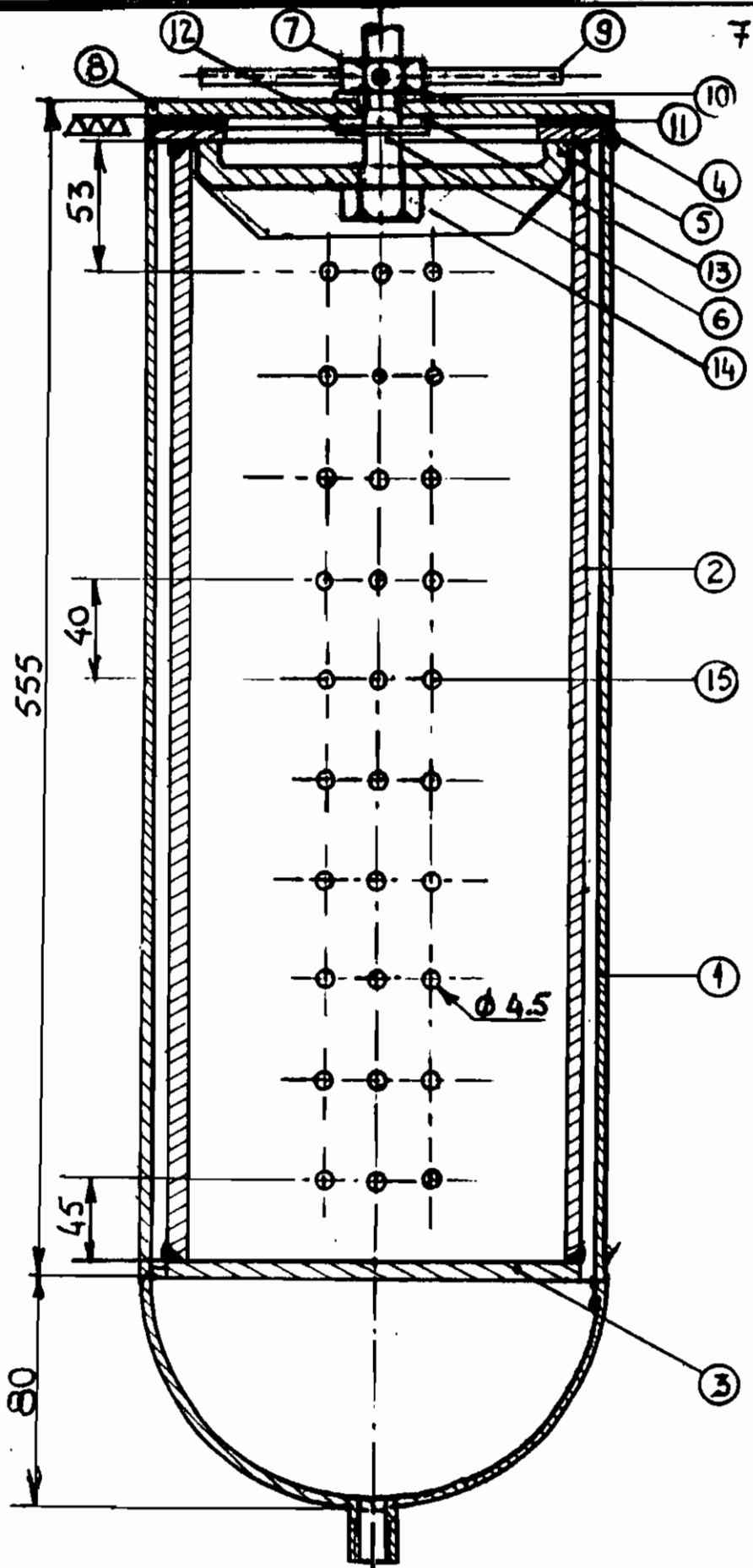
Notons que le volume d'eau est à renouveler en réutilisant la quantité liquide issue de la condensation de la vapeur qui se trouve chaque soir dans la chambre de stérilisation.

On le sait, les formules utilisées en transfert de chaleur sont empiriques. C'est ce qui explique l'augmentation progressive de la quantité d'eau pour bien se convaincre que l'optimum d'eau calculé correspond à la réalité. Notre expérience confirme la qualité de l'appareil. Elle permet aussi de vérifier beaucoup ^{de} lois thermodynamiques.

DESIGNATION

77

1	Cylindre exterieur
2	Cylindre interieur
3	Fond du cyl. int.
4	Ouverture -autoel.
5	Etrier
6	Boulon de serrage
7	Ecrou de serrage
8	Couvercle
9	Croix de serrage
10	Rondelle d'appui
11	Joint d'etanchéité
12	Serre - joint
13	Joint d'etanchéité
14	Support d'étrier
15	Trous de passage de la vapeur



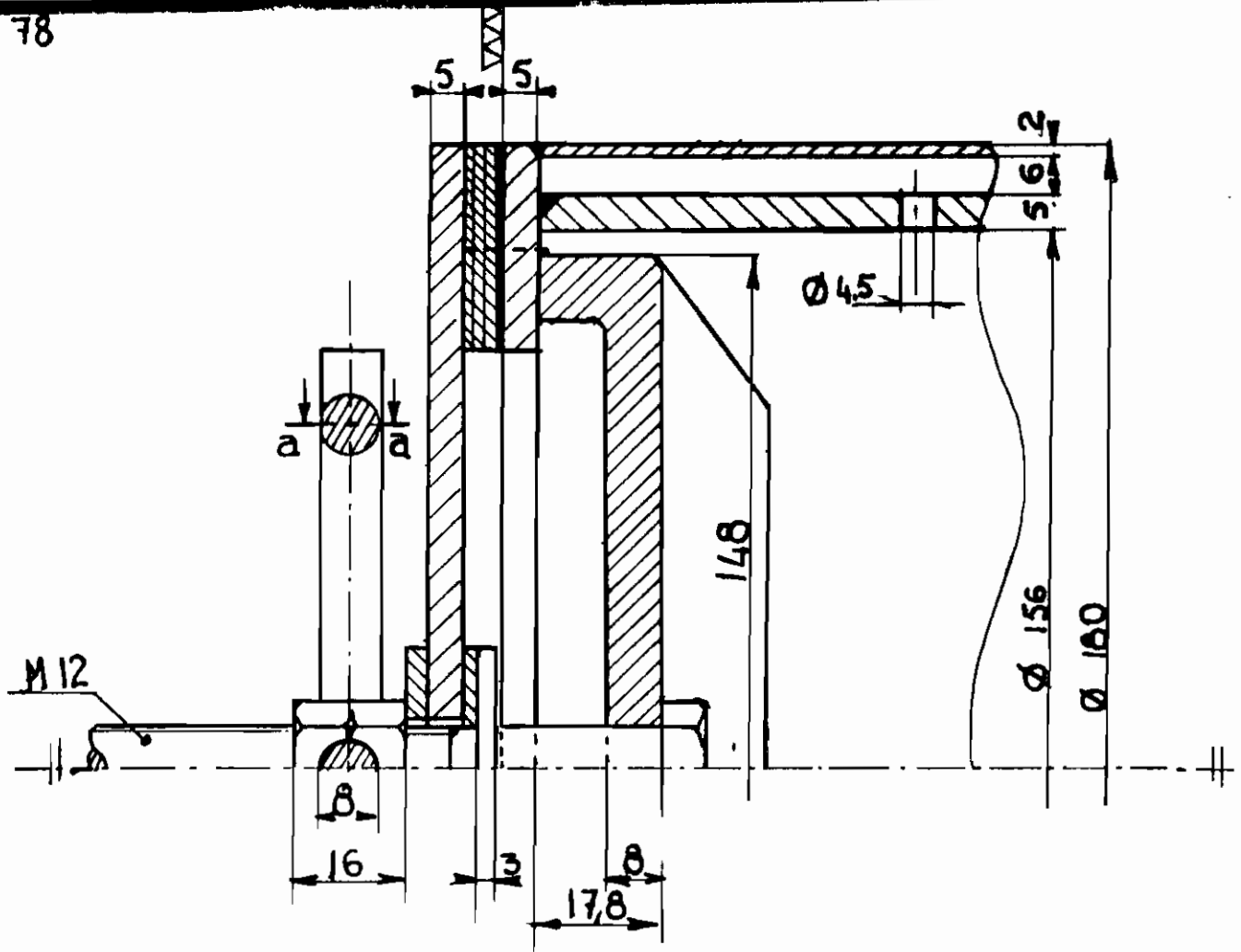
E.P.T.

AUTOCLAVE

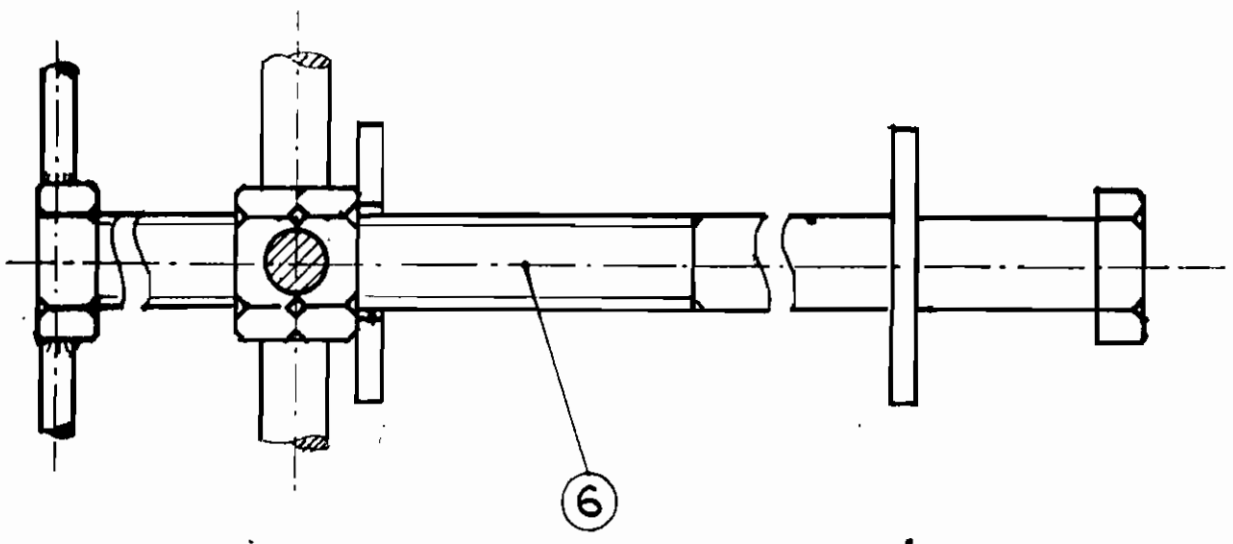
Dessiné par	A. DIOP	Matricule	370
N°	1	Echelle	1/25
Date	10-11-1985		
	PROJ. 521		

B

A



DEMI COUPE A-A

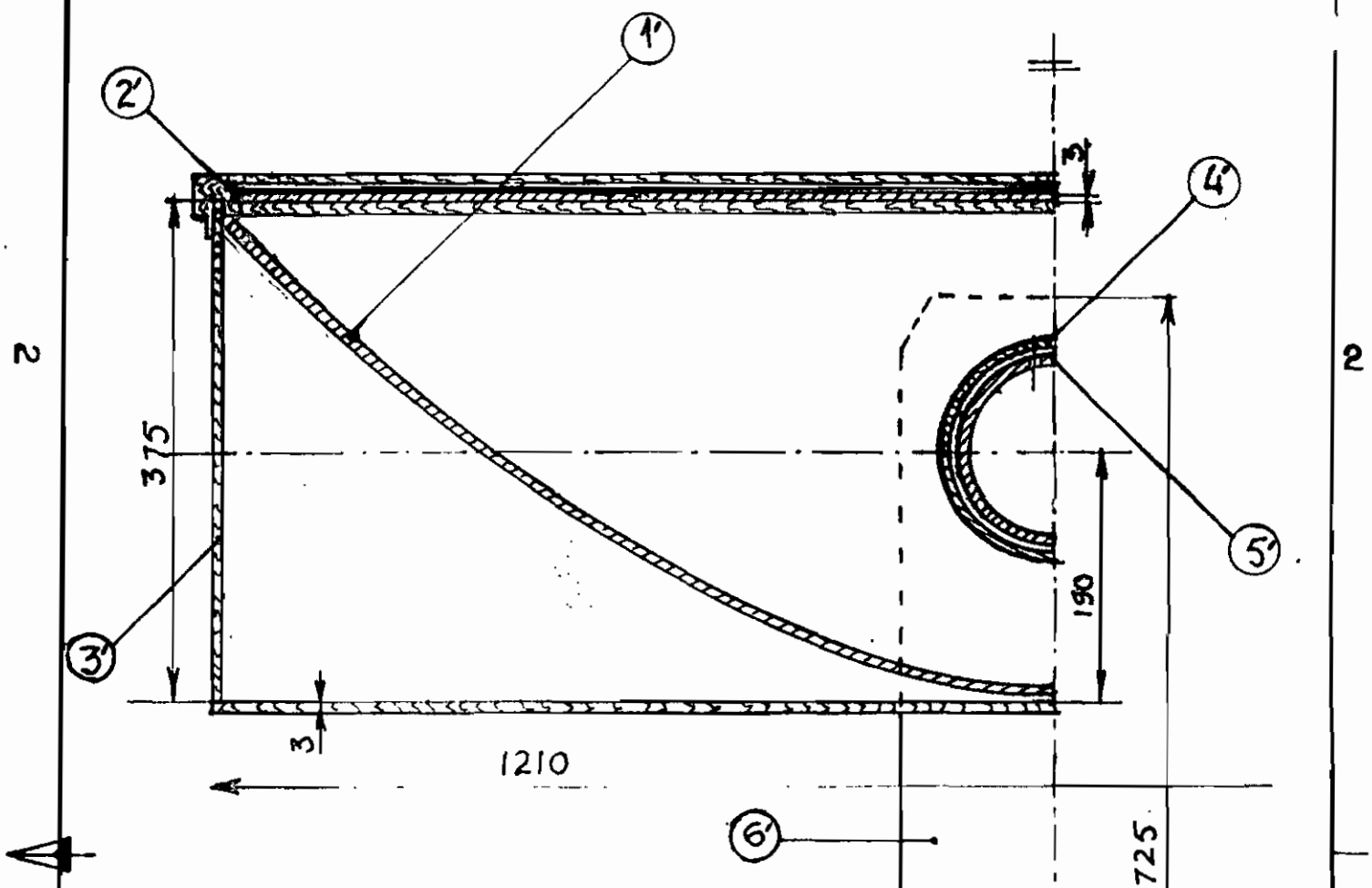


E.P.T.	A. DIOP		Matricule 370
DISPOSITIF DE FER- METURE - SECURITE	N° 2		
	Date 10.04.1985	Echelle. 1/1	
PROJ. 521			

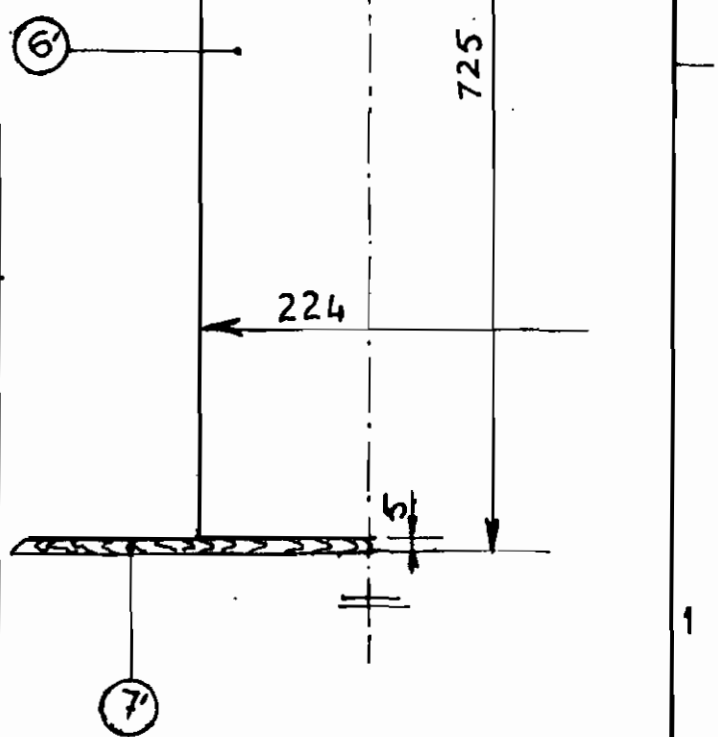
B

V

A



N°	DESIGNATION	MATIERE
1'	REFLECTEUR	ALUMINIUM
2'	VITRAGE	PLEXIG.
3'	COFFRE	BOIS
4'	GRAND CYLINDRE	ACIER INOX
5'	PETIT //	// ORD.
6'	PIED	BOIS
7'	SOCLE	//



E.P.T.		A. DIOP	Matricule 370
DEMI-VUE DU CAPTEUR		N° 3	
		Date 19-04-1985	Echelle 1/5
		PROJ- 521	

B

A

8

ETUDE
ECONOMIQUE

Dans n années, la valeur d'un capital P_0 , placé à un taux d'intérêt i , s'élève à : $P_n = P_0 (1+i)^n$ (1)

Si P_0 représente une somme empruntée, soit R les annuités de remboursements. [15] et [14]

On a :

$$R = \frac{P_n \cdot i}{(1+i)^n - 1} = \frac{P_0 \cdot i (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2)$$

Soit P'_0 la somme qu'un propriétaire fait au plus investir sur le système solaire pour en tirer profit, soit j le taux d'inflation, soit R'_0 le versement annuel.

Si n est le nombre d'années (ou la durée de vie du système), on a :

$$P'_0 = \frac{R'_0 (1+i_{\text{eff}})^n - 1}{i_{\text{eff}} (1+i_{\text{eff}})^n} \quad (3)$$

avec :

$$i_{\text{eff}} = \frac{1+i}{1+j} - 1 \quad (4)$$

$$(3) \Rightarrow R'_0 = \frac{P'_0 \cdot i_{\text{eff}} (1+i_{\text{eff}})^n + 1}{(1+i_{\text{eff}})^n} \quad (5)$$

MATERIAUX	PRIX (F. CFA)
<u>A) Menuiserie</u>	
- Bois contreplaqué de 4mm ...	1650 ^F
- Planche en bois rouge 2 traits ...	3000
- Colle bois "Soder" (1boite) ..	1050
- Vis à bois 4x30 (1paquet) ...	2750
	<u>8450</u>
<u>B) Accessoires - capteur:</u>	
* Verre plexiglass ($23018.75^{\text{F}}/\text{m}^2$) ..	14371.99 ^F
* Papier aluminium	138.8
	<u>14510.79</u>
<u>C) Accessoires - autoclave:</u>	
- colle neoprène	1720
- 10 baguettes inox ($75^{\text{F}}/\text{pièce}$)	750
- robinet d'arrêt	1700
- joint (non facturé)	-
- extincteur (recupéré, ") ..	-
	<u>4170</u>
TOTAL	<u>27130.79</u>
* [84]	

avec : $\left\{ \begin{array}{l} \text{surface de vitrage : } S_v = 0.62 \text{ m}^2 \\ \text{" " papier aluminium : } 0.74 \text{ m}^2. \end{array} \right.$

Le coût de la main d'œuvre pour la menuiserie s'élève à 7500^{F} CFA.

Pour l'autoclave, nous évaluons le coût de la main d'œuvre à 9000^{F} (au plus)

\Rightarrow coût total main d'œuvre : $9000^{\text{F}} + 7500 = \underline{16500^{\text{F}}}$ CFA.

Le coût global s'élève donc à

$$P_0 = 16500^{\text{F}} + 27\,130.79 = \boxed{43\,630.79^{\text{F}} \text{ CFA}}$$

Le plexiglas représente : $\frac{14\,371.99}{43\,630.79} \approx 0.33$, soit 33%

du coût global à lui seul.

Soient : $i = 12\%$

$$j = 6,4\% = 0.064$$

$$n = 5 \text{ années} \Rightarrow P_5 = P_0 (1+i)^5 = 43\,630.79 (1+0.12)^5 \\ = 76\,892.36^{\text{F}}$$

$$\Rightarrow R = \frac{P_0 \cdot i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} = \frac{43\,630.79 \times 0.12 \times (1.12)^5}{(1.12)^5 - 1} \\ = 12\,103.61^{\text{F}}$$

$$i_{\text{eff}} = \frac{1+i}{1+j} - 1 = \frac{1.12}{1.064} - 1 = 0.0526.$$

$$\text{Si } P = P_0' \Rightarrow R_0' = \frac{P_0 (1+i_{\text{eff}})^n \times i_{\text{eff}} + 1}{(1+i_{\text{eff}})^n}$$

$$R'_0 = \frac{43\,630.79 (1+0.0526)^5 + 0.0626 + 1}{(1+0.0526)^5}$$

$$= 2295.75^F$$

$$\Rightarrow \Delta R = R - R'_0 = \underline{9807.86^F \text{ CFA.}}$$

On voit que le stérilisateur nous permet de réaliser une économie de 9807.86^F pour une durée de vie de 5 ans.

Le coût global calculé est le coût minimal.

Selon les marchés, le verre flexiglas et le papier aluminium sont vendus suivant des dimensions standardisées. Il y a forcément un certain pourcentage de rebut.

9

CONCLUSIONS -
RECOMMENDATIONS

9-1. ÉTANCHEITÉ :

Il faut que la caisse contenant le réflecteur et l'absorbeur soit étanche, sinon l'eau qui va pénétrer dans celle-ci (pluie, humidité de l'air, rosée, ...) va diminuer le rendement de trois façons différentes:

- a) pendant les fonctionnements du capteur à basse température (démarrage, arrêt), l'humidité de l'air du capteur va se condenser sur la face interne de la vitre. Celle-ci n'étant plus transparente, va absorber le rayonnement au lieu de le laisser traverser. Au démarrage, les condensations persisteront jusqu'à ce que la vitre soit assez chaude pour les faire évaporer.
- b) les poussières et autres saletés entrant dans le capteur se déposent avec les condensations sur le vitrage et le réflecteur.
- c) l'eau risque d'endommager l'isolant (laine de verre).

9-2 ISOLATION THERMIQUE.

Elle doit avoir une épaisseur de 5 à 10 cm.

La laine de verre est économique, résiste aux hautes températures mais perd ses qualités isolantes dès qu'elle est en contact avec l'eau.

9.3 REFLECTEUR:

Nous avons vu dans l'analyse de l'élastique que pour avoir la forme parabolique approchée, il suffisait d'avoir un matériau homogène. Donc, à la place de l'aluminium, on peut utiliser tout autre matériau de construction homogène, mais de faible épaisseur (pour réduire le poids).

9.4. CORROSION:

Il faudra éviter dans la construction de l'absorbeur, d'utiliser des matériaux différents, surtout l'acier galvanisé et le cuivre (fil électrique). Sinon, il faut prévoir une mise à la terre.

9.5 VITRAGE:

Pour un double vitrage, la transparence globale va diminuer, il y a des problèmes de dilatation, le montage est plus difficile, le prix plus élevé bien que la température monte en cas de rayonnement diffus appréciable et que le capteur soit moins sensible aux pertes par convection dues au vent. Notons que le verre, bien que cassant est aussi valable

que le flexiglas.

9.6 : ORIENTATION:

Il faudra orienter le capteur selon la direction Est-Ouest avec l'ouverture situé vers le Sud et le manomètre vers le Nord, car le volume d'eau est plus important vers le Nord. (vers la partie où se situe le manomètre).

Puisque le capteur n'est pas incliné de 14° , il y a une partie de l'absorbeur moins ensoleillée que l'autre.

C'est donc la partie contenant le volume d'eau le plus important qui doit être du côté Nord.

9.7 : PERFORMANCES:

Le nouveau modèle est plus performant que l'ancien du point de vue : temps de réponse, température, étanchéité. Même avec un volume d'eau supérieur, il donne des températures plus élevées.

Il nécessite cependant une poursuite du soleil toutes les heures entre 9^h et $13^h 30$ à 14^h au maximum. Le volume d'eau est à renouveler en réutilisant la vapeur condensée qui se trouve chaque soir dans la chambre de stérilisation.

ANNEXE 1

Table 44-3 Properties of Saturated Steam (H₂O) at a Given Temperature (in International System of Units—SI) (Continued)

Temperature		Pressure	Specific volume		Density		Specific enthalpy		Heat of vaporization	Specific entropy	
			Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor		Liquid	Vapor
<i>t</i>	<i>T</i>	<i>p</i>	<i>v</i> '	<i>v</i> "	<i>ρ</i> '	<i>ρ</i> "	<i>h</i> '	<i>h</i> "	<i>h</i> " - <i>h</i> '	<i>s</i> '	<i>s</i> "
°C	K	bar	m ³ /kg	m ³ /kg	kg/m ³	kg/m ³	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/kg K	kJ/kg K
110	383.15	1.4326	0.0010515	1.210	951.02	0.8264	461.3	2691	2230	1.4184	7.2387
111	384.15	1.4814	0.0010523	1.173	950.30	0.8525	465.6	2693	2272	1.4294	7.2274
112	385.15	1.5316	0.0010532	1.137	949.49	0.8795	469.8	2694	2224	1.4404	7.2162
113	386.15	1.5831	0.0010540	1.102	948.77	0.9074	474.0	2696	2222	1.4514	7.2051
114	387.15	1.6361	0.0010549	1.069	947.96	0.9354	478.2	2697	2219	1.4624	7.1941
115	388.15	1.6905	0.0010559	1.036	947.15	0.9652	482.5	2698	2216	1.4733	7.1832
116	389.15	1.7464	0.0010567	1.005	946.34	0.9950	486.7	2700	2213	1.4842	7.1724
117	390.15	1.8038	0.0010576	0.9754	945.54	1.025	491.0	2702	2211	1.4951	7.1616
118	391.15	1.8628	0.0010585	0.9465	944.73	1.056	495.2	2703	2208	1.5060	7.1509
119	392.15	1.9233	0.0010594	0.9186	943.93	1.089	499.5	2705	2205	1.5169	7.1403
120	393.15	1.9854	0.0010603	0.8917	943.13	1.121	503.7	2706	2202	1.5277	7.1298
121	394.15	2.0491	0.0010612	0.8657	942.33	1.155	507.9	2708	2200	1.5385	7.1193
122	395.15	2.1144	0.0010621	0.8407	941.53	1.189	512.2	2709	2197	1.5492	7.1089
123	396.15	2.1814	0.0010630	0.8164	940.73	1.225	516.5	2710	2194	1.5599	7.0985
124	397.15	2.2502	0.0010640	0.7930	939.85	1.261	520.8	2712	2191	1.5706	7.0881
125	398.15	2.3208	0.0010649	0.7704	939.06	1.298	525.0	2713	2188	1.5814	7.0777
126	399.15	2.3932	0.0010658	0.7486	938.26	1.336	529.2	2715	2186	1.5922	7.0674
127	400.15	2.4674	0.0010668	0.7276	937.38	1.374	533.4	2716	2183	1.6029	7.0573
128	401.15	2.5434	0.0010677	0.7074	936.59	1.414	537.7	2718	2180	1.6135	7.0472
129	402.15	2.6213	0.0010687	0.6880	935.72	1.454	542.0	2719	2177	1.6240	7.0372
130	403.15	2.7011	0.0010697	0.6683	934.84	1.496	546.3	2721	2174	1.6354	7.0272
131	404.15	2.7829	0.0010707	0.6499	933.97	1.539	550.5	2722	2171	1.6450	7.0173
132	405.15	2.8668	0.0010717	0.6321	933.10	1.582	554.8	2723	2168	1.6555	7.0074
133	406.15	2.9528	0.0010727	0.6148	932.23	1.626	559.0	2724	2165	1.6659	6.9976
134	407.15	3.0417	0.0010737	0.5981	931.36	1.672	563.2	2725	2162	1.6764	6.9878
135	408.15	3.130	0.0010747	0.5820	930.49	1.718	567.5	2727	2159	1.6869	6.9781
136	409.15	3.222	0.0010757	0.5664	929.63	1.765	571.8	2728	2156	1.6973	6.9685
137	410.15	3.317	0.0010767	0.5512	928.76	1.814	576.1	2730	2154	1.7073	6.9589
138	411.15	3.414	0.0010777	0.5366	927.90	1.864	580.4	2731	2151	1.7183	6.9493
139	412.15	3.513	0.0010788	0.5224	926.96	1.914	584.7	2733	2148	1.7278	6.9398
140	413.15	3.614	0.0010798	0.5087	926.10	1.966	589.0	2734	2145	1.7392	6.9304
141	414.15	3.717	0.0010808	0.4953	925.24	2.019	593.3	2735	2142	1.7496	6.9211
142	415.15	3.823	0.0010819	0.4824	924.30	2.073	597.6	2737	2139	1.7599	6.9117
143	416.15	3.931	0.0010829	0.4699	923.45	2.128	601.9	2738	2136	1.7702	6.9024
144	417.15	4.042	0.0010840	0.4579	922.51	2.184	606.2	2739	2133	1.7804	6.8932
145	418.15	4.155	0.0010851	0.4461	921.57	2.242	610.5	2740	2130	1.7907	6.8839
146	419.15	4.271	0.0010862	0.4347	920.64	2.300	614.8	2742	2127	1.8009	6.8747
147	420.15	4.389	0.0010873	0.4237	919.71	2.360	619.1	2743	2124	1.8112	6.8655
148	421.15	4.510	0.0010884	0.4130	918.78	2.421	623.4	2744	2121	1.8214	6.8564
149	422.15	4.634	0.0010895	0.4026	917.85	2.484	627.8	2745	2117	1.8316	6.8473
150	423.15	4.760	0.0010906	0.3926	916.93	2.547	632.2	2746	2114	1.8418	6.8383
151	424.15	4.889	0.0010917	0.3828	916.00	2.612	636.6	2748	2111	1.8520	6.8293
152	425.15	5.020	0.0010928	0.3733	915.08	2.679	641.0	2749	2108	1.8622	6.8204
153	426.15	5.155	0.0010939	0.3641	914.16	2.746	645.3	2750	2105	1.8723	6.8115
154	427.15	5.293	0.0010950	0.3552	913.24	2.815	649.6	2752	2102	1.8824	6.8027
155	428.15	5.433	0.0010962	0.3466	912.24	2.885	653.9	2753	2099	1.8924	6.7940
156	429.15	5.576	0.0010974	0.3381	911.24	2.958	658.2	2754	2096	1.9025	6.7854
157	430.15	5.723	0.0010986	0.3299	910.25	3.030	662.5	2755	2092	1.9125	6.7768
158	431.15	5.872	0.0010998	0.3220	909.26	3.106	666.9	2756	2089	1.9226	6.7681
159	432.15	6.024	0.0011009	0.3143	908.35	3.182	671.2	2757	2086	1.9326	6.7595
160	433.15	6.180	0.0011021	0.3068	907.36	3.258	675.6	2758	2082	1.9427	6.7508
161	434.15	6.339	0.0011033	0.2996	906.37	3.338	679.9	2759	2079	1.9527	6.7421
162	435.15	6.502	0.0011044	0.2925	905.47	3.419	684.2	2760	2076	1.9627	6.7335
163	436.15	6.667	0.0011056	0.2856	904.49	3.500	688.6	2761	2072	1.9726	6.7250
164	437.15	6.836	0.0011069	0.2790	903.42	3.584	692.9	2762	2069	1.9825	6.7165

ANNEXE 2

VOLUME D'EAU REQUIS :

Si on estime la durée maximale journalière de stérilisation à 5h (9h à 14h),

$$\text{On a : } t = 5h = 5 \times 3600s.$$

$$\Rightarrow V_{\text{eau}} = \frac{0.3895 (KW) \times 5 \times 3600 (s)}{r (KJ/kg)} = \frac{7011 (kg)}{r (ou l)}$$

$$\text{à } 128^{\circ}C \rightarrow r = 2180 KJ/kg \Rightarrow V_{\text{eau}} = 3,22l$$

$$125^{\circ}C, r = 2188 KJ/kg \Rightarrow V_{\text{eau}} = 3,20l$$

$$120^{\circ}C, r = 2202 KJ/kg \Rightarrow V_{\text{eau}} = 3,18l.$$

Ces valeurs sont valables si aucune perte n'existe.

Dans la réalité, à cause des défauts d'isolement, des fuites, de la poussière, des pertes par convection ^{et conduction} à travers le bois (3mm d'épaisseur), de la perte par conduction dans le métal de l'autoclave, on doit prendre une valeur plus faible de $Q_{a,abs}$ car tout le rayonnement absorbé n'est pas utilisé.

L'équation donnant le volume d'eau devient, pour des pertes globales évaluées à 30% :

ANNEXE 2 (suite).

$$V_{\text{eau}} = \frac{\bar{Q}_{a, \text{abs}} (\text{KW}) \times t (\text{s}) \times 0.70}{r (\text{KJ/kg})}$$

Donc pour $t = 5h$:

Temperature (°C)	Chaleur latente de vaporisation : $r (\text{KJ/kg})$	Veau (t)
120	2202	2,2287
121	2200	2,2308
122	2197	2,2338
123	2191	2,2369
124	2188	2,2399
125	2186	2,2430
126	2183	2,2451
127	2180	2,2481
128	2177	2,2512
129	2174	2,2543
130		2,2575

ANNEXE 4:

CALCUL DE LA SURFACE

DE VITRAGE.

A-4.1 : CALCUL DU COEFFICIENT $h_{a,air}$.

$$\text{On a: } h_{a,air} = 0.53 \times \frac{k}{2 \cdot r_a} (Gr Pr)^{1/4};$$

pour un cylindre horizontal, $10^3 < Gr Pr < 10^9$.

$$r_a = 0.09 \text{ m.}$$

$$Gr = \frac{d_a^3 \rho_f^2 \cdot g \cdot (\beta_f \Delta T)}{\mu_f^2}$$

$$k = 0.03365 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$Pr = 0.689$$

$$g = 9.81 \text{ sr}$$

$$\text{on a: } \begin{cases} \rho_f = 0.8826 \\ \beta_f = \frac{1}{400 \times 10^{-10}} \\ \mu_f = 2.286 \end{cases}$$

$d_a = 0.18 \text{ m}$, (diamètre de l'autoclave).

$$\text{Pour } \Delta T = 30^\circ\text{C} \Rightarrow Gr = 6.3962 \dots \times 10^6$$

$$h_{a,air} = 0.53 \cdot \frac{0.03365}{2 \times 0.09} (Gr \times 0.689)^{1/4}$$

$$\Rightarrow \boxed{h_{a,air} = 4.5396674 = 4.54 \text{ W/m}^2}$$

ANNEXE 4 (SUITE)

A-4-2. CALCUL DE LA SURFACE A_v

On a: $h_{v,air} = 1.28 (\Delta T)^{1/4}$, pour $\Delta T = 30^\circ$,

$$h_{v,air} = 2.707 \text{ W/m}^2$$

$$h_{a,air} = 4.54 \text{ W/m}^2$$

$$h'_{a,air} = 3.315 \text{ W/m}^2$$

$$A_a = 0.295 \text{ m}^2$$

$$A_v = w_c \cdot L$$

$$A_h = l_1 \cdot L$$

$$\left. \begin{array}{l} A_v = w_c \cdot L \\ A_h = l_1 \cdot L \end{array} \right\} \Rightarrow \frac{A_v}{A_h} = \frac{w_c}{l_1}$$

$$\text{Donc } \frac{w_c}{l_1} = 8.23 \times 10^{-3} \Rightarrow \frac{l_1}{w_c} = 1.2149$$

On a:

$$\Leftrightarrow A_v \left[1.2149 \rho_h H_n \zeta_v \alpha_a + H_n \alpha_v - \frac{h_{v,air} h_{a,air} A_a (T_a - T_v)}{A_a \cdot h_{a,air} + A_v h_{v,air}} \right]$$

(1)

$$= -A'_a \cdot H_n \cdot \zeta_v \cdot \alpha_a + A_a \cdot \epsilon_a \cdot \epsilon_v \cdot F_{av} \sigma (T_a^4 - T_v^4)$$

$$\rho_h = 0.76$$

$$F_{a-v} = 1$$

$$H_n = 651 \text{ W/m}^2$$

$$\sigma = 5.66961 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{K}^4$$

$$\zeta_v = 0.87$$

$$\text{On prenant } \left\{ \begin{array}{l} T_a = 125^\circ \text{C} = 398 \text{K} \\ T_v = 40^\circ \text{C} \end{array} \right.$$

$$\alpha_a = 0.95$$

$$\left. \begin{array}{l} T_a = 125^\circ \text{C} = 398 \text{K} \\ T_v = 40^\circ \text{C} \end{array} \right\} \text{ (selon les$$

$$\alpha_v =$$

mesures faites sur l'ancien

$$A'_a = \pi d_a L / 2 = 0.1475$$

prototype). $40^\circ \text{C} = 313 \text{K}$.

$$\epsilon_a = 0.9$$

$$\epsilon_v = 0.9$$

ANNEXE 4 (SUITE).

$$(1) \Leftrightarrow A_v \left[1.2149 \times 0.76 \times 651 \times 0.87 \times 0.95 + 651 \times 0.87 - \frac{2.707 \times 4.54 \times 0.295 (398 - 313)}{0.295 \times 4.54 + A_v \times 2.707} \right] = -0.1475 \times 651 \times 0.87 \times 0.95 + 0.295 \times (0.9)^2 \times 1 \times 5.66561 \times 10^{-8} (398^4 - 313^4)$$

Avec HP 67 :

$$A_v \left[(RCL0) - \frac{(RCL1)}{(RCL2) + A_v \times 2.707} \right] = (RCL3)$$

Avec :

$$1.2149 \times 0.76 \times 651 \times 0.87 \times 0.95 \longrightarrow \text{STO } \textcircled{0}$$

$$2.707 \times 4.54 \times 0.295 (T_a - T_v) \longrightarrow \text{STO } \textcircled{1}$$

$$0.1475 \times 651 \times 0.87 \times 0.95 + 0.295 \times (0.9)^2 \times 1 \times 5.66561 \times 10^{-8} (T_a^4 - T_v^4) \longrightarrow \text{STO } \textcircled{3}$$

$$0.295 \times 4.54 \longrightarrow \text{STO } \textcircled{2}$$

$$\text{avec } (RCL2) \times (RCL0) \longrightarrow \text{STO } \textcircled{4}$$

$$(RCL0) \times 2.707 \longrightarrow \text{STO } \textcircled{5}$$

$$(RCL2) \times (RCL3) \longrightarrow \text{STO } \textcircled{6}$$

$$RCL7 = (RCL3) \times 2.707.$$

$$\text{On a : } A_v \left[\textcircled{4} + \textcircled{5} A_v - \textcircled{1} \right] = \textcircled{6} + \textcircled{7} A_v$$

$$A_v \left[\underbrace{(RCL4) - (RCL7) - (RCL1)}_{\text{STO } \textcircled{8}} \right] + (RCL5) A_v^2 - (RCL6) = 0$$

$$\Delta = (RCL8)^2 + 4 \times (RCL5) \times (RCL6)$$

$$A_v = \frac{\pm \sqrt{\Delta} - 8}{2 \times (R_{cl5})}$$

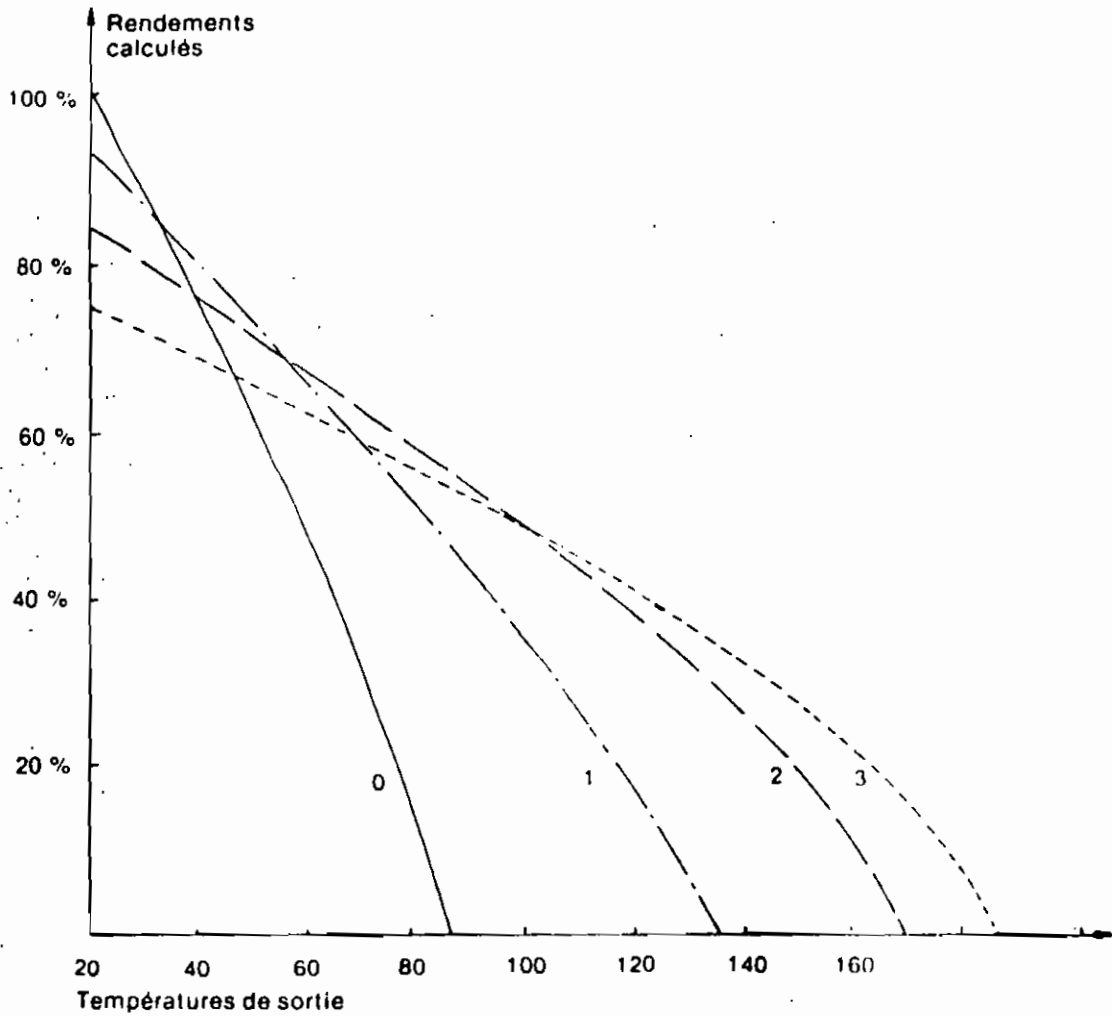
→

$$A_v = 0.62 \text{ m}^2$$

$$L = \frac{A_v}{\alpha/c} = \frac{0.624}{1.21} = 0.516 \text{ m}$$

on peut ainsi programmer ce calcul, si on veut voir l'influence de certains paramètres sur la valeur de la surface de vrage A_v .

ANNEXE 5



Rendement d'un insolateur à absorbeur peint en noir, sous un rayonnement de $1\ 000\ \text{W/m}^2$.

La température extérieure est de 21°C .

L'eau est supposée entrer dans l'insolateur à la même température, 21°C .

Courbe	—————	Insolateur sans vitre	(0)
Courbe	- - - - -	Insolateur avec une vitre	(1)
Courbe	— — — — —	Insolateur avec deux vitres	(2)
Courbe	· · · · ·	Insolateur avec trois vitres	(3)

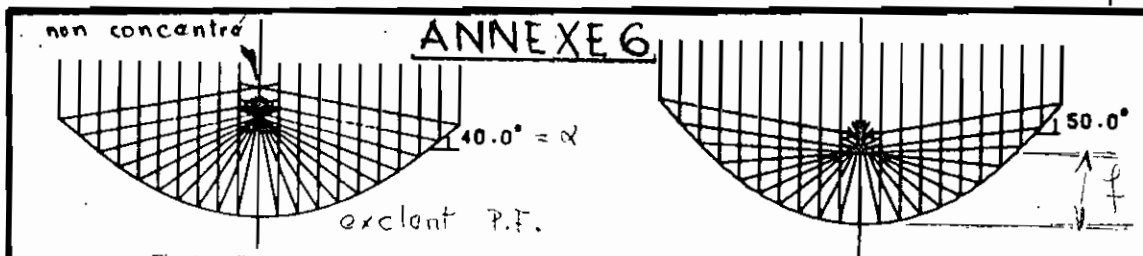


Fig. 4(a). Ray trace for $\alpha = 40^\circ$.

Fig. 4(c). Raytrace for $\alpha = 50^\circ$.

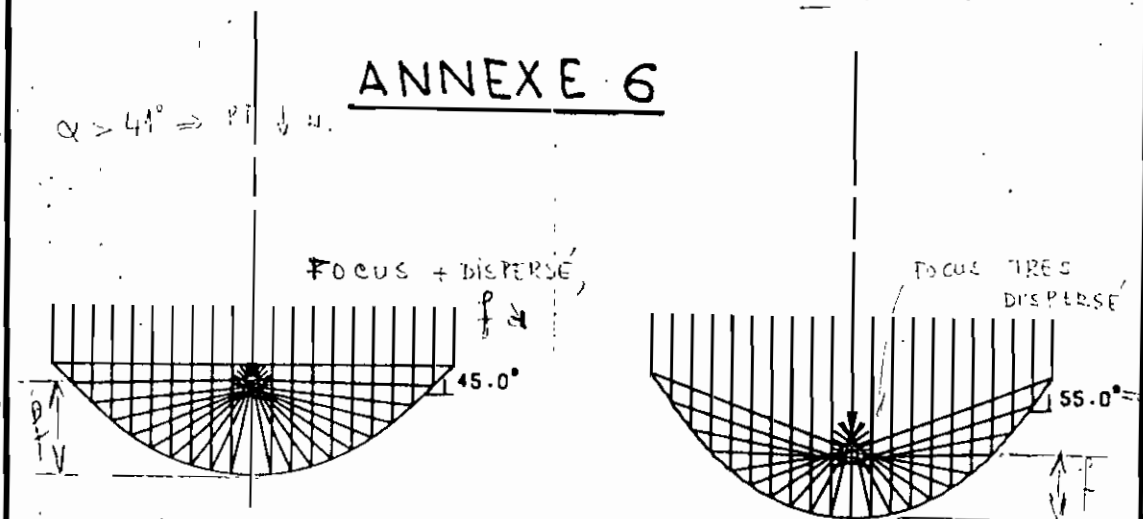


Fig. 4(b). Ray trace for $\alpha = 45^\circ$.

Fig. 4(d). Ray trace for $\alpha = 55^\circ$.

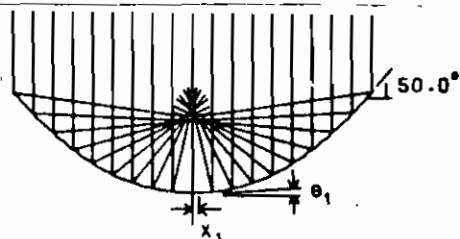


Fig. 9(a). Ray trace for $\alpha = 50^\circ$ with 10 per cent edge truncation

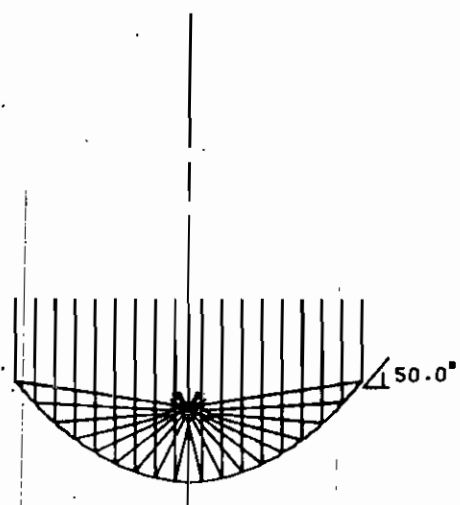


Fig. 9(b). Ray trace for $\alpha = 50^\circ$ with 10 per cent edge and 2.5 per cent centre truncation.

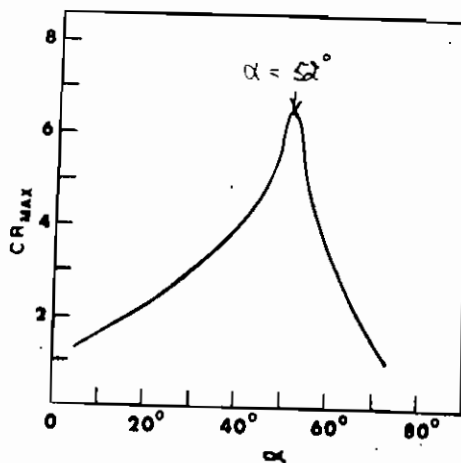


Fig. 6. Effect of α on maximum concentration ratio with full intercept.

ANNEXE 7

CALCUL DU COUPLE DE SERRAGE.

Orient \rightarrow S_u : la contrainte limite ultime

\rightarrow S_y : " " d'écoulement.

\rightarrow F_{lim} : la force limite

\rightarrow T_{adm} : la contrainte admissible.

Pour la classe 8.8 : $\rightarrow S_y/S_u = 0.8 \Rightarrow S_y = 0.8 \times 800$
 $= 640 \text{ MPa}$

$\rightarrow S_u \approx 100 \times 8 = 800 \text{ MPa}$

Pour un filetage gaz avec étanchéité dans le filet,

on a :

Diamètre du noyau : $D_1 = 11.445 \text{ mm}$.

\rightarrow Section du noyau de la vis : $A_t = \frac{\pi D_1^2}{4} = \frac{\pi \times (11.445)^2}{4} = 102,88 \text{ mm}^2$

Charge statique : \Rightarrow on recommande $F_i = 0.9 \times F_{lim}$

$$F_{lim} = T_{adm} \times A_t = S_y A_t.$$

Le facteur de sécurité est comparé à S_u , car la vis de serrage se comporte comme un matériau " " fragile.

La force initiale de serrage sera donc :

$$F_i = 0.9 \times S_y \times A_t = 0.9 \times 640 \times 102,88 = 59259 \text{ N} = 59,3 \text{ KN}.$$

Cette force empêche le desserrage et assure l'étanchéité.

Le couple de serrage s'écrit :

$$\boxed{T} = 0.2 \times F_i \times d = 0.2 \times 59.3 \times 12 = \boxed{142 \text{ KN} \cdot \text{mm}}$$

ANNEXE 8

VERIFICATION.

De l'annexe 7, on trouve la contrainte axiale :

$$\sigma_x = \frac{F_i}{A_t} = 0.9 \times S_y = 576 \text{ MPa.}$$

Le couple de serrage est divisé en trois parties dont 50% environ reprise par la vis : $T_v = 0.5T = 71 \text{ KNmm} = 71 \text{ Nm}$

La contrainte de cisaillement s'écrit :

$$\tau_{xy} = \frac{16T_v}{\pi D_i^3} = \frac{16 \times 71}{\pi (11.445 \times 10^{-2})^3} = 241 \text{ MPa}$$

$$\text{avec pour maximum : } \tau_{\max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x}{2}\right)^2 + (\tau_{xy})^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{576}{2}\right)^2 + (241)^2} = 375.66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_x}{2} + \tau_{\max} = \frac{576}{2} + 375.66 = 663.66 \text{ MPa}$$

$$\text{Le facteur de sécurité s'écrit : } FS = \frac{S_y}{\sigma_1} = \frac{800}{663.66} = \boxed{1.21}$$

pour le serrage. (durant le serrage).

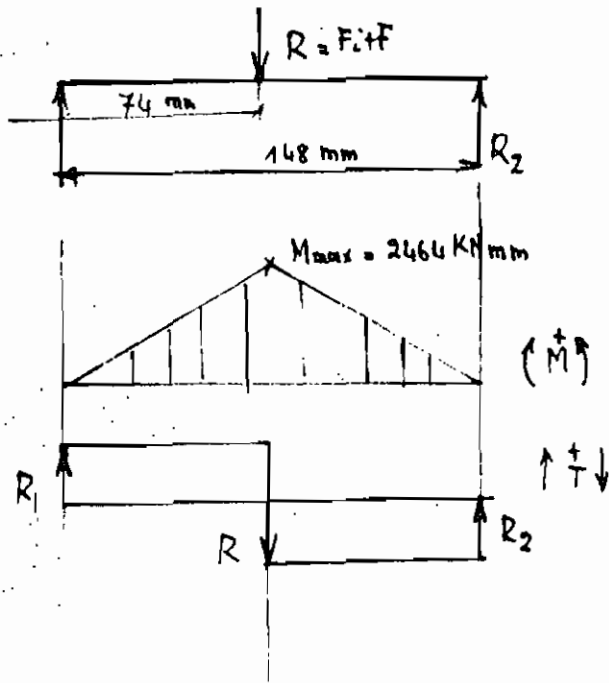
Après disparition du couple appliqué sur la vis T_v ,

il restera : $\sigma_x = \sigma_1 = 576 \text{ MPa}$

$$\Rightarrow FS = \frac{800}{576} = \boxed{1.39}$$

Le boulon est donc sécuritaire lors du serrage et après le serrage.

ANNEXE 9



a) Reactions: La force F est due à la pression p .
 On a : $R = F_1 + F = 59,3 \text{ KN} + 7,3 \text{ KN} = \underline{66 \text{ KN}}$ (il n'est pas tenu compte du facteur multiplicatif).

La force R s'exerce au milieu de l'étrier, on a :

$$R_1 = R_2 = \frac{R}{2} = \underline{33,3 \text{ KN}}$$

b) Moments de flexion:

$$M_{max} = R_1 \times 74 = 33,3 \text{ KN} \times 74 \text{ mm} = 2464,2 \text{ KN mm}.$$



Le moment d'inertie s'écrit (pour la partie hachurée) :

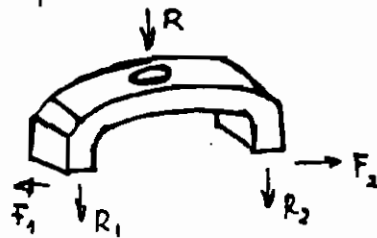
$$I_x = \frac{ab^3}{12} \quad (1)$$

ANNEXE 9 (SUITE)

Fixons une largeur a de l'étrier qui puisse contenir le boulon et respecter les conditions imposées de concentration de contraintes, soit $a = 25 \text{ mm}$

$$(1) \Rightarrow I_x = \frac{25}{12} b^3.$$

Notons que la meilleure forme de l'étrier serait celle d'un arc :



Dans notre cas, cette solution a été rejetée car elle complique la fabrication et il faut tenir compte en plus des contraintes latérales F_1 et F_2 qui agiraient sur la soudure qui elle-même est délicate.

$$\text{On a: } \left. \begin{aligned} \frac{\sigma}{S_{ut}} &= \frac{1}{FS} \\ \sigma_{max} &= \frac{M_{max} y_{max}}{I_x} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{M_{max} y_{max}}{I_x S_{ut}} = \frac{1}{FS}$$

$$(1) \Rightarrow \frac{M_{max} y_{max} \cdot FS}{S_{ut}} = \frac{25}{12} b^3$$

$$\left(\text{avec } y_{max} = \frac{b}{2} \right), \text{ on a: } \boxed{S_{ut} = \frac{M_{max} y_{max} \cdot FS}{b^3} = \frac{12}{25}} \quad (2)$$

$$\text{d'où: } S_{ut} = \frac{6}{25} \cdot \frac{FS}{b^3} M_{max} \quad (3)$$

On prenant comme facteur de sécurité : $FS = 6$
 (on doit avoir un étrier de sécurité qui n'occasionne pas de conduction dans le surplus de métal)

Pour une épaisseur de l'étrier $b = 8 \text{ mm}$, normalisée
 (donc disponible dans le commerce), on a :

$$64 = \frac{6}{25} \frac{FS}{S_{ut}} M_{\max}$$

$$\Leftrightarrow S_{ut} = \frac{3}{8 \times 25 \times 4} \times FS \times M_{\max}$$

avec $M_{\max} = 24\,64.2 \text{ KNmm}$

$$\text{on a : } S_{ut} = 9\,240.75 \text{ (MPa)} \times FS.$$

On voit déjà que cette contrainte ultime nécessite un traitement spécial de l'acier (car on ne dispose pas d'acier de ce type).

Il nous faut donc une ~~tr~~ astuce pour minimiser les coûts. On voit sur la formule (2) que S_{ut} est inversement proportionnelle à b^3 et a .

Nous choisirons de renforcer artificiellement la valeur de b . (En nous référant à l'équation (3), on utilise des plaques qu'on soude sur l'étrier :



Si on utilise de l'acier XC 55
 ($S_{ut} = 1030 \text{ MPa}$), on vérifie qu'une
 hauteur de $x = 15 \text{ mm}$ suffirait largement,
 pour une largeur $u = 3 \text{ mm}$.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] THIERRY CABIROL. Le chauffe-eau solaire
EDISUD. 8 Aix-en-Provence, 1976.

- [2] G. NICOLET et E. TROTTEY. Elements de machines, SPES SA, 1971

- [3] D^r JAN F. KREIDER et D^r F. KREIT.
Solar Energy handbook,
Mac Graw-Hill, 1981.

- [4] Solar Energy, the journal of solar Science and technology. MEHDI N. BAAHORI. Design of a solar autoclave, Fevrier 1976 pp 489-496.

- [5] André GAUTHIER (CERER). Le gisement solaire

- [6] OTA - CONGRESS OF THE UNITED STATES
office of technology assessment. Application of solar technology to today's energy needs
vol.1. June. 1978.

- [7] A. ABECK. Mille et une solutions à vos problèmes d'ateliers

- [8] Generalization of two dimensional optical analysis of cylindrical concentrators - R.O. Nicolas and J.C. DURAN - SOLAR ENERGY. vol 25, 1980, pp.21-33
- [9] Maximally concentrating collectors for solar energy applications. E. J. GAY - SOLAR ENERGY - vol 24. pp. 265-270
- [10] OPTICAL evaluation of cylindrical elastical concentrators - P.G. Mc CORMICK - SOLAR ENERGY, vol 26, pp. 519-523.
- [11] L. VALETTE et D.P. FOCQUET. Les énergies renouvelables pour l'Europe en l'an 2000.
Agence européenne d'information
- [12] TRAITÉ D'OPTIQUE.
- [13] MINISTÈRE DE LA COOPÉRATION (FRANCE). Evaluation des énergies nouvelles pour le développement des états africains, Sema, 1977
- [14] Modibo DIOP Capteur solaire intégré.
EPT - Projet de fin d'études - JUIN 1984

- [5] : Elimane MBENGUE : Etude et réalisation
d'un stérilisateur solaire . EPT - Projet de
fin d'études - Juin 1984
- [6] GRAND LAROUSSE ENCYCLOPEDIQUE, librairie
LAROUSSE, 1960
- [7] ENCYCLOPEDE BRITANNICA yearbook of science
and the future - 1973
- [8] " QUILLET GROLIER, librairie Aristide
QUILLET, 1972
- [9] JACQUES MULLER - Formulaire technique de
mécanique générale - Imprimerie F. PAILLART
16^e édition
- [20] Y. Youssef - Cours d'éléments de machines]
- [21] Momento du dessinateur (Creusot-Loire)