



ecole polytechnique de thiès

PROJET DE FIN D'ETUDES

TITRE: CHAUFFAGE SANITAIRE
AU SOLAIRE

Gm. 0426

Auteur EL OUALID SOW

Génie 5^e MÉCANIQUE

Date 1980 - 81

CHAUFFAGE
SANITAIRE
AU SOLAIRE

Gm. 04-26

pour les douches
des étudiants
à l'école
Polytechnique



Handwritten notes at the bottom of the page, including the name "Khalid" and other illegible text.

A mes parents

A Tous mes camarades
dignes de leurs responsabilités de demain

A Tous les ingénieurs
qui respectent l'éthique de leur corps

remerciements

J'ai pu apprécier dans toute sa dimension la contribution d'hommes de grande foi à la conduite de cette présente étude. Je remercie particulièrement,

M^r D. WOLSKI, le directeur de ce projet, pour sa constante sollicitude

M^r M. GUEYE, employé à la Sincres-Daquerre, pour ses conseils déterminants

Tout le personnel du centre Henri MASSON de Dakar pour leur disponibilité, notamment mes anciens camarades MM Bocar SY, Lamine DUB et Ihou LO et M^r G. Madoug

M^r HISSAITE, professeur titulaire à l'E.P.T pour ses conseils

Tous mes camarades pour leur soutien, notamment MM B. Aw et C.T. SARKHO

Je remercie enfin toutes les personnes qui de près ou de loin ont influencé mes choix et décisions, mes analyses et conclusions.

sommaire

Le projet concerne l'installation d'une batterie de capteurs solaires plans et d'un réservoir captif pour alimenter en eau chaude les douches des étudiants.

L'eau froide sera circulée à travers quatre blocs de quatre capteurs en parallèle et un réservoir par un circulateur. Cette disposition permet une circulation facile au travers des capteurs, un bon rendement de ces derniers et facilite l'entretien. Elle permet de condamner un des blocs pour réparations.

Les capteurs peuvent être construits à partir de matériaux locaux (bois, verre, grillage et...). On les utilisera inclinés à un angle calculé pour une exploitation optimale.

Une fois que les besoins en eau chaude sont établis, on déterminera le niveau d'ensoleillement local, la surface de captage requise et on arrivera au schéma d'installation. Le projet d'installation est orienté vers une réalisation pratique l'année prochaine.

Table des matières

I	Introduction	1
II	Etude des besoins	4
	A - modèle de couche	7
	B - besoins énergétiques	8
	C - calcul de m_d	10
	D - calcul de T_d	11
	1 - Recherche de $T_p = f(T_d)$	12
	2 - profit annuel de T_d	13
	i) exemple de calcul	14
	ii) tableau des résultats	15
	E - calcul de G	16
	i) exemple de calcul	16
	ii) tableau des résultats	17
	F - autres résultats	18
III	Etude de l'ensoleillement	19
	A - Orientation - inclinaison	21
	B - facteur de conversion	23
	1 - théorie	23

		vii
	2 - calculs et résultats	24
	6 - rayonnement	25
	i) - résultats $\cos \theta_z$	27
	ii) - résultats $\cos \theta_T$	29
	iii) - résultats R_b	31
	iv) - données sur le rayonnement global	33
	v) - données sur le rayonnement incident	35
IV	Surface de captage	37
	A - Analyse du système	41
	1 - schéma	42
	2 - modèle théorique	42
	3 - abaques	45
	B - procédure de design	46
	1 - paramètres polaires	46
	2 - charge du système	51
	3 - paramètres de captage	51
V	Schema de l'installation	59
	A - le capteur	61
	B - le réservoir	64

		viii
	C - la tuyauterie	67
	i) pertes de charge dans la tuyauterie	69
	ii) pertes de charge dans les accessoires	70
	D - le circulateur	71
	E - la vanne 3-voies	72
	F - entretien	73
<u>VI</u>	Etude économique	80
	A - coût initial	82
	B -	
	i) capteurs	82
	ii) réservoir de stockage	83
	iii) circulateur	86
	iv) conduites extérieures	84
	v) accessoires	85
	vi) charpente	85
	vii) Distribution et alimentation	85
	B - coût d'opération	86
	C - chauffage électrique	87
	D - installation classique	88
<u>VII</u>	Conclusion	89

I

Introduction

En utilisant l'énergie, l'homme par le développement de la science et de la technique réalise plus ou moins complètement la satisfaction de ses besoins les plus matériels comme les plus sophistiqués. Il y a cependant des limitations certaines, par ailleurs aujourd'hui nettement perçues, à ses possibilités. Il y a bien sûr une limitation quantitative. Des ressources quantitatives limitées sur la terre ne peuvent pas répondre à la croissance illimitée des besoins humains. Mais il y a surtout la menace de la rupture irréversible des équilibres écologiques. La stabilité des écosystèmes est une donnée fondamentale de la survie de toutes les espèces dans la nature. Alors que la consommation à outrance des énergies d'origine potentielle de la terre contribuerait inéluctablement à rompre l'équilibre de la température du milieu dans laquelle vivent les écosystèmes et à entraîner leur disparition.

Et ainsi posée aux temps modernes, la question d'énergies de remplacement, cependant la question du remplacement des sources conventionnelles par les sources d'énergie dite nouvelles ne peut être permise que si ces dernières sont renouvelables, de puissance satisfaisante et non polluantes à l'échelle de l'emploi. C'est dans ce cadre que s'inscrit l'exploitation de l'énergie solaire, à côté de celles éolienne, géothermique et des marées.

Il ne s'agit pas du problème technique de l'utilisation de l'énergie solaire qui importe en ces pages, mais plutôt une étude complète d'un projet d'installation: Depuis la première promotion de 1978, plusieurs travaux ont été conduits à l'école polytechnique en ce domaine dans le cadre des projets de fin d'études. L'on citera pour mémoire des projets traitant d'un onduleur solaire, d'un capteur plan à suiviement, d'un four solaire de ... Cette année, dans le domaine l'on traite essentiellement de systèmes de chauffage sanitaire.

3
A travers les pages qui suivent, il s'agit
d'étudier un projet d'installation solaire capable de
fournir de l'eau chaude aux douches des étudiants.
Notre propos couvrira essentiellement

- l'évaluation des besoins en eau chaude
- l'évaluation de l'ensoleillement local
- la détermination des paramètres de
captage
- Le schéma de l'installation et le
système de distribution

Une étude économique interviendra dans la
discussion des différentes solutions possibles à travers
toutes les questions



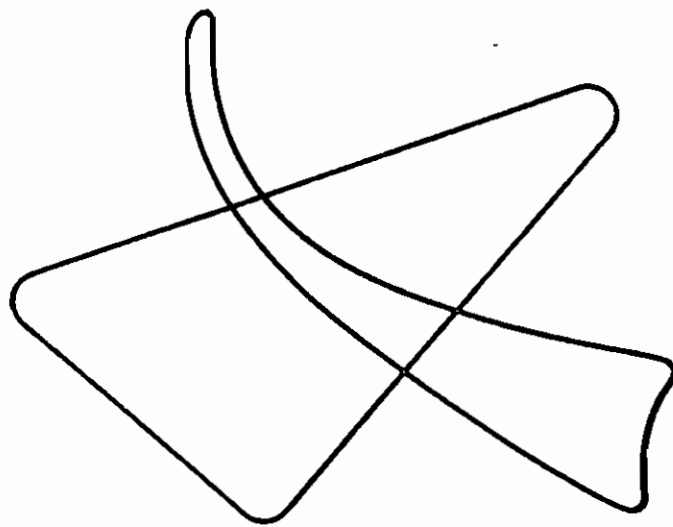
Ch . II

—

ETUDE

des

BESOINS



Pour évaluer les besoins énergétiques journaliers à la préparation de l'eau chaude sanitaire, il s'agit de déterminer la valeur à un certain nombre de paramètres caractéristiques. Cela est difficilement quand il s'agit de chauffage intérieur, car les variables de calcul sont nombreuses et incertaines.

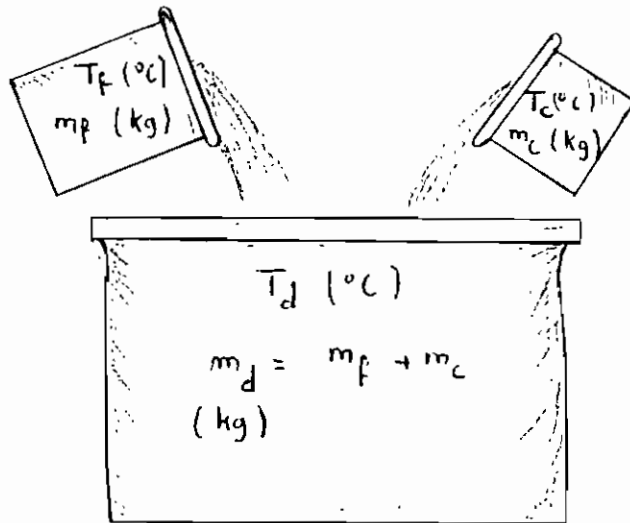
Il faut cependant signaler que si dans certains pays des études statistiques ont étudiées des données fiables concernant la consommation journalière et ses variations au cours de l'année, rien de cela n'existe encore au Sénégal. Pourtant aucune étude précise ne peut se mener sans partir d'une quantification d'une relative fiabilité. Mais que les données relatives à des habitudes, des coutumes du groupe qu'elles concernent, fortement influencées par les conditions géo-humaines de la localité ne peuvent servir en des lieux autres que ceux qui les ont fournis.

Pour rendre ces paramètres plus mobiles, nous

allons essayer non pas de supprimer nos conditions loca⁶
les identiques à celles de leurs sources mais plutôt de
déterminer la relation qui existe entre les premiers et
les derniers. Il est logique de croire que si les données
changent de valeur d'un endroit à un autre, la loi
qui les lie, elle, soit universelle.



A - modèle de douche



Une douche peut être modélisée à partir d'une masse d'eau (m_f) à la température d'alimentation (T_f) ajoutée à une masse (m_c) d'eau chaude (T_c). Le projet obtient alors une masse (m_d) d'eau de douche à la température T_d .

On a, simultanément :

$$\begin{cases} m_d T_d C_{p,d} = m_f T_f C_{p,f} + m_c T_c C_{p,c} \\ m_d = m_f + m_c \end{cases}$$

avec C_p représentant la capacité calorifique de l'eau à la température concernée. En réarrangeant, on arrive à :

$$m_c = m_d \times \frac{C_{p,d} T_d - C_{p,f} T_f}{C_{p,c} T_c - C_{p,f} T_f}$$

exprimant la masse d'eau chaude nécessaire à une douche.

B. besoins énergétiques

Pour amener m_c de T_f à T_c , il nous faut

$$Q = m_c (C_{pc} T_c - C_{pf} T_f) \text{ kcal}$$

soit en reprenant l'expression de m_c

$$Q = m_d (C_{pc} T_c - C_{pf} T_f) \cdot \frac{C_{pd} T_d - C_{pf} T_f}{C_{pc} T_c - C_{pf} T_f}$$

$$= m_d (C_{pd} T_d - C_{pf} T_f)$$

En fait la valeur de C_p , capacité calorifique de l'eau, varie très peu dans l'intervalle de température qui nous concerne autour de

0,998 $\frac{\text{kcal}}{\text{kg}^\circ\text{C}}$. nous la considérons constante.

On a alors

$$Q = m_d C_p (T_d - T_f)$$

Bien que journellement classique, cette relation est fort particulière. En effet, on a l'habitude de relier le besoin énergétique à la masse d'eau à chauffer (m_c) et à la température du réservoir d'eau chaude (T_c). La masse d'eau de la douche elle-même est plus stable et plus facilement évaluable, de même que la température du réservoir. En effet T_c dépend des paramètres du captage et varie d'une manière complexe avec ces derniers. Tandis que la masse d'eau chaude dont on a besoin varie avec les conditions climatiques.

C - calcul de m_d

L'installation concerne l'ensemble des étudiants. Les locaux occupent trois bâtiments et peu près identiques. Réviser l'installation et un seul bâtiment pourrait occasionner des déséquilibres importants qui fausseraient le design.

Nous relierons les données suivantes :

nombre d'étudiants :	96
nombre de cabines :	18 en deux étages et rez de chaussée.
nombre de douches :	1,5 par étudiant et par jour
masse d'eau d'une douche :	30 kg

La moyenne de trois douches par étudiants et par jour varie fortement avec les conditions climatiques (température, humidité ambiante...). Mais elle est représentative des périodes chaudes. En tenant compte du confort qu'entraînera la mise en place d'un chauffage sanitaire nous avons maintenu cette valeur.

$$\text{Nous arrondissons } m_d = 30 \times 3 \times \frac{96}{2} \text{ et } 4000 \text{ kg}$$

D - calcul de T_d

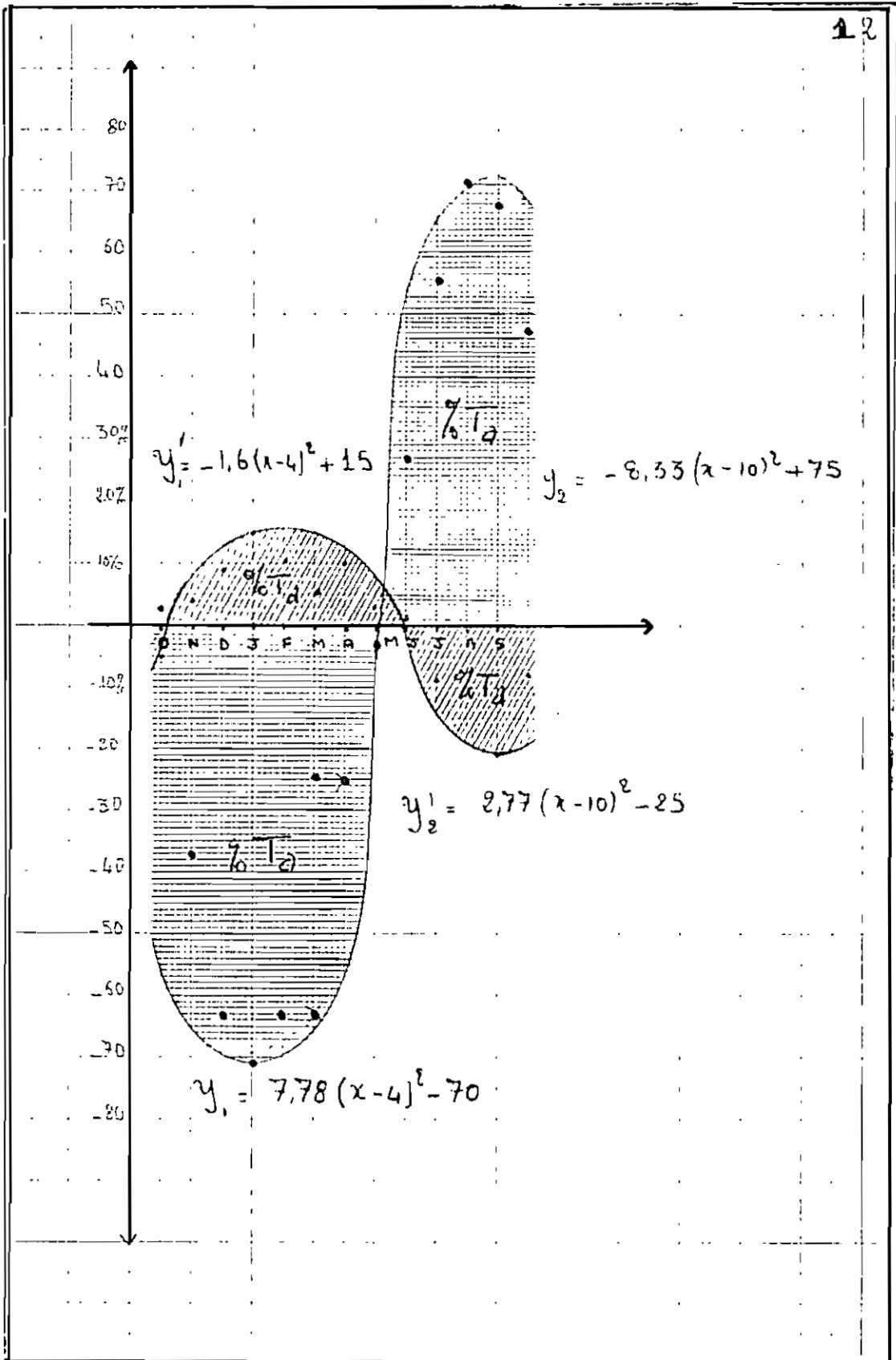
La température convenante à une douche à une période déterminée de l'année n'est pas encore établie au Sénégal. Elle devrait provenir d'une enquête significative pour être étendue et exhaustive.

Nous supposons cependant qu'elle sera dans un rapport constant avec la température ambiante. On sait en effet, ^{elle} devra être plus tiède pendant les périodes fraîches (Décembre, Janvier et autour) qu'elle ne l'est pendant les périodes chaudes (Août, Septembre et autour). Cela est partout valable, nous disposons du profil de consommation d'une ville d'Europe sur l'année. Nous en tirons la dite relation (cf : annexe 2)

1. recherche de $T_d = f(T_a)$

A partir de l'analyse des graphes, nous établissons les relations suivantes

D'octobre à Avril	$\% T_d = -(0,33 \% T_a + 0,06)$
De Mai à Septembre	$\% T_d = -(0,21 \% T_a + 0,02)$



2 - Profil annuel de T_a

Nous partons avec des données sur les moyennes mensuelles de la température ambiante que nous avons recueillies auprès de la station de radiométrie du centre Henri MASSON de DAKAR (exemple en Annexe 3)

Il faut alors établir la moyenne annuelle $\overline{T_a}$ et les déviations moyennes pour chaque mois.

On a :

$$\overline{T_a} = \sum_{\text{septembre}}^{\text{octobre}} (T_a)_{\text{mois}} \times \frac{1}{12}$$

et

$$(\%T_a)_{\text{mois}} = \frac{(T_a)_{\text{mois}} - \overline{T_a}}{\overline{T_a}}$$

En supposant la température moyenne d'une douche à environ 37°C , on évalue alors la température moyenne d'une douche convenable à un moment déterminé de l'année.

2 - ii] Exemple de calcul

On trouve $\bar{T}_a (^{\circ}\text{C}) = 24,5$

On a alors pour le mois d'Octobre,

par exemple :

$$\begin{aligned} \%T_d &= \frac{28,3 - 24,5}{24,5} \times 100 \\ &= 15,5 \end{aligned}$$

$$\text{et } \%T_d = -(0,33 \%T_d + 0,06)$$
$$= -5,2$$

$$\text{avec } \bar{T}_d = 36^{\circ}\text{C}$$

on obtient alors

$$\begin{aligned} (\bar{T}_d)_{\text{Octobre}} &= \frac{\%T_d \times \bar{T}_d}{100} + \bar{T}_d \\ &= \frac{-5,2 \times 36}{100} + 36 \\ &= 34,1 \end{aligned}$$

Notons

\bar{T}_a	$= 24,5$
\bar{T}_d	$= 36^{\circ}$

2 - ii) Tableau des résultats

Mois	T_a °C	% T_a	% T_d	T_d °C
Octobre	28°3	15,5	- 5,2	34°1
Novembre	26°7	9,0	- 3,0	34°9
Decembre	24°8	1,2	- 0,4	35°6
Janvier	21°6	- 11,8	3,8	37°4
Fevrier	20°8	- 15,1	4,9	37°8
Mars	21°1	- 13,9	4,5	37°6
Avril	21°0	- 14,3	4,6	37°6
Mai	22°9	- 6,5	1,3	36°5
Juin	25°8	5,3	- 1,1	35°6
Juillet	26°9	9,8	- 2,1	35°2
Aout.	26°9	9,8	- 2,1	35°2

E - calcul de Q

La température T_f de l'eau froide n'est pas disponible. Elle est probablement conditionnée par la température ambiante. Nous la représenterons, par souci de prudence, par la valeur minimale* de la température ambiante pour chaque mois.

i) Exemple de calcul

$$m_d = 4\ 000 \text{ Kg / Jour}$$

$$C_p = 0,998 \text{ Kcal / Kg}^\circ\text{C}$$

$$T_d = 34^\circ\pm$$

$$T_f = 28^\circ$$

$$Q = 4\ 000 \times 0,998 (34^\circ\pm - 28^\circ) /$$
$$= 24\ 351$$

* soit environ la température ambiante en début de journée.

mois :	Octobre
T_d ($^\circ\text{C}$)	$34^\circ\pm$
T_f ($^\circ\text{C}$)	28°
Q (Kcal)	24 351
Q (BTU)	96 624

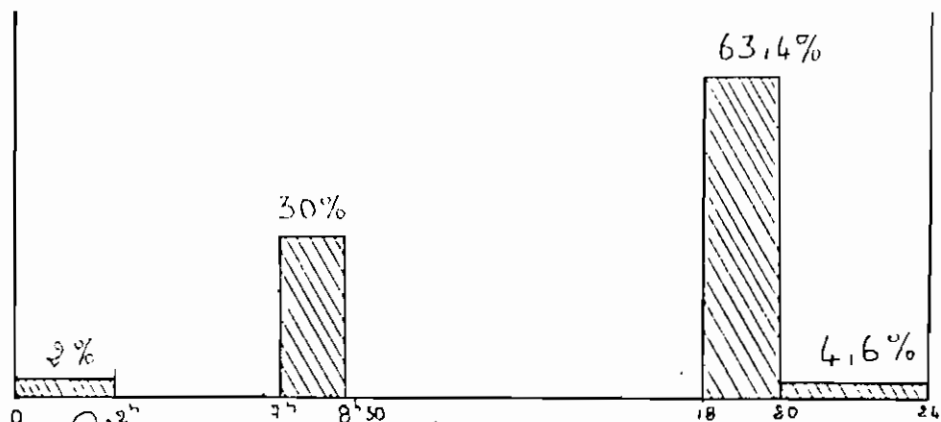
ii) Tableau des resultats

Mois	T_d °C	T_f °C	Q kcal	Q BTU
Octobre	34°1	28°	24 351	96 624
Novembre	34°9	27°	31 536	125 134
Decembre	35°6	25°	42 315	167 905
Janvier	37°4	22°	61 476	243 936
Février	37°8	21°	67 065	266 113
Mars	37°6	21°	66 267	262 967
Avril	37°6	21°	66 267	262 967
Mai	36°5	23°	53 892	213 843
Juin	35°6	26°	38 323	152 065
Juillet	35°2	27°	32 734	129 888
Aout	35°2	27°	32 734	129 888
Septembre	/	/	/	/
			516 780	2,05.10 ⁶

F autres résultats

Une petite enquête ne pouvant être un argument significatif, confirmera cependant nos prévisions sur le profil de consommation journalière en eau de douche des étudiants.

Les résultats suivants ont été enregistrés.



L'installation du chauffage de l'eau sanitaire aura une incidence certaine sur le profil des douches d'une manière générale. Mais nous avons considéré tout au long de cette partie des données relatives à des périodes favorables. En d'autres termes, le confort qu'apportera l'eau chaude sanitaire modifiera le profil de consommation sur le schéma caractéristique des périodes chaudes.

Ch. III

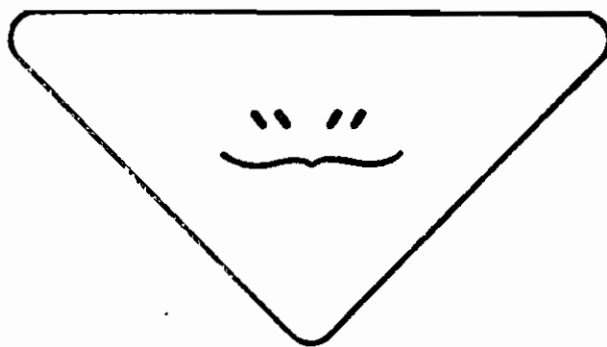
—

ETUDE

de

L'ENSOLEIL-

LEMENT



L'énergie du soleil est reçue sous la forme d'une onde électromagnétique. Celle dernière est composée de radiations ultraviolettes, visibles et infrarouges. La couche atmosphérique amortit une partie de ce rayonnement. Elle organise en outre sa diffusion. On arrive à un rayonnement direct et à un rayonnement diffus. C'est ainsi que même les jours singulièrement couverts, de l'énergie reste disponible tandis que les jours les plus ensoleillés livrent de 15 à 35% de flux diffus; tout le reste est en flux direct. Une bonne partie de l'énergie reçue se situe dans les domaines visible et infrarouge.

La quantité d'énergie reçue en un endroit de la terre (journalière) dépend de l'heure de la journée, du jour de l'année solaire et de la quantité de nuages présente. Elle est mesurée à l'aide d'appareils qui ont pour noms pyromètres, pyrhéliomètres etc. Des moyennes sont établies sur des périodes pouvant aller d'une à plusieurs heures. Les données radiométriques et météorologiques sont en général relatives à un plan horizontal. On les convertit dans les cas de capteurs inclinés.

A- orientation-inclinaison

Pour l'hémisphère Nord, pour nos latitudes, les courbes de l'énergie reçue sur une surface horizontale montrent que les orientations plein Sud, Sud-Est ou Sud-Ouest sont les plus favorables. Nous retiendrons le plein Sud.

Pour ce qui est de l'inclinaison, on devrait faire en sorte que le capteur soit perpendiculaire aux rayons du soleil lorsque ce dernier est au plus haut dans le ciel soit, à partir de l'équation du temps (en ref. 4)

$$\sin h_{\max} = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos w$$

avec

h = position du soleil dans le ciel

ϕ = latitude du lieu

δ = déclinaison du soleil du moment

w = angle horaire qui s'annule à midi

on a alors

$$\sin(h_{\max}) = \cos(\phi - \delta)$$

et

$$h_{\max} = \frac{\pi}{2} - \phi + \delta$$

$\frac{\pi}{4} - \delta$

Si S est l'angle du capteur sur l'horizontale, on aura

$$h_{\max} + S = \frac{\pi}{2}$$

soit $S = \frac{\pi}{2} - h_{\max}$

et

$$S = \phi - \delta$$

La valeur de S varie selon les saisons de $-23^{\circ}7'$ à $+23^{\circ}7'$. Il s'agit d'évaluer sa moyenne sur la période d'utilisation de l'installation. Nous ferons le calcul sur l'année complète à l'exclusion du dernier tiers de Juillet, des mois d' Août et de Septembre où l'installation n'est pas utilisée. On arrive aux résultats suivants :

$$\delta = -2^{\circ}37'$$

par ailleurs $\phi = 14^{\circ}9'$

et

$$S = 17^{\circ}2'$$

B - facteur de conversion

1 - Théorie

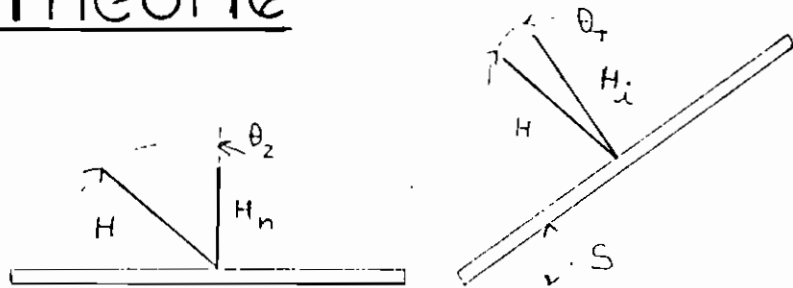


fig - II - 1

H = rayonnement incident

H_n = composante normale sur plan horizontal

H_i = composante normale sur plan incliné

Si R_3 est défini comme le rapport du rayonnement normal sur plan incliné à celui sur plan horizontal

on a :

$$R_3 = \frac{H_i}{H_n} = \frac{H \cos \theta_T}{H \cos \theta_2}$$

soit :

$$R_3 = \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_2}$$

Dans cette relation, les angles θ_T et θ_2 sont définis dans notre référence N° 1. On a :

$$\begin{aligned} \cos \theta_T &= \cos(\phi - S) \cos \delta \cos W \\ &\quad + \sin(\phi - S) \sin \delta \\ \cos \theta_2 &= \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos W \end{aligned}$$

2 - Calculs & résultats

$$\text{On a } \phi = 14^\circ 9'$$

La valeur moyenne de la déclinaison du soleil, recueillies avec les autres données, est indiquée pour chaque mois (δ annexe 4)

Exemple de calcul

$$\begin{aligned}\cos \theta_T &= \cos(\phi - \delta) \cos \delta \cos \omega + \sin(\phi - \delta) \sin \delta \\ &= \cos(14^\circ 9' - 17^\circ 2') \cos \delta \cos \omega + \sin(14^\circ 9' - 17^\circ 2') \sin \delta \\ &= 0,999 \cos \delta \cos \omega - 0,041 \sin \delta\end{aligned}$$

$$\text{pour } \delta = -21^\circ 7' \text{ et } \omega = 75^\circ$$

$$\text{on a : } \cos \theta_T = 0,25$$

de même

$$\begin{aligned}\cos \theta_z &= \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta \\ &= 0,96 \cos \delta \cos \omega + 0,26 \sin \delta\end{aligned}$$

et pour les mêmes valeurs de δ et ω

$$\text{on a : } \cos \theta_z = 0,13$$

On peut alors calculer R_b avec

$$\begin{aligned}R_b &= \frac{\cos \theta_T}{\cos \theta_z} \\ &= \frac{0,25}{0,13} = 1,92\end{aligned}$$

C - rayonnement

incident à la surface des capteurs.
Le facteur R_1 ainsi calculée permet de convertir le rayonnement recueilli sur surface horizontale à celui sur surface inclinée. (Ref. 1)

Il faut cependant signaler que rigoureusement, le facteur R_1 ne concerne que le rayonnement direct. Il faut une autre analyse pour le rayonnement diffus. Plusieurs théories ont été élaborées par des auteurs célèbres sur la question. Nous tiendrons compte d'un raisonnement et toutes fins pratiques justifiées. La partie cachée de la voûte céleste à cause de l'inclinaison du capteur sera compensée approximativement par la partie maintenant "visible" du plancher terrestre. Donc le rayonnement diffus n'est pas atténué par l'inclinaison. On définira alors un pourcentage K représentant la partie de rayonnement diffus dans le rayonnement global.

On supposera

$K \approx 33\%$	pour Dec - Jan - Fev
$\approx 25\%$	pour Mars - Avr - Nov
$\approx 15\%$	pour Mai - Juin - Juillet

Si H_g , H_b , H_d représentent les rayonnements global, direct et diffus et si H_i représente le rayonnement incident sur la surface des capteurs, on a :

$$\begin{aligned} H_g &= H_d + H_b \\ \text{et } H_i &= R_b H_b + H_d \\ H_d &= k H_g \end{aligned}$$

on a alors

$$H_b = (1 - k) H_g$$

$$H_i = [(1 - k) R_b + k] H_g$$

On exprimera d'abord le rayonnement global avant de calculer le rayonnement incident (H_i) sur le plan des capteurs.

Remarquons que tous les résultats expriment le profil radiométrique d'une journée caractéristique du mois concerné. Le total à la fin de la journée est la valeur de calcul.

i - Résultats $\cos \theta_z$

(première partie)

Heure	7	8	9	10	11	12	
ω (angle horaire)	75	60	45	30	15	0	
Mois	5	-	-	-	-	-	
Octobre	-6,63	0,21	0,44	0,66	0,79	0,89	0,92
Novembre	-17,03	0,16	0,38	0,87	0,72	0,81	0,84
Décembre	-22,83	0,13	0,34	0,52	0,66	0,75	0,78
Janvier	-21,7	0,13	0,35	0,53	0,67	0,76	0,79
Février	-14,7	0,17	0,4	0,59	0,74	0,83	0,86
Mars	-4,03	0,23	0,46	0,66	0,81	0,91	0,94
Avril	7,93	0,32	0,44	0,71	0,86	0,95	0,99
Mai	17,5	0,28	0,55	0,75	0,9	0,99	1,03
Juin	22,77	0,33	0,54	0,72	0,86	0,95	0,98
Juillet	22,03	0,33	0,54	0,73	0,86	0,96	0,99

Résultats $\cos \theta_2$

(deuxième partie)

heures →		13 ^h	14 ^h	15 ^h	16 ^h	17 ^h	18 ^h	19 ^h
W →		-15°	-30°	-45°	-60°	-75°	-90°	-105°
Mois ↓	δ_{moy} →							
Octobre	-6,63	0,89	0,79	0,64	0,44	0,21	-0,03	-0,27
Novembre	-17,03	0,81	0,72	0,57	0,38	0,16	-0,076	-0,31
Décembre	-22,83	0,75	0,66	0,52	0,34	0,13	-0,1	-0,33
Janvier	-21,7	0,76	0,67	0,53	0,35	0,13	-0,096	-0,33
Février	-14,7	0,83	0,74	0,59	0,4	0,17	-0,066	-0,31
Mars	-4,03	0,91	0,81	0,66	0,46	0,23	-0,018	-0,27
Avril	7,93	0,95	0,86	0,71	0,44	0,32	0,036	-0,21
Mai	17,5	0,99	0,9	0,75	0,55	0,28	0,078	-0,17
Juin	22,77	0,95	0,86	0,72	0,54	0,33	0,10	-0,13
Juillet	22,03	0,96	0,86	0,73	0,54	0,33	0,097	-0,13

ii) Résultats $\cos \theta_T$

(deuxième partie)

Heure		7 ^h	8	9	10	11	12
Mois ω (°)		75	60	45	30	15	0
Mois	δ_{moy} (°)	-	-	-	-	-	-
Octobre	-6,63	0,26	0,5	0,7	0,86	0,96	0,99
Novembre	-17,03	0,23	0,49	0,68	0,84	0,93	0,96
Décembre	-22,83	0,25	0,48	0,67	0,81	0,90	0,94
Janvier	-81,7	0,25	0,48	0,67	0,82	0,91	0,94
Février	-14,7	0,26	0,49	0,69	0,85	0,95	0,98
Mars	-4,05	0,26	0,5	0,7	0,87	0,97	1,00
Avril	7,93	0,25	0,49	0,69	0,85	0,95	0,98
Mai	17,5	0,23	0,46	0,66	0,81	0,90	0,94
Juin	22,77	0,22	0,44	0,63	0,78	0,87	0,90
Juillet	22,03	0,22	0,45	0,64	0,79	0,88	0,91

Resultats $\cos \theta_T$

(deuxième partie)

heures →		13 ^h	14 ^h	15 ^h	16 ^h	17 ^h	18 ^h	19 ^h
W →		-15	-30	-45	-60	-75	-90	-105
Mois ↓	$\sin \gamma$							
Octobre	-6,63	0,96	0,96	0,7	0,5	0,86	0,05	-0,25
Novembre	-17,03	0,93	0,84	0,68	0,49	0,23	0,012	-0,23
Décembre	-22,83	0,90	0,81	0,67	0,48	0,25	0,016	-0,22
Janvier	-81,7	0,91	0,82	0,67	0,48	0,25	0,015	-0,22
Février	-14,7	0,95	0,85	0,69	0,49	0,26	0,01	-0,24
Mars	-4,03	0,97	0,87	0,7	0,5	0,26	0,003	-0,25
Avril	7,93	0,95	0,85	0,69	0,49	0,95	-0,006	-0,26
Mai	17,5	0,90	0,81	0,66	0,46	0,23	-0,012	-0,26
Juin	22,77	0,83	0,78	0,63	0,44	0,22	-0,016	-0,25
Juillet	22,03	0,88	0,79	0,64	0,45	0,22	-0,015	-0,25
								30

iii) Résultats R_b

(première partie)

Heure		7	8	9	10	11	12
ω		75	60	45	30	15	0
Mois		5	-	-	-	-	-
Octobre	-6,63	1,24	1,16	1,09	1,09	1,08	1,08
Novembre	-17,03	1,44	1,29	1,16	1,17	1,15	1,14
Décembre	-22,83	1,92	1,41	1,29	1,23	1,2	1,2
Janvier	-21,7	1,92	1,35	1,26	1,22	1,20	1,19
Février	-14,7	1,53	1,22	1,17	1,15	1,14	1,14
Mars	-4,03	1,13	1,09	1,06	1,07	1,06	1,06
Avril	7,93	0,78	1,11	0,97	0,99	1	0,99
Mai	17,5	0,82	0,84	0,88	0,9	0,91	0,9
Juin	22,77	0,66	0,81	0,87	0,91	0,91	0,92
Juillet	22,03	0,66	0,83	0,88	0,92	0,92	1,01

Resultats R_b

(deuxième partie)

Heures		13 ^h	14 ^h	15 ^h	16 ^h	17 ^h	18 ^h	19 ^h
W		-15°	-30°	-45°	-60°	-75°	-90°	-105°
Mois	S_{moy}							
Octobre	-6,63	1,08	1,09	1,09	1,14	1,24	0,16	0,92
Novembre	-17,03	1,15	1,17	1,184	1,29	1,44	0,16	0,74
Décembre	-22,83	1,2	1,23	1,29	1,41	1,92	0,16	0,67
Janvier	-21,7	1,20	1,22	1,26	1,37	1,92	0,16	0,67
Février	-14,7	1,14	1,15	1,17	1,22	1,53	1,67	0,8
Mars	-4,03	1,06	1,07	1,06	1,09	1,13	0,16	0,92
Avril	7,93	1	0,99	0,97	1,11	0,78	0,17	1,24
Mai	17,5	0,91	0,9	0,88	0,84	0,82	0,15	1,53
Juin	22,77	0,91	0,91	0,87	0,81	0,66	0,16	1,92
Juillet	22,03	0,92	0,92	0,88	0,83	0,66	0,15	1,92

montagne de la montagne

iv) Données sur le rayonnement global
(première partie)

Heure	7	8	9	10	11	12	
ω	75	60	45	30	15	0	
Mois	J	-	-	-	-	-	
Octobre	-6,63	6,68	21,55	36,91	49,82	61,61	68,09
Novembre	-17,03	5,56	21,30	39,01	53,23	61,69	66,08
Décembre	-22,83	3,25	15,71	32,72	47,51	57,82	63,85
Janvier	-21,7	1,63	12,31	28,05	44,07	54,91	62,04
Février	-14,7	2,06	16,94	34,20	51,42	65,46	73,19
Mars	-4,03	5,80	24,15	45,97	65,10	79,2	87,84
Avril	7,95	10,18	29,21	50,22	66,75	77,56	84,86
Mai	17,5	12,42	30,13	49,55	64,5	76,04	81,52
Juin	22,77	11,16	27,84	44,74	60,29	72,03	76,69
Juillet	22,03	8,51	22,95	36,66	52,27	60,29	64,07

Données sur le rayonnement global

(deuxième partie)

heures →		13 ^h	14 ^h	15 ^h	16 ^h	17 ^h	18 ^h	19 ^h
W →		-15°	-30°	-45°	-60°	-75°	-90°	-105°
Mois,	Σ_{moy}							
Octobre	-6,63	65,99	60,13	47,54	34,24	16,2	2,83	0,08
Novembre	-17,03	62,54	57,58	44,92	29,41	13,02	1,84	0
Décembre	-22,83	62,49	55,94	44,92	29,29	13,42	2,13	0
Janvier	-21,7	62,77	57,49	48,67	34,53	18,53	4,65	0
Février	-14,7	71,70	68,22	59,07	43,87	25,08	7,69	0,22
Mars	-4,03	81,89	82,16	69,83	51,63	30,04	9,75	0,31
Avril	7,93	85,72	79,55	66,9	48,55	27,98	9,99	0,5
Mai	17,5	81,23	75,86	61,29	46,79	28,25	10,40	1,46
Juin	22,77	77,35	71,64	60,35	44,11	28,46	12,09	2,15
Juillet	22,03	63,65	62,69	57,20	44,73	28,04	13,09	2,49

v) Resultats sur le rayonnement incident
(premiere partie)

Heure	7	8	9	10	11	12	
ω	75	60	45	30	15	0	
Mois	5	-	-	-	-	-	
Octobre	-6,63	8,06	24,11	39,73	53,63	65,58	75,68
Novembre	-17,63	7,39	25,93	63,58	60,02	68,63	73,02
Decembre	-22,63	5,25	20,02	39,08	54,85	65,57	72,4
Janvier	-21,7	2,63	15,20	32,94	50,56	62,27	69,96
Fevrier	-14,7	2,76	19,64	38,09	56,59	71,6	80,05
Mars	-4,03	6,23	25,8	48,04	52,24	81,82	91,79
Azil	7,93	8,5	31,61	49,09	66,26	77,54	84,26
Mai	17,5	10,51	26,03	44,69	59,02	70,22	73,49
Juin	22,97	7,93	23,34	39,8	56,24	66,59	71,61
Juillet	22,03	6,05	19,63	32,9	48,71	56,19	64,61

Resultats sur le rayonnement incident
(deuxieme partie)

heures →		13 ^h	14 ^h	15 ^h	16 ^h	17 ^h	18 ^h	19 ^h
W →		-15°	-30°	-45°	-60°	-75°	-90°	-105°
Mois ₁	δ _{moy} ₁							
Octobre	-6,65	70,83	55,71	51,18	38,31	19,5	0,81	0,07
Novembre	-17,03	69,57	64,92	73,22	35,8	17,3	0,68	0
Decembre	-22,83	71,31	63,43	53,65	37,33	21,69	0,93	0
Janvier	-21,7	71,18	65,96	57,15	43,09	29,95	2,03	0
Fevrier	-14,17	78,42	75,08	65,8	50,34	33,98	11,14	0,19
Mars	-4,03	92,89	86,47	72,97	55,11	32,97	3,61	0,29
Avril	7,93	85,72	78,95	65,39	52,55	23,36	3,77	0,58
Mai	17,15	75,01	69,41	55,04	40,42	23,94	2,89	2,12
Juin	22,77	71,43	66,16	53,68	36,99	20,25	3,46	3,83
Juillet	22,03	59,32	52,43	51,36	38,27	9,54	3,63	4,44

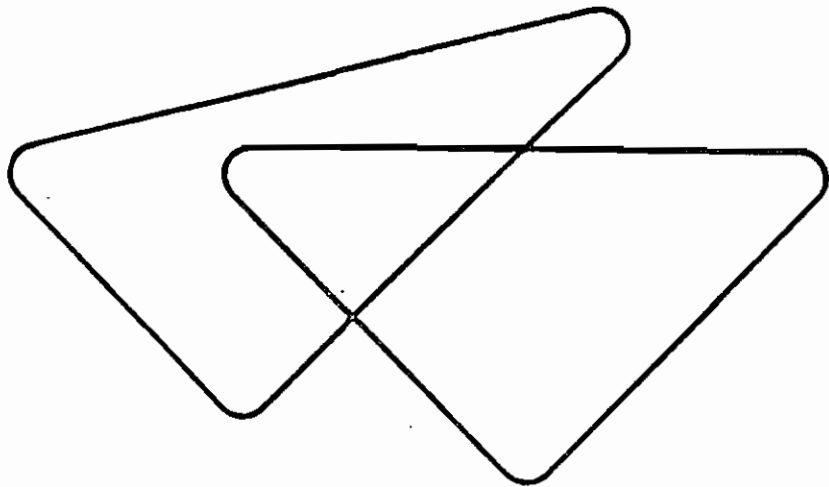
Ch - IV

—

SURFACE

de

CAPTAGE

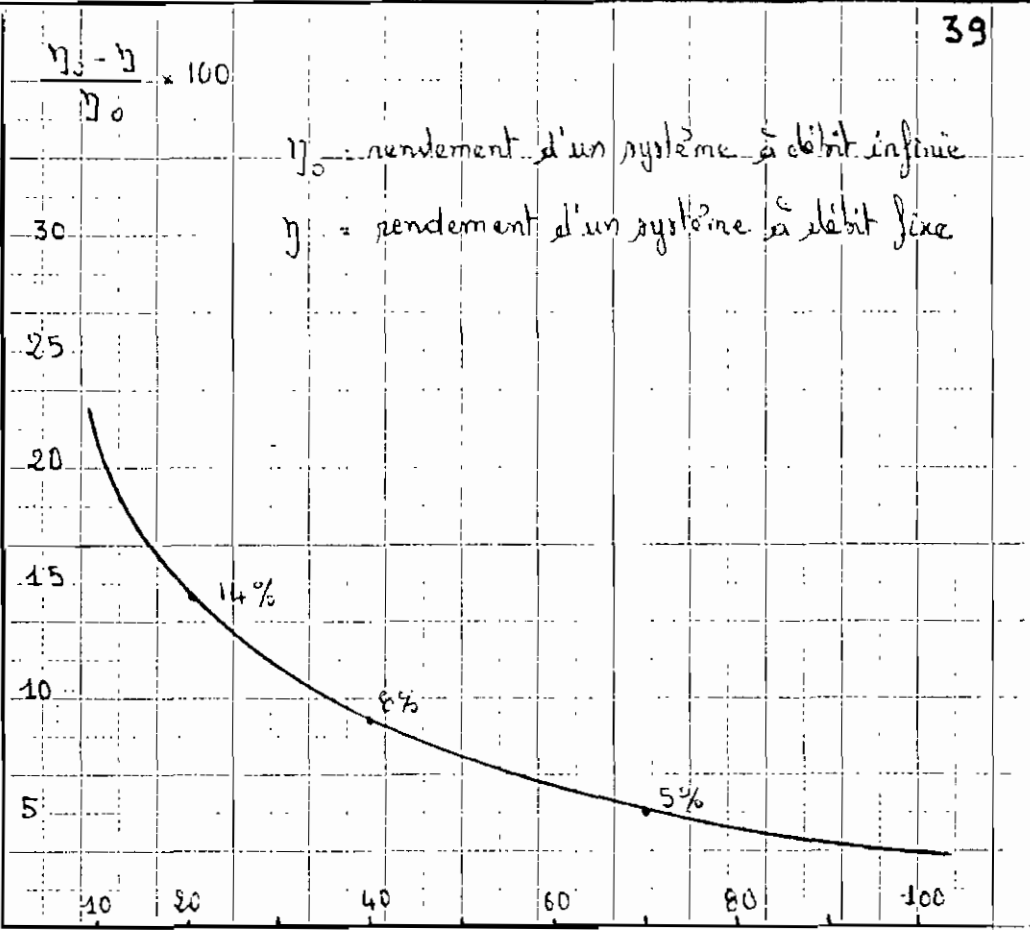


La surface de captage est déterminée à partir de la charge et des disponibilités (ensoleillement) et surtout à partir d'une valeur caractéristique, le rendement du système. Notons que le rendement du système dépend de plusieurs facteurs et est différent de celui d'un élément composite particulier tel que le capteur. Le rendement du système dépend surtout du type de système installé. On se permet le choix entre un système à circulation naturelle, un système à circulation forcée ou un système intégré.

Pour départager les deux premiers systèmes discutons l'influence d'un circulateur sur un système avec réservoir de stockage.

Monsieur Chaleaumeis et ses collaborateurs arrivent à une conclusion importante exprimée par une courbe.

On y exprime le pourcentage de perte de rendement en comparaison avec le système à débit infini en fonction du débit du premier système. A noter la valeur de ce pourcentage de perte pour un débit tendant vers zéro.



dans le cas à débit infini $T_{\text{absorbeur}} - T_{\text{ambiante}} = \theta_0$
 et $\eta_0 = (\bar{\epsilon}\alpha) \frac{L\theta_0}{H}$

dans le cas à débit fixe $T_{\text{absorbeur}} = T_{\text{entrée}} + \frac{\Delta T}{2}$
 et $\eta = (\bar{\epsilon}\alpha) \frac{H}{k(\theta_0 + \frac{\Delta T}{2})}$

par ailleurs $Q = \eta H = \text{Débit} \times f \times C_p \times \Delta T$
 on a alors

$$\frac{\eta}{\eta_0} = \frac{1}{1 + k / 2DfC_p}$$

On constate donc que l'on a intérêt à travailler avec un débit élevé, le plus élevé possible. En contrepartie, la puissance de pompage au circulateur va croître et donc son prix et sa consommation. On devra trouver un compromis satisfaisant. C'est sur la valeur de $70 \text{ l/m}^2 \cdot \text{h}$ que notre choix se portera.

Le système dit intégré qui associe le capteur au réservoir présente deux inconvénients majeurs. Il y a d'abord le fait que les pertes, par convection et rayonnement principalement d'un tel système dans la soirée et en fin d'après-midi sont très importantes. Il y a ensuite le fait que le profil de consommation locale, qui établit un besoin substantiel en début de matinée ne pouvait être respecté.

Nous retiendrons un système forcé à 70 l/h m^2 .

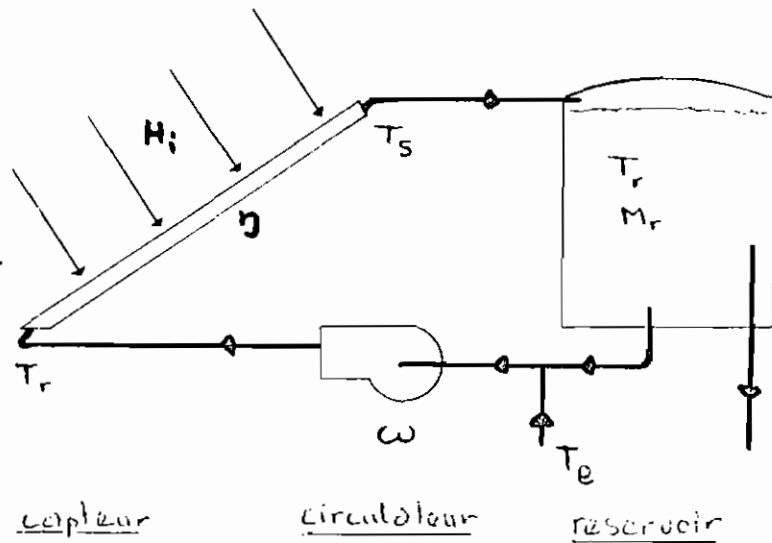


A - analyse du système

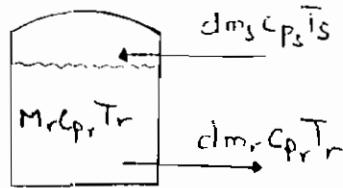
Comme pour toute autre application de l'énergie solaire, les dimensions optimales d'un système de chauffage sanitaire dépend d'une variété de paramètres relatifs aux capteurs (inclinaison, orientation, performance...), à la position et aux conditions climatiques locales. Ces paramètres peuvent être combinés pour arriver à une série d'équations donnant d'importantes informations sur le comportement dynamique du système. Ce dernier aspect est important. L'étude du comportement dynamique du système, c'est à dire de son rendement à l'état stationnaire et à long terme, permet de cerner l'importance particulière de chaque variable de design; par exemple, l'influence des caractéristiques de l'absorbeur (émissivité, épaisseur...) du débit de fluide etc... Cette étude, en la combinant à l'analyse des coûts peut aussi servir au dimensionnement optimal selon les critères de coûts.

L'analyse mathématique aboutit généralement à des équations différentielles de forme classique combinant les modèles du capteur et du réservoir.

1. schéma du système



2. modèle théorique



avec l'introduction d'une masse d'eau différentielle (dm_s) à la température T_s , on peut faire le bilan thermique suivant.

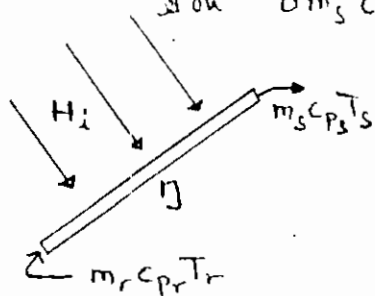
$$dm_s c_{p_s} T_s - dm_r c_{p_r} T_r + M_r c_{p_r} T_r = M_r c_{p_r} (T_r + dT_r)$$

où $dm_s = dm_r$ à l'état stationnaire

d'où $dm_s c_{p_s} T_s - dm_s c_{p_r} T_r = M_r c_{p_r} dT_r$ (1)

en considérant le bilan autour

du capteur.



$$m_s c_{p_s} T_s = \eta H_i + m_r c_{p_r} T_r$$

d'où $T_s = \frac{\eta H_i}{m_s C_{ps}} + \frac{C_{pr}}{C_{ps}} T_r$ (2)

en combinant (1) et (2) on arrive à

$$\begin{aligned} \frac{dT_r}{dm_s} &= \frac{C_{ps}}{M_r C_{pr}} T_s - \frac{1}{M_r} T_r \\ &= \frac{\eta H_i}{M_r C_{pr} m_s} \end{aligned}$$

où on définit le rendement η du capteur

$$\eta = \bar{\tau} \alpha - \frac{U_L (T_r - T_s) / e - T_a}{H_i}$$

et où $m_s = j \omega \theta$

on aboutit à l'équation différentielle

$$\begin{aligned} \frac{dT_r}{d\theta} + \left[\frac{j \omega k C_{ps}}{M_r C_{pr}} \times \frac{1}{j \omega C_{ps} \theta + k} + \frac{j \omega}{M_r} \right] T_r \\ = \frac{j \omega C_{ps}}{M_r C_{pr}} \times \frac{\bar{\tau} \alpha H_i - k \bar{\tau} \alpha}{j \omega C_{ps} \theta + k} \end{aligned}$$

T = température du fluide circulant

m = masse d'eau circulant

M_r = masse d'eau dans le réservoir

η = rendement du capteur

H_i = rayonnement incident

$\bar{\alpha}$ = facteur optique moyen

U_L = coefficient de déperdition globale

ρ = densité de l'eau

ω = débit de la pompe

θ = temps de circulation

Des indices s, r , sont mis pour la partie au capteur et le réservoir.

3 - abaquages

Bien qu'elle soit de forme classique ($\frac{dy}{dx} + p(x)y = h(x)$), cette équation présente un comportement laborieux. Et il faut s'assurer de la stabilité des solutions éventuellement obtenues. On utilise pour cela, les principes de simulation et de relevés expérimentales sur systèmes réels.

Cependant, en tenant compte du fait que beaucoup de systèmes utilisent les mêmes éléments de base avec seulement leurs dimensions variant d'un cas à l'autre, des universités, notamment celle du Wisconsin aux U.S.A., ont mis au point des abaques de simulations pour fins de design. Nous utiliserons la méthode Klein.

Il s'agira d'établir la valeur de deux paramètres addimensionnels, l'un étant relié à l'ensemble ($F_1 A_c$) et l'autre ($F_2 A_c$) aux parties du collecteur. (Ref. 2)

B. Procédure de design

1- Paramètres solaires

L'objectif de cette section est de préciser les caractéristiques des capteurs. On définit

ϵ_p coefficient d'absorption de l'absorbeur

τ coefficient de transmission du vitrage

$(\tau \epsilon_p)_n$ facteur optique moyen à l'incidence normale au plan des capteurs.

U_L coefficient de déperditions globales

m débit massique du fluide

C_p capacité calorifique

A_c surface du collecteur

F_R coefficient d'efficacité du collecteur

$$\begin{aligned} (\overline{\tau \epsilon_p}) &= \sum_{\alpha=0}^{180^\circ} (\tau \epsilon_p)_\alpha \\ &= 0,92 (\tau \epsilon_p)_n \end{aligned}$$

Projet: Install 1

Titre : Caractéristiques des matériaux
Fiche technique N° : 1

Caractéristiques du verre ordinaire commercial

- 1 - facteur d'extinction $\mu = 0,326 \text{ cm}^{-1}$
- 2 - épaisseur $e = 2,75 \text{ mm}$
- 3 - indice de réflexion $n = 1,571$

Caractéristiques de l'absorbeur

- 1 - Coefficient d'absorption $\epsilon_p = 0,94$
- 2 - épaisseur tôle $\delta = 0,0015 \text{ mm}$
- 3 - conductivité thermique $k = 110,3 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$

Caractéristiques de l'isolation

- 1 - épaisseur de polyuréthane $L_1 = 0,07 \text{ m}$
- 2 - conductivité thermique $k_1 = 0,027 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$
- 3 - épaisseur bois $L_2 = 0,01 \text{ m}$
- 4 - conductivité thermique $k_2 = 0,23 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ\text{C}}$

* On calcule alors le coefficient de réflexion ⁴⁸
du vitrage et le facteur de transmission.

$$f = \left(\frac{n-1}{n+1} \right)^2 = \left(\frac{1,521-1}{1,521+1} \right)^2 = 0,0427$$

$$\tau = \frac{1-f}{1+f} e^{-\mu e} = \frac{1-0,0427}{1+0,0427} e^{-0,326 \times 0,275}$$

$$\tau = 0,84$$

* Le calcul du coefficient de déperdition globale très laborieux est présenté en annexe. On a par ailleurs

$$U_L = U_t + U_b$$

$U_t(45^\circ)$ le coefficient de déperdition lié à la face avant du capteur incliné sur 45° est obtenu égale

$$\text{à } 5,11 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

pour convertir cette valeur à l'inclinaison $S = 17^\circ$

$$\begin{aligned} \text{On a : } U_t(S) &= U_t(45^\circ) \cdot [1 - (S-45)(0,00259 - 0,00144 \varepsilon_p)] \\ &= 5,11 \cdot [1 - (17,2 - 45)(0,00259 - 0,00144 \times 0,9)] \end{aligned}$$

$$U_t = 5,11 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

U_b le coefficient de déperdition thermique lié à l'isolation est donnée par

$$U_b = \frac{1}{\left(\frac{L}{K}\right)_i + \left(\frac{L}{K}\right)_b}$$

$$U_b = \frac{1}{\frac{0,07}{0,027} + \frac{0,01}{0,23}} = 0,38 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}} \quad 49$$

On arrive alors à : U_L , le coefficient de déperdition thermique global égale à :

$$U_L = 5,21 + 0,4$$

$$U_L = 5,61 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$

* En tenant compte des raisons évoquées en introduction à ce chapitre, on a :

$$G = \frac{\dot{m}}{A_c} \text{ le débit d'eau au m}^2 \text{ de capteur} \\ = 70 \text{ kg/m}^2\text{h}$$

et pour $C_p = 0,998 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}^{\circ}\text{C}}$

on a :

$$GC_p = \left(\frac{\dot{m} C_p}{A_c} \right) = 69,86 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2\text{°C}}$$

$$GC_p = 81,11 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$

* Le coefficient d'efficacité du ~~premier~~ premier ordre F' est décrit dans l'annexe 1. On obtient

$$F' = 1$$

et le coefficient d'efficacité du second ordre

$$F_R = \frac{GC_p}{U_L} \left[1 - \exp \left(- \frac{U_L F'}{GC_p} \right) \right]$$

$$F_R = \frac{81,11}{5,61} \left[1 - \exp\left(-\frac{5,61 \times 1}{81,11}\right) \right]$$

$$\underline{F_R = 0,97}$$

Projet : Install 1
Titre : Paramètres polaires
 Fiche Technique N°2

$$\frac{\dot{m} C_p}{A_c} = 81,11 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{°C}}$$

$$\frac{(\overline{\tau \epsilon_p})}{(\overline{\tau \epsilon_p})_m} = 0,92$$

$$U_L = 5,61 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{°C}}$$

$$F_R = 0,97$$

$$(\overline{\tau \epsilon_p})_m = 0,79$$

$$F_R (\overline{\tau \epsilon_p}) = 0,7$$

$$F_R U_L = 5,44$$

2- Charge du système

La charge du système équivaut en fait aux besoins que ce dernier doit satisfaire par jour rapportés au total des jours où il fonctionne. On se reporte-
ra au calcul des besoins, Ch I.

Les résultats sont disponibles sur la fiche technique numéro 3 de la page suivante.

3- Paramètres de captage

Pour déterminer les paramètres de captage, on a tous les renseignements qu'il faut. On a notamment: H_i l'énergie incidente si partir de Ch II

et Q de la fiche technique N° 3
on calcule alors

$$F_1 = \frac{1}{Q} \times F_R (\overline{\sigma \epsilon_p}) H_i$$

et

$$F_2 = \frac{1}{Q} \times F_A U_L (T_{ref} - T_a) \times 13$$

où $T_{ref} = 100^\circ\text{C}$

et où 13 représente le nombre d'heures ensoleillées par jour.

On peut développer un exemple de calcul.

52

Projet : Install 1
Titre : Charge de système
 Fiche Technique n° 3

Type de bâtiment : dortoir étudiant
 Nbre d'occupants : 96
 Consommation : 4000 kg / J

Mois	Charge journalière Q (kcal)	Nbre de Jours du mois	Charge Mois Q _T (kcal)
Octobre	24351	31	$7,55 \times 10^5$
Novembre	31536	30	$9,46 \times 10^5$
Décembre	42315	31	$1,31 \times 10^6$
Janvier	61476	31	$1,91 \times 10^6$
Février	67065	28	$1,88 \times 10^6$
Mars	66267	31	$2,05 \times 10^6$
Avril	66267	30	$1,99 \times 10^6$
Mai	53892	31	$1,67 \times 10^6$
Juin	38323	30	$1,15 \times 10^6$
Juillet	32734	31	$1,01 \times 10^6$

Exemple de calcul

$$H_i = 5008 \text{ Kcal/m}^2$$

$$Q = 24351 \text{ Kcal}$$

$$T_{ref} - T_a = 100^\circ - 28^\circ = 71^\circ$$

soit

$$F_I = \frac{0,7 \times 5008}{24351} = 0,16$$

$$F_L = \frac{5,44 \times 71^\circ \times 1,3 \times 3600}{24351 \times 4180}$$

$$= 0,18$$

On peut alors établir la fiche technique sur les paramètres de captage.

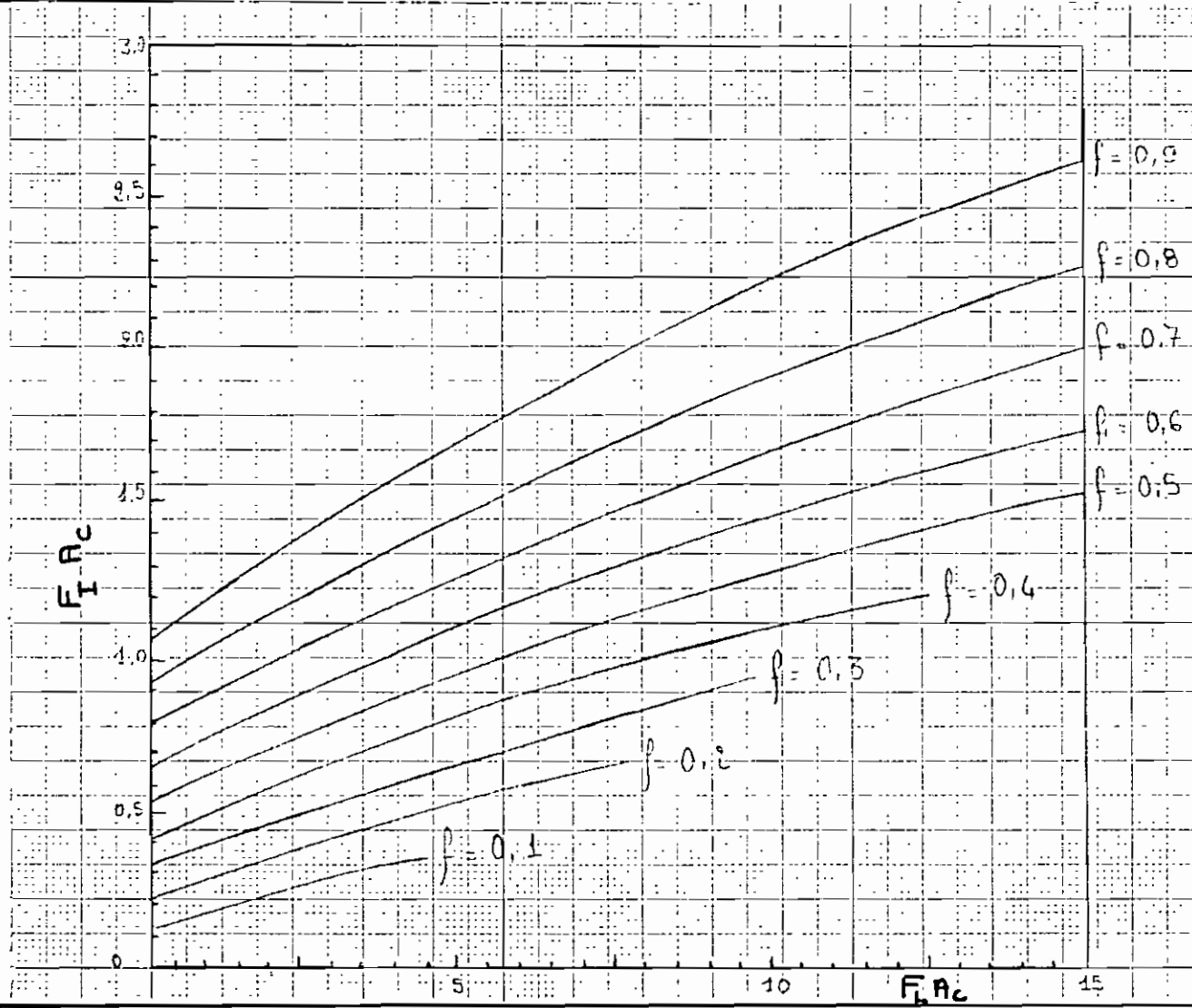
On établira une dernière fiche sur la surface optimale de captage. Il s'agit d'essayer plusieurs valeurs de A_c , la surface recherchée, pour déterminer à l'aide de l'abaque et des valeurs de $F_I A_c$ et $F_L A_c$ le meilleur profil de couverture sur l'année. Le taux de couverture étant donné par le facteur f .

Les valeurs obtenues sont sur la dernière fiche technique.

504

Projet : Install 1
Titre : Paramètres de captage
 Fiche technique N°: 4

Mois	nb. de Jours du mois	H_i ($\frac{kcal}{m^2}$)	T_a °C	$T_{ref}-T_a$ °C	Q kcal	F_I	F_L
Oct	31	5008	28°3	71°9	24351	0,16	0,18
Nov	30	5601	26°7	73,3	31536	0,12	0,14
Dec	31	5655	24°8	75,2	42315	0,08	0,11
Jan	31	5029	21°6	78,6	61476	0,06	0,08
Fev	28	5835	20°8	79,2	67065	0,06	0,07
Mar	31	6502	21°1	78,9	66267	0,07	0,07
Avr	30	6276	21°	79	66267	0,07	0,07
Mai	31	5526	22°9	77,1	55892	0,07	0,09
Juin	30	5212	25°8	74,2	38523	0,09	0,12
Juil	31	6565	26°9	73,1	32734	0,1	0,14



Projet : IntolP 1

Titre : Surface de captage

Fiche Technique N° : 5

$$A_c = 20 \text{ m}^2$$

$$A_c = 25 \text{ m}^2$$

$n_c F_I$	$n_c F_L$	f	$n_c F_I$	$n_c F_L$	f
2,8	3,6	1,0	3,5	4,5	1,
2,6	2,8	1,0	3	3,5	1,
1,6	1,1	1,0	2	2,75	1,
1,2	1,6	,9	1,5	2	1,
1,2	1,6	,9	1,5	1,75	1,
1,4	1,6	,9	1,75	1,75	1,
1,4	1,4	,9	1,75	1,75	1,
1,4	1,8	,9	1,75	2,25	1,
1,8	2,4	1,	2,25	3	1,
2	2,8	1,	2,5	3,5	1,

Projet : Install 1
Titre : Surface de captage
 Fiche Technique N° 5 (suite)

$A_c = 27 \text{ m}^2$			$A_c = 32 \text{ m}^2$		
$A_c F_I$	$A_c F_L$	f	$A_c F_I$	$A_c F_L$	f
3,36	4,86	1.			
3,24	3,36	1.			
2,16	2,97	1.	-	-	-
1,62	2,16	1.			
1,62 1,89	1,89	1.			
1,89	1,89	1.			
1,89	1,89	1.			
2,43	2,43	1.			
2,47	3,24	1.			
	3,36	1.			

On constate que les 25 m^2 satisfont déjà nos besoins énergétiques. C'est uniquement par souci de couverture (facteur de sécurité) et pour pouvoir équilibrer notre système en 16 capteurs d'environ $1,70 \text{ m}^2$ que nous retenons la valeur des 27 m^2 .

Cette dernière représente dorénavant la valeur de calcul.

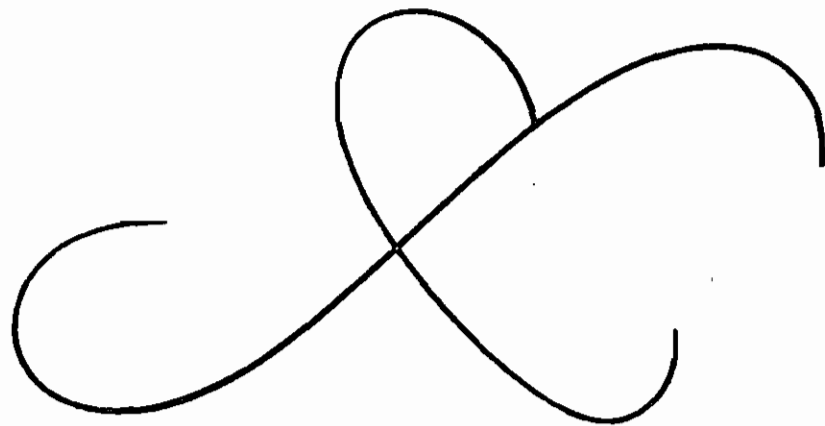
Ch. V

—

SCHEMA

de

L'INSTALLATION



Il s'agit dans ce chapitre de parachever la conception de notre système de chauffage sanitaire.

Les procédures d'exécution de même que les matériaux de construction doivent être locaux pour être économiques. On constatera la simplicité des montages, la majeure partie des opérations pourront être menées à l'école même. Certains services particuliers demanderont cependant la collaboration de spécialistes locaux (pour l'isolation, par exemple en s'adressera à l'ANSON)

Par ailleurs des consultations fructueuses ont permis d'intégrer à la conception des éléments du système (capteurs) des recommandations pratiques (guillage).

D'un autre côté, un certain nombre de recommandations liées au cadre d'une normalisation naissante étaient à tenir en considération. Notamment la recommandation d'un débit maximal de $9 \pm 0,4$ l/h au niveau des capteurs et des vitesses limites de l'air de $1,2$ m/s. Pour satisfaire les normes d'étanchéité, toutes les soudures sont testées à l'atelier à environ 15 bars.

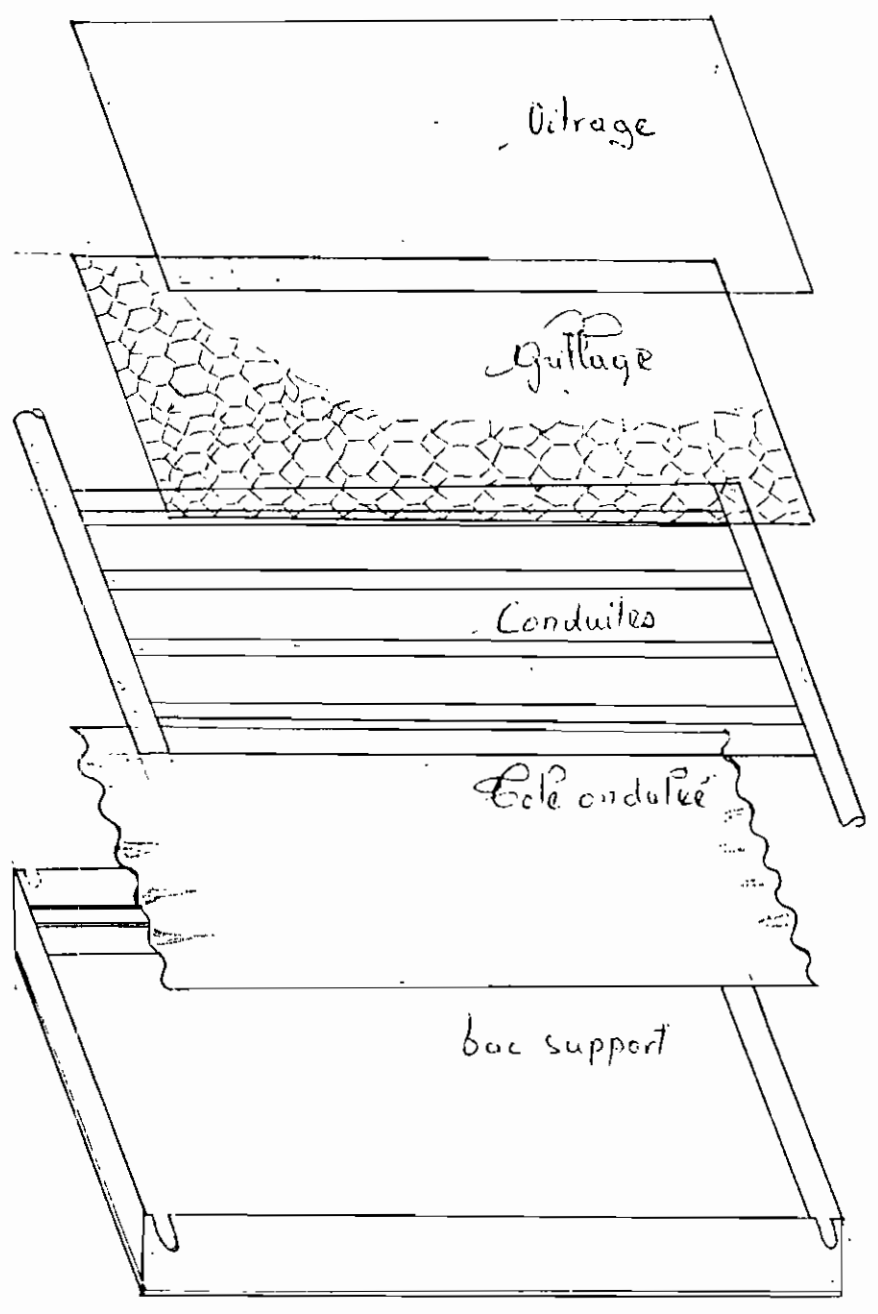


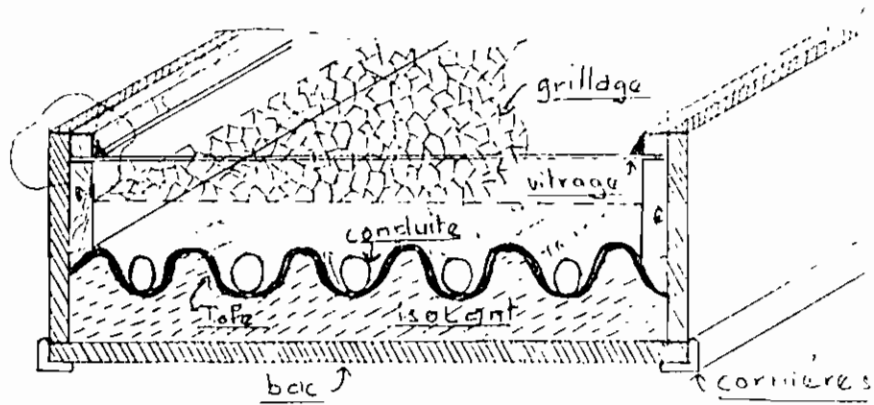
A- le capteur

Le bac support du capteur est de forme prismatique rectangulaire. On l'obtient par assemblage de planches de bois contreplaqué de 10 mm. Les arêtes sont renforcées par des cornières $20 \times 20 \times 3$. On le couvrira, à l'intérieur, d'une couche de vernis protecteur ou enrobé d'une enveloppe imperméable.

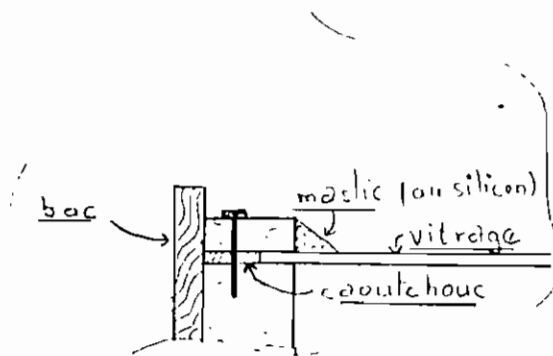
L'isolation est faite avec une couche de polyuréthane d'au moins 10 cm d'épaisseur. L'absorbant est réalisé à partir d'une tôle d'acier galvanisée ondulée (communément appelée zinc dans le marché local). On le traitera par un nettoyage au vinaigre. Les conduites du fluide dans le capteur, 7 tubes de cuivre parallèles, sont soudés à même les creux des ondulations de la tôle. L'ensemble est peint en noir mat. Un grillage ordinaire (gros grains), peint aussi en noir, sera intercalé entre l'absorbant et le vitrage. Le vitrage ordinaire, disponible sur le marché sera monté tel qu'indiqué sur les détails. Alors que les conduites du fluide sont au préalable reliées aux deux collecteurs inférieur et supérieur du capteur. Le tout devra être léger et économique.

Capteur éclaté





Capteur en coupe



Détails fixation vitrage

Schema d'exécution

B. le réservoir

Le volume du réservoir de stockage est déterminé par les températures d'eau d'alimentation (T_p), d'eau de douche (T_d) d'inne et d'eau stocké au réservoir (T_r). En supposant les conditions minimales d'opération de notre système on a:

$$V = 4000 \times \frac{38 - 21}{50 - 21}$$

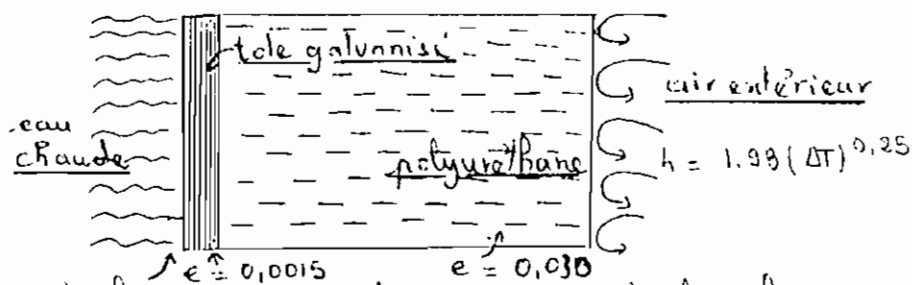
$$V \approx \underline{2350 \text{ litres d'eau}}$$

Nous choisissons un réservoir de caractéristiques suivantes:

tes: Diamètre du fût : 1,2 m
Hauteur : 2,3 m
Matériau : Tôle en acier galvanisé

de 15/10

L'isolation se fera avec 30 cm de mousse de polyuréthane expansée, recouverte d'une couche vernissante de résine et de laine de verre pour assurer l'étanchéité. On pourra éventuellement protéger l'ensemble contre les intempéries par une couche de peinture à l'huile ou plus efficacement par un enduit à base de bitume d'application à froid (type FLINTKOTE). La perte de température sera faible au cours du transit.



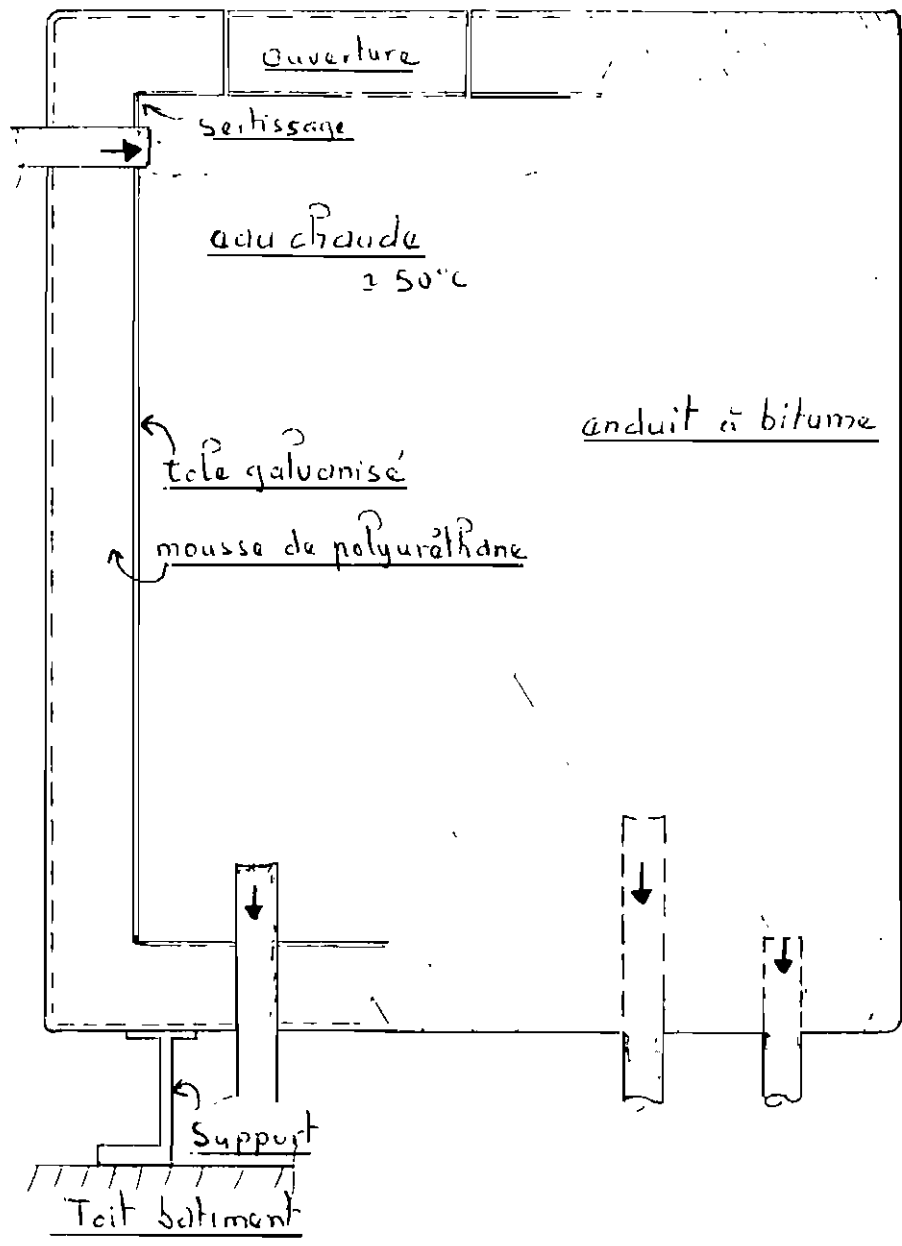
$$h = 200 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{°C}} \quad k = 95 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{°C}} \quad k = 0,86 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{°C}} \quad h = 6,54 \frac{\text{kcal}}{\text{h m}^2 \text{°C}}$$

$$\begin{aligned} \text{perte de température} &= \frac{\text{Surface réservoir}}{(\text{MCp})_{\text{eau vierge}}} \times \frac{\Delta T \times \text{nombre d'heures}}{\frac{1}{200} + \frac{0,0015}{95} + \frac{0,03}{0,86} + \frac{1}{6,54}} \\ &= \frac{5}{998} \times \frac{30 \times 10}{0,26} \approx 5^\circ \end{aligned}$$

Rappelons que ces pertes concernent un réservoir à moitié rempli par environ 1000 l d'eau qui doivent servir le lendemain.

D'autres types de réservoirs peuvent être appréciés. L'on a pensé notamment à un réservoir en béton directement construit sur le toit du bâtiment, cela pourra concerner une étude plus approfondie.

Il y a aussi la possibilité d'utiliser des réservoirs de récupération dépourvus d'éléments électriques chauffants. Un problème de volume ne pose cependant le plus souvent. Rien de toute façon n'exclut cette solution au moment de l'installation en autant que les caractéristiques du réservoir sont respectées.



C - Tuyauterie

En tenant compte des $70 \text{ l/m}^2 \text{ h}$ retenues depuis le Chapitre III, nous pouvons évaluer le débit de notre pompe

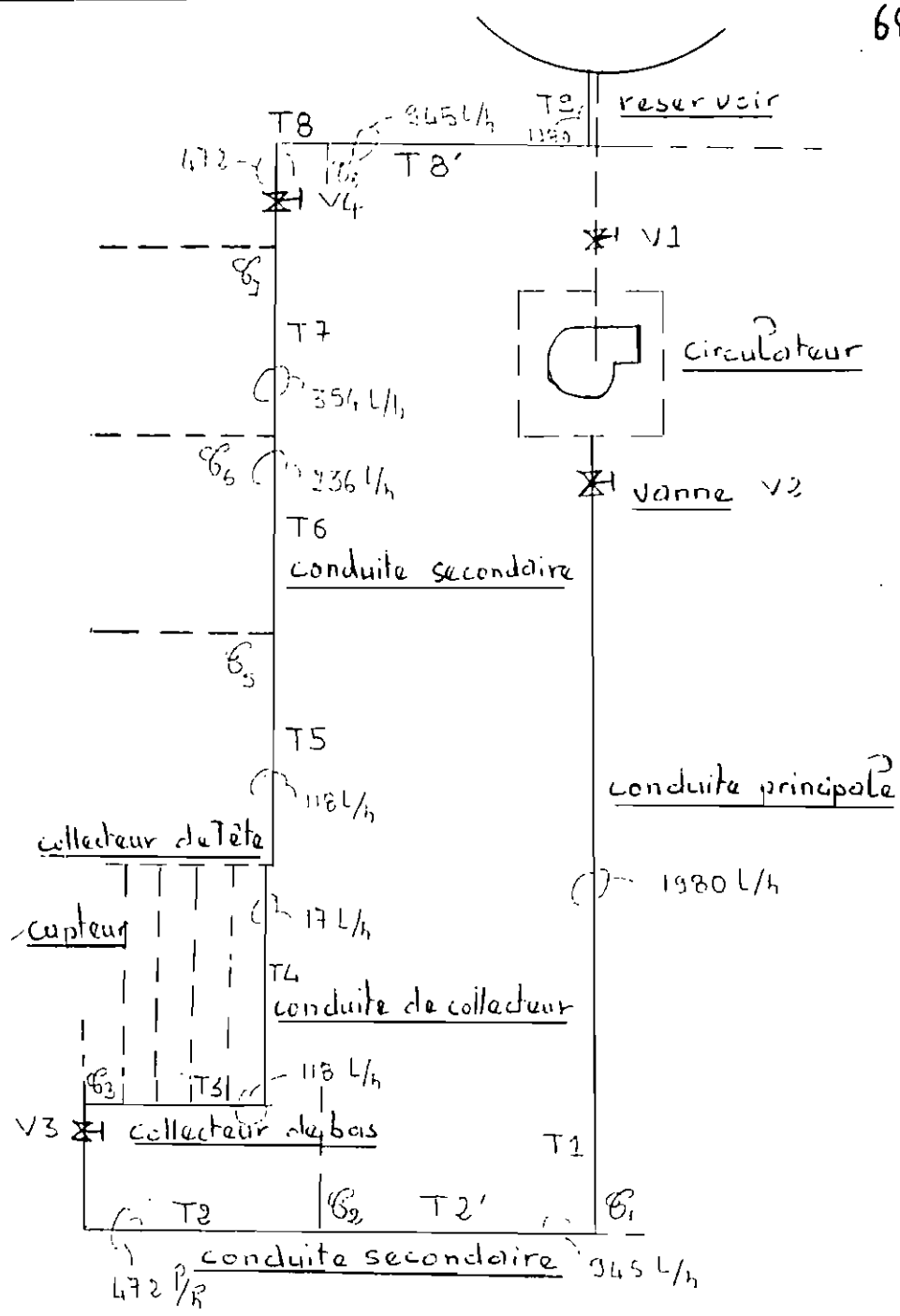
$$\begin{aligned} \text{Débit (d)} &= 70 \times \text{surface de captage} \\ &= 70 \times 27 \\ \underline{d} &= \underline{1890 \text{ l/h}} \end{aligned}$$

Par ailleurs nous devons respecter des débits d'au plus 910 l/h au niveau des capteurs et des vitesses limites de $1,2 \text{ m/s}$.

Le bilan hydraulique sera conduit à partir des principes ordinaires en ce domaine et on utilisera les abaques des codes de plomberie.

On évaluera notamment les pertes de charges dans la tuyauterie et celles dans les accessoires.

Toute la tuyauterie extérieure aux capteurs sera isolée avec 3 cm d'épaisseur de polyuréthane badigeonné de résine et de fibres de verre.



Ligne Hydraulique

a) pertes de charge dans la tuyauterie

Designation	Débit (l/s)	Diamètre ^(a) (mm)	Longueur (m)	vitesse (m/s)	Pertes de charge en (m H ₂ O)
T1	1890	24	8	1,16	0,64
T2'	965	18	1,5	1,05	0,14
T2	672	14	1,5	0,85	0,27
T3	118	10	0,9	0,41	0,05
T4	17	8*	1,9	0,1	0,15
T5	118	10*	2,2	0,41	0,13
T6	236	10*	2,2	0,8	0,41
T7	354	14	2,2	0,66	0,25
T8	672	14	1,5	0,85	0,27
T8'	965	18	1,5	1,03	0,14
T9	1890	24	0,5	1,16	0,04

soit un total de 2,69m² de pertes de charge dans la tuyauterie

(a) Les diamètres indiqués sont ceux normalisés

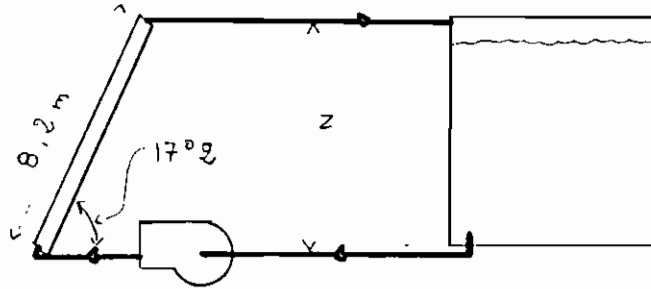
* tuyaux de cuivre de désignation 8/10 et 10/12

iii) partes de charge sans les accessoires

Designa.	Signification	Perte de charge (mH ₂ O)
V ₁	Vanne en amont de la pompe	0,13
V ₂	Vanne en aval de la pompe	0,13
C ₁	coude limite de conduite principale (Té)	0,13
C ₂	Té' limite de séparation de 2 séries de C.	0,22
C ₃	total des liaisons en T sur la ligne T ₃	0,5
V ₃	Vanne, entrée série de capteurs	0,22
C ₅	Té sur la ligne T ₅	0,14
C ₆	Té sur la ligne T ₆	0,14
C ₇	Té sur la ligne T ₇	0,14
C ₈	Té sur la ligne T ₈	0,13
V ₄	Vanne, sortie série de capteur	0,22

On remarquera l'absence dans cette évaluation de certains accessoires (coude etc ...). Mais il s'agit moins d'un calcul rigoureux que d'une approximation significative pour l'évaluation de notre hauteur de charge et pour le dimensionnement de notre pompe.

D. le circulateur



$$H = z + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \Sigma \text{ Pertes}$$

$$\text{ou } z = 8,2 \sin 17^\circ 2 = 2,4 \text{ m}$$

$$P_2 = P_1 = \text{pression au réservoir}$$

$$\Sigma \text{ Pertes} = \text{pertes tuyauteries}$$

$$+ \text{pertes accessoires}$$

$$= 2,49 + 2,1 = 4,6 \text{ m}$$

$$\text{soit } H = 2,4 + 4,6 = 7 \text{ m H}_2\text{O}$$

La puissance de la pompe est donnée par:

$$W = \rho Q H$$

$$= 9764 \times \frac{1,89}{3600} \times 7$$

$$= 35,9 \text{ W}_{\text{OH}}$$

avec une pompe d'environ 80% de rendement
on arrive à environ 44 W_{OH}

On pourra acheter une pompe de 50 W

E - la vanne 3-voies

La vanne trois-voies permet de communiquer le circuit capteur avec soit le circuit d'alimentation en eau froide soit le réservoir d'eau chaude. Son installation permet de passer le coût et un circuit d'alimentation séparée, de la pompe qui lui serait associée et de tout le dispositif de régulation requis. La vanne suggérée sera reliée à deux dispositifs.

D'abord il faudra un détecteur de trop plein qui commandera la déconnection au circuit d'alimentation en eau froide dès que le niveau haut du réservoir (2,3m) sera atteint. La connection au circuit du réservoir se fera par la même occasion.

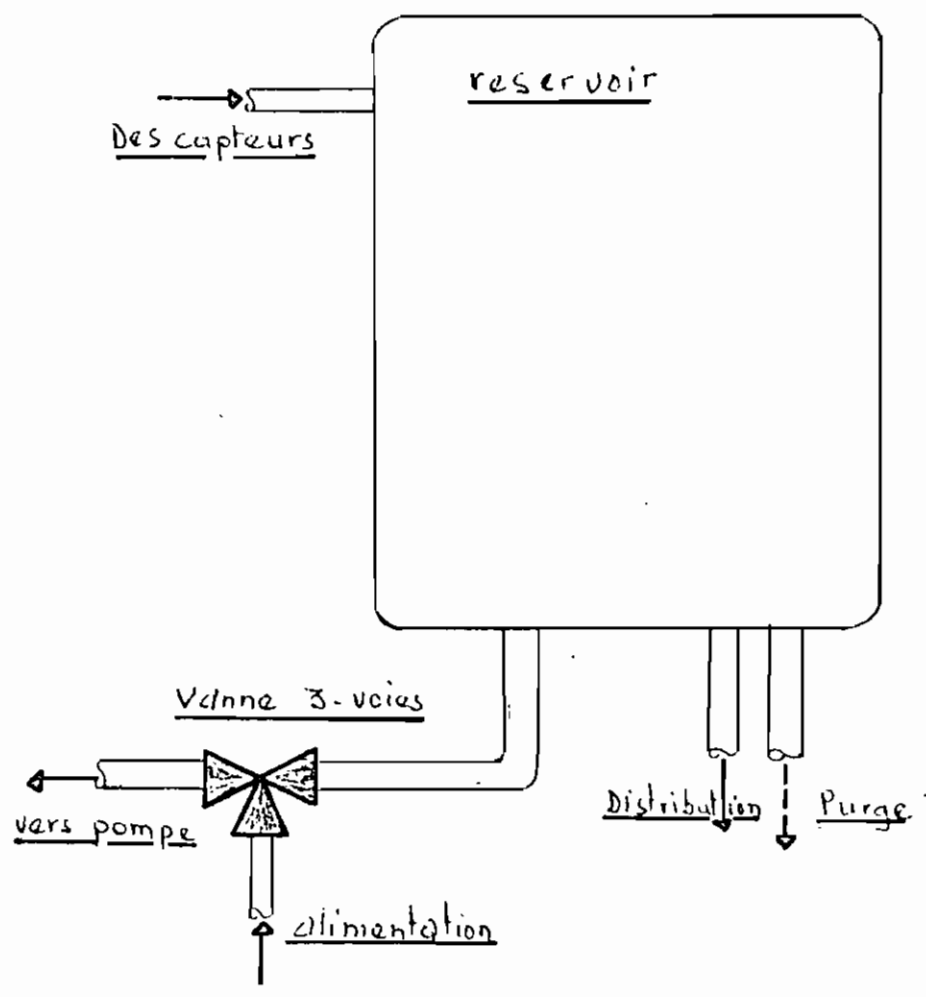
Ensuite une minuterie commandera la reconnection au circuit d'alimentation chaque matin à 8^h45, 5 minutes avant de démarrer la pompe. Cette dernière sera remis à l'arrêt à 18^h30, la dernière heure pouvant être modifiée suivant la période.

Notons que ces heures nous proviennent du profil de consommation exposé au chapitre II de la présente étude. Un seul chargement sera effectué à 8^h30 chaque

matin et l'eau du réservoir ainsi accumulée sera circulée jusqu'aux environs de 18h30. Le chargement suivant n'interviendra que le lendemain à la même heure.

Notons enfin que malgré l'impression de complexité qui se dégage de la description de la vanne 3-voies, cette dernière nous vient du fournisseur déjà programmé. Il ne s'agira plus que d'y inscrire la valeur nette de nos paramètres propres. Nous suggérons, au chapitre suivant, un éventuel fournisseur.

A part la vanne trois-voies, le circuit comprend d'autres accessoires. Nous metrons la purge au fond du réservoir et l'aérateur au plus haut point des capteurs.



Installation vanne trois voies

F. entretien

L'entretien d'un réseau de captage est de première importance. Il faut d'abord assurer une parfaite étanchéité d'une installation située au dessus d'un bâtiment. Il faut aussi s'assurer de la bonne tenue des caractéristiques du système par rapport au temps et aux conditions climatiques. Il faut enfin s'assurer de la stabilité du circuit hydraulique par rapport à l'entartrage et la corrosion.

Il est cependant vrai que l'entretien constitue à lui seul une étude autonome, notamment pour déterminer la composition de l'eau d'alimentation (pH, Oxygène dissout, chlorures, sulfates de ...) et se résoudre à la nécessité d'un adoucissage ou d'un filtrage, ou pour établir la tenue de certains éléments à l'attaque climatique (peintures, joints, revêtements de ...).

Nous avons tenu compte autant que possible des critères de préparation à l'entretien notamment des points suivants:

Les Températures: Tous les matériaux utilisés ont une bonne tenue aux températures moyennes de service,

76
et leurs propriétés (conductivité thermique, absorption de ...) sont évaluées à l'échelle de ces mêmes températures.

Les vitesses d'écoulement : Les fortes vitesses entraînent une accélération de la corrosion par érosion-corrosion pour certains métaux, en particulier le cuivre. Une limite de $1,2 \text{ m/s}$ est recommandée pour éviter une situation préjudiciable. On l'aura respectée.

La stagnation d'un l'écoulement en un endroit de l'installation est aussi un grand responsable de corrosion. Une disposition en pélic permet d'isoler une partie de l'installation pour des réparations en général et des vidanges en particulier.

La conception du circuit : La conception et la géométrie du système doivent combler un certain nombre de problèmes. La purge au point bas du réservoir de même que l'aérateur (air vent), permet d'éviter la corrosion par cause des dépôts en rendant possible des nettoyages et vidanges régulières.

Notons que la forme des canalisations et des joints est réglementée par le même souci. Un écoulement sans nœuds et partout quasiment accessible est recherché.

77

Nous suggérons au futur installateur la consultation de la publication de l'AFEDES sur l'entretien des installations solaires aux éditions européennes "Thermique et Industrie" (2, rue des Tanneries 75013 - Paris).

Nous suggérons en outre quelques opérations de vérification avant démarrage et de contrôle et maintenance annuelles.

Au niveau des capteurs :

- Vitrage : respecter le jeu de dilatation du verre
- Joints : s'assurer de l'étanchéité éliminer la possibilité de rétention d'eau.
- Bac support : Bonne fixation des supports aération du coffre (on fera un petit trou sur une paroi latérale)

On couvrira les capteurs jusqu'à leur mise en service. Tous les assemblages utiliseront des vis plutôt que des clous.

On évacuera régulièrement l'eau de ruissellement éventuelle dans l'environnement des capteurs.

Au niveau du circuit de captage:

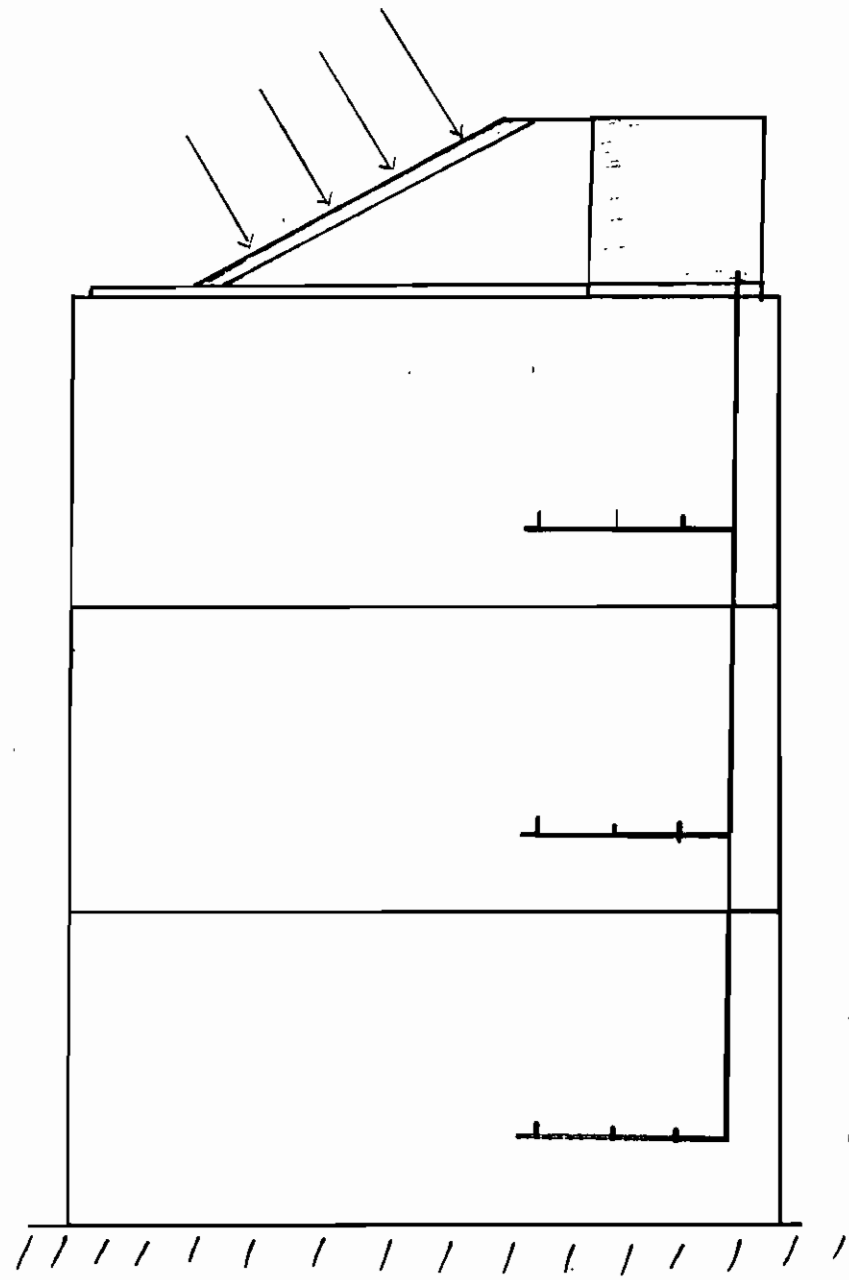
- On procédera à un rinçage périodique au détergent non corrosif avec des débits élevés.
- On procédera à l'éprouvage de toutes les soudures à environ 15 bars.
- On mesura régulièrement le débit de la pompe et on réglera les vannes.
- On procédera à l'équilibrage du réseau à l'aide des vannes et des mesures de températures à la portée des capteurs.

Au niveau du fluide circulant:

- mesure du P H
- mesure de la teneur en sels minéraux.

Mode d'emploi:

Etablir une plaquette des incidents survenus des réparations effectuées et des précautions à prendre.



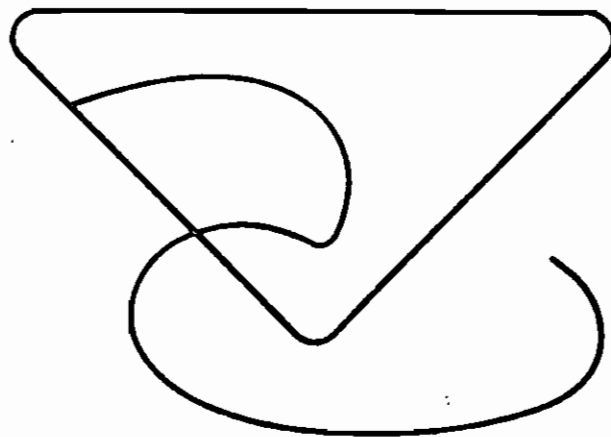
Système de distribution

Ch. VI

—

ETUDE

ECONOMIQUE



L'étude économique recoupe le calcul des coûts d'installation et d'opération. On interprétera le résultat obtenu sur le coût annuel et partir de comparaisons.

D'abord, en le comparant avec le coût d'une installation de chauffage à l'électricité qui devrait satisfaire les mêmes besoins. On verra ainsi dans quelle mesure, une fois que le chauffage des douches est un objectif, une installation de captage est plus opportune par rapport à une installation électrique.

Ensuite, en le comparant avec le coût d'une installation classique du même genre. Des sociétés spécialisées dans le domaine, réalisent des installations solaires à des prix fixes. Il est possible d'estimer dans quelle mesure on sauve de l'investissement en utilisant notre conception propre.

Nous suggérons par la même occasion d'éventuels fournisseurs des matériaux et éléments dont nous avons besoin pour l'installation. Ces derniers sont le plus souvent la source des prix indiqués.

A - cout initial

82

Designation	Caractéristiques	Fournisseurs (ev)	Coût (FCFA)
<u>i] - Capteurs</u>			
- bois (contreplaqué)	épaisseur : 10 mm Surface : 122x146	S.O.A (rte de Rufisque)	6 800
- Cornières	20 x 20 x 3, 2 unités puit environ 5 m	-	3 574
- Isolation	mousse de polyuréthane ± 12,6 m d'épaisseur	NSOA (dept: SPE)	6 000
- Tuyauterie	7 x 2 m en 8/10 de cuivre 2 x 2 m en 10/10 de cuivre		11 900 4 000
- Tôle ondulée	2 x 0,90 m		1 100
- Guillage			500
- Vitrage			18 400
- Divers			5 000
Total capteur			: 55 274
Total capteurs			: 884 384

ii) Reservoir de stockage

- Reservoir	fût de 1200 x 2330 mm en tôle galvanisée avec sertissage des jointures testé à 10 bars bien placer les ouvertures (pour la ty- -pauvrière et l'entretien)	ELMA FUMON ou Mantentien Africaine	17 000
- Isolation	30 cm de polyuréthane avec vernis de résine et fibre de verre	H.S.O.A (dept SPE)	20 000
- Enduits	enduit à base de bitume d'application à froid du type FLINTKOTE		2670
Total reservoir			39 670
			83

iii) Circulateur

- Pompe	environ 50 w	Duyrissoe	70 000
---------	--------------	-----------	--------

iv) Tuyauteries exterieures

Conduites	$\phi = 24 \text{ mm}$	PVC	BERNABE	2700
T1 et T9'	$L = 9 \text{ m}$	"		
T3' et T8'	$\phi = 18 \text{ mm}$	"		840
	$L = 3 \text{ m}$	"		
T2+T8+T7	$\phi = 16 \text{ mm}$	"		1300
	$L = 5,2 \text{ m}$	"		
T6	$\phi = 10 \text{ mm}$			528
	$L = 2,2 \text{ m}$			
Isolation	3 cm de polyuréthane battigonné de laine et de fibres de verre		MSOA-SPE	9000

Total tuyauterie : 14 368

v) Accessoires

- Vanne 3-voies	-	SOFRETES - MANGIN (FRANCE)	60 000
- Vannes et raccordements	-	BERNABE PEYRASSAC	30 000

Total accessoires : 90 000

vi) Charpente métallique

Total charpente : 90 000

vii) Distribution & alimentation

tuyauterie	$\phi = 26\text{mm}$ $L = 35\text{m}$	-	11 900
Robinet mélangeur	18 ou 15/2, avec raccord	-	105 120
(Papet anti-retour)	-	-	9

Total distribution = 120 000

Total coût installation : 1 238 422

B. cout d'opération

Le cout d'opération de notre installation me réclame régulièrement que les frais de fonctionnement de la pompe de 50W. Cette dernière fonctionne 13 heures par jour environ, 31 jours par mois et 10 mois dans l'année.

puissance installée : 50 W

heures de marche : $13 \times 31 \times 10$

puissance consommée: 201,5 kWh

Coût d'opération annuel: 13 664 CFA

C - chauffage électrique

Le chauffage électrique équivalent devrait satisfaire les besoins évalués. On prendra alors les valeurs du tableau de la fiche technique N° 3 relative à la charge du système (page :)

On arrive à un besoin en énergie annuel de :

$$\underline{Q_u(\text{annuel}) = 14,67 \cdot 10^6 \text{ kcal}}$$

soit

$$\underline{Q_u = 17\,000 \text{ kWh}}$$

En utilisant le même coût en kilowattheure consommé (67.81 F) qui correspond au coût SENELEC de la première tranche (prix le moins élevé) on a :

$$\underline{\text{Coût annuel} : 1\,152\,770}$$

Le coût devrait, rigoureusement, plutôt, être comparé au coût total de notre installé diminué du coût du réservoir, de la pompe et de la tuyauterie de distribution qui sont communs aux deux installations, le dernier coût ne serait plus que de :

$$\underline{1\,022\,416 \text{ FCFA}}$$

En moins d'un an nous récupérerons le coût équivalent électrique!

D - installation classique

88

Cette seconde comparaison ne peut avoir un caractère aussi rigoureux que la première. En vérité il s'agirait pour cela d'analyser une proposition de la Sinaes - Daquerre sur le cas à l'étude. Mais on peut, en utilisant les coûts moyens qu'ils utilisent (Les installateurs telles que la Sinaes Daquerre), avoir une estimation de cette proposition. On a :

Coût de captage	: 60 000 F/m ²
Coût de stockage	: 600 000 F/les 2000 l
Circulateur	: 80 000 F
<u>Tuyauterie et accessoires</u>	: 5% du coût total

On arrive après sommation à un coût d'installation de l'ordre de 2 415 000 FCFA

Soit dans l'ordre de deux fois nos coûts propres. Notons que les capteurs sont le plus souvent importés. Mais on voit que dans les perspectives d'une installation probable, la question ne se pose plus de savoir quel système est le plus économique.

VII - Conclusion

S'il s'agit de conclure cette étude, on ne peut prétendre mettre terme à l'installation d'un système de chauffage solaire pour les douches des étudiants.

L'étape de l'installation elle-même est d'évidence un point non couvert encore. Mais il y a par ailleurs des éléments d'étude à compléter et d'autres à affiner dans la présente étude. Cette dernière cependant, nous avons pris la responsabilité de la dimensionner à l'échelle du temps mis à sa disposition. C'était une question de réalisme, d'autant plus logique que même un temps infini d'une étude aux ambitions d'exhaustivité ne mettra jamais en cause la fécondité d'une autre participation, d'un autre complément.

C'est ainsi que deux points essentiels devront être médités de façon plus approfondie. La question du système de distribution n'est que succinctement évoquée. Il s'agit d'y mener un calcul plus précis qui tiendra compte notamment de la plomberie existante et des pressions de service.

La question de la position sur le bâtiment de notre installa-

tion relative de la vérification de la structure du bâtiment. C'est un retour aux plans de construction et une étude des hypothèses et méthodes de calcul utilisées par les designers. C'est une étude fort intéressante que malheureusement un autre devra faire à notre place. Votre installation cependant dans sa forme actuelle et apte à occuper n'importe quelle position sur le toit des bâtiments. Il y a eu, en fait, dans cette étude que nous avons menée avec conviction, d'autres points dont nous aurons plaisir à apprendre le perfectionnement.

L'installation d'un chauffe-eau solaire améliorera un confort certain dans la vie des étudiants. Cela explique l'intérêt qui leur ont unanimement porté à ce projet. Et cela est du reste légitime. Face à cela il est sûr que l'investissement impliqué ne peut être une perte. Il faudrait pour satisfaire l'ensemble des trois bâtiments où résident actuellement les étudiants, un investissement de 3 500 000. Nous pourrions fort bien que le projet soit approuvé. Nous sommes, en cela, l'écho du groupe de professeurs qui, il y a un an, avait manifesté le même désir.

L'installation permet d'autres perspectives. En réalité la présence de l'école Polytechnique dans le

monde du polaire n'être de l'évidence. S'il ne s'agit pas dans un premier temps de se voir monopole du savoir en ce domaine, il est nécessaire pour une initiation de cette envergure de "se faire la main" dans l'installation solaire. Cela est un minimum, la réalisation de ce projet est de la même échelle.

Beaucoup d'avis nous ont été transmis par les cadres de services que nous avons eu à consulter sur la question de l'école Polytechnique face à l'énergie solaire. Tout le monde se résout à la nécessité d'une initiative dans ce sens. Nous (E.P.T.) suggérons dans un premier moment, un élargissement de la bibliothèque de l'E.P.T. dans le domaine du polaire (nous transmettons la liste de nos références). Mais il y a aussi cette idée de l'installation d'une station de radiométrie à l'école dans le sens de baser nos études sur nos données propres et de contribuer à l'établissement d'une banque de données à l'échelle de la région.

Que Dieu conduise l'école Polytechnique!

Liste des annexes

- Annexe 1 : Calcul du coefficient de
déperdition thermique global
- Annexe 2 : Profil de consommation
annuel d'eau chaude sani-
-taire en europe
- Annexe 3 : Données de T_a
- Annexe 4 : Données de S
- Annexe 5 : Données CERER
- Annexe 6 : fiche formulaire d'enquête.

Liste des figures

- figure 1 : Schema d'installation
- figure 2 : Données CERER
- figure 3 : fiche formulaire d'enquête

Annexe 1 : Calcul du coefficient de déperdition thermique

1. Le coefficient de déperdition thermique global tient compte des pertes par l'isolation et des pertes par la face avant vitrée.

$$U_L = U_b + U_t$$

$$U_b = \frac{1}{R_b} = \frac{k}{L} = \frac{\text{Conductivité thermique de l'isolant}}{\text{Épaisseur de la couche isolante.}}$$

Le calcul de U_t est autrement plus laborieux. Il se base sur le calcul du flux de chaleur à travers le vitrage en tenant compte de la température de l'absorbeur, des caractéristiques du vitrage et des paramètres atmosphériques.

Nous recommandons la référence 1 pour une plus grande compréhension de la théorie. On a, d'après les analyses de M^r Duffix et Beckmann

$$U_t = \left(\frac{N}{(344/T_p) [(T_p - T_a)/(N+f)]^{0,81} + \frac{1}{hw}} \right)^{-1} + \frac{\sigma (T_p + T_a) (T_p^2 + T_a^2)}{[\varepsilon_p + 0,0425 N (1 - \varepsilon_p)]^{-1} + [(2N+f-1)/\varepsilon_g] - N}$$

①

avec $N =$ nombre de vitrage

$hw =$ coefficient de pertes dues au vent.

$$= 5.7 + 3.8 \times 4 \text{ m/A}$$

$$= 20.9$$

$$f = (1.0 - 0.04 hw + 5.0 \times 10^{-4} hw^2) (1 + 0.058 N)$$

$$= (1.0 - 0.04 \times 20.9 + 5.0 \times 10^{-4} (20.9)^2) (1 + 0.058 \times 4)$$

$$= 0.404$$

$\epsilon_g =$ facteur d'émission du verre.

$\epsilon_p =$ facteur d'émission de l'absorbeur

$\sigma =$ constante de Boltzmann

$T_a =$ température ambiante

$T_p =$ température supposée de l'absorbeur.

2 - Détermination de T_p

On définit le facteur F à partir de l'expression de l'efficacité d'une ailette à section rectangulaire.

On montre voir ref (1)

que

$$F = \frac{[\tanh m(w-d)/2]}{m(w-d)/2}$$

où

$$m = \left(\frac{U_L}{kS} \right)^{1/2}$$

k = Conductivité thermique de l'absorbeur.

δ = épaisseur

W = distance entre conduites

D = diamètre d'une conduite.

On définit le facteur d'efficacité du premier ordre F' comme le rapport entre le gain de chaleur actuel et celui du capteur si l'absorbeur était à une température moyenne uniforme.

On (ref 1)

$$F' = \frac{1/U_L}{W \left[\frac{1}{U_L [D + (W-D)F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_{f,i}} \right]}$$

avec $C_b = \left(\frac{kL}{\gamma} \right)$ est le coefficient de déperdition relatif à la soudure. On peut l'approximer de l'ordre de l'unité

$$\frac{1}{C_b} \approx 0,03$$

$h_{f,i}$ est le coefficient de transfert de chaleur entre le fluide et les parois des conduites

D_i = diamètre des conduites

On définit le facteur d'efficacité du second ordre F_R comme le rapport entre le gain actuel de chaleur et celui du capteur si l'absorbeur était uniformément à la température de l'eau d'alimentation. on a (ref 1):

$$F_R = \frac{GC_p}{U_L} \left(1 - e^{-[U_L F' / GC_p]} \right)$$

avec $GC_p = 70 \times 0,998 \times 1,16 = 81,1$

Le débit de chaleur récupérée au capteur est défini par

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_{f,i} - T_a)]$$

où S est l'énergie reçue par le plan de l'absorbeur, en moyenne $S = 500 \text{ cal/h cm}^2 = 5805 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$

$T_{f,i}$ = température du fluide à l'admission.

T_a = température ambiante.

La température du fluide à la sortie est définie par

$$T_{f,n} = T_{f,i} + \frac{Q_u / A}{U_L F_R} \left[1 - \frac{F_R}{F'} \right]$$

Et enfin la température de l'absorbeur est :

$$T_{p,n} = T_{f,n} + Q_u R_{p-f} \quad (2)$$

où $R_{p-f} = \frac{1}{h_{f,i} \pi D_i n L}$

On remarque que U_T définie par l'équation (1) (A₁-1) dépend de T_p (Température de l'absorbeur).
 D'autre part l'équation (2) (A₁-5) inclut des valeurs qui sont fonction de U_L par conséquent de U_T .
 Donc le calcul de U_L se fera par une procédure itérative qui est la suivante.

Procédure :

- 1°) Supposer une valeur pour la température de l'absorbeur (T_p)
- 2°) Calculer U_T avec l'équation (1) (A₁-1)
- 3°) Calculer $U_L = U_b + U_T$
- 4°) Calculer T_p en suivant toutes les étapes qui conduisent à l'équation (2) (A₁-5)
- 5°) Comparer cette valeur de T_p trouvée (T_p') avec celle supposée au 1°).

5°-a) Si $T_p' \approx T_p$, arrêter les itérations : la valeur de T_p supposée est bonne ainsi que U_L correspondante.

5°-b) Si $T_p' \neq T_p$ reprendre les itérations (à partir de l'étape 2°) en remplaçant T_p par T_p'

Exemple de Calcul.

$$N = 1 \quad h_w = 20.9 \quad f = 0.404$$

$$\varepsilon_g = 0,88 \quad \varepsilon_p = 0,94 \quad \sqrt{\varepsilon} = 5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2 \cdot K^4}$$

$$T_a = 28^\circ C = 301^\circ K$$

1°) On suppose une valeur de $T_p = 80^\circ C = 353^\circ K$

$$\begin{aligned} 2^\circ) U_t &= \left[\frac{1}{(344/353) [(353-301)/(1+0,404)]^{0,71} + \frac{1}{20,9}} \right]^{-1} \\ &+ \frac{5.67 \times 10^{-8} (353+301) (353^2+301^2)}{[0,94+0,0425(1-0,94)]^{-1} + [(2+0,404-1)/0,88]^{-1}} \\ &= 5.17 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \end{aligned}$$

on a évalué $U_b = 0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

3°) donc $U_L = 5.57 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

$$4^\circ) \quad k = 110.3 \quad \delta = 0,0015 \quad D = 0,01 \quad W = 0,02$$

$$m = \left(\frac{5.57}{110.3 + 0,0015} \right)^{1/2} = 0.2248$$

$$F = \frac{\tanh 0.2248 (0,02 - 0,01)/2}{0.2248 (0,02 - 0,01)/2} = 1$$

$$\frac{1}{C_b} = 0,03 \quad h_{f,i} = 1500 \quad D_i = 0,008$$

$$F' = \frac{1/5,57}{0,02 [5,57 (0,01 + 0,01 \times 1)]^{-1} + 0,03 + (\pi \times 0,008 \times 1500)^{-1}} = 1$$

$$GC_p = 70 \times 0,998 \times 1,16 \approx 81,1$$

$$F_R = \frac{81,1}{5,57} \left[1 - e^{-[5,57/81,1]} \right] = 0,9664$$

$$S = 500 \text{ cal/h cm}^2 = 5805 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

$$T_{f,i} = \text{temperature du fluide à l'admission} \\ = 24^\circ\text{C}$$

$$T_a = 28^\circ\text{C} \quad A = 1,8$$

$$Q_u/A = 0,9664 [5805 - 5,57 (24 - 26)] = 5631,498$$

$$T_{f,n} = 24 + \frac{5631,498}{5,57 \times 0,9664} \left(1 - \frac{0,9664}{1} \right) = 59,13^\circ\text{C}$$

$$L = 2 \quad h = 7$$

$$R_{p-f} = \frac{1}{1500 \times \pi \times 0,008 \times 7 \times 2} = 0,001895$$

$$Q_u = 5631.498 \times 1.8 = 10136.696$$

$$T_p = 59.13 + 10136.696 \times 0,001895 = 78.34^\circ\text{C}$$

5) $T_p' = 78.34^\circ\text{C} \neq 80^\circ\text{C} = T_p$ (supposé)

donc on reprend l'iteration à partir du 2°)

Et après une deuxième iteration on trouve

$$T_p'' = 78.32^\circ\text{C} \approx 78.34^\circ\text{C}$$

Donc on peut prendre comme température de l'absorbant $T_p = 78.34^\circ\text{C}$; la valeur de U_L correspondante étant de $5.51 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$

$$U_L = 5.51 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

N.B. Nous joignons à cette annexe un programme permettant de calculer le coefficient de reproductibilité thermique global U_L avec la même procédure itérative telle que décrite en A_i-5

```

0010 REM ----- ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES
0020 REM ----- PROJET DE FIN D'ETUDE
0030 REM -----SUJET: INSTALLATION D'UN CHAUFFE EAU SOLAIRE
0040 REM -----AUTEUR: CHERIF EL OUALIDI SOW
0050 REM -----CLASSE: CINQUIEME MECANIQUE
0060 REM -----CASSETTE No15-----FICHER No5
0070 : -----
0080 : A: SURFACE
0090 : B: CONSTANTE FIGURANT DANS L'EXPRESSTON DONNANT U3
0100 : R1: CONSTANTE INTERMEDIAIRE POUR LA DETERMINATION DE R
0110 : B2: CONSTANTE INTERMEDIAIRE POUR LA DETERMINATION DE B
0120 : C1=(1/C): C=COEFFICIENT DE DEPERDITION RELATIF A LA SOUDURE
0130 : D: DIAMETRE D'UNE CONDUITE
0140 : D1: DIAMETRE INTERIEUR DES CONDUITES
0150 : E1: FACTEUR D'EMISSION DU VERRE
0160 : E2: FACTEUR D'EMISSION DE L'ABSORBEUR
0170 : F1: UNE FONCTION DE H1 ET N
0180 : F2: FACTEUR DEFINI A PARTIR DE L'EFFICACITE D'UNE AILETTE
0190 :                                RECTANGULAIRE
0200 : F3: FACTEUR D'EFFICIENCE DU PREMIER ORDRE
0210 : F4: FACTEUR D'EFFICIENCE DU SECOND ORDRE
0220 : G: CONSTANTE ENTRANT DANS LE CALCUL DE F4
0230 : H1: COEFFICIENT DE PERTES DUES AU VENT
0240 : K: CONDUCTIVITE THERMIQUE DE L'ABSORBEUR
0250 : L: EPAISSEUR
0260 : L1: LONGUEUR DE LA CONDUITE
0270 : M:  $M = ((U3 / (K * L)) + .5$ 
0280 : N: NOMBRE DE VITRAGE
0290 : N1: NOMBRE DE CONDUITE
0300 : Q1: DEBIT DE CHALEUR PAR UNITE DE SURFACE
0310 : Q2: DEBIT DE CHALEUR
0320 : R:
0330 : S: CONSTANTE DE BOLTZMAN
0340 : S1: ENERGIE RECUE SUR LE PLAN DE L'ABSORBEUR
0350 : T1: TEMPERATURE AMBIANTE
0360 : T2: TEMPERATURE DU FLUIDE A L'ADMISSON
0370 : T3: TEMPERATURE DU FLUIDE A LA SORTIE
0380 : T5: NOUVELLE VALEUR DE T
0390 : U1: COEFFICIENT DE PERTES PAR L'ISOLATION
0400 : U2: COEFFICIENT DE PERTES PAR LA FACE VITREE
0410 : U3: COEFFICIENT DE DEPERDITION THERMIQUE GLOBAL
0420 : W: DISTANCE ENTRE CONDUITES
0430 REM -----CALCUL DE COEFFICIENT DE DEPERDITION THERMIQUE
0440 REM -----                                GLOBALE
0450 PRINT FLP, '                                ANNEXE_No1
0460 PRINT FLP,
0470 PRINT FLP, 'CALCUL DU COEFFICIENT DE DEPERDITION THERMIQUE';
0480 PRINT FLP, ' GLOBAL'

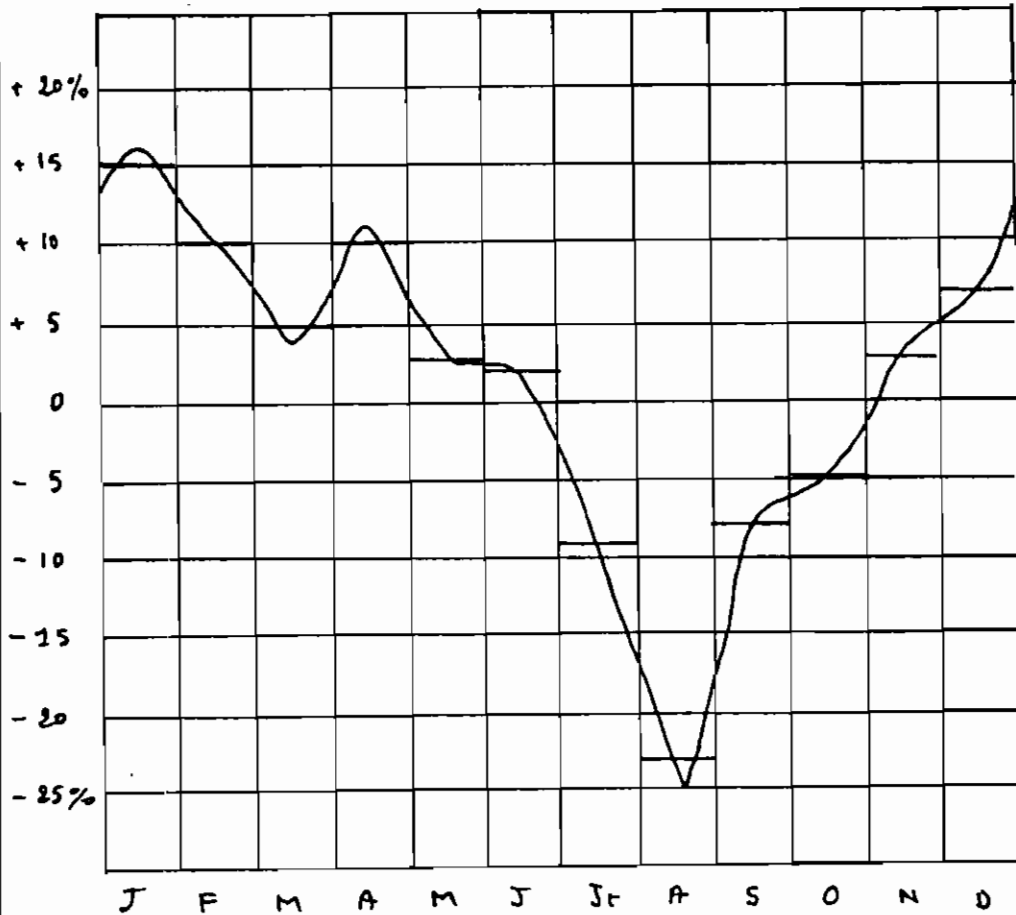
```

```

0490 PRINT FLP.
0500 PRINT FLP.          RESUL TATS
0510 PRINT FLP.
0520 PRINT FLP. '|-----|-----|-----|-----|
0530 PRINT FLP. '|TAB(3); 'NOMBRE'TAB(13); '|TAB(17); 'TEMPERA';
0540 PRINT FLP. '|TURE'TAB(30); '|TAB(33); 'COEFFICIENT'TAB(46); '|
0550 PRINT FLP. '|TAB(3); '|D' LITERAT'TAB(13); '|TAB(15); 'DE L'';
0560 PRINT FLP. '|ABSOB'TAB(30); '|TAB(33); 'UE DEPERD='TAB(46); '|
0570 PRINT FLP. '|TAB(5); '|(1)'TAB(13); '|TAB(20); '|(T)'TAB(30);
0580 PRINT FLP. '|TAB(36); 'U3'TAB(46); '|
0590 PRINT FLP. '|-----|-----|-----|-----|
0600 U1=.4
0610 REM CALCUL DE U2 AVEC L'EQUATION
0620 N=1
0630 H1=20.9
0640 F1=.404
0650 E1=.88
0660 E2=.94
0670 S=5.67*10^(-8)
0680 T1=301
0690 B1=(E2+(.00425*N*(1-E2)))^(-1)
0700 B2=((2*N)+F1-1)/E1-N
0710 B=B1+B2
0720 PRINT 'INSCRIRE LA VALEUR SUPPOSEE DE La TEMPERATURE '
0730 PRINT 'DE L' ABSORBEUR(CETTE VALEUR DOIT ETRE >A 300°K'
0740 INPUT T
0750 J=1
0760 U2=FNA(T)+(FNB(T)/B)
0770 REM ----- SOUS PROGRAMME DEFINISSANT U2
0780 DEF FNA(T)=(N/((344/T)*(((T-T1)/(N+F1))^3.1)))+(1/H1)^(-1)
0790 DEF FNB(T)=S*(T+T1)*(T^2+T1^2)
0800 REM ----- CALCUL DE U3
0810 U3=U1+U2
0820 REM ----- IMPRESSION DES RESULTATS
0830 PRINT USING FLP,0840,T,U3
0840 :|   ###   |   ###.##   |   ####.###   |
0850 REM ----- CALCUL DE LA NOUVELLE VALEUR DE T
0860 REM -----1- CALCUL DU FACTEUR F2
0870 K=110.3
0880 L=.0015
0890 W=.02
0900 D=.01
0910 M=(U3/(K*L))^1.5
0920 F2=(HTN(M*(W-D)/2))/(M*(W-D)/2)
0930 REM -----2- CALCUL DU FACTEUR D'EFFICIENCE DU PREMIER ORDRE
0940 C1=.03
0950 H2=1500
0960 D1=.008
0970 F3=(1/U3)/(W*(1/(U3*(D+(W-D)*F2))+1/C1+1/(&PI*D1*H2)))
0980 REM -----3- CALCUL DU FACTEUR D'EFFICIENCE DU SECOND ORDRE
0990 G=70*.998*1.16
1000 F4=(G/U3)*(1-EXP(-(U3*F3/G)))
1010 REM -----4- CALCUL DE Q1
1020 S1=5805

```


Annexe 2 : Profil de consommation annuel
d'eau chaude sanitaire en Europe



Annexe 3 : Données de Température
ambiante pour une ville d'Europe

Janvier	3°2
Février	4°1
Mars	7°7
Avril	10°9
Mai	14°6
Juin	17°6
Juillet	19°4
Aout	19°
Septembre	16°6
Octobre	11°6
Novembre	7°1
Décembre	4°1

Annexe 4 : Donnée sur la déclinaison du soleil

période	Déclinaison du Soleil en degré et dixième	période	Déclinaison du Soleil en degré et dixième
Janvier 1	- 23,1	Juin 1	+ 21,9
11	- 21,9	11	+ 23,0
21	- 20,1	21	+ 23,6
Février 1	- 17,3	Juillet 1	+ 23,2
11	- 14,3	11	+ 22,2
21	- 10,9	21	+ 20,7
Mars 1	- 7,9	Août 1	+ 18,3
11	- 4,1	11	+ 15,5
21	- 0,1	21	+ 12,6
Avril 1	+ 4,2	Septembre 1	+ 8,6
	+ 8,0	11	+ 4,9
	+ 11,6	21	+ 1,1
Mai 1	+ 14,8	Octobre 1	- 2,8
	+ 17,7	11	- 6,7
	+ 20,0	21	- 10,6

Annexe 5 : Données

Données du centre d'études et de recherche
sur les énergies renouvelables (C.E.R.E.R)


Les données du centre Henri MASSON de Dakar
(C.E.R.E.R) sont à la base de presque tous nos calculs.
Nous avons tenu à présenter en annexe une feuille de
relevés de température ambiante et une feuille de relevés
de radiation globale. (voir fig 2)

Annexe 6 : Données d'enquête

Une petite enquête (pour un échantillon-
nage) a été citée dans notre étude. Elle avait été organisée
dans le but de déterminer le profil des douches des
étudiants autant journalier qu'annuel.

Nous publions un exemplaire des fiches-somma-
ires d'enquête. (voir fig. 3)

Liste des références

- 1 - Solar Energy Thermal Processes
J.A. Duffie - W.A. Beckmann - Wiley Interscience
 - 2 - Solar Heating of buildings and domestic hot water
E.J. Beck et al U.S Department of commerce
 - 3 - Calculs d'installations solaires à eau
M. Chateauminois - D. Mandineau - D. Roux - Edisud. Paris
 - 4 - Pompes
A. Godin & Legault, notes de cours E.P.T
 - 5 - Transfert de chaleur
M. Petiteau, notes de cours E.P.T
 - 6 - Code de Plomberie du Québec 1980
- 

RENSEIGNEMENTS CLIMATOLOGIQUES DECADEAIRES

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT

PERIODE DU 11 AU 20 Avril 1968

SERVICE METEOROLOGIQUE

- à MM. Le Directeur des Pétroles B.P. 59 DAKAR.....(1)
Le Directeur des Brasseries de l'Ouest Africain
Boîte Postale N° 290DAKAR.....(1)
Le Chef du Service d'HygièneDAKAR.....(1)
Le Chef du Centre de Transfusion Sanguine
DAKAR - FANN.....DAKAR.....(1)
Le Chef du Laboratoire du CEA Faculté des Sciences
Boîte Postale 476.....DAKAR.....(1)
The Ibrary and Documentation Center The International
Rice Research Institute P.O. Bor 933 (1)
Manila, Philippines

1. — PLUIES

DAKAR-YOFF mm jour

DAKAR-YOFF HANNI mm jour

2. — VENT MAXIMAL DAKAR-YOFF

VITESSE 10 ms

Direction Observé le 11 à 1147 TU

3. — TEMPERATURE EN DEGRES C. ET

D A T E S	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DAKAR - YOFF										
Maximales	23.5	24.2	24.4	24.0	23.3	23.6	24.6	26.8	24.4	28.0
Minimales	17.5	17.8	18.6	18.3	17.2	16.8	16.8	17.0	17.6	18.5
DAKAR - HANN										
Maximales	23.5	24.0	25.2	24.1	24.0	24.0	26.4	27.8	25.8	30.6
Minimales	17.2	17.6	18.5	18.2	17.0	17.2	17.0	16.7	15.2	18.1

4. — HUMIDITES RELATIVES EN %

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
DAKAR - YOFF										
Maximales	96	92	90	90	100	98	100	94	91	92
Minimales	65	66	59	55	56	71	66	42	69	49

5. — PHENOMENES REMARQUABLES A DAKAR-YOFF

- Pluie : LE (s)
- Orage : LE (s)
- Eclairs sans tonnerre : LE (s)
- Bruno sèche : LE (s) 14
- Brouillard : LE (s)
- Rosée : LE (s) 11 - 16 - 17

DAKAR, LE
Le Chef du Service Météorologique

[Signature]

Radiation globale

Moyennes horaires mensuelles en cal/cm²/h

de 1967 à 1969

Mois	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Janvier	2,67	2,31	28,05	41,07	54,31	62,02	65,77	7,43	42,67	34,63	12,53	12,66	0,00	
Février	2,04	26,34	34,20	51,46	65,46	72,13	74,70	61,22	59,07	43,27	25,08	7,23	0,00	
Mars	5,30	24,16	46,97	61,10	73,20	87,84	88,83	52,10	69,83	51,68	31,04	3,71	2,71	
Avril	10,17	29,21	50,22	64,75	77,64	84,86	85,70	49,16	66,90	48,55	27,22	7,95	0,50	
Mai	12,40	30,13	43,55	64,60	76,04	81,52	81,23	48,34	61,24	46,79	28,26	10,40	1,46	
Juin	14,16	32,34	44,74	60,29	72,03	76,69	77,35	31,04	60,30	44,11	29,43	12,09	2,15	
Juillet	8,21	22,36	36,61	43,27	60,30	64,07	63,56	62,69	57,20	44,73	23,04	13,09	2,43	
Août	7,71	20,43	35,06	47,46	60,47	61,82	64,71	38,10	50,04	33,43	27,04	8,22	1,64	
Septembre	7,40	20,37	36,33	49,46	54,76	59,36	59,05	36,63	42,42	36,47	20,93	6,94	2,54	
Octobre	6,62	21,25	36,01	49,22	61,41	62,09	61,99	60,13	47,14	34,21	10,80	2,83	0,08	
Novembre	5,26	21,50	31,01	42,23	61,63	66,03	62,54	57,57	44,92	22,41	12,00	1,84	0,00	
Décembre	3,25	15,31	32,72	47,51	57,22	63,25	62,43	55,34	44,92	29,29	12,42	3,13	0,00	

Ecole Polytechnique Thies

période: 15 - 12 - 80

Projet de fin d'études...

Batiment: 113

Chauffe-eau solaire

Cherif E.O Sow

Etage : 0

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
5 ^h 53	X X X X X X V X X 11	X X X X X X X 9	X X X X X X 6	X X X X X X 8	X X X X X 5	X X X X X X X X X 10	X X X X 4
Matinée							
19 ^h	X						
30	X X X X X X 6	X X X 3	X X X 5	X 1	X X 2	X X X X 4	X X X X 9
Journée							
17 ^h							
73	X 20	X X X X X X X X X X X X X X X X 19	X X X X X X X X 7	X X X X X X X X X X X X X X X X 15	X X X X X X X X 9	X 1	X X 2
Soirée							

Note explicative: Des données recueillies serviront à établir la répartition des données des étudiants pour l'installation d'un chauffe-eau solaire.
Vous mettez une croix dans le carreau correspondant à votre passage.
Merci