

École Polytechnique de Chiés

Projet de fin d'études

Sm. 0304

Titre: Intégration des énergies
nouvelles et renouvelables dans les
infrastructures des Forces Armées.

Auteur: Papa Sidy ARIS

Directeur interne: M^r Papa Mody. NDIAYE (Professeur à E.P.T)

Directeur externe: M^r Luc HOANG GIA (Ingénieur au C.E.R.E.R)

Mai 1985

A

Mes parents pour leur assistance à la fois constante et désintéressée surtout pendant les périodes les plus dures que j'ai connues.. durant toute ma formation

Mes condisciples dont la cohabitation pendant toute la durée de notre formation aura été très riche en enseignements.

Mes chers dont le soutien moral aura été pour beaucoup dans l'aboutissement de cette présente étude.

Remerciements.

Il m'est très agréable d'adresser mes sincères remerciements à :

M^r Papa Mody NDIAYE mon directeur de projet interne dont les conseils ont été déterminants quant à la prise d'importantes décisions.

M^r Luc HOANG GIA ingénieur au CERER, mon directeur de projet externe dont la sollicitude aura été exemplaire tout au long de cette étude

M^r André WOLSKI chef de département du génie Mécanique de l'E.P.T pour le prêt des innombrables documents sur l'énergie solaire.

Au Colonel Mohamadou KEITA directeur du génie et de l'infrastructure militaire pour m'avoir facilité le déplacement et l'hébergement à Ourossogui

A tout le personnel du CERER et du Génie militaire de leur soutien surtout matériel sans commune mesure.

TABLE DES MATIERES

Introduction	1
Partie A - Conversion Electrique	5
I - Pompage Photovoltaïque	6
1 ^o - Estimation des besoins en eau	6
2 ^o - Caractéristiques du forage	7
3 ^o - Détermination de la hauteur manométrique	9
a. calcul des Pertes de charge.	10
i) Pertes dans le tuyau de 2"	11
ii) Pertes dans le tuyau de 80/90 PVC	13
b. Détermination de la hauteur géométrique.	14
4 ^o Calcul de La Puissance Hydraulique.	14
Catalogues de Grundfos	16
II - Eclairage - Ventilation - Réfrigération.	19
1 ^o - Evaluation des Besoins énergétiques	19
a) Eclairage	20
b) Réfrigération	20
c) Ventilation	21
d) Schéma de l'installation	22
III - Calcul de la Puissance crête	26
1 ^o - Données d'ensoleillement	26
2 ^o - Calcul de l'énergie totale	29
calcul de la puissance crête	32
3 ^o Dimensionnement de La batterie	34

4°	Recommandations	35
Partie B - Conversion Thermique		38
<u>IV</u> - Chauffe-eau solaire		39
1°	Généralités	39
2°	Évaluation des besoins énergétiques	43
	a) Infirmerie	44
	b) Cuisine	44
3°	Évaluation des besoins énergétiques	47
4°	Calcul de la surface utile du capteur	49
5°	Détermination de l'épaisseur de l'isolant du Réservoir de stockage	51
6°	Principe du thermosiphon	55
Partie C - Étude Économique		57
<u>V</u> - Analyse économique.		58
1°	Système photovoltaïque	59
2°	Chauffe-eau solaire	62
Partie D - Conclusion.		63 a
<u>VI</u> Conclusion.		63 b
Annexes.		68
Annexe 1: EFFET photovoltaïque		69
Annexe 2: Caractéristiques des Photopiles		74
Annexe 3: Étude théorique du thermosiphon		79
BIBLIOGRAPHIE		87

SOMMAIRE

Cette présente étude parrainée le CERER marque le démarrage d'une nouvelle politique d'intégration des énergies nouvelles et renouvelables dans les infrastructures en site isolé des Forces Armées.

A cet effet le site pilote qui sera l'objet de la matérialisation de cette nouvelle politique de l'Armée Nationale est le camp militaire de Ourossoqui.

Il s'agira donc dans cette étude de faire le dimensionnement d'un générateur photovoltaïque qui assurera par le biais d'une motopompe l'exhaure de l'eau à partir d'un forage déjà existant et aussi une mise en marche de réfrigérateurs, de ventilateurs, de lampes, et cela en dehors des heures de fonctionnement du groupe électrogène dont la durée de marche n'est que de deux heures par jour.

Dans une deuxième partie se fera une étude de design de chauffe-eau solaire dont l'un sera utilisé à l'infirmerie et l'autre à la cuisine.

Dans une dernière partie une étude économique sera donc faite pour une estimation globale de tous les coûts du projet.

INTRODUCTION

Il ne fait plus de doute que les énergies nouvelles et renouvelables constituent une des alternatives sur lesquelles des Pays non nantis et ne comptant sur aucune forme d'énergie traditionnelle doivent compter pour résorber une partie de leurs problèmes énergétiques.

Au moment où les énergies traditionnelles telles que le pétrole ne cessent d'imposer leur loi sur le marché, il convient de reconnaître que la pratique de la monoculture de cette forme d'énergie n'est pas de nature à rendre moins aigue cette crise sempiternelle. Ainsi donc une solution s'impose avec acuité.

L'armée faisant sienne cette inquiétude a donc compris qu'une intégration adéquate des énergies renouvelables dans ses infrastructures est une des solutions les plus salutaires.

Et à cet effet le génie militaire a défini deux programmes d'équipement pour les unités militaires en site isolé :

Programme I : Secteur du Bâtiment

- eau chaude
- chambre froide.
- pompage d'eau

Programme II : Alimentation électrique.

Ces programmes sont prévus dans les sites suivants:

Zône Est : Tambacounda - Bakel

Zône Nord : Podor - Dodji - Ourossogui

Zône Sud : Kolda - Bignona.

Ainsi donc dans une étude préliminaire effectuée au Centre d'Etudes et de Recherches sur les Energies Renouvelables (CERER) un nouveau plan a été refait suivant les diverses possibilités des énergies renouvelables et le type devant être utilisé.

C'est ainsi que l'application de l'énergie solaire est retenue pour couvrir les besoins ci-cités vu la situation assez favorable, quant à cette forme d'énergie de tous ces sites.

Vu que le projet est très ambitieux dans sa globalité une étude limitée à un site présentant des priorités s'est donc imposée.

C'est ainsi que le choix s'est donc porté sur le camp de Ouossoqui.

Même si ce camp est branché à un groupe électrogène la production d'électricité n'y est pas continue car la durée de fonctionnement du groupe est limitée, au plus à 3 heures pour des raisons à la fois technique et économique.

Donc force est de constater, que cette présente étude n'a pas la prétention de substituer l'installation déjà existante, à une installation solaire, mais une complémentarité bien intégrée est à penser.

Et dans cette optique l'étude sera scindée en deux parties suivant le mode de transformation de l'énergie solaire:

- Partie A: Conversion électrique.

La conversion électrique sera assurée par un générateur photovoltaïque utilisé dans les domaines suivants: Exhaure de l'eau, éclairage, ventilation, réfrigérateurs.

De ces quatre domaines, l'exhaure de l'eau constitue la priorité des priorités et l'accent y sera mis pour une plus grande couverture des besoins.

- Partie B : Conversion thermique.

Il s'agit d'un chauffage d'eau par capteur plan. Cette eau chauffée est utilisée au niveau de l'infirmierie pour les bains des malades et la préparation des solutions; elle est aussi utilisée à la cuisine pour le café et le dégraissage des ustensiles.

Ce n'est que dans la dernière partie que l'aspect économique de l'étude sera traité, en comparaison des solutions énergétiques classiques.

Partie A

Conversion
& Electrique

I. POMPAGE PHOTOVOLTAIQUE.

1. Estimation des besoins.

La solution ainsi donc retenue pour assurer l'exhaure de l'eau est celle d'un groupe motopompe immergé alimenté par un générateur photovoltaïque.

Cette eau devra assurer la boisson du camp dont l'effectif global tourne autour de 150 personnes.

Si on estime la quantité d'eau nécessaire pour le bain d'une personne à 50 l et 2 le nombre de fois de prise de bain par jour, on aura donc une quantité de 1500 l pour les besoins en bain.

Quant à la quantité d'eau destinée à la boisson elle peut être évaluée à 3l/personne. Ce qui donne un volume d'eau de 450 l pour la boisson du camp. Cette valeur n'est nullement exagérée quand on sait que pendant les périodes de grande chaleur à Ourossoqui les gens boivent de façon assez considérable.

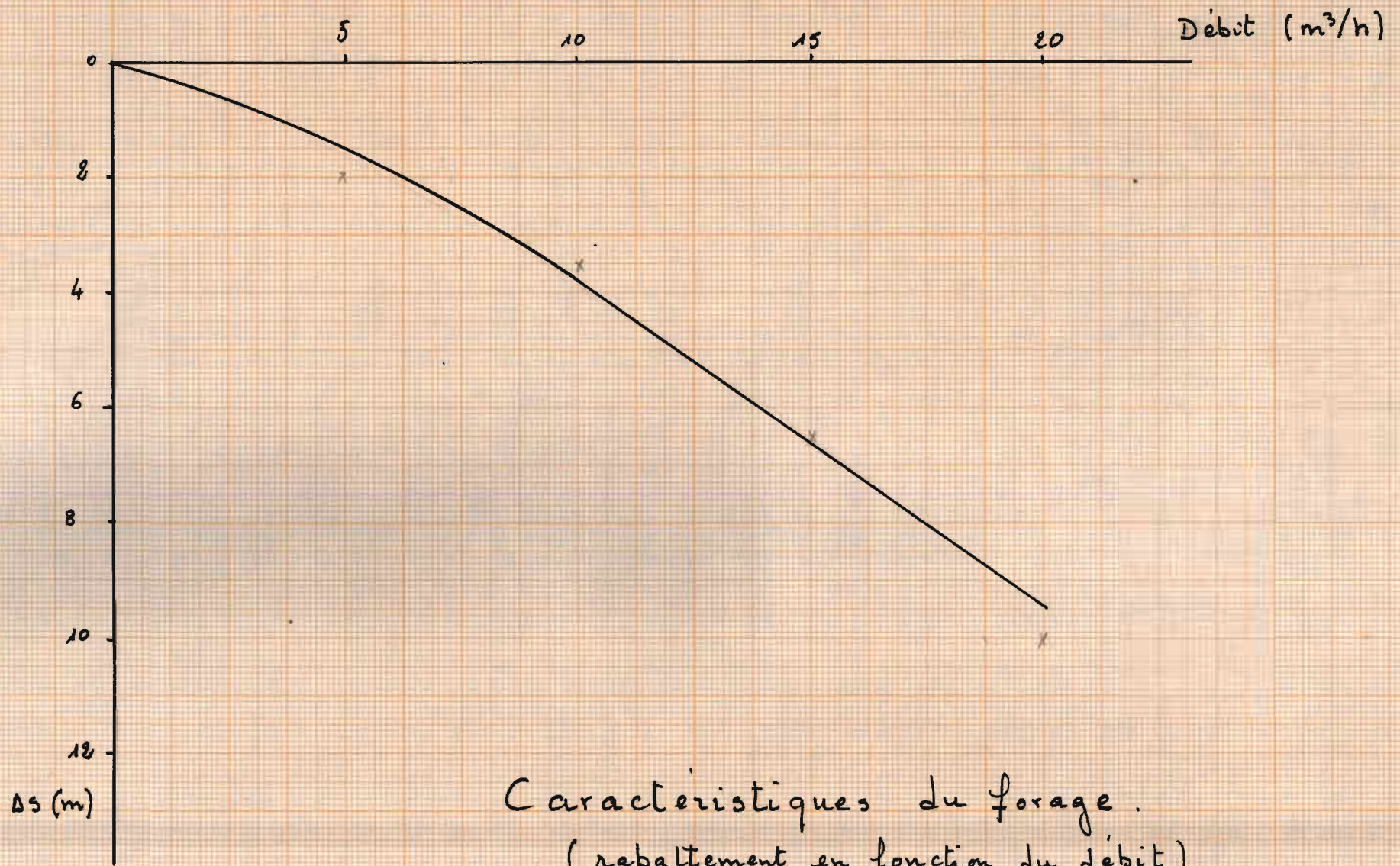
Quant aux besoins annexes tels que l'arrosage, le linge, une estimation même approximative ne serait pas assez aisée, si l'on s'en réfère à leur nature fluctuante. Cependant une quantité d'eau non moins considérable leur sera donc réservée.

Si l'on part du fait que s'il arrive que le château d'eau et tous les réservoirs sont remplis pendant les périodes exceptionnelles de fonctionnement prolongé du groupe électrogène sur lequel est branchée la pompe alors tous les besoins en eau seront satisfaits pendant toute la journée; on prendra donc comme volume d'eau journalier celui du château d'eau et de tous les réservoirs annexes confondus; ce qui donne à peu près 25 m^3 .

2. Caractéristiques du forage.

Le niveau statique du forage est situé à 16,45 m du sol. De par les différents essais de pompage effectués à des débits variables on a pu avoir les rabattements correspondants: ainsi donc:

Pour un débit de $5 \text{ m}^3/\text{h}$ on a un rabattement de 2m.
 " " " " $10 \text{ m}^3/\text{h}$ " " " 3,5m



Caractéristiques du forage.
(rebaltement en fonction du débit)

Pour un débit de $15 \text{ m}^3/\text{h}$ on a un rabattement de $6,5 \text{ m}$
 " " " " $20 \text{ m}^3/\text{h}$ " " " " 10 m
 La courbe caractéristique du forage est donc illustrée sur la page suivante.

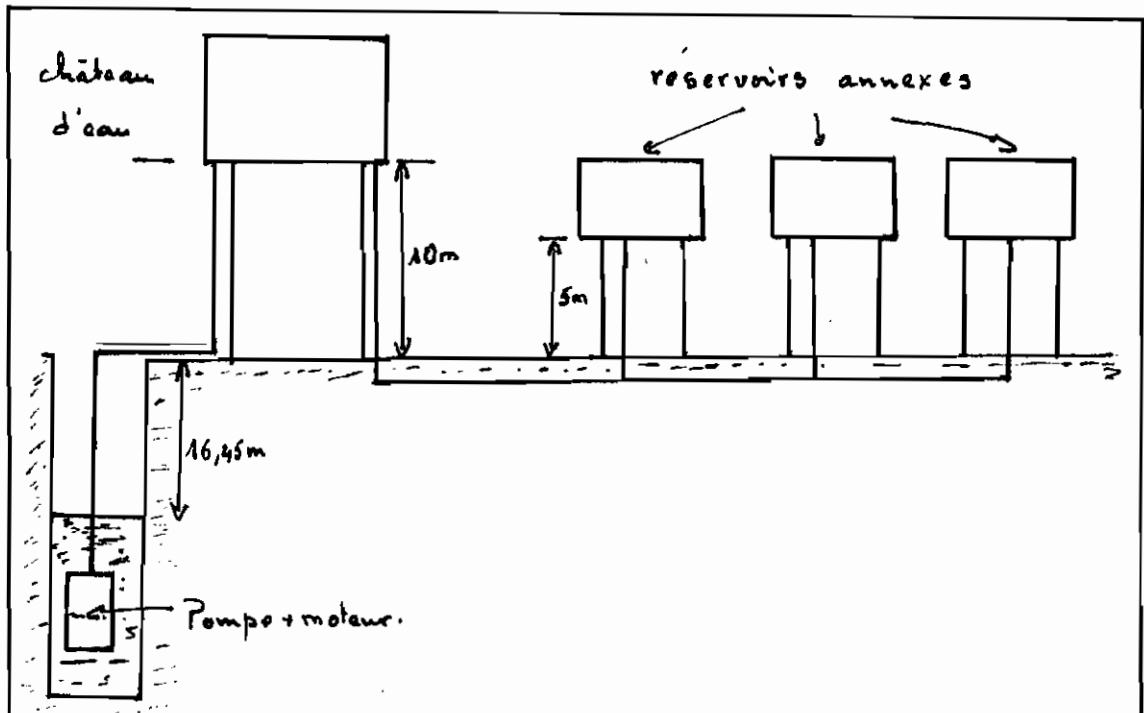
Il apparaît donc que pour une durée de fonctionnement de 5 heures de la pompe on aura un débit horaire de $5 \text{ m}^3/\text{h}$. A ce débit correspond un rabattement de 2 mètres.
 Pour avoir de larges informations sur le forage se reporter à l'annexe.4

3. Détermination de la hauteur manométrique.

La pompe alimente à partir du forage un château d'eau d'un volume de 12 m^3 lequel communique avec trois réservoirs annexes de 5 m^3 chacun. Ces trois réservoirs annexes ont chacun un secteur du camp à alimenter. L'alimentation des réservoirs annexes par le château d'eau se fait par gravité.

Le château d'eau se trouve à une altitude de 10 m ; quant aux réservoirs annexes ils se trouvent à une altitude de 5 m .

Cette différence de niveau étaye de façon juste cette communication par gravité.



Toutefois ce niveau statique du forage peut être reconsidéré même si l'exploitation du forage n'est pas très intensive et la position assez privilégiée que le forage occupe par rapport au fleuve. Une nouvelle valeur de 18m pour le niveau statique pourrait donc se justifier. Quant aux rabattements ils sont à peu près constants quand on sait que le coefficient de perméabilité du sol est quasi constant.

a) Calcul des Pertes de charges.

Les pertes de charges sont réparties entre le tuyau de 2" qui est immergé dans le forage, le tuyau de 80/90 en P.V.C qui va du forage au château d'eau, le robinet d'arrêt, le réducteur, le clapet anti-retour, et les coudes.

i) Pertes dans le tuyau de 2"

Les longueurs équivalentes engendrées par les différents sont :

- clapet pour un diamètre de 50 mm : 5,40 m
- réducteur " " " : 0,80 m
- coudé de 90° " " " : 1,10 m

Quant à la longueur de ce tuyau de 2" en acier galvanisé elle est égale à :

niveau statique + profondeur d'immersion : 18+3

Il est plus sécuritaire d'immerger la pompe à une profondeur de 3 m en raison des rabattements assez importants.

En tenant compte de toutes les longueurs équivalentes de ces éléments pouvant engendrer des pertes de charges on aura comme longueur totale développée :

$$L_D = 18 + 3 + 5,4 + 0,8 + 1,1 = 28,3 \text{ m.}$$

En se servant de l'équation de Darcy on déterminera les pertes totales tout au long de cette canalisation.

$$h_L = f \cdot \frac{L_D}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$\left\{ \begin{array}{l} h_L: \text{pertes de charges totales} \\ f: \text{facteur de frottement} \\ L_D: \text{longueur développée} \\ v: \text{vitesse moyenne d'écoulement} \\ g: 9,81 \text{ m/s}^2 \end{array} \right.$

Suivant le régime d'écoulement f peut dépendre du nombre de Reynolds ou du facteur de rugosité.

$$Re = \frac{V \cdot d}{\nu}$$

ν : coefficient de viscosité cinématique de l'eau

Quant à la vitesse moyenne d'écoulement dans le tuyau de 2" elle sera égale à 0,7 m/s. La viscosité cinématique de l'eau, à 30°C est $0,801 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

$$\text{alors } Re = \frac{0,7 \times 0,050}{0,801 \cdot 10^{-6}} = 43695$$

$Re \gg 2000$ on a donc un écoulement turbulent.

La rugosité du tuyau est de 0,05 mm

Par application de l'équation semi-empirique de Prandtl - Colebrook on aura.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{R/d}{3,71}\right) = -2 \log\left(\frac{0,05/50}{3,71}\right)$$

$$\text{alors } f = 0,08$$

Ce qui donne:

$$h_L = 0,08 \cdot \frac{88,3}{0,05} \cdot \frac{0,7}{2,981} = 0,4 \text{ m}$$

ii) Pertes dans le tuyau de 80/90 en P.V.C

Dans cette partie de la canalisation les pertes de charges seront réparties entre le coude de 90° , le robinet d'arrêt, les frottements.

Ainsi les longueurs équivalentes sont:

coude de 90° : 1,6 m

robinet d'arrêt : 25 m

Sachant que la distance qui sépare le forage au château d'eau est d'environ 33 m, la longueur développée sera:

$$L_D = 33 + 25 + 1,6 + 18,5 = 78,1 \text{ m.}$$

Le nombre de Reynolds dans ce tuyau est 28000, on aura alors un écoulement turbulent dans un tuyau lisse.

L'équation de Colebrook donne:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = - 2 \log \frac{2,51}{Re\sqrt{f}}$$

Pour $Re = 28000$ l'équation devient:

$$- 2 \log \sqrt{f} + \frac{1}{\sqrt{f}} = 8,1$$

ce qui donne $f = 0,024$

On en déduit la valeur des pertes de charges totales :

$$h_L = 0,024 \cdot \frac{781}{0,08} \cdot \frac{(0,28)^2}{2 \cdot 9,81} = 0,1 \text{ m de colonne d'eau.}$$

La hauteur manométrique totale du réseau s'en déduit :

$$H = H_g + \sum H_L$$

avec H_g : hauteur géométrique : 30,5 m

alors $H = 30,5 + 0,4 + 0,1 = \underline{31 \text{ m}}$

4° Calcul de la Puissance Hydraulique.

La formule donnant la puissance hydraulique connaissant le débit et la hauteur manométrique s'écrit :

$$P_H = \gamma Q H$$

γ : poids spécifique de l'eau: 9800 N/m³

Q : Débit de l'eau [m³/s]

H : hauteur manométrique [m]

P_H : puissance hydraulique [W]

$$P_H = 9800 \cdot \frac{5}{3600} \cdot 31 = \underline{428 \text{ W}}$$

En se servant du catalogue de Grundfos

sur les électro. pompes immergées, pour un débit de $5 \text{ m}^3/\text{h}$ et une hauteur manométrique totale de 34 m , on choisira une électro. pompe de type SP4-16 de Grundfos en monophasé avec 220 V .

Pour des caractéristiques supplémentaires se reporter au catalogue "Grundfos" Electro. Pompes immergées type SP4.



GRUNDFOS®

Electro-pompes immergées

type



TYPE	SP 4-6	SP 4-9	SP 4-13	SP 4-16	SP 4-19	SP 4-22	SP 4-26	SP 4-32	SP 4-39	SP 4-46	SP 4-60
Puissance moteur kW	0,37	0,55	0,75	1,1	1,1	1,5	1,5	2,2	2,2	3,7	3,7
η % moteur 1/1 en triphasé	50	56	59	64	64	65	65	69	69	71	71
Cosinus φ en triphasé	0,77	0,77	0,85	0,85	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87	0,87
TENSION 1 x 230 V	Intensité A pl. charge	3,8	5,2	6,5	9,1	9,1	13	13	16	16	
	Intensité A nominale	3,3	4,6	6,1	8,3	8,3	10,4	12,1	13	15,3	
	Section câble mm ² pour long. maxi (m)	1,5	2,5	2,5	4	4	6	6	10	10	
	Section câble mm ² pour long. maxi (m)	2,5	4	4	6	6	10	10	16	16	
	ID IN x →	2,2	2,4	2,5	3,2	2,7	2,8	2,4	2,8	2,4	
	Condensateur MF	30	40	50	70	70	90	90	120	120	
TENSION 3 x 230 V	Intensité A pl. charge	2,6	3,5	4,1	5,7	5,7	7,1	7,1	10,1	10,1	16,1
	Intensité A nominale	2,4	3,3	4,1	4,7	5,7	6,2	7,1	8,3	10,1	12
	Section câble mm ² pour long. maxi (m)	1,5	1,5	2,5	2,5	2,5	4	4	6	6	10
TENSION 3 x 380 V	Intensité A pl. charge	1,5	2	2,4	3,2	3,2	4,2	4,2	5,8	5,8	9,4
	Intensité A nominale	1,4	1,9	2,4	2,7	3,2	3,7	4,2	4,8	5,8	7
	Section câble mm ² pour long. maxi (m)	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5	2,5	4	4
ID = IN x →	3,8	4,2	3,6	3,9	3,9	4	4	4,1	4,1	4,3	
ENCOMBRE- MENT mm	A Tr Mono	647	735	619	922	985	1088	1172	1374	1521	1812
	B Tr Mono	672	775	699	1038	1101	1308	1392	1518	1665	2106
	C	320	345	345	385	385	425	425	501	501	645
POIDS kg	Net Tr Mono	13,9	15,5	16,8	20,4	21,5	24,6	25,9	31,7	34,1	43,5
	Brut Tr Mono	14,4	18,1	21,5	26,2	27,3	35,4	36,7	38,8	41,2	48,3
	Net Mono	17,9	19,5	20,8	24,4	25,5	28,6	30,9	36,7	40,1	49,5
Brut Mono	18,4	22,1	25,5	30,2	31,3	39,4	41,7	43,8	47,2	58,3	
Volume emballé m ³	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,07	0,07	

CONSTRUCTION

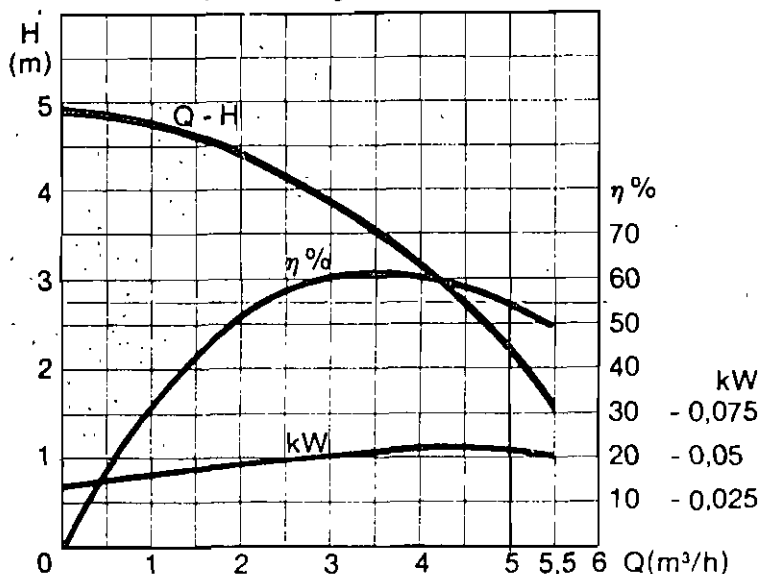
En acier inoxydable : Arbre, roues mobiles, aubes de guidage, chambres intermédiaires, chambre de soupape, cône de soupape, corps d'aspiration, bandes de serrage, crépine, accouplement, protégé-câble, cône de serrage, vis amorçante, arbre moteur, corps de stator.

En caoutchouc : Bague d'étanchéité, siège de soupape, palier supérieur.

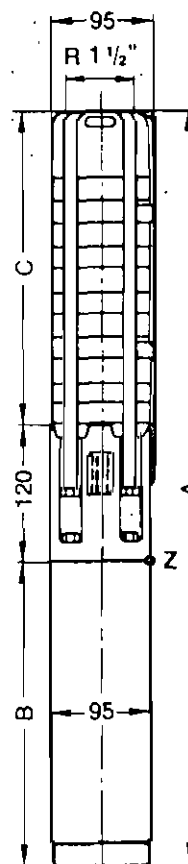
Bronze à l'étain : Ecrou de cône de serrage.

Pompes livrées avec câble d'alimentation à embout démontable.
Longueur 1,60 m à partir du point Z.

Caractéristiques 1 étage



SP 4-19



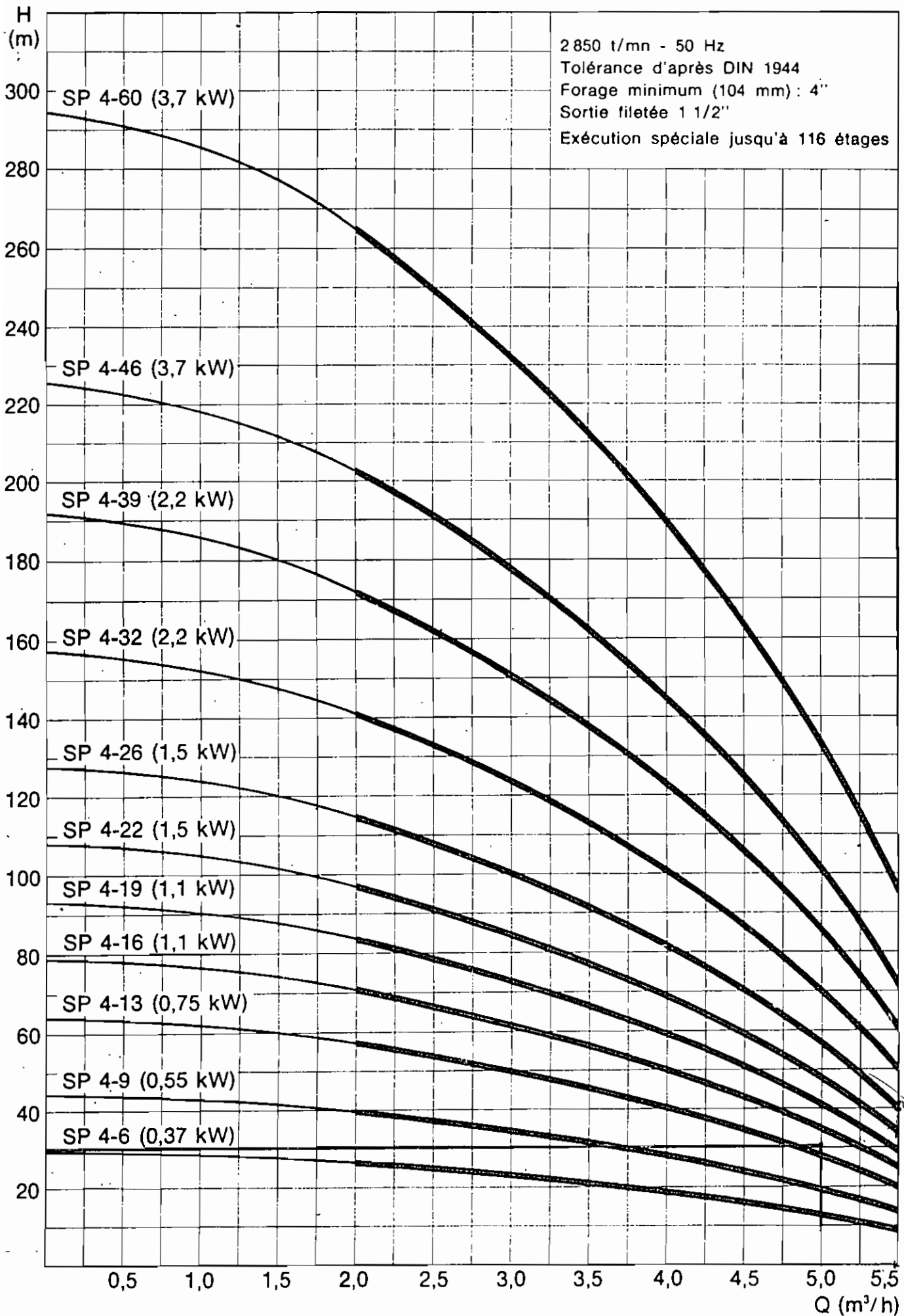
Pour vos demandes, veuillez toujours préciser :

1. Le débit désiré ;
2. La hauteur manométrique totale (hauteur de refoulement + pertes de charge + pression dans le réservoir, s'il y en a un) ;
3. Diamètre de forage (dimension intérieure minimum) ;
4. Distance du niveau du sol au niveau de l'eau au repos (niveau statique) ;
5. Abaissement de la nappe en cours de pompage (niveau dynamique) ;
6. Profondeur totale de forage moins la longueur de la partie crépine (s'il y en a une) ;
7. Le type de courant électrique utilisé, le voltage et la fréquence ;
8. Tous les renseignements complémentaires sur l'installation.



GRUNDFOS

Pompes immergées 4"



II. ECLAIRAGE . VENTILATION . REFRIGERATION

Si l'eau constitue une priorité, il n'en demeure pas moins que l'éclairage, la ventilation et sur la réfrigération constituent des besoins dont leur solution est souhaitée vivement.

C'est pourquoi cette présente étude se propose de résoudre ces problèmes cruciaux dans la limite des possibilités de l'énergie solaire.

Le groupe électrogène qui est actuellement sur place ne fonctionne que pendant deux à trois heures par jour.

Il est donc évident qu'au delà de 22^h l'heure à laquelle le groupe est coupé le camp vit dans une obscurité totale en plus tous les appareils électroménagers sont à l'arrêt. Il en est de même pendant la journée.

C'est pourquoi notre système loin d'une solution de substitution est donc une solution d'appoint. Il assurera l'éclairage de quelques secteurs jugés prioritaires en l'occurrence :

le P.C, l'infirmerie, le poste de transmission, la cuisine et le poste de police.

Quant aux ventilateurs ils seront aussi placés dans ces mêmes postes.

Deux réfrigérateurs classiques à courant alternatif sont aussi prévus en vue d'assurer la fourniture d'eau fraîche et une meilleure conservation des denrées résistant peu à la chaleur. La conservation des vaccins pourra aussi être assurée.

1° Évaluation des Besoins.

Puisque le groupe électrogène qui est donc installé ne marche que de 20^h à 22^h, le système solaire en vue, prendra le relais du groupe en dehors de ces deux heures de marche pour assurer l'éclairage, la ventilation et la réfrigération de tous les postes ci-cités.

L'éclairage dans sa globalité de ces postes ne sera pas assuré. Seules les pièces susceptibles d'être éclairées au delà de 22^h seront branchées au système. D'autre part les lampes à incandescence seront remplacées par des lampes fluorescentes - car il n'est plus à démontrer qu'à puissance égale les dernières citées ont meilleur rendement.

Quant aux ventilateurs, les portatifs sont fortement conseillés en raison de leur faible consommation d'énergie.

Tableau des énergies.

a) Eclairage.

Postes	Puissance (W)	Période	Nbre d'heures au fil du soleil	Nbre d'heures avec Batterie	Energie par Batterie (Wh)	Energie au fil soleil
Infirmierie	80	22 ^h -24 ^h	—	2	160	—
P.C.	80	22 ^h -24 ^h	—	2	160	—
Transm.	40	22 ^h -24 ^h	—	2	80	—
Cuisine	80	4 ^h -6 ^h	—	2	160	—
Poste Police	80	22 ^h -24 ^h	—	2	160	—
Energie Totale (Wh/j)					720	

b) Réfrigération.

Puiss (W)	Période	Nbre d'heures au fil soleil	Nbre d'heures avec Batterie	Energie avec Batterie (Wh)	Energie au fil soleil (Wh)	Energie totale (Wh)
2 x 200	10 ^h à 20 ^h	5	5	2000	2000	4000
Energie totale (Wh/j)					4000	

c) Ventilation.

Postes	Puis (W)	Période	Nbre d'heures au fil soleil	Nbre heures avec Batterie	Energie au fil soleil (Wh)	Energie avec Batterie (Wh)
Inf.	60	10 ^H -20 ^H	5	5	300	300
P.C	2x60	10 ^H -20 ^H	5	5	600	600
Trans.	60	10 ^H -20 ^H	5	5	300	300
Cuisine (bureau)	60	10 ^H -20 ^H	5	5	300	300
Poste de Police	60	10 ^H -20 ^H	5	5	300	300
Energie Totale (Wh/j)					1800	1800

d) Pompe + moteur.

La durée de fonctionnement de la pompe a été fixée à 5 heures par jour.

Par rapport au besoins journaliers en eau qui s'élevé à 25 m³, le débit de la pompe sera égale à 5 m³/h. Ce qui est donc raisonnable. Vu le volume de stockage de tous les réservoirs confondus assez limité pour couvrir les besoins pour au moins deux jours, un stockage d'énergie est donc impératif, et cela l'utilisation de batterie s'impose.

e) Schema de l'installation.

Le type d'installation prévu est un modèle centralisé où tous les récepteurs seront alimentés à partir d'un même générateur.

Nous les récepteurs seront alimentés en 220V alternatif en mono. Cela ne nécessitera pas de grands câbles pour le groupe moto-pompe dont la puissance relativement modeste n'en est pas incompatible. S'installation solaire sera donc jumelée au groupe électrique dont les fonctionnements seront alternés. Un verrouillage pourrait être prévu pour éviter un fonctionnement simultané de ces deux systèmes.

Outre le générateur photovoltaïque, le système comprend :

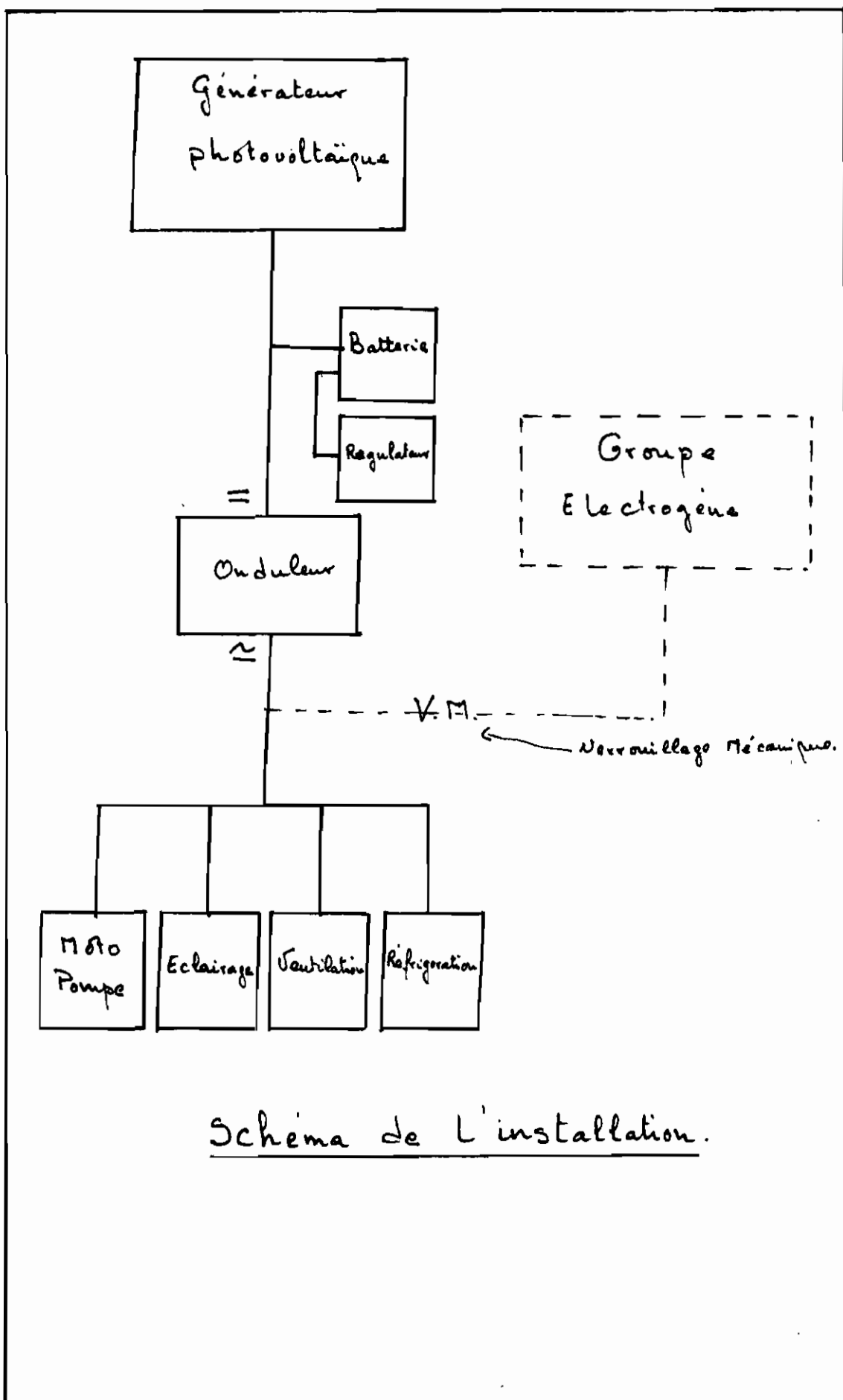
- Une batterie d'accumulateurs couplée à un régulateur électronique dont le rôle comme son nom l'indique est de réguler la charge et la décharge de la batterie.
- La surcharge, au niveau de la batterie entraîne une perte en eau et son vieillissement prématuré.

Quant à la décharge profonde elle entraîne une sulfatation des plaques. Ainsi un disjoncteur automatique en assurera la protection.

Ce disjoncteur sera incorporé dans le régulateur.

Un onduleur fera partie du système, et son rôle est de transformer le courant continu produit les panneaux en courant alternatif utilisé par les récepteurs.

Tout au long du texte on emploiera indifféremment onduleur ou convertisseur, qui traduisent la même chose.



Schema de L'installation.

III. CALCUL DE LA PUISSANCE CRETE

La puissance des modules s'exprime en Watt-crête : c'est la puissance électrique maximale délivrée dans les conditions suivantes :

- Eclairement de 1 kW/m^2 (correspondant à peu près à une exploitation perpendiculaire aux rayons du soleil à midi par temps clair)
- Répartition spectrale du rayonnement dit AM 1,5 correspondant au rayonnement solaire parvenant au sol après avoir traversé l'atmosphère à 45° .
- Température des photopiles à 25°C (température de jonction).

A partir de la puissance crête se déduit la surface des photopiles. Il s'agit bien de la surface utile, à ne pas confondre avec la surface des panneaux.

1^{er} Données d'ensoleillement.

Les données solaires ainsi disponibles ont été recueillies au niveau de la station météorologique de Hatan. Elles ne couvrent que les années 1983 et 1984, et elles ne concernent que les irradiances globales journalières.

Irradiations globales horizontales journalières I_H
(kWh/m²)

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
4,40	5,60	5,93	6,10	5,45	5,35

Juillet	Août	Sept.	Octob.	Novemb.	Décemb.
5,68	5,74	5,23	5,03	4,77	4,20

Puisque nos panneaux doivent être inclinés d'un angle égal à peu près à la latitude du site considéré. Cela est démontré et donc admis dans toutes les installations solaires. Même si cet angle peut varier dans l'année d'une période à une autre, pour une inclinaison fixe, l'angle optimum est égal à la latitude du lieu.

Ce qui donc va introduire un facteur d'inclinaison pour avoir une irradiation incidente.

Nous avons une latitude de $15^{\circ} 39' N$ pour Ourossogui, alors notre panneau sera incliné de 15° et direction Sud.

Facteurs d'inclinaison pour 15° Nord (F_T)

Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
1,18	1,14	1,05	0,98	0,94	0,92

Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
0,93	0,97	1,03	1,1	1,18	1,22

L'irradiation incidente s'en déduit en faisant le produit du facteur d'inclinaison et l'irradiation horizontale.

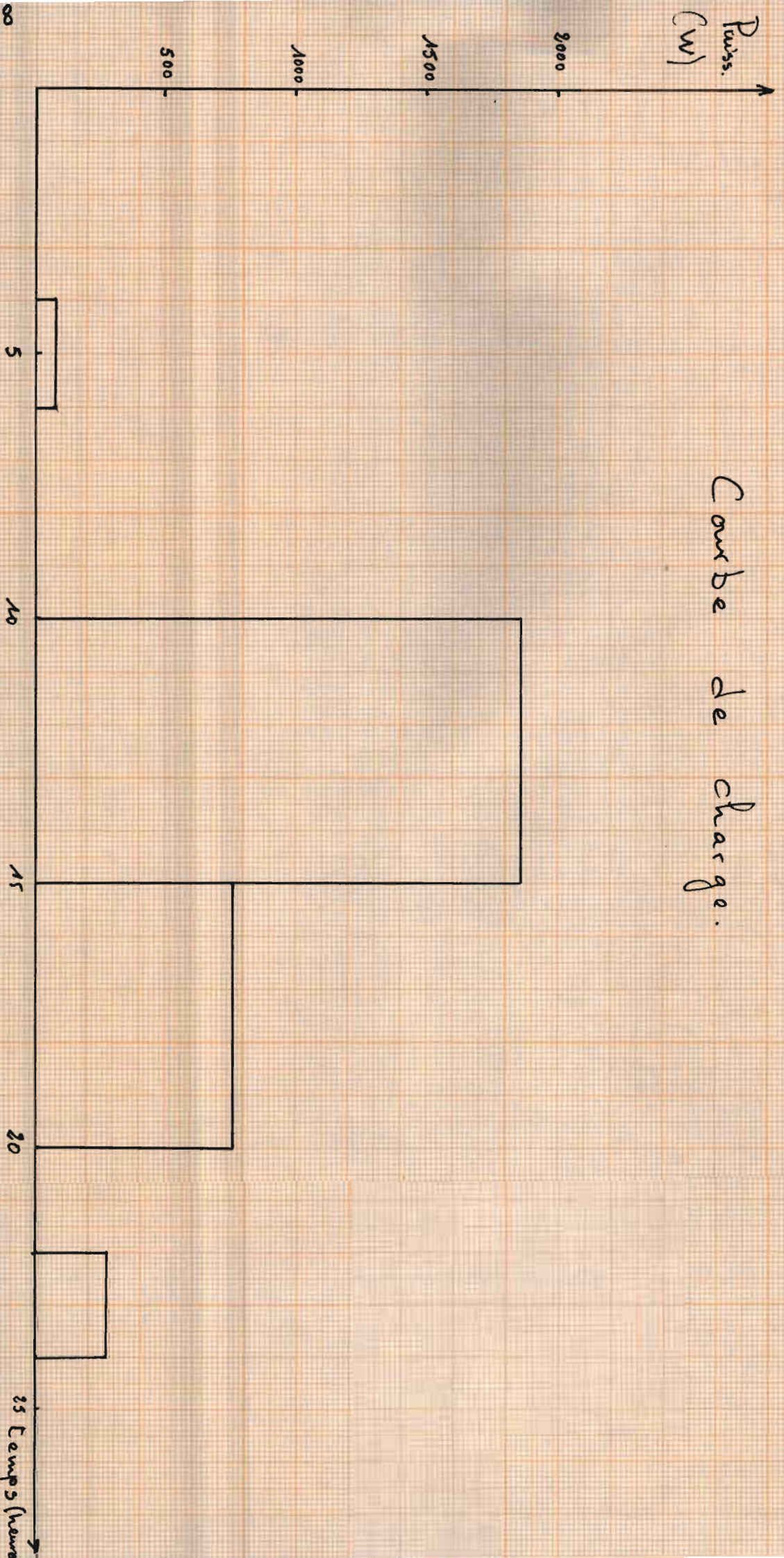
$$\text{alors } I_i = I_H \times F_T$$

Irradiations incidentes journalières (kWh/m^2)

Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin
5,19	6,38	6,23	5,98	5,12	4,92

Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
5,28	5,57	5,39	5,53	5,63	5,12

Courbe de charge.



Alors la valeur moyenne de l'irradiation incidente journalière est de $5,52 \text{ kWh/m}^2$.

Cette irradiation est donc équivalente à un ensoleillement de 1 kW/m^2 pour une durée de 5,52 heures.

Relativement à la définition de la puissance crête cette valeur nous permettra de déduire la puissance crête de l'installation.

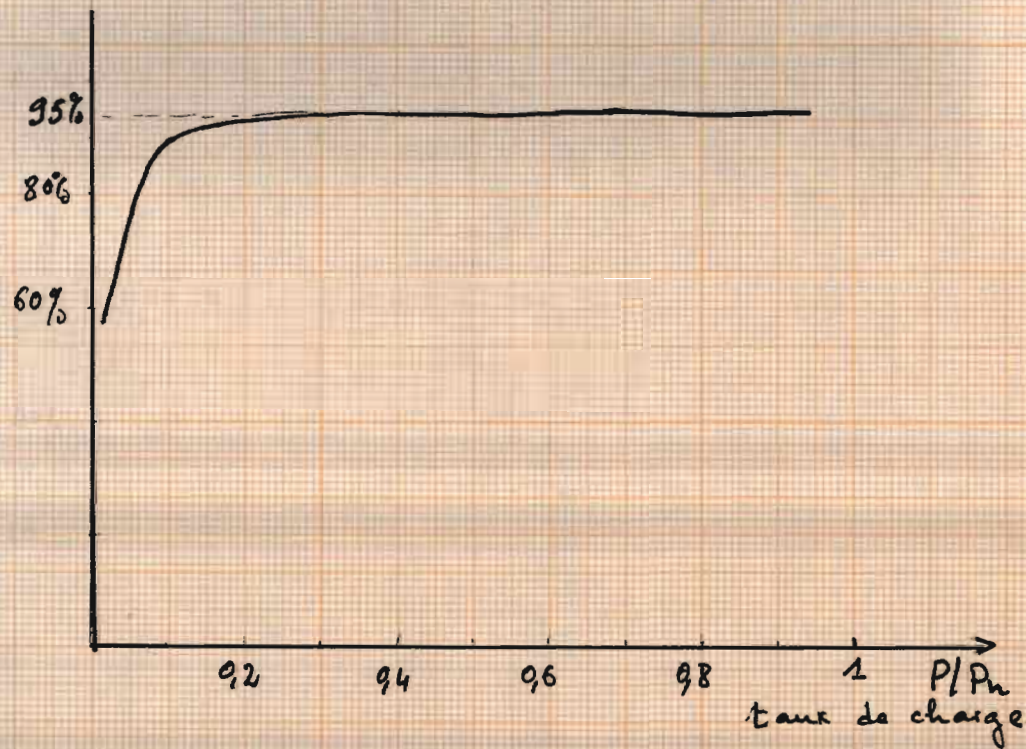
2° Calcul de l'énergie totale.

Le temps de fonctionnement de la pompe sera entre 10^{h} et 15^{h} , ce qui lui permettra de marcher au fil du soleil, et en cela on n'aura pas besoin de l'énergie stockée pour la faire marcher.

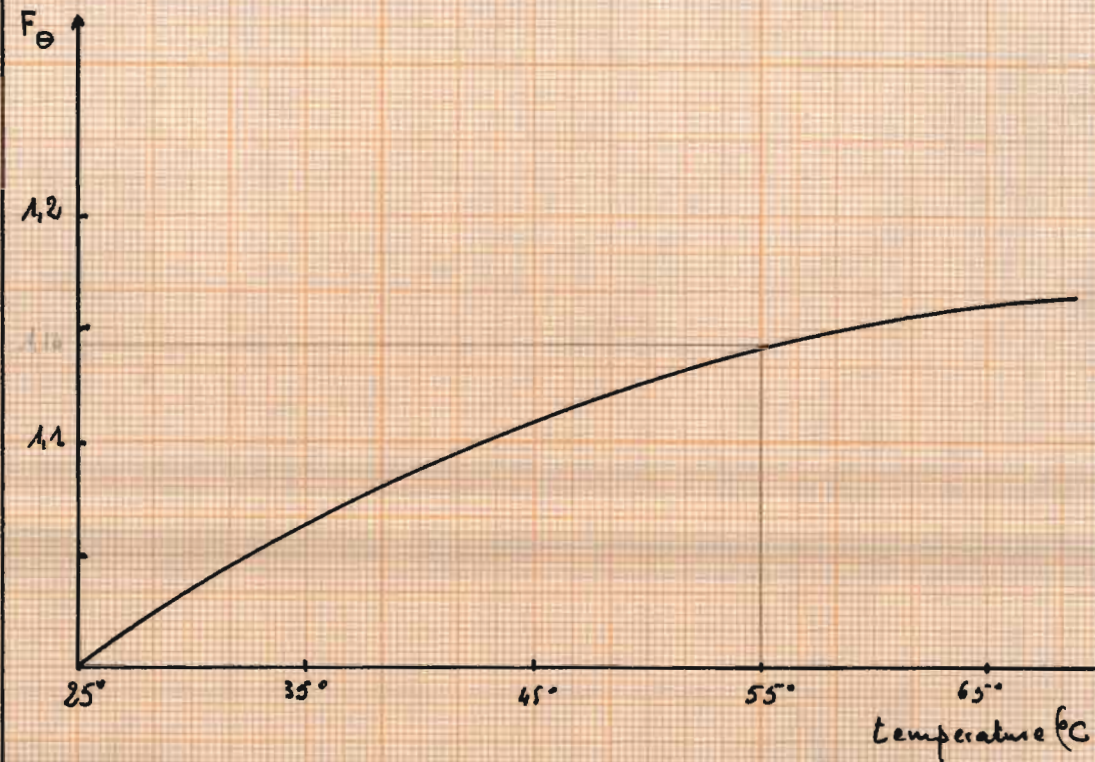
L'énergie stockée dans la batterie servira donc à alimenter les lampes, les ventilateurs et les réfrigérateurs. Ces deux derniers récepteurs se mettront en marche au fil du soleil jusqu'à la fin de l'après midi période à laquelle l'ensoleillement devient insuffisant. C'est en ce moment que la batterie prend le relais pour assurer le fonctionnement des récepteurs.

On choisira une batterie dont le rendement

Courbe de rendement de l'onduleur
en fonction du taux de charge



Courbe de correction de la puissance crête en fonction de la température



est voisin de 75%.

Quant à la tension à ses bornes on prendra 120V. Ce qui donne 60 éléments de 2V placés donc en série. La capacité sera déterminée plus loin.

L'onduleur aura une puissance de 2000W. Si l'on se réfère à la courbe de charge on s'aperçoit que la puissance maximale appelée est égale à 1860W.

La courbe de rendement de notre onduleur traduit une certaine constance du rendement à 95% pour un taux de charge supérieur à 20%. Puisque notre onduleur est chargé à plus de 20% pendant plus des 3/4 temps on peut donc assimiler le rendement constant et égal à 95%.

Donc en traduisant la courbe de puissance on obtient :

4^h à 6^h → 80W → utilisation de la batterie.

10^h à 15^h → 1860W → au fil du soleil.

15^h à 20^h → 760W → utilisation de la batterie.

22^h à 24^h → 280W → utilisation de la batterie.

Ainsi l'énergie totale devant être fournie par les panneaux moyennant un rendement

des câbles à 97% sera donc égale:

$$E_T = \frac{1}{0,95} \times \frac{1}{0,95} \left[\frac{80 \times 2}{0,75} + 1860 \times 5 + \frac{760 \times 5}{0,75} + \frac{280 \times 2}{0,75} \right]$$

alors $E_T = 16982 \text{ Wh}$ par jour.

La puissance crête comme il a été décrit dans les chapitres antérieurs en sera donc déduite.

$$P_c = \frac{E_T}{5,52} = \frac{16,982}{5,52} = 3,08 \text{ kWc.}$$

Une correction de la température s'impose car la puissance crête est définie pour une température de jonction de 25°C . Ce qui correspond à une température ambiante de 10°C .

Pour le site ainsi étudié, il arrive que la température ambiante dépasse le cap des 40°C . Plus il fait chaud, plus les ventilateurs sont sollicités et plus aussi les réfrigérateurs doivent fonctionner pour couvrir les besoins en eau fraîche et assurer la conservation des denrées facilement altérables par la chaleur. Ainsi donc à cette période la demande en énergie atteint des valeurs de pointe. D'où une correction de température de la puissance

Sera adoptée pour être dans une zone assez sécuritaire de fonctionnement de notre système.

En se servant de la courbe de correction de température de la puissance crête on en arrivera à la pondération de notre puissance.

Pour une température ambiante de 40°C alors la température de jonction sera environ de 55°C , on en déduit le facteur de correction $F_{\theta} = 1,14$

Alors la puissance corrigée sera:

$$P_{c'} = P_c \times F_{\theta} = 3,08 \times 1,14 = \underline{3,5 \text{ kWc}}$$

Ainsi donc les panneaux auront une puissance crête de $3,5 \text{ kWc}$.

3° Dimensionnement de la batterie.

L'utilisation d'une batterie est plus^{que} nécessaire si l'on sait que'il y a un déphasage entre l'énergie fournie par le soleil et la consommation par les récepteurs de cette énergie. L'énergie utile devant être fournie par la batterie est donc de 4520 Wh.

Avec un rendement de 75% de la batterie l'énergie totale stockée est: $\frac{4520}{0,75} = \underline{6027 \text{ Wh}}$

Alors la capacité de cette batterie avec une tension de 120V à ses bornes est: 50AH

En considérant un taux de charge de 25% on aura donc une capacité de 200AH

Et le catalogue TUDOR donne pour une batterie de capacité C₁₀ 200AH la série E₄.

4: Recommandations.

Pour une utilisation adéquate de notre système solaire, il est fortement conseillé de remplacer les lampes à incandescence par les lampes fluorescents dans les endroits où une utilisation de l'énergie solaire est souhaitée.

- Le remplacement des ventilateurs accrosés au plafond par des ventilateurs portatifs dont la puissance tourne autour de 60W. En dehors des heures de fonctionnement du groupe électrogène, veiller à ce que seulement les récepteurs pour lesquels le dimensionnement du système a été fait, marchent.

Prévoir un système de minuterie pour que notre système solaire soit mis hors service en dehors de ses heures normales de fonctionnement.

Puisque l'installation électrique étant la même aussi bien pour le groupe que pour le générateur photovoltaïque il importe donc de respecter toutes ces mesures pour éviter les longues décharges de la batterie dont les conséquences ont été bien élucidées. Les mesures sont coercitives mais la discipline militaires y parviendra.

Si les systèmes solaires sont conçus pour être utilisés sous les climats les plus durs, il reste qu'un minimum de soin mérite de leur être accordé.

Ainsi les mesures suivantes sont à prendre.

- Les modules doivent être nettoyés à intervalles réguliers, afin d'éviter la formation d'une couche de poussière qui atténuerait la lumière du soleil. Le nettoyage se fait généralement tous les trois à six mois, sauf si la région est particulièrement poussiéreuse.

On évitera autant que possible, de choquer ou de rayer les modules.

- Quant aux batteries, il est nécessaire de contrôler le niveau d'électrolyte à intervalles périodiques, de préférence tous les trois à six mois.

Dans le cas où il faudrait compléter l'électrolyte on ne doit ajouter que de l'eau distillée ou une eau très pure et déminéralisée. Un densimètre livré avec les batteries permet de contrôler à chaque inspection si tous les éléments sont en bon état de marche.

Les batteries doivent être situées dans un local aéré. On s'efforcera de leur éviter les températures extrêmes chaudes ou froides.

- Le régulateur ne nécessite aucun entretien. Il est protégé contre les possibles inversions de polarité.

- Le convertisseur aussi ne nécessite pas d'entretien particulier, sinon lui éviter de grands écarts de température car étant composé d'éléments électroniques.

Partie B
Conversion
Chimique

IV CHAUFFE EAU SOLAIRE

1. Généralités.

Le chauffage de l'eau par le rayonnement solaire est l'une des applications les plus heureuses de l'énergie solaire, car permettant à bien des égards de se passer des énergies traditionnelles.

Un système de chauffage solaire est constitué d'un ensemble d'éléments remplissant les fonctions de : Captage, stockage, distribution et régulation.

Un capteur solaire effectue la conversion du rayonnement électromagnétique émis par le soleil en chaleur et permet le transfert de cette énergie calorifique au fluide y circulant.

Comme il a été dit dans l'annexe A, l'énergie rayonnée par le soleil est une énergie électromagnétique.

Lorsque ce rayonnement arrive sur un corps, plusieurs phénomènes peuvent se conjuguer

- absorption d'une partie de ce rayonnement
- réflexion d'une partie de ce rayonnement
- transmission " " " "

Le troisième ci-cité se produit si le corps considéré est transparent.

Pour le cas du captage le phénomène le plus intéressant est l'absorption, et le centre nerveux du système est l'absorbant ou encore appelé plaque absorbante.

Cette plaque lorsqu'elle absorbe le rayonnement solaire, s'échauffe et va donc émettre elle-même un rayonnement solaire.

Il s'agit en effet d'un rayonnement thermique de plus grande longueur d'onde (domaine de l'infrarouge lointain).

Ainsi donc ce phénomène non souhaité engendre des pertes dites par rayonnement.

D'autre part si cet absorbant est en contact direct avec l'air environnant, il y a des pertes thermiques par convection qui peuvent être très importantes.

Pour capter un maximum d'énergie on essaie de réduire à la fois les pertes dues à la réémission I.R. et les pertes par convection en interposant entre l'atmosphère et l'absorbant un matériau qui soit opaque aux I.R. lointains, mais qui soit

transparent au rayonnement solaire.

Ces propriétés constituent " l'effet de Serre".

En général, les verres et plastiques sont transparents pour le spectre solaire, et opaques pour les infrarouges lointains, et sont donc utilisés comme couverture transparente de capteur.

On pourrait penser, augmenter le nombre des vitres devant l'absorbant, et ainsi récupérer chaque fois un peu des pertes par rayonnement de l'absorbant.

Ceci est vrai, mais en augmentant le nombre de vitres devant l'absorbant, on diminue la transparence globale de la couverture «transparente». Le verre à vitre, par exemple, a un facteur de transparence égal à environ 0,87. Si on a deux vitres, la transparence globale des deux vitres n'est plus que

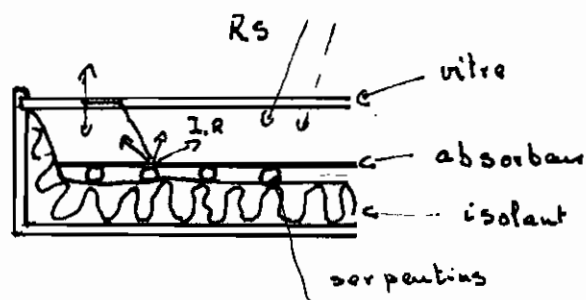
$$0,87 \times 0,87 = 0,757$$

l'absorbant ne reçoit plus que les trois quarts du rayonnement solaire. Si l'on rajoute encore une vitre, la transparence n'est plus que de 0,658.

42

Avant de rajouter une vitre, il faut donc savoir si ce qu'on perd en transparence est compensé par ce qu'on récupère par effet de serre supplémentaire.

Ceci dépend du fonctionnement du capteur :
Si l'on a un fort débit d'eau, la température sera faible. Le rayonnement de l'absorbant sera donc aussi et une vitre supplémentaire ne sera pas bénéfique, car la perte de transparence ne sera pas compensée par le faible rayonnement I.R. qu'on aura récupéré par effet de serre.



Capteur.

Quant au type de circulation, il va sans dire que le circulateur naturel ou thermosiphon sera utilisé en raison de sa simplicité.

Le thermosiphon constitue un moyen bien adapté d'assurer une circulation sans moyens mécaniques et sans apport d'énergie.

2° Evaluation des besoins.

Les deux secteurs devant être équipés de chauffe-eau solaire sont l'infirmerie et la cuisine.

L'eau chaude qui sera fournie au niveau de l'infirmerie servira pour les bains des malades rinternés pendant les périodes de froid, elle servira aussi à l'entretien du matériel et à la préparation de solutions telles que le permanganate de potassium.

Au niveau de la cuisine, l'eau chaude va entrer dans la préparation du café et au dégraissage des ustensiles de cuisine. Retenez pour la petite histoire que la viande y est fortement consommée, c'est pourquoi les ustensiles méritent d'être dégraissés.

Même si l'énergie solaire a fournir ne sera pas suffisante pour couvrir tous les besoins énergétiques, il n'en demeure pas moins que la partie qui elle couvre est du reste assez représentative.

a) Infirmierie.

→ Bains 6 personnes et 2 fois par jour à raison de 50 l / par bain. par personne. A 37°C .

→ Entretien matériel 50 l / jour à 100°C .

→ Préparation solution 1 l / jour à 100°C .

Ce qui donne :

600 l à 37°C .

51 l à 100°C .

b) Cuisine.

→ Café : 100 l / jour à 100°C .

→ Dégraissage matériel 100 l à 80°C .

La température autour de laquelle co gense d'installation devient rentable est en moyenne entre 75 et 80°C .

Faisons nous comme température d'eau chauffée 80°C . Ainsi donc l'énergie qui sera fournie pour atteindre 100°C sera faible.

Quant aux températures inférieures à 80° comme pour le cas des bains, leur obtention se fera par un mélange de l'eau chauffée et celle du réseau.

Tableau des températures moyennes mensuelles.

Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin
24°C	26	30	34	37	33

Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
32	33	32	31	29	28

c) Calcul du volume d'eau à 80°C pour un bain à 37°C.

Si l'eau est chauffée jusqu'à 80°, il est évident qu'un mélange avec l'eau du réseau devra se faire pour obtenir une température convenable pour le bain; c'est à dire une température de 37°.

En général c'est de Novembre à Février que l'eau doit être chauffée pour servir aux bains et en ce moment la température ambiante tourne autour de 25°. On va la considérer comme étant la température de l'eau du réseau.

soit

$$\left\{ \begin{array}{l} m_c: \text{masse d'eau à } T_c = 80^\circ \\ m_f: \text{ " " } T_f = 25^\circ \\ m_d: \text{masse d'eau par bain } T_d = 37^\circ. \end{array} \right.$$

C_p : Capacité calorifique de l'eau à la température concernée.

Alors l'équation d'énergie s'écrit:

$$m_d \cdot C_{p_d} \cdot T_d = m_c \cdot C_{p_c} \cdot T_c + m_f \cdot C_{p_f} \cdot T_f$$

$$\text{d'autre part } m_c + m_f = m_d$$

Pour une douche on a fixé la masse d'eau à 50 kg.

La capacité calorifique de l'eau variant très peu dans notre plage de température on a:

$$C_{p_d} = C_{p_f} = C_{p_c}$$

Ainsi: notre équation devient:

$$50 \times 37 = m_c \times 80 + (50 - m_c) \times 25$$

$$\text{alors } m_c = 10,9 \text{ kg.}$$

On en déduit donc le volume d'eau chaude qu'on doit mélanger à celle du réseau pour obtenir une température convenable pour une douche.

$$\text{alors le volume est: } 10,9 \times 8 \times 6 = 138 \text{ l.}$$

Le volume total nécessaire au niveau de l'infirmerie est donc.

$$V_T = 132 + 10 + 1 = 183 \text{ l}$$

Pour faciliter le choix du réservoir on peut prendre un volume de 200 l.

3°. Calcul des besoins énergétiques.

Puisque l'infirmierie et la cuisine présentent les mêmes besoins en eau chaude, l'étude peut donc être unique.

L'énergie nécessaire se tire à partir de cette équation :

$$Q = m_c \cdot C_p \cdot (T_c - T_f).$$

Mois	T_c (°C)	T_f (°C)	Q (kcal)
Janv.	80	24	11178
Fev.	"	26	10778
Mars	"	30	9980
Avril	"	34	9182
Mai	"	37	8583
Juin	"	33	9381
Juil.	"	32	9581
Août	"	33	9381
Sept.	"	32	9581
Oct.	"	31	9780
Nov.	"	29	10180
Dec.	"	25	10978

Tableau des irradiances moyennes horizontales.
(kcal/m².jour)

Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin
3802	4838	5124	5270	4709	4628

Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
4908	4959	4519	4346	4121	3629

En raison de l'inclinaison du capteur d'un angle égal à la latitude du lieu l'énergie ainsi captée est dite énergie incidente. Pour l'obtenir il s'agit de faire le produit de l'énergie horizontale et du facteur d'inclinaison récapitulé sous forme de graphique par "Grundfos solar pumping systems."

Puisque le site de Ourossogui se situe à une latitude de 15°39' Nord l'inclinaison du capteur sera égal à 15° par rapport à l'horizontale et une orientation pleine Sud.

Tableau des irradiations incidentes par jour.

Les facteurs d'inclinaison sont les mêmes que ceux donnés dans la partie A (du chapitre III).

$$I_i = I_H \times F_T \quad (\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{jour}).$$

Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin
4486	5515	5380	5165	4486	4858

Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
4564	4810	4655	4781	4863	4487

En pratique le rendement des installations de chauffe-eau solaire est dans l'ordre de 50%.

4° Calcul de la surface utile du capteur.

On déterminera d'abord la surface pour chaque mois.

$$S = \frac{E_u}{\eta \cdot I_i}$$

- S: surface du capteur.
- E_u : énergie nécessaire.
- I_i : énergie reçue par le capteur en m^2 par jour
- η : rendement du capteur plan.

Mois	$E_{\text{ev.}}$ (kcal)	$I_{\text{inc.}}$ (kcal/m ²)	$S = \frac{E_{\text{ev.}}}{0,5 \cdot I_{\text{inc.}}}$ (m ²)
Janvier	11178	4486	5,0
Février	10778	5515	4,0
Mars	9980	5380	3,7
Avril	9182	5165	3,5
Mai	8583	4426	3,9
Juin	9381	4252	4,4
Juillet	9581	4564	4,2
Août	9381	4810	3,9
Sept.	9581	4655	4,1
Oct.	9780	4781	4,1
Nov	10180	4863	4,2
Dec.	10978	4427	5,0

La moyenne donne une surface de 4,2 m² de capteur.

Le choix d'un capteur d'une surface de 4m² peut être retenu quand on sait que la différence de température de l'eau chaude ne sera pas grande, et que les volumes utilisés sont un peu exagérés dans leur estimation. Donc cette surface de 4m² peut être retenue.

5° Réservoir de Stockage.

Le volume retenu par les réservoirs de stockage par les deux secteurs est égal à 200 l. Ils doivent aussi être calorifugés au même titre que les tuyaux de canalisation. Pour ce faire un choix judicieux des matériaux s'impose en tenant compte du facteur économique et de la disponibilité.

Ainsi le matériau qui répondra au mieux à toutes nos exigences est sans conteste l'acier galvanisé.

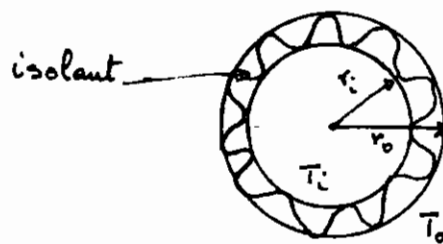
- une bonne résistance à la corrosion
- une faible conductivité thermique ($53,6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$)
- capacité thermique $0,482 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$.

On peut prendre pour les dimensions du réservoir :

Diamètre : 0,5 m

hauteur : 1 m.

Détermination de l'épaisseur de l'isolant.



h : coef. de convection
 T_a : température ambiante

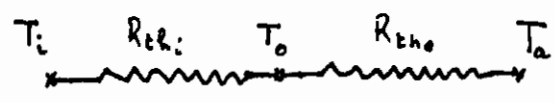
En faisant une analogie entre le principe de la chaleur et l'électricité on a:

Résistance thermique:

$$R_{thi} = \frac{\ln(r_o/r_i)}{2\pi kL}$$

$$R_{tha} = \frac{1}{2\pi r_o L h}$$

Le schéma équivalent



Le flux de chaleur traversant l'isolant est:

$$q = \frac{T_i - T_o}{R_{thi}} = \frac{2\pi kL (T_i - T_o)}{\ln(r_o/r_i)}$$

Pour minimiser q , il faut soit avoir k faible ou avoir un grand rapport r_o/r_i .

$$\text{soit } r_o = r_i + \Delta r \Rightarrow \frac{r_o}{r_i} = 1 + \frac{\Delta r}{r_i}$$

Une autre possibilité; avoir $T_o \approx T_a$, en vue de négliger la convection naturelle de l'air. Ainsi pour $T_i = 80^\circ C$ et $T_o = 25^\circ C$ la température moyenne supposée la plus basse. La quantité de chaleur stockée dans le réservoir pendant une durée de 12 heures est:

La plus grande partie du puisage est faite le matin. Seule une faible partie est soustraite le soir.

$$Q = 200 \times 0,994 \times 4,2 \times 80 = 66830 \text{ kJ}$$

Donc la puissance de stockage s'en déduit

$$q = \frac{Q}{t} = \frac{66830}{12 \times 3600} = 1,55 \text{ kw.}$$

L'isolant utilisé est la mousse de polyuréthane. de conductivité thermique k égale à $0,03 \frac{\text{kcal}}{\text{h.m}^{\circ}\text{C}}$

Le rayon interne du réservoir est $0,25 \text{ m}$

et son épaisseur est 20 mm

Pour des pertes qu'on va essayer de limiter à 5% on aura:

$$q' = 0,05 q = \frac{2k \cdot \pi \cdot L (T_i - T_o)}{\ln \left(1 + \frac{\Delta r}{r_i} \right)}$$

$$\rightarrow 1550 \times 0,05 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 0,031 \times L (80 - 25)}{\ln \left(1 + \frac{\Delta r}{0,252} \right)}$$

L'épaisseur de notre isolant est:

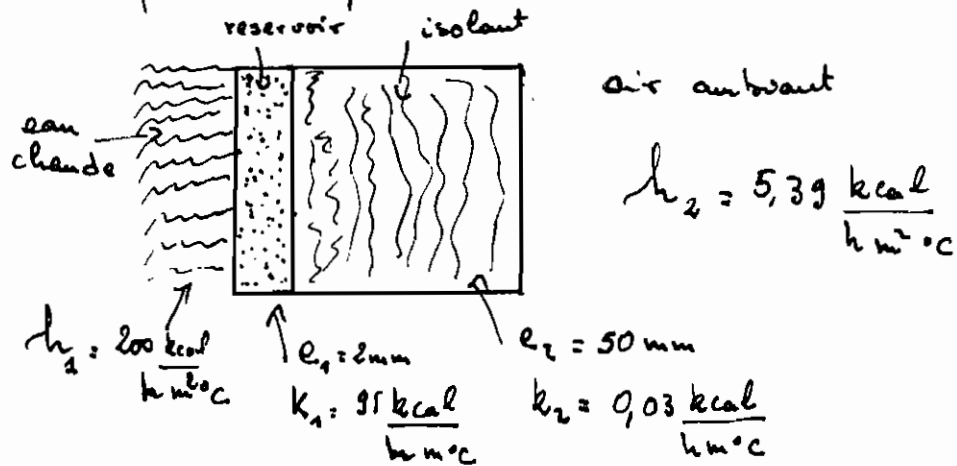
$$\Rightarrow \Delta r = 4,3 \text{ cm}$$

On l'arrondit donc à la valeur de 5 cm de mousse de polyuréthane.

Vérification de la baisse de température.

Si nous limitons les pertes à 5% , il est quand même utile de vérifier de combien

la température pendant la nuit.

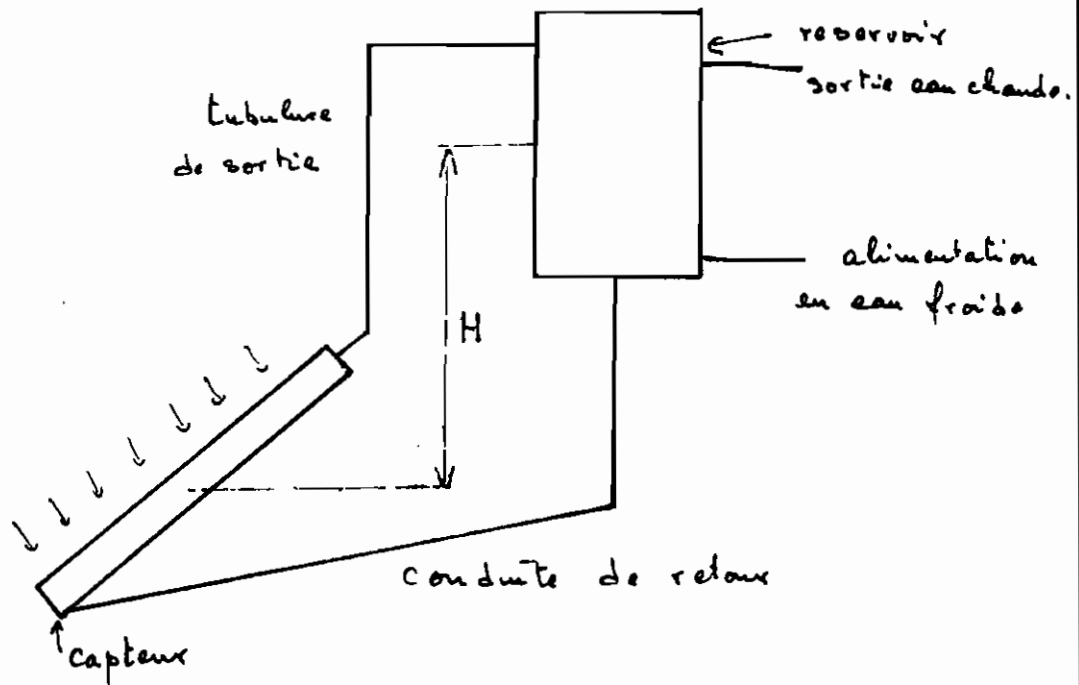


$$\begin{aligned} \text{baisse de température} &= \frac{\text{Surface reser.}}{(M \cdot C_p)_{\text{eau reser}}} \times \frac{\Delta T \times \text{nbre d'heures.}}{\frac{1}{h_1} + \frac{e_1}{k_1} + \frac{e_2}{k_2} + \frac{1}{h_2}} \\ &= \frac{9}{(200 \times 0,994)} \times \frac{(80-25) \times 12}{\frac{1}{200} + \frac{0,002}{95} + \frac{0,05}{0,03} + \frac{1}{5,39}} \end{aligned}$$

alors la baisse de température est: 4°C .
On s'aperçoit donc que l'épaisseur de notre isolant est assez convenable si l'on juge par cette baisse de température de 4°C pendant 12 heures.

Quant aux tuyaux, ils peuvent être choisis en acier de diamètre intérieur égal à 20 mm class. (21 x 27) avec une isolation de 20 mm de mousse polyuréthane au moins, plus une protection contre la pluie: matériaux plastiques collés, goudrons.

6° Principe du thermosiphon.



Sous l'effet du rayonnement solaire l'eau placée dans les conduites contenues dans l'isolateur s'échauffe. Sa densité diminue et cette eau a tendance à monter vers le réservoir d'eau chaude.

Elle est remplacée à la base de l'isolateur de l'eau froide qui s'échauffe à son tour.

La circulation de l'eau se poursuit ainsi la journée durant sous l'effet du rayonnement.

la pression ΔP nécessaire pour assurer le débit m est fourni par l'accélération de la pesanteur g agissant sur la différence de masse volumique ($\rho_f - \rho_{ch}$) entre le fluide froid de la canalisation descendante et le fluide chaud de la canalisation montante sur la hauteur H .

$$\Delta P = (\rho_f - \rho_{ch}) \cdot g \cdot H$$

D'autre part la pression est aussi influencé par la section et la longueur des canalisations, la rugosité des parois, le rayon de courbure des coudes.

la relation perte de charge - écoulement est donnée par:

$$\Delta P = \left(f \frac{L}{D} + k_i + k_o \right) \frac{1}{2} \rho V^2$$

avec $f = \frac{64}{Re}$ car écoulement laminaire.

en moyenne la vitesse d'écoulement est dans l'ordre 10 cm/s et $D = 20 \text{ mm}$.

k_i et k_o sont les coefficients de pertes respectivement de l'entrée et de la sortie du capteur.

Se reporter à l'annexe 2 pour l'aspect théorique du thermosiphon.

Partie C
Étude
Économique

V ETUDE ECONOMIQUE

Cette dernière partie marquant l'aboutissement de la présente étude en est la plus déterminante parce qu'influençant d'une façon ou d'une autre la décision devant être prise par rapport à ce projet.

Donc dans cette partie il s'agit de faire une évaluation ébauchée de notre système et cela pour permettre aux autorités du génie militaire d'avoir un premier aperçu de l'investissement dans un système solaire.

Et le projet est de grande envergure de par sa vocation, les chiffres qui seront cités étayeront cette thèse.

Il importe toutefois de préciser que les prix qui serviront de base à l'évaluation de système ont été fournis par "Grundfos" au mois de Février 1985, et ils sont donc en HTVA.

1^{er} Système photovoltaïque.

L'évaluation se fera par élément, comme il en a été fait dans le document de "Grundfos".

- Panneaux :

A l'heure actuelle le watt crête coûte environ 3600 FCFA. Dans notre installation nous avons prévu d'installer une puissance crête de 3500W. Alors le coût s'élèvera à 12 600 000 FCFA.

- Chassis :

Il sert de support aux panneaux.

Il s'élève à 1.400 000 CFA

- Convertisseur :

Son prix dépend de sa puissance nominale le watt s'estime à 450 CFA alors le coût sera donc égal $2000 \times 450 = 900 000$ FCFA.

- Batterie :

Quant à elle, son prix dépend plutôt de l'énergie stockée. Elle est vendue à raison de 50000 le kWh d'énergie stockée.

L'énergie stockée est environ égale à 6 kWh alors le coût s'élève à 300 000 FCFA.

- motopompe :

Pour une pompe de cette puissance le coût s'élève à 325 000 FCFA.

- Boite de Commande:

Son prix est en moyenne estimée à 80000 F.

Donc après cette micro-évaluation des différents composants de notre système, on aboutit alors à une estimation globale du coût - qui s'élève à 15.605.000 CFA.

Ainsi s'estime de façon approximative le coût de l'installation photovoltaïque.

Ce coût pris isolément peut paraître très élevé ou même comparé à un système classique de générateur.

En effet si l'on devait s'en tenir à une comparaison aussi vague, que disproportionnée il est bien évident qu'une décision raisonnable n'en ressortirait pas.

Un système solaire est toujours réputé par son coût d'entretien quasi nul, des dépenses récurrentes totalement négligeables contrairement à tout autre générateur, avec lequel on pourrait le comparer.

Et c'est là un aspect d'une installation qui mérite une attention particulière, car des dépenses induites provoquées par la maintenance peuvent aller jusqu'à concurrence de la moitié de l'investis-

- sement initial. Ce qui n'est pas le cas d'un système solaire.

L'autre aspect d'un système solaire, surtout pour ce qui est du générateur, c'est sa longévité, le cap des 20 années peut être facilement franchi.

En effet c'est le générateur photovoltaïque qui est l'élément le plus coûteux dans un système solaire, il représente quelquefois les 80% de l'installation. Cependant son prix suit une baisse assez constante même s'il est encore prohibitif.

Beaucoup de firmes versées dans la production des photopiles affirment que le prix de ce générateur est appelé à descendre jusqu'à 300F le watt-crête vers 1990. Une autre firme mais cette fois-ci américaine propose un coût du watt-crête à 125 F CFA vers 1990.

Voilà encore des raisons supplémentaires qui font que l'énergie solaire mérite qu'on lui accorde une attention tout à fait particulière. L'enjeu en vaut donc la chandelle.

2^e Chauffe-eau solaire.

Le chauffe-eau solaire date d'il y a plus de vingt ans, et il a été construit à des millions d'exemplaires dans le monde.

J'ai au Sénégal il est certain de connaître une expansion sans commune mesure.

Le chauffe-eau solaire constitue une alternative valable pour la quasi totalité des pays

tropicaux, parce qu'il est techniquement prêt et particulièrement rentable.

Il connaît une diffusion notable tout pour des usages particuliers (villas) que pour des usages collectifs (hôtels, hôpitaux etc...) et il donne entière satisfaction.

Quant à notre système :

- une surface de captage 4 m²
- un réservoir de 200 l

Le prix fourni par la SINAES installée à Dakar est en HTVA, et il s'éleve en moyenne à

300 000 FCFA.

Le chauffe-eau solaire constitue un investissement.

- Semant doit l'amortissement est fait en l'espace de 2 ans, et quel quefois en 1 an.

De quoi en faire une priorité.

Partie D

Conclusions

VI CONCLUSION

Si à l'heure actuelle l'énergie solaire ne constitue pas une panacée pour l'humanité il n'en demeure pas moins vrai que lorsqu'elle sera bien domptée elle constitue le salut de demain. Et cela pour plusieurs raisons: son caractère non polluant et sa disponibilité sur notre planète.

Vous retiendrez au passage que la puissance fournie par le Soleil représente 18000 fois toute la puissance installée par l'Homme sous toutes ses formes. On pourrait donc être porté à croire que tous les problèmes énergétiques en cette fin du XX^e siècle sont transcendés - dans leur globalité.

Il y a peu de comportements de l'Homme qui soient frappés d'autant d'inconséquence que le mépris qu'il professe pour l'énergie solaire.

Il faut reconnaître que depuis des années l'utilisation de l'énergie solaire marque le pas. Ce stade embryonnaire dans lequel se trouve l'énergie solaire serait un élément du passé, si elle avait bénéficié

des mêmes investissements faramineux que l'énergie nucléaire - dont les déchets constituent une menace constante contre l'humanité toute entière.

Toutefois un optimisme béat pourrait bien nous animer quant à une utilisation massive de l'énergie solaire dans un avenir non lointain à la suite des campagnes menées dans les pays les plus industrialisés contre la pollution sous toutes ses formes que représentent les énergies traditionnelles.

Une disparition progressive des sources d'énergie fossile traditionnelles constitue un argument de taille qui milite au profit de l'énergie solaire.

Malgré tous ces balbutiements dont souffre cette énergie des efforts doivent être fournis pour une plus grande exploitation surtout au niveau du Sahel dont les pays qui le composent ne peuvent pas se targuer de brandir l'arme du pétrole comme le font si bien les pays détenteurs de l'or noir.

Ainsi la réalisation de ce projet ferait du camp de Oucossoqui l'un des rares camps en site isolé dont l'autonomie en énergie est assurée.

Et les résultats concluants sur lesquels ce projet aboutirait seraient à n'en point douter de nature à mettre en branle cette politique d'intégration des énergies renouvelables entreprise par les Forces Armées.

Il ne s'agit pas dans cette première expérience de tout chambouler pour substituer l'installation déjà existante à une installation entièrement en solaire, mais d'assurer une coexistence bien pensée de ces deux systèmes.

Ce processus d'intégration des énergies renouvelables entrepris par l'Armée continuera à faire son petit chemin de bonheur, et pourra donc s'étendre à d'autres domaines tels que l'usage des foyers améliorés communément appelés "Ban ak sunf" ou bien l'usage du biogaz, et tout cela entrerait dans les besoins calorifiques associés à la cuisine. S'il est une pratique presque commune

à tous les camps militaires situés en zone isolée, c'est bien l'utilisation du bois comme combustible devant servir pour la cuisson. Et si l'on n'y prend pas garde l'actuel équilibre écologique précaire risque d'évoluer vers un désastre dont les conséquences sont multiples :

- modification de la climatologie et de la pluviométrie
- Détérioration des sols.
- Détérioration des nappes phréatiques etc...

Donc à cet effet l'utilisation des foyers améliorés si elle ne pourra pas éradiquer l'usage du bois, tendra quand même à diminuer sa consommation grâce à une amélioration des conditions de combustion.

Le bois tel qu'il est utilisé à l'heure actuelle constitue un gaspillage.

Il est simplement placé sous la marmite supportée par trois pierres, 95% de la chaleur potentielle du bois est perdue en fumée, 5% seulement parvenant effectivement à la marmite.

Cette situation assez alarmante tend à être assainie par les foyers améliorés dont le rendement avoisine les 45%.

L'utilisation du biogaz déjà largement répandue en Chine et au Inde ne substituera complètement ni l'utilisation du bois de chauffage. Un prototype est actuellement installé au CERIR et sa vulgarisation ne devrait pas tarder à se faire.

Ainsi cette nouvelle politique entreprise par l'Armée qui est l'intégration des énergies nouvelles et renouvelables mérite d'être saluée et surtout encouragée car étant la matérialisation d'un seul souci : l'économie de l'énergie et lutte contre la désertification. Les moyens mis les efforts aboutiront.

Annexes

Annexe 1 : EFFET PHOTOVOLTAIQUE.

Dans l'électronique des Semi conducteurs les photopiles se distinguent par leur capacité d'engendrer la puissance à partir d'un fuel gratuit : le rayonnement solaire.

En effet le rayonnement solaire est un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de $0,22$ à $10 \mu\text{m}$.

L'énergie associée à ce rayonnement solaire se décompose approximativement ainsi :

- 9% dans la bande des ultra-violets ($\lambda < 0,4 \mu\text{m}$)
- 47% " " " visible ($0,4 \mu\text{m} < \lambda < 0,8 \mu\text{m}$)
- 44% " " " infra rouge ($\lambda > 0,8 \mu\text{m}$).

Sur terre, le spectre solaire est modifié en intensité (de l'ordre de 1000W/m^2 maximum) et en distribution spectrale énergétique.

Cette modification est due à l'absorption par l'atmosphère (vapeur d'eau, gaz carbonique etc...)

1° Principe de la photopile.

Les photopiles sont des composants optoélectroniques qui transforment directement la lumière solaire en électricité. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs, c'est-à-dire.

dire ayant des propriétés intermédiaires entre les isolants et les conducteurs.

1.1. Le matériau.

La photopile la plus courante utilise le silicium, élément très répandu sous forme de silice, mais qui doit être amené à un très grand état de pureté et sous forme de monocristal.

En effet, le fonctionnement de la photopile est basé sur les propriétés électroniques acquises par le silicium quand des atomes étrangers en petit nombre (impuretés) sont substitués dans un réseau cristallin (le dopage).

On a deux sortes de dopage.

- Le dopage de type n : l'atome utilisé contient plus d'électrons que le silicium, ainsi le système contiendra des électrons libres en excès. Pour ce faire le phosphore peut être utilisé, parce qu'il dispose de 5 électrons sur sa couche périphérique.

- Le dopage de type p : contrairement au dopage de type n, l'atome ayant servi de dopage contient moins d'électrons que le silicium sur sa couche périphérique; ainsi donc le matériau sera déficitaire en électrons.

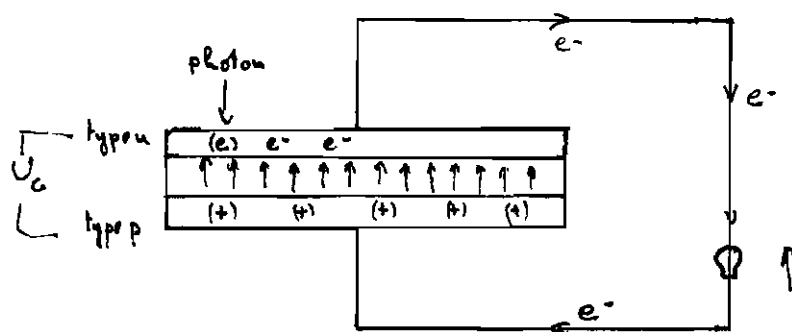
le bore pouvant être utilisé.

Combinaison n-p.

Si l'on combine un cristal de silicium du type n avec un cristal de type p il s'établit à cause de la charge opposée des cristaux un champ électrique permanent dans la jonction.

C'est ce qu'on appelle une combinaison n-p. Le champ se présente comme un balai. Les charges négatives sont balayées d'un côté, les positives à l'autre. Une tension électrique est créée :

Cristal de silicium type n/p.



1.2. L'effet photovoltaïque.

Le phénomène mis en œuvre est celui de l'interaction de la lumière avec les atomes. Pour cette interaction la lumière peut être considérée comme composée de particules : les photons dont l'énergie varie avec la longueur

d'onde ($E = h \frac{c}{\lambda}$)

E : énergie en joules.

h : constante de Planck : $6,62 \cdot 10^{-34}$ J.s

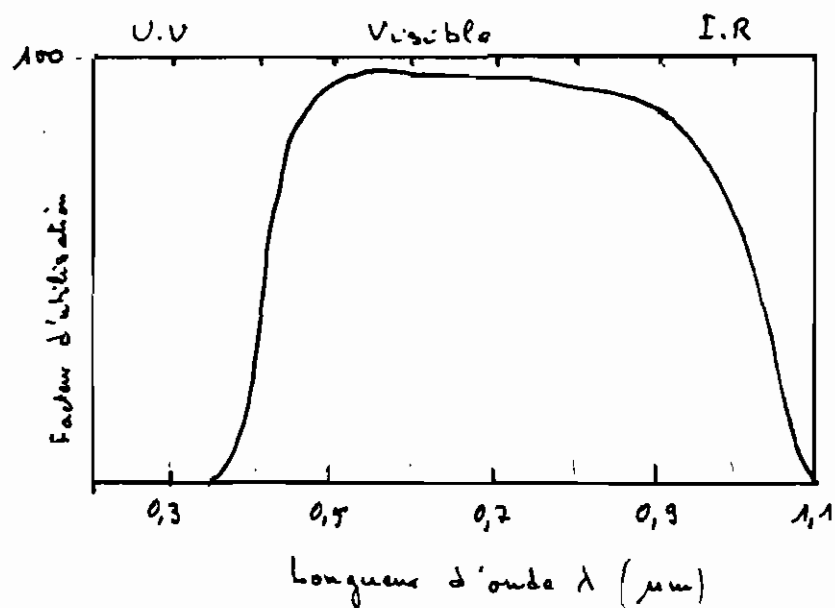
c : vitesse de la lumière $3 \cdot 10^8$ m/s.

λ : longueur d'onde (m).

Ce ne sont pourtant pas tous les photons de la lumière solaire qui ont assez d'énergie pour créer ce courant. Comme mentionné précédemment, les photons de la lumière d'une courte longueur d'onde (lumière bleue) contiennent plus d'énergie que les photons avec une longue longueur d'onde (lumière jaune).

Dans les cellules de silicium, un photon doit avoir une quantité d'énergie d'au moins 1,08 électronvolt pour libérer un électron de sa liaison. Ceci correspond à une longueur d'onde de 1,15 μ m.

Les cellules solaires de silicium travaillent dans le spectre visible: En dehors de cela, il y a des collisions internes entre les électrons libres dans le réseau moléculaire et des pertes sur la recombinaison n.p.



Des cellules solaires travaillent dans le spectre visible.

Les pertes mentionnées ci-dessus et le fait que seulement la moitié des photons de la lumière solaire contiennent assez de quantité d'énergie pour le processus impliquent que le rendement maxi pour les cellules solaires aujourd'hui est d'environ 13%.

Annexe 2

CARACTERISTIQUES DES PHOTOPILES

1. Photopile à l'obscurité.

Dans un milieu non éclairé la photopile n'a pas de pouvoir actif.

Elle se comporte comme une jonction P.N, c'est à dire comme une diode.

Vue de l'extérieur c'est un récepteur; elle ne produit ni courant, ni tension.

Lorsqu'elle est soumise à une d.d.p la caractéristique de la photopile est similaire à celle d'une diode.

$$I_D = I_S \exp. \left[\frac{qV}{\eta KT} - 1 \right]$$

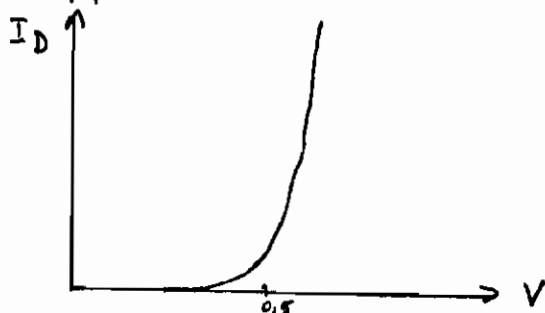
I_D : courant traversant la jonction

I_S : courant inverse.

V : tension aux bornes de la jonction

$\frac{KT}{q}$: 26 mV à 300K (27°C)

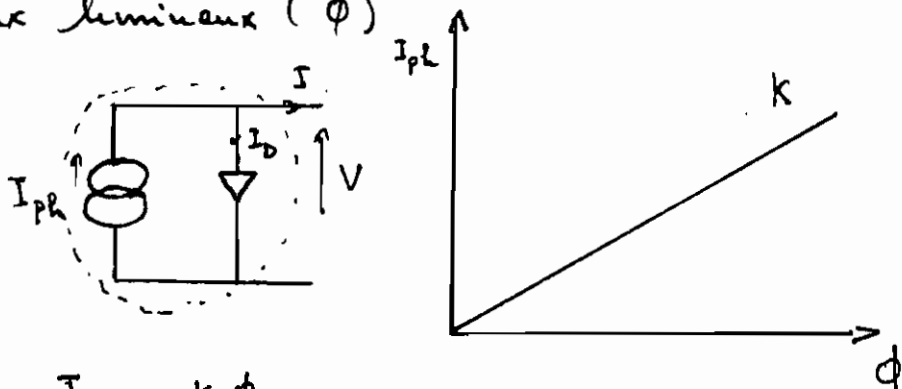
η : coefficient d'idéalité de la diode.



2: Photopile éclairée.

Si la photopile est éclairée, il y a création d'un photocourant (I_{ph}) dû au rayonnement solaire.

Ce courant créé est donc proportionnel au flux lumineux (ϕ)



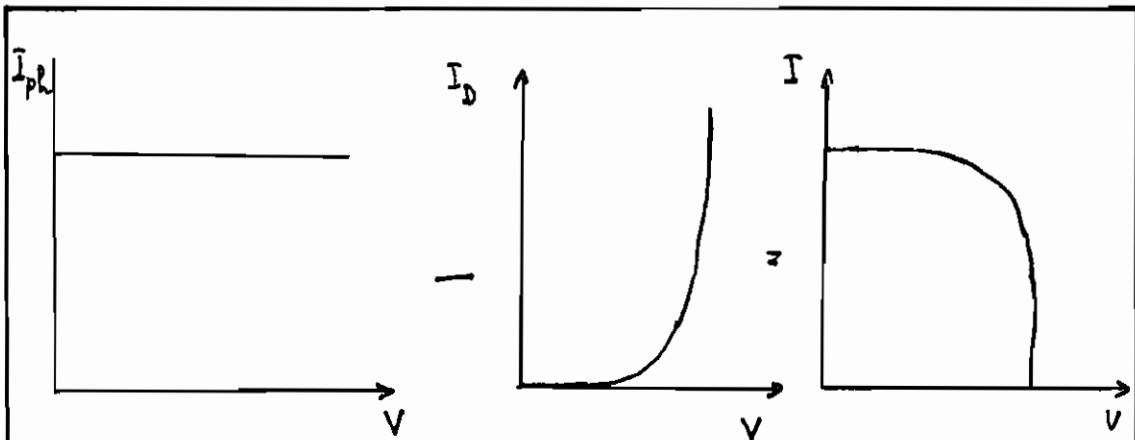
$$I_{ph} = k \phi$$

Le courant I généré par la cellule et disponible à ses bornes est égal à :

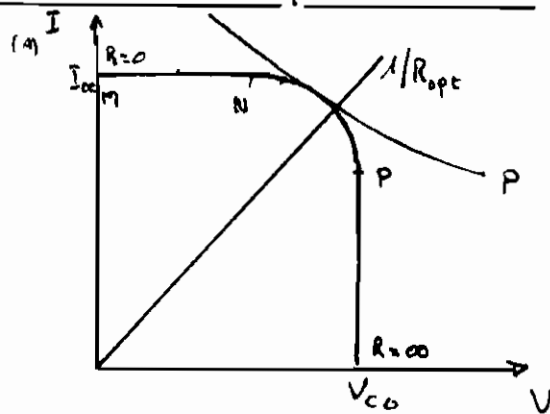
$$I = I_{ph} - I_D \quad \left\{ \begin{array}{l} I : \text{courant disponible} \\ I_{ph} : \text{courant photogénééré} \\ I_D : \text{courant de diode} \end{array} \right.$$

$$\text{Soit } I(V) = I_{ph}(V) - I_s \cdot \exp\left[\frac{qV}{\eta KT} - 1\right]$$

La caractéristique $I = f(V)$ de la photopile se déduit graphiquement par soustraction de la caractéristique $I_D(V)$ à celle de $I_{ph}(V)$



3° Courbe de puissance.



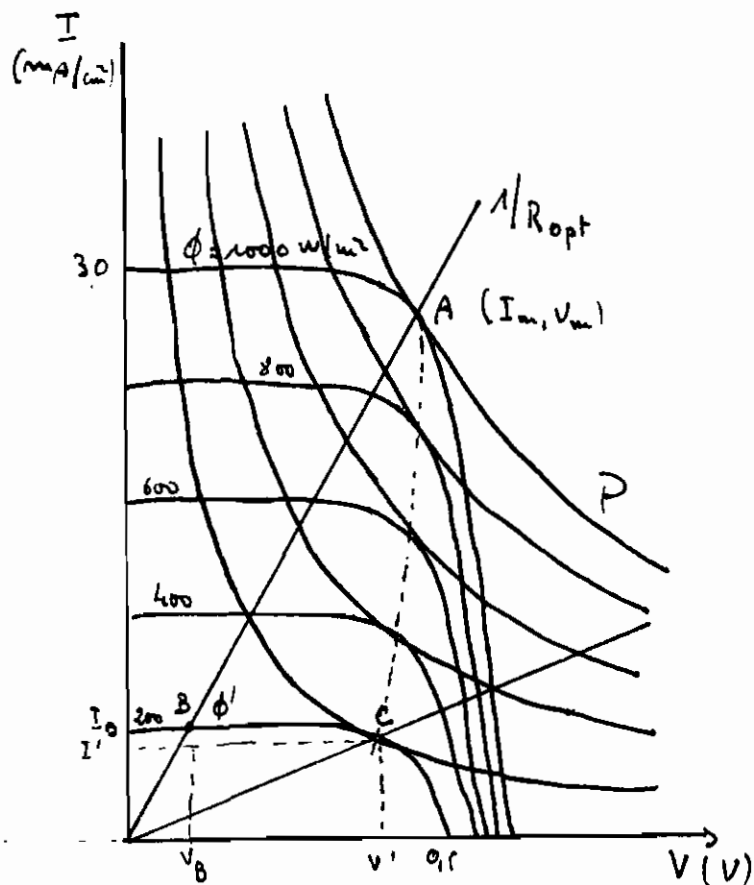
La valeur maximale de la puissance correspond à une résistance R dite résistance optimale, à cette valeur de R_{opt} , la caractéristique $I = f(V)$ est tangente aux hyperboles d'équipuissances.

Suivant la valeur de la résistance de la charge la cellule va fonctionner dans la zone $\rightarrow P$ ou MN .

Il importe toutefois de noter que la caractéristique de la cellule est légèrement modifiée par la résistance shunt R_{sh} et la

résistance R_s série qui sont dues à la technologie de fabrication.

4^e Influence de l'ensoleillement.



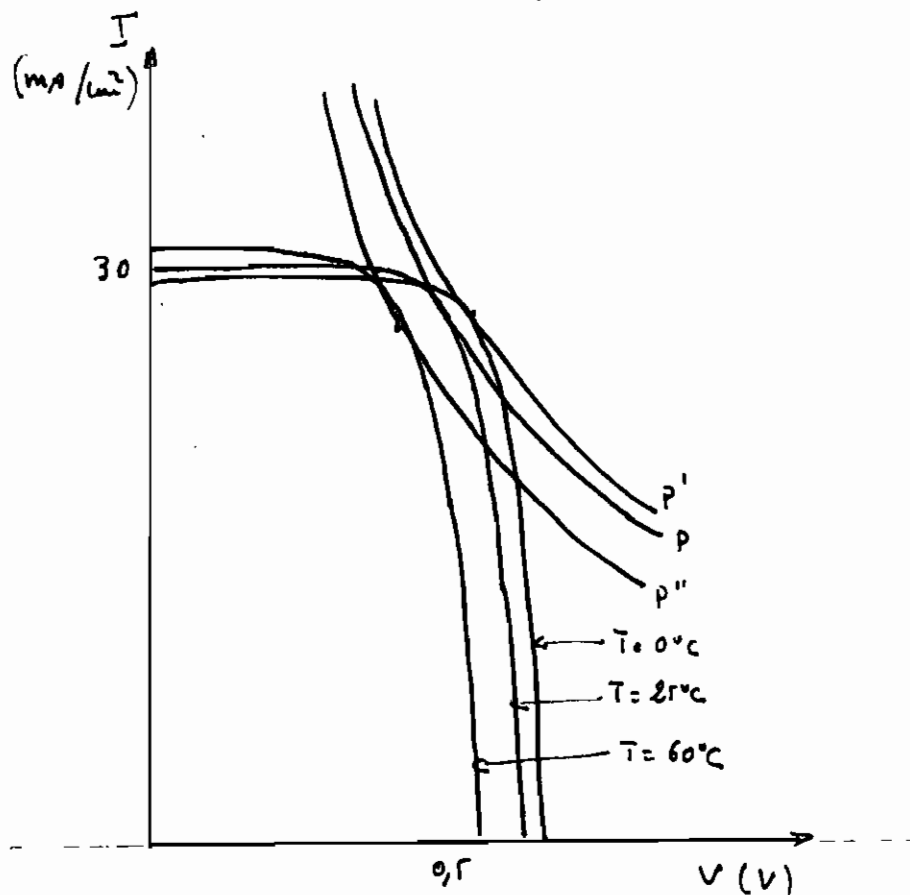
On a vu dans les pages précédentes que le photocourant est proportionnel au flux lumineux ϕ .
 Donc par voie de conséquence le courant de court-circuit est pratiquement proportionnel à l'ensoleillement (en négligeant la résistance R_s).
 Quant à la tension de circuit ouvert elle diminue légèrement avec le flux lumineux mais ne dépend pas de la surface, elle n'est fonction que du matériau.

5. Influence de la température.

la température constitue un facteur assez déterminant pour la caractéristique $I = f(V)$.
Le photo courant augmente légèrement avec la température T (0,1% par °C, soit

$$0,03 \text{ mA} / ^\circ\text{C} / \text{cm}^2)$$

Par contre le courant I_D va varier très rapidement avec la température T .



la tension de circuit ouvert va diminuer en fonction de la température environ $2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$.
La puissance maxi disponible va diminuer de $0,35\%$ par degré environ

Annexe 3

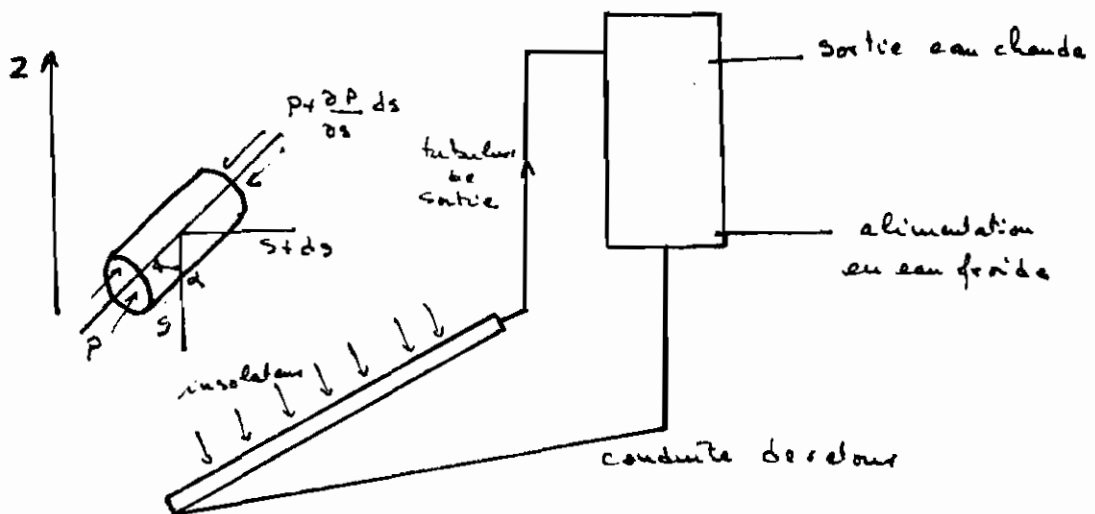
ETUDE THEORIQUE DU THERMOSIPHON

Cette présente étude sera faite en supposant une absence de toute consommation d'eau

Equation du mouvement.

Appliquons l'équation fondamentale de la dynamique à un élément de circuit fermé parcouru par l'eau avec s et $s+ds$ d'abscisses, qui sont comptées à partir d'un point 0 quelconque du circuit

On obtient en désignant:



On obtient en désignant par la section droite de l'élément de circuit considéré :

- α : l'angle entre l'axe de l'élément et la verticale.
- P : pression à abscisse s
- v : vitesse de l'eau
- g : accélération de la pesanteur.

$$P\sigma - \left(p + \frac{\partial p}{\partial s} ds\right)\sigma - \int g\sigma ds \cos \alpha - f\sigma ds = \rho\sigma ds \frac{dv}{dt}$$

le terme $f\sigma ds$ tenant compte des frottements
Ce qui donne après simplification et intégration le long du circuit.

$$-\int \frac{\partial p}{\partial s} ds - \int g ds \cos \alpha - \int f ds = \int \rho ds \frac{dv}{dt}$$

Le circuit étant fermé, le premier terme de cette équation est nul.

Quant au second membre, il est négligeable par rapport aux autres.

Il vient dans ces conditions:

$$\int_c f ds = - \int_c g ds \cos \alpha = -g \int_c \rho dz$$

Le premier terme représente la perte de pression relative aux pertes de charge, le second membre la pression motrice.

Nous écrivons l'égalité précédente sous la forme en posant :

$$P_m = -g \int_c \rho dz \quad \text{et} \quad P_f = \int_c f ds = \omega \Delta H$$

ω : poids spécifique moyen de l'eau.

ΔH : perte de charge en mètres d'eau le long du circuit

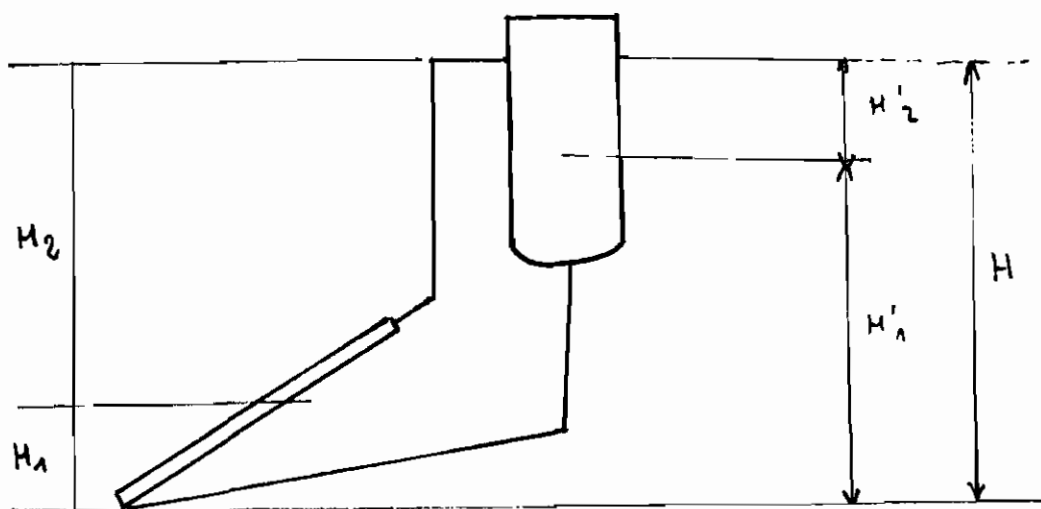
P_m : pression motrice.

Calcul de P_m .

$$P_m = \int g \rho dz$$

Représentons le circuit parcouru de l'eau

Dans la conduite de retour la température est θ_1 , et dans la conduite sortant de l'isolateur θ_2 .
 A l'intérieur du réservoir la température varie de θ_2 à la partie inférieure à θ_1 à la partie supérieure. Il en est de même dans les tubes de l'isolateur.



On peut admettre en première approximation, au point de vue calcul de pression motrice que tout se passe comme si les moitiés supérieures du réservoir et de l'isolateur étaient à la température θ_2 et les moitiés inférieures à la température θ_1 .

A la température θ_1 , la masse spécifique de l'eau est ρ_1

A la température θ_2 , elle devient ρ_2

Entre 30° et 80°C , température habituelle des

chauffe-eau, la masse spécifique de l'eau varie approximativement en fonction de la température selon la formule $1012 - 0,5 \theta$

Calculons $P_m = g \int_c dz$

On obtient en partant du point bas: (voir graphique)

$$P_m = (-\rho_1 H_1 - \rho_2 H_2 + \rho_2 H_2' + \rho_1 H_1') g$$

Expression que l'on peut mettre sous la forme suivante en faisant intervenir H.

$$P_m = [-\rho_1(H - H_2) - \rho_2 H_2 + \rho_2 H_2' + \rho_1(H - H_2')] g$$

Les termes $\rho_1 H$ disparaissent.

$$P_m = H_2(\rho_1 - \rho_2) - H_2'(\rho_1 - \rho_2) g$$
$$= (H_2 - H_2')(\rho_1 - \rho_2) g$$

On obtient donc:

$$P_m = (\rho_1 - \rho_2) g H_m \quad \text{en posant } H_m = H_2 - H_2'$$

Pour que le chauffe-eau puisse fonctionner correctement il est nécessaire que H_2 soit supérieur à H_2'

Exprimons P_m en fonction des températures θ_1, θ_2

$$P_m = (\rho_1 - \rho_2) g H_m = 0,5(\theta_2 - \theta_1) g H_m$$

Calcul de P_f .

Les vitesses de circulation de l'eau ne sont jamais importantes. Le nombre de Reynolds reste toujours très inférieur à 2000. ~~titre~~

L'écoulement étant laminaire, les pertes de charges sont proportionnelles au débit et à la viscosité.

Pour les conduites circulaires on peut appliquer la loi de Poiseuille.

$$\frac{dP}{dx} = \frac{8\mu}{\pi R^4}$$

R : rayon de la canalisation.

μ : viscosité dynamique

$$\mu = a - b\theta.$$

Si nous divisons notre circuit en deux parties: l'une à la température θ_1 , l'autre à la température θ_2 comme nous l'avons fait pour la détermination de P_m nous pouvons calculer pour chacune de ces parties la viscosité de l'eau μ_1 et μ_2 .

Dans ces conditions P_f peut être mis sous la forme. (D : débit volumique)

$$P_f = (R_1 \mu_1 + R_2 \mu_2) D$$

R_1 et R_2 étant les coefficients de pertes de charge relatifs à chacune des parties.

Soit encore en posant $\mu = a - b\theta$.

$$P_f = (aR_1 - bR_1\theta_1 + aR_2 - bR_2\theta_2) D$$

$$= [a(R_1 + R_2) - b(R_1\theta_1 + R_2\theta_2)] D$$

$$= [(R_1 + R_2)(a - b\theta) - bR_2\Delta\theta] D$$

$$P_f = (A - B \Delta \theta) D$$

En posant $A = (R_1 + R_2)(a - b \theta_1) =$ une constante
si θ reste constant.

$$B = b R_2.$$

Dans ces conditions, l'expression qui traduit
l'égalité $P_f = P_m$ s'écrit.

$$[A - B \Delta \theta] D = 0,1 \Delta \theta H_m \cdot g$$

On en tire :

$$D = \frac{0,1 \Delta \theta \cdot H_m \cdot g}{A - B \Delta \theta} \quad (1)$$

$$\Delta \theta = \frac{A \cdot D}{0,1 \cdot H_m \cdot g + B D} \quad (2)$$

Pour résoudre le problème il est nécessaire
de faire appel à une seconde relation.

Cette expression n'est autre que l'équation qui
régit le transfert de la chaleur au niveau
de l'isolateur.

$$\Delta \theta = \theta_2 - \theta_1 = \frac{R}{\lambda} (\theta_1 - \theta_a) \left(1 - e^{-\frac{\lambda S}{\rho c D}} \right) \quad (3)$$

R : quantité de chaleur solaire reçue par m^2
de collecteur et transmise à l'eau

λ : coef. d'échange calorifique rapporté au m^2 de
collecteur entre le fluide et l'atmosphère de temp. θ_a .

S : surface de plaque collectrice.

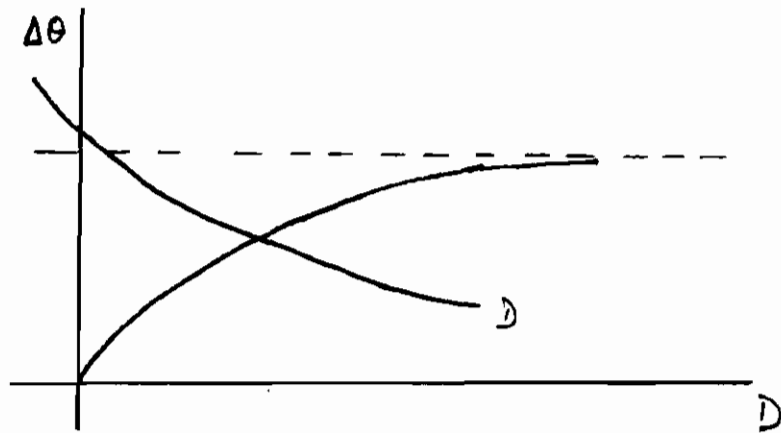
c : pouvoir calorifique de l'eau.

la détermination du débit à toute heure de la journée ne présente aucune difficulté lorsque les principaux paramètres de l'insolation ont été déterminés.

Il suffit de tracer pour chaque heure de la journée les courbes de variation (1) et (3) de $\Delta\theta$ en fonction du débit en donnant à P et θ_1 , θ_2 éventuellement les diverses valeurs que les paramètres peuvent prendre au moment considéré.

Les coordonnées du point d'intersection représentant le débit D et d'échangelement $\Delta\theta$ recherché. Il est à noter que la méthode de calcul peut prendre en considération les variations de H_m dues notamment au remplissage du réservoir d'accumulation par de l'eau de pluie ou plus chaude et puis se traduit par une augmentation de H'_2 .

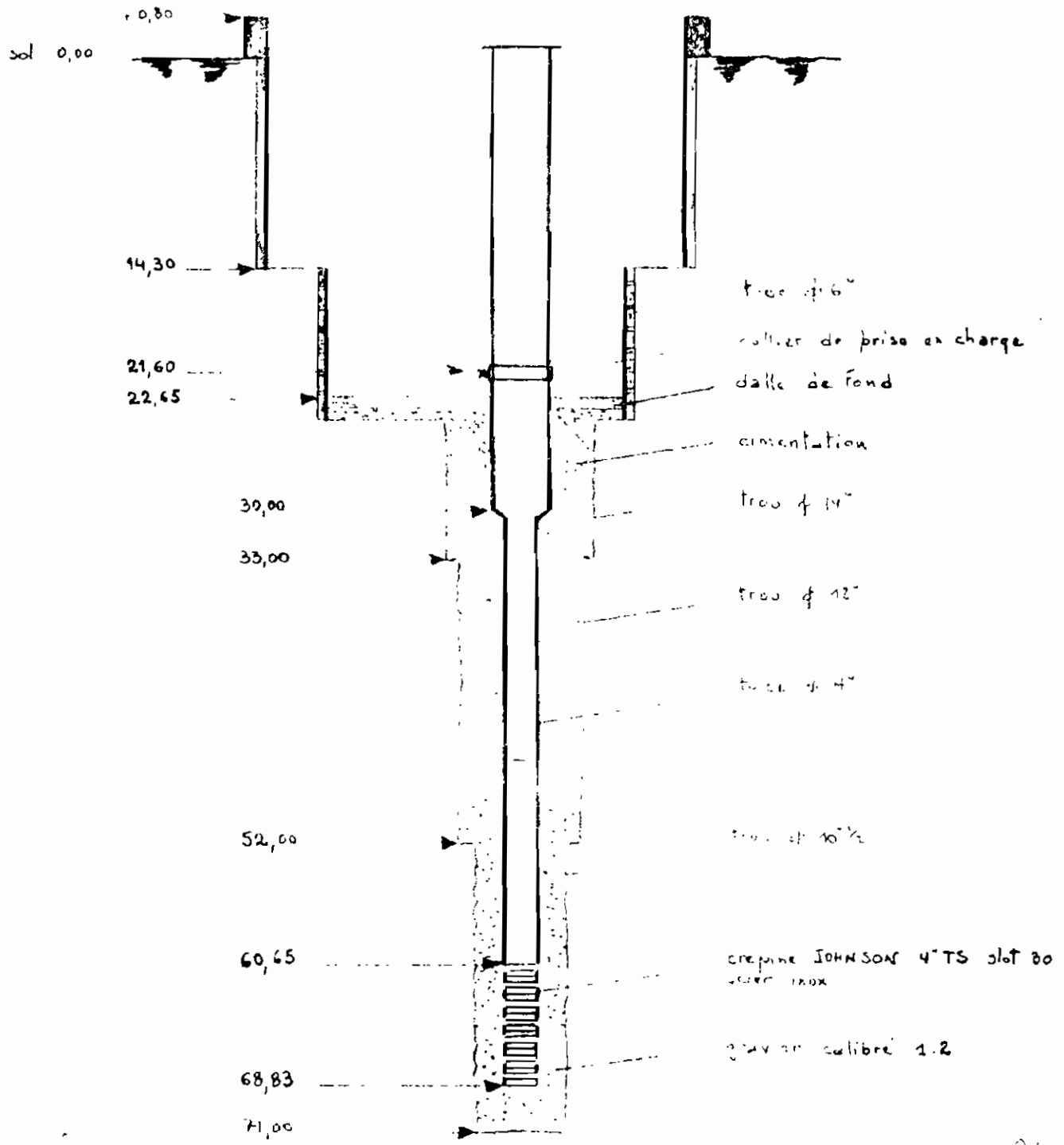
Remarquons que le calcul ci-dessus ne considère le fonctionnement du thermostat que à l'absence de toute consommation



Le calcul a été fait en considérant le fonctionnement du thermosiphon en l'absence de toute consommation d'eau.

INTRAFOR COFOR
 Depart L'Hydraulique Afrique
DAKAR BP368

SENEGAL
 Marché T/58/FM
 Camp militaire de OUSSOQUI



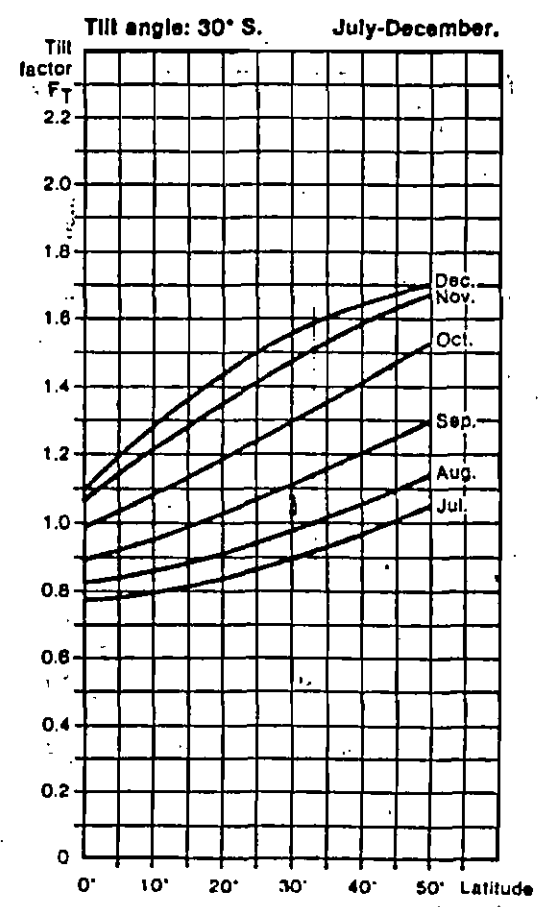
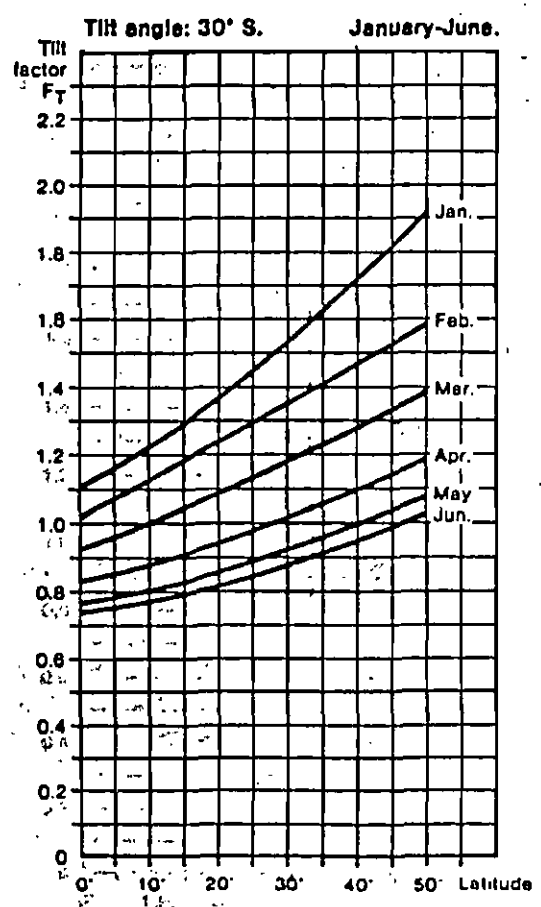
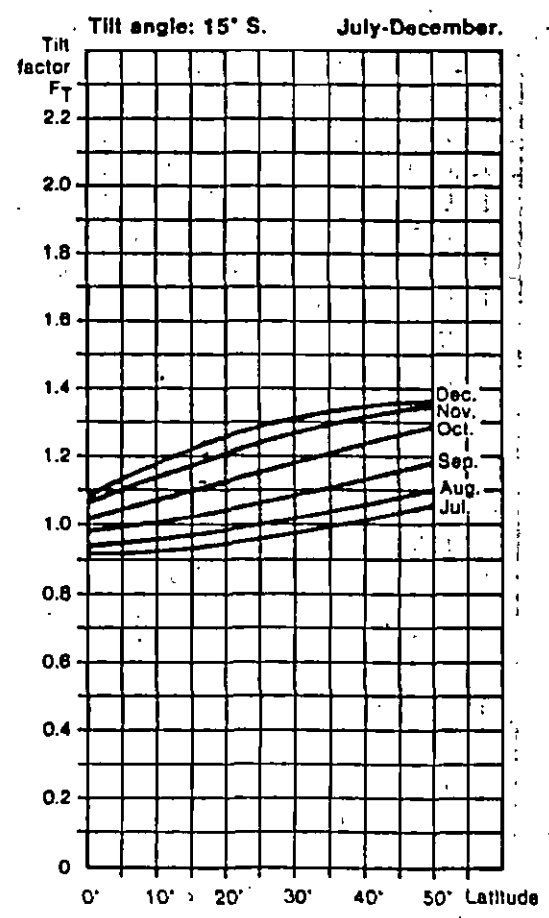
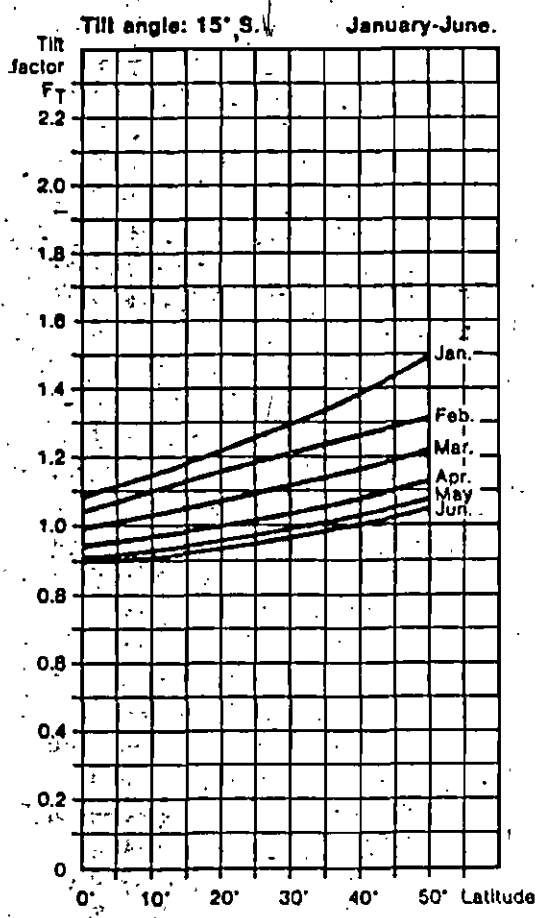
Commencé le 28.1.71
 Terminé le 23.2.71
 Foreur = R. DELANNOY

Reception provisoire le 27.2.71

Et niveau statique à 16,45 m du sol
 Débit obtenu = 20 m³/h
 Hauteur manométrique = 10,0 m

Annexe 4 : Coupe du forage.

NORTHERN HEMISPHERE (*Facteurs d'inclinaison*)



Références Bibliographiques.

- F. KREITH : Transmission de la chaleur et thermodynamique - Masson et C^{ie} 600 pages.
- Professeur ROGER université Lyon : L'électricité solaire Photovoltaïque, Principe - Applications
- Luc HOANG GIA : systèmes photothermiques - Fonctionnement d'un réseau de capteurs solaires plans.
- Eyrolles Éditeurs/Paris : Bilan thermique d'une maison solaire - méthode de calcul rapide
- Cahier AFEDS : Les effets photovoltaïques - leurs applications en milieu spatial et au sol. Édition 1977 complètes
- Jérôme BILLEREY : La pompe photovoltaïque
GRET / GERES / AFME Février 1984
- Bocar Dada Dy - André Gauthier : Évaluation des Potentiel éolien et solaire du Sénégal - 1983
- Mamadou KANOUTE : système chauffe-eau - capteur solaire
Projet de fin d'études - 1982