

ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES

— + —

PROJET DE FIN D'ÉTUDES

— + —

TITRE: *distillateur solaire à  
double effet de serre.*

AUTEUR: *Ibrahima NDIAYE*

Directeur: *JAN DRODZ*

Codirecteur: *Daniel BEDARD*

## Rémerciements

Nous remercions tous ceux qui de loin ou de près, ont participé à la réalisation de ce projet.

Plus particulièrement nous remercions Mrs Jan DROZDZ et Daniel BEDARD, de par leur disponibilité constante et leur soutien efficace. Nous remercions également tous les techniciens qui nous ont aidé lors de la réalisation de l'opercil, particulièrement Mr. Yvon BUGEAS. Nos remerciements vont aussi au personnel du casernement qui a bien voulu amener son concours pendant la fabrication.



## Sommaire

Il s'agit de concevoir, réaliser et tester un petit distillateur solaire à effet de serre, et à double effet. Le principe consiste à récupérer la chaleur provenant de la vitre inférieure. Ce qui permet ainsi en même temps de refroidir la vitre inférieure et de faire évaporer une partie de cette eau de refroidissement. Deux séries de mesures sont faites : une sans refroidissement de la vitre inférieure et une avec refroidissement de la vitre inférieure. Pour la première série, les résultats sont faibles et ne sont que de  $2.73 \text{ l/m}^2/\text{jours}$  en moyenne. Quant à la deuxième série, les résultats sont meilleurs et laissent un grand espoir d'amélioration. On a recueilli en moyenne  $3.56 \text{ l/m}^2/\text{jour}$  ; ce qui nous a ramené le prix du litre d'eau à 7 CFA.

— + —

## Table des matières

	Pages
Introduction	1
CHapitre - 1 - Généralités	4
11°1 - Historique.	4
12°1 - Quelques variantes de petit distillateur.	8
13°1 - Considération théorique des distillateurs:	13
CHapitre - 2 - Analyse de la distillation solaire.	18
11°1 - L'énergie solaire.	18
12°1 - A simple effet.	23
13°1 - A double effet.	34
14°1 - Paramètres influent la distillation solaire.	38
CHapitre - 3 - Choix - Conception et Construction d'un type de distillateur.	41
11°1 - Choix	41
12°1 - Conception.	43
13°1 - Détail de construction.	46
14°1 - Processus de montage du distillateur.	49
CHapitre - 4 - Résultats expérimentaux	51
11°1 - Les mesures (appareils)	51
12°1 - Performance du distillateur.	52
CHapitre - 5 - Etude de coût et Rentabilité'	79
11°1 - Coût total de l'appareil.	79

12°) Rentabilité de l'appareil.	79
CHapitre - 6- Discussion et Recommandation.	85
11°)- Discussion	85
12°)- Recommendations.	87
Conclusion.	91
Annexe.	92
References	99

## Introduction.

L'eau a tendance à devenir un bien rare, car la consommation ne cesse de croître par suite de l'augmentation de la population et de l'évolution du niveau de vie. La consommation moyenne est de l'ordre de 50 litres par jours et par habitants dans les pays en voie de développement et dépasse 500 litres/jours/habitants [2] dans certains pays occidentaux; ces chiffres correspondent à une consommation moyenne, toutes activités confondues. Pour l'alimentation humaine (boisson et cuisson des aliments) les besoins ne sont que d'environ 4 à 5 litres/jour/hab. Dans les régions arides et semi-arides, l'approvisionnement en eau douce constitue un problème qui devient de plus en plus vital, car l'eau qu'on trouve dans le sous-sol sous forme de nappe phréatique, est parfois salée, et devient impropre à la consommation et à l'irrigation. Ce qui est plus grave encore, c'est que ces nappes aux eaux saumâtres, tendent à gagner de plus en plus de régions (voir la carte du Sénégal en annexe); ce qui pourrait être dangereux pour certaines régions importantes économiquement pour le pays. Allons-nous vers une crise de l'eau? Des experts soviétiques prévoient pour le début du siècle prochain l'épuisement des ressources d'eau consommable des régions habitées de la terre. Or près de 97,5% des ressources naturelles du globe se trouvent sous forme d'eau salée dans les océans et les mers (voir fig. 1) V

annexe.

Alors pourquoi ne pas chercher à extraire l'eau douce

de cette abondante réserve qu'est la mer? Actuellement, des installations de grande capacité (plusieurs centaines de milliers de  $m^3$ /jours) fonctionnent déjà principalement au Moyen-Orient (Arabie saoudite, Koweït, Katar---) La plupart de ces installations utilisent comme source d'énergie une énergie fossile (fuel, gaz), soit directement, dans le cas des distillations, soit indirectement, dans le cas des procédés à membranes (électrodialyse, osmose inverse). Or la part d'énergie dans le coût du  $m^3$  d'eau, pour une installation de capacité importante et fonctionnant avec un facteur de charge élevé, représente 40 à 50 % du total. C'est pour quoi depuis la hausse du coût de l'énergie, de nombreux pays s'intéressent à l'utilisation de l'énergie solaire pour le désalement. S'intéresser à l'utilisation des énergies renouvelables, n'est-ce devrait-il pas être l'œuvre principale des pays sous développés, à qui le problème majeur est celui de l'eau; et à qui il est difficile de se procurer de l'énergie. Ainsi un peu partout dans le monde des recherches sont menées pour une utilisation rentable de l'énergie solaire, et ceci dans les domaines les plus variés. Parmi les applications possibles de l'énergie solaire, la désalinisation de l'eau salée, peut être réalisée avec des dispositifs simples permettant de résoudre donc une grande partie du problème des régions qui manquent d'eau douce directement utilisable. La conception d'un

distillateur à effet de serre semble être le dispositif le plus simple. Plusieurs études sont effectuées dans plusieurs pays, et qu'elles ont abouti à des applications parfois satisfaisantes pour répondre à des besoins en eau douce (Exemple: Punta-Canoa - village de 600 habitants en Colombie). Le distillateur solaire présente un double intérêt. Il permet en premier lieu de répondre à des besoins en eau douce. Le deuxième intérêt réside dans le faible coût des investissements. C'est dans un tel cadre que nous cherchons à optimiser un distillateur solaire à double effet de petites dimensions.



1.1 Historique.

Dès la plus haute antiquité, on a utilisé la chaleur solaire pour faire cristalliser le sel par évaporation de l'eau de mer ou des saumures. Il y a des milliers d'années, les chinois utilisaient cette méthode. Plus tard, ce furent les égyptiens, les phéniciens, les grecs et les romains. Le sel ainsi obtenu faisait l'objet d'un commerce intense. L'évaporation de l'eau salée sous l'influence de la chaleur solaire semble avoir toujours été pratiquée là où les conditions atmosphériques le permettaient, et on trouve des traces de marais salants sur la côte atlantique dans le Massachusetts 20 ans seulement après l'arrivée des premiers émigrants. Il faut cependant constater qu'en dépit de sa longue histoire, le procédé n'a subi durant les derniers deux mille ans aucune amélioration fondamentale. Par contre l'idée d'utiliser la chaleur solaire pour obtenir de l'eau douce ne semble pas avoir laissé de traces dans les siècles précédents; et il a fallu attendre ces cent dernières années pour trouver des essais de réalisation pratique. Le plus ancien brevet relatif à la distillation solaire semble dû à un anglais A. Gordon (1856). L'appareil était constitué par un miroir concave solidaire d'un mou-

vement d'horlogerie qui lui faisait suivre le soleil.  
Le distillateur était placé au foyer du miroir.

C'est en 1872 à Las Salinas au Chili qu'on trouve la première réalisation pratique de quelque envergure. Là encore l'auteur est un anglais: J. Harding. La surface qui était insoléé, était de  $4800 \text{ m}^2$ , et elle était située à une altitude de  $1400 \text{ m}$ . Des bacs peu profonds contenaient, et étaient placés les uns à cotés des autres, et étaient recouverts d'une plaque de verre peu inclinée. On parvenait ainsi à recueillir 23 tonnes d'eau distillée par jour en été, ce qui équivalait à 4.7 litres par mètre carré de surface exposée à la radiation.

Il faut reconnaître que les conditions étaient particulièrement favorables si l'on tient compte de la latitude du lieu, de son altitude ( $1400 \text{ m}$ ) et de la pureté de l'atmosphère. Cette installation resta en exploitation jusqu'en 1908, soit pendant près de quarante ans. En 1888 T. Ziem fait breveter en Allemagne et en Angleterre un appareil de distillation de l'eau par la chaleur solaire, et en 1921 l'américain Brosius prend le premier brevet aux USA sur l'utilisation de la radiation solaire pour obtenir de l'eau douce.

L'idée semblait lancée. Pourtant les réalisations furent peu nombreuses avant la première guerre mondiale. Le moteur à essence et l'énergie électrique en plein développement semblaient rendre inutile

toute recherche ayant trait à l'énergie solaire. Les installations de Las Salinas elles-mêmes cessèrent d'être entretenues. La question ne se retrouvera dans l'actualité que lorsque en France, il a été ouvert officiellement un concours pour la réalisation d'un appareil capable de fournir de l'eau distillée par l'utilisation de l'énergie solaire. Ce fut alors l'occasion pour la naissance d'autres brevets, plus particulièrement en France et en Italie. Il y en avait alors des installations qui furent réalisées et l'on devrait s'attendre à leur extension, ce qui n'a pas été le cas. L'idée n'a pas cessé de faire son chemin bien que connaissant des hauts et des bas, jus qu'aujourd'hui, et qu'elle ~~se~~ le poursuive encore. Les années 1960 à 1970 ont connu plusieurs réalisations (Confère : tableau de la page suivante). Ainsi de nombreuses recherches sont entrainées d'être menées dans beaucoup de pays, tels USA, CANADA, Australie, Maroc, Italie et ici même au Sénégal avec le CERER, de ---

Pays	Localité	Année de construction	Superficie (m <sup>2</sup> )	Capacité de production m <sup>3</sup> /j	Observations	
Australie	Muresk I	1963	372	1.5	Reconstruit	
	Muresk II	1966	372	1.5		
	Cooper Pady	1966	3160	12.6		
	Carguna	1966	372	1.5		
	Hamelin Pool	1966	557	2.2		
	Griffith	1967	413	1.6		
Iles du Cap-vert	Santa maria	1965	743	3	abandonné	
	santa maria	1968				
Chili	Quillagua	1968	100	0.4		
Grèce	Syni I	1964	2686	10.7	Reconstruit	
	Syni II	1968	2600	10.4	Démonté	
	Aegina I	1965	1490	6	Reconstruit	
	Aegina II	1968	1486	6	Abandonné	
	Salmis	1965	388	1.5	Abandonné	
	Patnos	1967	8600	34		
	Kimolas	1968	2508	10		
	Nisyros	1969	2005	8		
	Fiscardo	1971	2200	9.6	↗	
	Kionion	1971	2400	8.8		
	Negisti	1973	2528	10.1		
	Inde	Bhavnagar	1965	377	1.5	
	Mexique	Natividad	1969	95	0.4	
Pakistan	Gwadar I	1969	306	1.2		
	Gwadar II	1972	9072	36		
Espagne	Las Marinas	1966	868	3.5		
Tunisie	Chaknou	1967	440	1.8		
	Madhia		1300	5.2		
USA	Daytona Beach	1959	228	0.9	Reconstruit.	
	Daytona Beach	1961	246	1.0	Démonté	
	Daytona Beach	1961	216	0.9	Démonté	
	Daytona Beach	1963	148	0.6	Démonté	
URSS	Bakardén	1969	600	2.4		
Antilles	Petit St. Vinc.	1967	1710	6.8		
	Haiti	1969	223	0.9		

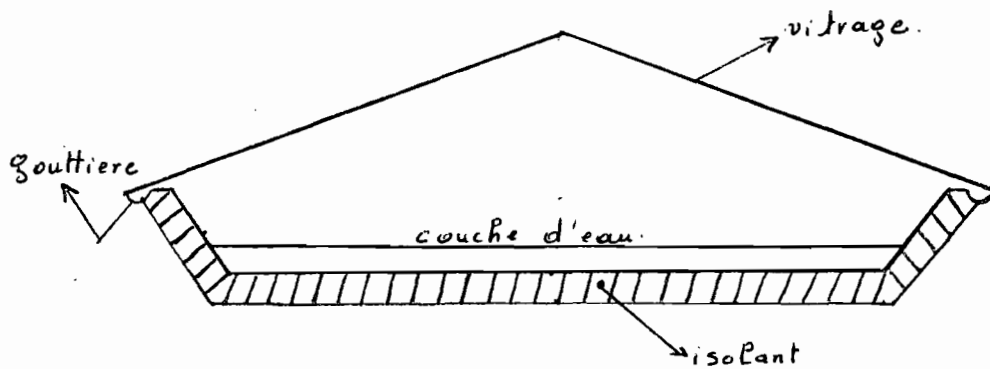
Principaux distillateurs solaires du type serre pdts les années 1960 et 1970. [2]

### 12°1 Quelques variantes de petits distillateurs.

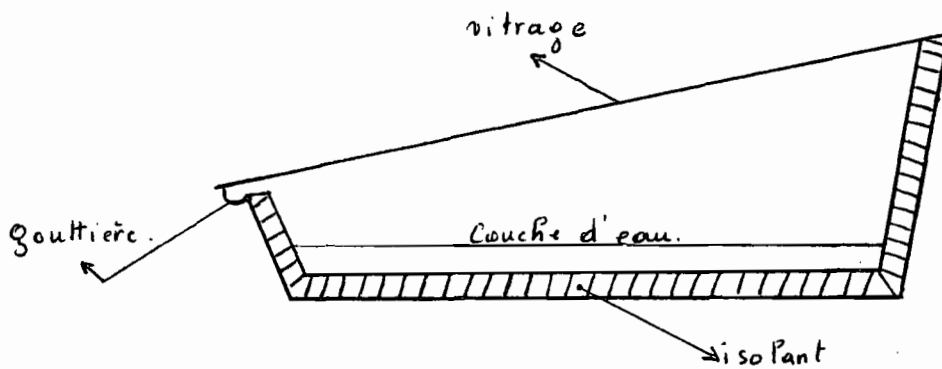
Les petits distillateurs sont intéressants pour les groupes isolés. On peut les diviser en trois catégories; les distillateurs à simple effet, les distillateurs à double effet et les distillateurs à concentration.

#### a) Les petits distillateurs à simple effet.

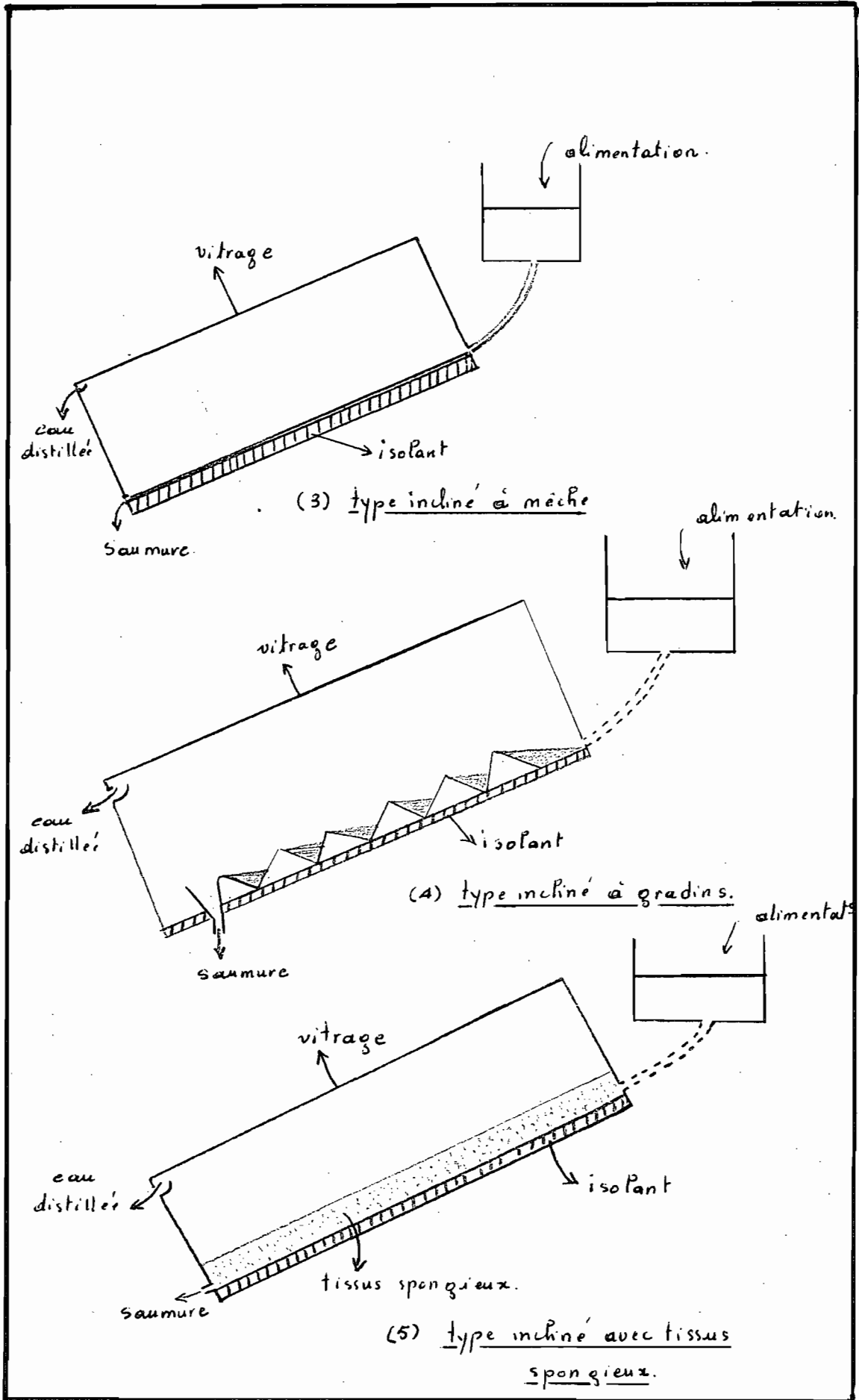
Pour cette catégorie, plusieurs technologies sont utilisées. Les figures qui vont suivre ont toutes fait l'objet d'essais dans divers pays.



(1) à double pont.



(2) à simple pont.



pour les types (1) et (2), la couche d'eau qui repose dans un bac peint le plus souvent en noir, est chauffée. La vapeur produite se condense sur la face interne du vitrage, et ruisselle le long de la pente pour être recueillie au niveau des gouttières. Le fond du bac est constitué d'un isolant pour diminuer les pertes thermiques par conduction vers le bas. Pour le type (3) la lame très mince d'eau ruisselle le long de la plaque noire. L'eau s'évapore alors et se condense sur le vitrage pour être recueillie. Quant au type (4), la différence avec le type (3) réside dans le seul fait que l'eau est retenue ici dans des contenants; ainsi elle est chauffée et s'évapore ensuite et se condense sur le vitrage pour finalement être recueillie.

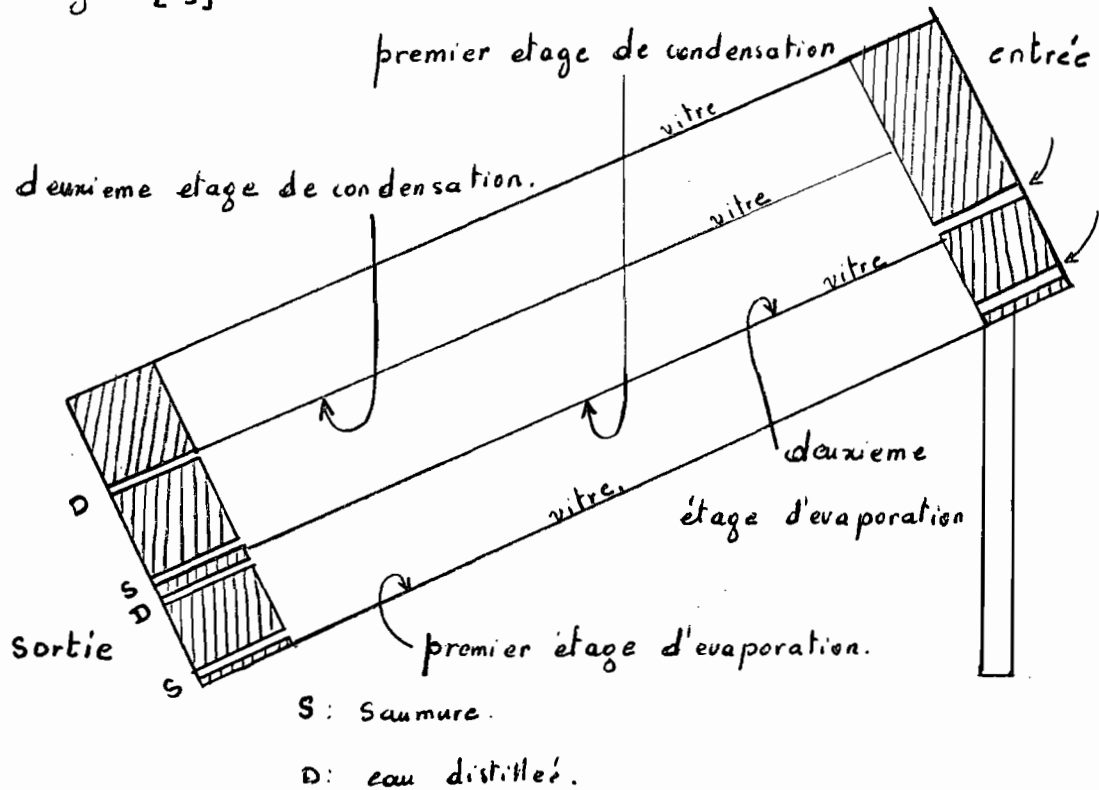
Pour le type (5) aussi, la différence est que l'eau est retenue ici, non par des contenants, mais par un tissu spongieux. Elle est ensuite chauffée, condensée, et recueillie.

### b) Les petits distillateurs à multiples effets.

Messieurs Nebbia et Wilson ont étudié un modèle de petit distillateur à multiples effets [9]. L'eau à évaporer, placée dans des cuves superposées est chauffée à travers des vitres verticales. La chaleur de condensation est récupérée partiellement par

l'eau des bacs situés au dessus, pour élever la température de cette eau.

Le modèle suivant est dû à M. K. SELÇUK de l'université d'Ankara (Turquie). La chaleur de condensation du premier étage est récupérée par le second étage pour chauffer l'eau du deuxième étage. [9]



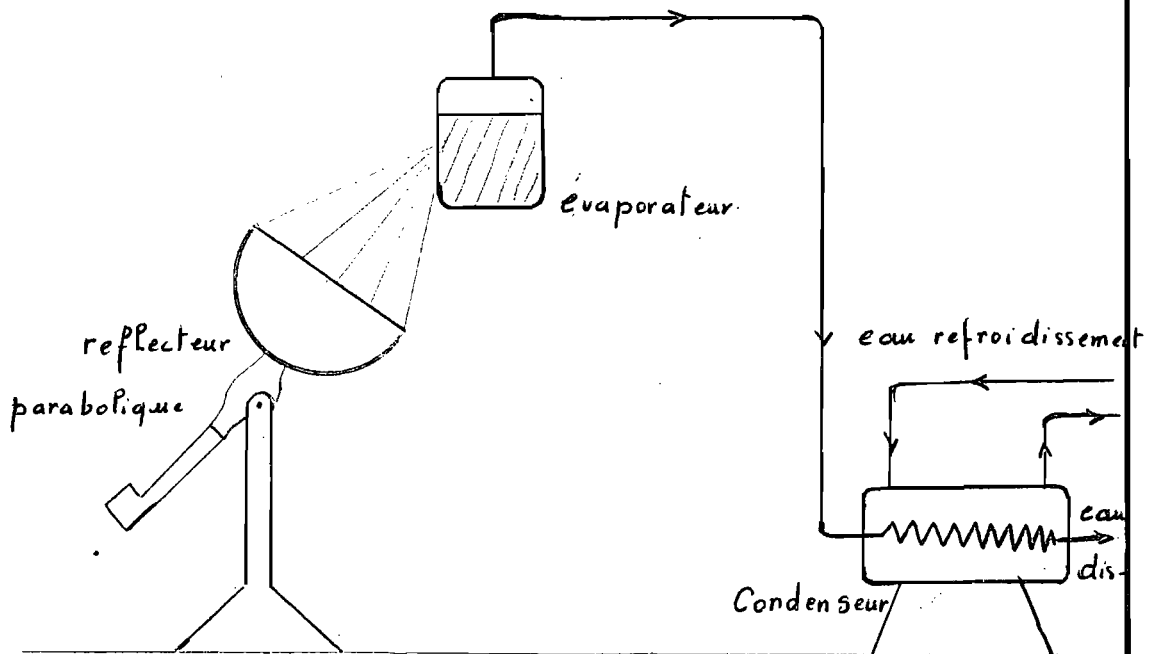
### C/ Les petits distillateurs à concentration.

Ici un réflecteur parabolique permet de concentrer le rayonnement solaire sur un récipient contenant l'eau qu'on a à distiller. La vapeur ainsi produite est envoyée à travers un condenseur qui va nous permettre de recueillir l'eau distillée.



Il faut noter qu'ici la température de l'eau peut atteindre les cent degrés.

Weynberg (1939), avec un miroir parabolique de 2.42 mètres carrés et un condenseur à plusieurs étages, a produit 23 litres d'eau douce par jour, soit près de 10 litres par mètre carré. Le rendement est par conséquent nettement plus important. Des études dans cette direction ont été également entreprises par Baum en URSS.



Il faudra noter qu'ici, ce n'est pas l'effet de serre qui est utilisé, mais toujours il s'agit de la distillation solaire.

### 13°) Consideration théorique des distillateurs solaires.

#### a) à simple effet.

Ce sont les distillateurs les plus simples. Ils utilisent le piège à calories classique, dont le principe est le suivant: les rayons solaires viennent frapper la surface de l'eau contenue dans le bac, à travers une substance transparente aux rayons lumineux, mais opaque aux rayons calorifiques de grande longueur d'ondes. (On pourra par exemple employer du verre, ou une matière plastique.). L'eau s'échauffe sous l'effet des rayons solaires. Elle émet de la chaleur qui se trouve arrêtée par le verre. Les calories sont ainsi prises au piège. Ayant pu entrer sous forme lumineuse, elles ne peuvent plus sortir sous forme calorifique. Tout se passe comme si l'eau, au lieu de recevoir la radiation solaire normale, en recevait deux fois plus. Cette eau ainsi chauffée émet de la vapeur qui arrive en contact avec le verre. Celui-ci s'échauffe, rayonne vers l'extérieur une partie de la chaleur reçue. Il se refroidit donc, et la vapeur d'eau se condense. Le liquide ainsi obtenu ruisselle le long du verre et coule dans une gouttière qui l'achemine vers un réservoir. Le procédé ainsi décrit est ce qu'on appelle

l'effet de serre. Il s'agit là d'un procédé qui peut être appliqué, non seulement à la distillation des eaux chargées de sel, mais aussi à l'extraction de l'eau de la vase, de la terre, ou du sable humide, ou encore des végétaux. Le cas qui vient d'être décrit est celui où la surface externe de la couverture transparente (par exemple du verre) est refroidie uniquement par l'air ambiant. On pourrait alors imaginer un refroidissement à eau, et essayer ainsi de recueillir l'énergie provenant de la condensation de la vapeur, et préchauffer ou chauffer alors l'eau à distiller. On a ainsi l'appareil à double ou plusieurs effets que nous allons maintenant considérer.

### b) à plusieurs effets.

Pour mieux voir la distillation à multiples effets, revenons un peu sur le procédé de production de vapeur et de sa condensation.

On sait que pour faire passer de l'eau de l'état liquide à l'état de vapeur, il faut lui fournir de la chaleur: il faut la chauffer. La vapeur a donc emmagasiné une chaleur de vaporisation. Quand la vapeur se condense, elle restitue la chaleur qu'elle avait absorbée pour se former. Elle déga-

ge un nombre de calories en théorie égal à celui qu'elle avait emmagasiné. Dans un appareil idéal, sans perte, le bilan thermique devrait donc s'équilibrer, il suffirait en principe de fournir une quantité de chaleur suffisante pour amorcer l'opération.

Nous savons que quand on dissout un sel dans de l'eau, on abaisse sa température; il y a alors absorption de chaleur. Et on dira que l'opération est endothermique. Donc normalement la séparation de l'eau et du sel en solution devrait être exothermique. Théoriquement alors on devrait arriver à recueillir de la chaleur par distillation. Malheureusement les phénomènes sont plus compliqués que cela; car la température intervient, et de plus encore aucun appareil n'est parfait. Dans la considération de la distillation à simple effet, nous avons vu qu'on ne cherche pas à récupérer la chaleur de condensation. Mais comme il a été suggéré à la fin de ce paragraphe d'essayer de récupérer cette chaleur de condensation, l'idée n'est pas nouvelle on arrive alors à un appareil à double effet. On conçoit que la chaleur de condensation obtenue dans cette nouvelle distillation puisse à nouveau être utilisée de la même manière. On obtient ainsi un appareil à triples effets

et en renouvelant l'opération, on obtient un appareil à multiples effets.

En 1956 Maria TELKES a étudié les dispositifs de ce genre au "New-York University College" dans le cadre d'un programme gouvernemental sur la distillation de l'eau. Elle a étudié un appareil à dix effets. L'appareil en temps ensoleillé produit six fois plus d'eau douce qu'un distillateur à simple effet. [5]

Qu'il s'agit du cas à simple effet ou du cas à multiple effet, il est à noter que les résultats obtenus varient, évidemment, avec l'endroit où sont faites les mesures et avec le moment de la journée ou de l'année. Il faut aussi noter que les mois d'été et même les mois les plus chauds ne sont pas nécessairement les mois où la production d'eau distillée est maximale. Il arrive en effet que l'humidité contenue dans l'air absorbe une grande partie de la radiation solaire incidente. Le tableau qui suit nous donne quelques exemples de mesures effectués dans différentes localités et suivant différentes périodes de l'année avec un distillateur à simple effet [5]

Il faut noter qu'il s'agit de moyenne et non de maximum qui peuvent être supérieurs à ce qui sera indiqué. Dans tous les cas, on voit que les

résultats peuvent varier considérablement suivant les saisons et les lieux.

	Latitude en °	surface utilisée en m <sup>2</sup>	production en l/j/m <sup>2</sup>	
Berkeley (USA)	38°N	100	Jui	3.5
			Janvier	0.5
Madison (USA)	43°N	1	été	3.9
Australie	38°S	5	été	6.1
Italie	41°N	5	Juin	4.5
			Mars	1.5
ALger	33°N	1.6	Juin	5.6
			Décembre	1.4
			Moy. ann.	3.7
Maroc	32°N	0.8	Juin	4.1
			Décembre	1.5
			Moy. ann.	2.6
Dakar (Senegal)	14°N	1	Mars	4.2
			Décembre	3.9
			Août	2.8

1.1) L'énergie solaire.

Les caractéristiques du rayonnement solaire:

Il faut connaître :

- la constante solaire
- la répartition spectrale
- l'absorption atmosphérique.

## . La constante solaire :

On appelle constante solaire, la quantité de chaleur que le soleil envoie par centimètre carré et par minute, à travers une surface normale aux rayons, située hors de l'atmosphère terrestre, à la distance moyenne de la terre au soleil. La valeur moyenne de cette constante est de  $1.353 \text{ kW/m}^2$ , d'après des mesures récentes de la NASA. [9]

## . La répartition spectrale.

La partie principale de ce rayonnement est constituée par une gamme continue de radiations, allant de  $0.1 \mu\text{m}$  jusqu'à environ  $5 \mu\text{m}$ . Ce spectre est assez voisin de celui d'un corps noir à  $5800^\circ\text{K}$  pour  $\lambda > 1.2 \mu\text{m}$ ; mais en diffère notablement dans le visible et l'ultraviolet. La figure 2

[annexe 1.-] nous montre les deux spectres ainsi que celui du rayonnement solaire au niveau de la mer, i.e. après la traversée de l'atmosphère.

. L'absorption atmosphérique:

Le rayonnement solaire direct atteint le sol après avoir subi deux types d'extinction: l'absorption et la diffusion.

Les rayons x et ultra-violet ( $\lambda < 0.18 \mu\text{m}$ ) sont totalement absorbés au dessus de 60 km du sol. L'ultra-violet moyen ( $0.18 < \lambda < 0.29 \mu\text{m}$ ) est absorbé entièrement par l'oxygène ( $\text{O}_2$ ) et l'ozone ( $\text{O}_3$ ); et l'ultra-violet proche ( $0.29 < \lambda < 0.4 \mu\text{m}$ ) l'est partiellement entre 10 et 50 km. Quant au visible, il est relativement peu absorbé ( $0.4 < \lambda < 0.78 \mu\text{m}$ ).

L'atténuation résulte surtout de la diffusion. La vapeur d'eau qui se trouve dans les basses couches de l'atmosphère agit lorsque la longueur d'onde dépasse  $0.7 \mu\text{m}$ . Cependant quand cette longueur d'onde dépasse  $25 \mu\text{m}$ , l'absorption est presque totale.

Revoiyons quelques définitions en optique pour mieux comprendre ce qu'on entend par la diffusion.

Quand une radiation passe d'un milieu à un autre d'indice de réfraction différent, il y a déviation des rayons lumineux dans une seule direction: on l'appelle réfraction.



Quand maintenant le rayonnement rencontre des obstacles dont les dimensions sont de même que celles de la longueur d'onde, ou passe à travers des trous, il est alors dévié encore, mais dans toutes les directions et non dans une seule direction : c'est la diffraction.

Si maintenant le faisceau incident est réfléchi dans toutes les directions par des surfaces irrégulières qui sont réparties au hasard et dont aussi les dimensions sont de l'ordre de grandeur de la longueur ou inférieure, on a ce qu'on appelle la diffusion.

La diffusion par les aérosols (poussières) dépend donc de la quantité d'aérosol, de leur nature et des dimensions des particules. La diffusion par les molécules d'air cause principalement la couleur bleue du ciel, et n'intervient qu'au dessous de 50 km.

#### • Bilan du rayonnement solaire et du rayonnement terrestre.

La figure n° 3 annexe est le bilan moyen qui n'est équilibré qu'à l'échelle planétaire. La terre reçoit en moyenne [9]  $5.5 \text{ kW/m}^2/\text{jour}$ , que l'on représente 100%. Le sol en reçoit 31% hors atmosphère et 26% après diffusion par l'atmosphère. La réflexion sur les différentes couches atmosphériques

en élimine 23%, la réflexion par le sol 7%, la diffusion par les aérosols 6%, d'où une perte de  $23 + 7 + 6 = 36\%$ . L'absorption par l'air en représente 17%. Dans le domaine infra-rouge, la rediffusion de l'atmosphère vers le sol représente 78%. Globalement la terre gagne  $78 + 47 = 125$  Cependant elle perd 98% par émission infra-rouge, 27% par le cycle de l'eau (Condensation-évaporation et turbulence); soit donc  $27 + 98 = 125$ . Le bilan peut donc se résumer de la manière suivante sur l'atmosphère

#### Gain de l'atmosphère

rayonnement solaire	17%
absorption des I.R. terrestres	91%
Cycle de l'eau	22%
turbulence	5%
total	<u>135%</u>

135%

#### pertes atmosphériques:

	↑
Retour infra-Rouge au sol	78%
Rayonnement vers l'espace	57%

On désigne sous le nom de radiation globale la somme de la radiation directe et de la radiation diffuse. Il faut noter que cette radiation globale subit des variations. En remplaçant le terme radiation par énergie, on arrive à considérer

l'énergie globale qui arrive sur le globe sur une surface horizontale. Ainsi l'énergie globale reçue à la surface de la terre dépend du lieu, de l'heure de la journée, et des conditions atmosphériques etc ---. Elle est de l'ordre de 13 à 14 kcal/m<sup>2</sup>/mn au cours des heures les plus chaudes de la journée pour les régions subtropicales, tropicales ou équatoriales.

Le plus grand distillateur solaire est, pourrait-on dire, constitué par la surface du globe terrestre et de la couche atmosphérique, qui est relativement mince, d'environ 10 km d'épaisseur où se trouve la majorité de la masse d'air.

Cette épaisseur représenterait 1 mm, toutes proportions gardées, sur une mappemonde qui aurait 1 m de diamètre et représentant le globe. La plus grande partie du cycle de l'eau est concentré alors dans un mince pellicule de 0.5 à 0.6 mm d'épaisseur. à la surface de cette mappemonde. Nous n'irons pas plus loin dans cette distillation naturelle, et nous considérons des installations d'une superficie d'environ 1 m<sup>2</sup> ou 2 m<sup>2</sup>, qui est même le sujet de notre étude.

## 12<sup>e</sup>) Analyse de la distillation à simple effet.

### 10) Bilan au tour du couvert transparent.

En tenant compte de l'énergie incidente diffuse et directe, et en tenant compte des pertes de chaleur par refroidissement, on peut écrire le bilan d'énergie sur le couvert transparent avec l'équation. [9]

$$q_{r.bc} + q_{c.bc} + q_e + d_c [I_D + I_d] = q_{r.ca} + q_{c.ca} + q_{ls} \quad (2.1)$$

dans cette équation.

$q_{r.bc}$ : énergie fournie par rayonnement entre bassin et couvert transparent.

$q_{c.bc}$ : énergie fournie par convection entre bassin et couvert transparent.

$q_e$ : énergie fournie par la vapeur condensée

$I_D$ : radiations solaires directes.

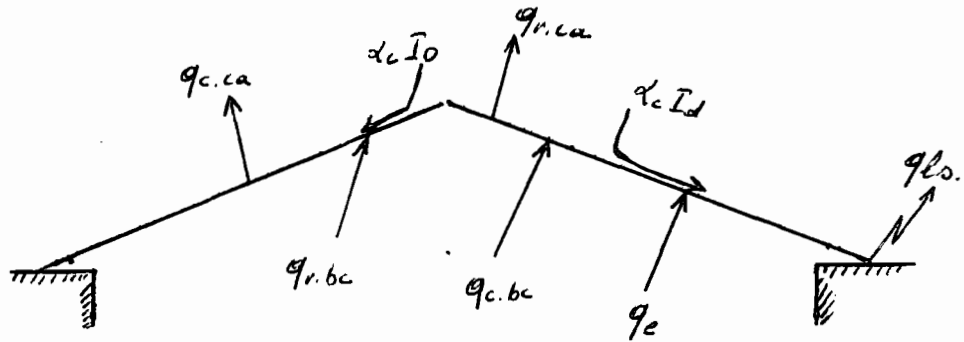
$I_d$ : radiations solaires diffuses.

$q_{r.ca}$ : pertes par rayonnement entre vitre et ambiant.

$q_{c.ca}$ : pertes par convection entre la vitre et l'ambiant.

$q_{ls}$ : pertes par déperdition au niveau des joints

La figure qui suit illustre ce bilan énergétique du couvert transparent.



• bilan de l'énergie sur le couvert transparent.

En ramenant cette échange de chaleur sur la base d'une surface équivalente, l'équation (2.1) devient:

$$\frac{A_B}{A_H} (q_{r.bc} + q_{c.bc} + q_e) + d_c (I_0 + I_d) = \frac{A_c}{A_H} (q_{r.ca} + q_{c.ca} + q_{ls}) \quad (2.2)$$

$A_B$ : aire d'évaporation

$A_H$ : aire de la projection horizontale du couvert

$A_c$ : aire du couvert transparent.

et flux thermique échangé par convection entre bassin et couvert transparent.

l'expression de ce terme peut s'écrire comme suit: [9]

$$q_{c.bc} = h_c (T_b - T_c) \quad (2.3)$$

$h_c$ : est un facteur de convection qui s'exprime en fonction du nombre de Nusselt. [7]

$$Nu = \frac{h_c \cdot L}{k} \quad (2.4)$$

En assimilant le distillateur à un système de deux plaques planes et parallèles on a : [7]

$$h_c = 0.425 k \left[ \frac{L^3 \rho^2 g \beta \Delta T}{\nu^2} \cdot \frac{C_p \nu}{k} \right]^{1/3} \quad (2.5)$$

$L$  : distance entre les plans

$k$  : conductivité thermique

$g$  : constante de gravité

$\Delta T$  : écart de température entre les plans

$\nu$  : viscosité cinématique

$C_p$  : chaleur spécifique à pression constante

$\rho$  : densité du fluide

$\beta$  : coefficient de dilatation.

Cette relation (2.5) est valable pour un nombre de Grashof compris entre  $3.2 \cdot 10^5$  et  $10^7$  : [7]

$$Gr = \frac{g \beta \Delta T L^3}{\nu^2} \quad (2.6)$$

L'écart de température  $\Delta T$  est défini par : [7]

$$\Delta T = \left[ (T_b - T_c) + \frac{P_{vs}(T_b) - P_{vs}(T_c)}{267 - P_{vs}(T_b)} \cdot T_b \right] \quad (2.7)$$

$T_b$  : température de l'eau du bassin.

$T_c$  : température du couvercle transparent.

$P_{vs}(T_b)$  et  $P_{vs}(T_c)$  représentent respectivement les pressions de vapeur saturante à la température de l'eau

et au point où se produit la condensation.

$T$  en degrés celsius et  $P$  en kpa.

En remarquant que  $T_a < T_c < T_b$  et que  $T_b < 100^\circ\text{C}$  on peut, pour faciliter les calculs en résolvant les équations de bilan d'énergie, utiliser pour  $P_{vs}(T_b)$  et  $P_{vs}(T_c)$  le développement : [9]

$$P(T) = -16.037 + 1.8974T - 0.0699T^2 + 0.0012T^3 - 5.8511 \cdot 10^{-6}T^4 \quad (2.8)$$

En isolant  $\Delta T$  à partir de la relation (2.5), on obtient

$$h'c = 0.425 \left[ \frac{k^2 \rho^2 g \beta c_p}{\nu} \right]^{1/3} \quad (2.9)$$

pour des valeurs moyennes des paramètres. [7]

$h'c$  varie entre 0.41 et 0.48, en admettant une valeur moyenne de 0.45 on aura :

$$q_{c.bc} = 0.45 \left\{ (T_b - T_c) + \frac{P_{vs}(T_b) - P_{vs}(T_c) \cdot T_b}{267 - P_{vs}(T_b)} \right\}^{1/3} (T_b - T_c) \quad (2.10)$$

b/ flux thermique échangé par convection entre vitre et ambiant :

Le flux s'exprime par la formule : [9]

$$q_{c.ca} = h_v (T_c - T_a) \quad (2.11)$$

avec ici  $h_v = a + b v^n$  [7]

Dans cette expression de  $h_v$ :

$$\left. \begin{array}{l} a = 5.61 \\ b = 1.19 \\ n = 1 \end{array} \right\} \text{ si } v < 4.9 \text{ m/s}$$

$$\left. \begin{array}{l} A = 0 \\ b = 2.84 \\ n = 0.78 \end{array} \right\} \text{ si } v > 4.9 \text{ m/s.}$$

c/ flux thermique échangé par évaporation-condensation entre la vitre l'eau condensée.

$q_e$  = débit massique d'eau distillée  $\times$  la chaleur latente d'évaporation, à la température d'évaporation. soit:

$$q_e = \dot{m} h_{fg} \quad (2.12)$$

On peut utiliser la formule de Regnault pour l'approximation de  $h_{fg}$ . [7]

$$h_{fg} = 2.53 \cdot 10^6 - 2.9 \cdot 10^3 t \quad (2.13)$$

quant à  $\dot{m}$  il peut s'exprimer par :



$$\dot{m} = 6.3 h_c [P_{vs}(T_b) - P_{vs}(T_c)] \quad (2.14)$$

d'où donc l'on obtient pour  $q_e$  :

$$q_e = 2.85 \left[ (T_b - T_c) + \frac{P_{vs}(T_b) - P_{vs}(T_c)}{267 - P_{vs}(T_b)} \cdot T_b \right]^{1/2}$$

$$\left[ P_{vs}(T_b) - P_{vs}(T_c) \right] \cdot h_{fg} \cdot (T_b - T_c) \quad (2.15)$$

en remplaçant  $h_c$  par sa valeur.

d/ flux thermique par rayonnement entre bassin et vitre.

Des mesures ont montré qu'une faible quantité de dioxyde de carbone est présente à l'intérieur du distillateur. Ainsi l'absorption de la radiation des longueurs d'ondes est effectivement due par la présence de vapeur d'eau dans l'air saturé de l'espace entre le bac et la vitre.

Alors Magheblian a donné une expression, pour un gaz absorbant entre deux plans parallèles, qui donne le flux thermique par rayonnement: [4]

$$q_{r.bc} = \frac{\sigma \cdot \epsilon_b \cdot \epsilon_{cb} \cdot (1 - \alpha_{wb}) \cdot T_b^4 - \sigma \cdot \epsilon_b \cdot \epsilon_{cb} \cdot (1 - \alpha_{wc}) \cdot T_c^4}{1 - (1 - \alpha_{wb})(1 - \alpha_{wc})(1 - \epsilon_b)(1 - \epsilon_{cb})} \quad (2.16)$$

$\epsilon_b$ : émissivité de la surface du bassin. (0,95)

$\epsilon_{cb}$ : émissivité de la face interne mouillée de la vitre (0,90)

$\alpha_{wb}$ : absorptivité de la vapeur d'eau pour  $\lambda$  gris à la température  $T_b$ .

$\alpha_{wc}$ : absorptivité de la vapeur d'eau pour  $\lambda$  gris à la température  $T_c$

$$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$$

En négligeant  $\alpha_w$ , l'expression de  $q_{r.bc}$  se réduit à :

$$q_{r.bc} = \frac{\sigma}{\frac{1}{\epsilon_b} + \frac{1}{\epsilon_{cb}} - 1} \cdot (T_b^4 - T_c^4) \quad (2.17)$$

$T$  est en degrés Kelvin.

e/ flux thermique échangé par rayonnement entre la vitre et l'ambient.

La couverture du distillateur irradiant de l'énergie vers l'extérieur (le ciel), il devient nécessaire d'évaluer la température du ciel. Pour un ciel clair, Parmelee et Aubele ont trouvé que le rapport de la radiation reçue du ciel  $R_{sk}$ , à celle reçue d'un corps noir à la température ambiante  $R_a$ , varie selon l'expression : [9]

$$f^4 = 0,55 + 0,33 \sqrt{R_{sk}} \quad (2.18)$$

En considérant le ciel comme un corps noir, on a :

$$R_{SK} = \sigma T_{SK}^4 \quad (2.19)$$

et

$$R_a = \sigma T_a^4 \quad (2.20)$$

d'où l'on pourra écrire que :

$$\frac{R_{SK}}{R_a} = \frac{T_{SK}^4}{T_a^4} = 0.55 + 0.33 \sqrt{P_{va}} \quad (2.21)$$

d'où l'on obtient :

$$T_{SK} = (0.55 + 0.33 \sqrt{P_{va}})^{1/4} \cdot T_a \quad (2.22)$$

on obtient alors l'expression de  $q_{r.ca}$  :

$$q_{r.ca} = \sigma (T_c^4 - T_{SK}^4) \quad (2.23)$$

### f) Les pertes par déperdition au niveau des joints

IL est très difficile de quantifier les pertes par déperdition de la vapeur d'eau et de l'air qui occupe l'espace du distillateur, en raison de l'imperfection des fermetures, des serres-joints du couvercle. Le terme de ces pertes est représenté par  $q_{ls}$  dans le bilan, et aucune expression n'est donnée pour le quantifier. Cependant, ces pertes peuvent être estimées.

2°) Bilan dans le bassin.

En négligeant l'absorption par l'atmosphère du distillateur, des radiations de courtes longueurs d'ondes l'équation du bilan d'énergie dans le bassin peut s'écrire : [9]

$$\begin{aligned} \tau_0 I_0 + \tau_d I_d &= \frac{A_B}{A_H} (q_{r.bc} + q_{c.bc} + q_e + q_{r.lt}) \\ &+ \frac{A_G}{A_H} q_b + R_{BL} + R_S + A_B f_{H_2O} e_{H_2O} C_{H_2O} \frac{dT_c}{dt} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Dans cette expression :

$I_0, I_d, q_{r.bc}, q_{c.bc}$  et  $q_e$  sont de même qu'au premier chapitre ; i.e dans le sous-chapitre précédent.

$q_{r.lt}$  : la somme nette des radiations émises par la surface du bassin et transmises par le couvent transparent mouillé. Il faut noter que dans ce qui suit nous négligeons cette composante devant les autres.

$q_b$  : pertes par conduction à travers les différents matériaux.

$R_{BL}$  : somme d'énergie incidente réfléchie par le fond du bassin et transmise dans l'environnement

$R_S$  : l'énergie incidente réfléchie par la surface du bassin vers l'environnement

$A_B f_{H_2O} e_{H_2O} C_{H_2O} \frac{dT_b}{dt}$  : l'énergie emmagasinée dans

Le bassin.

$\tau_0$  et  $\tau_d$  : transmittances à travers le couvert transparent, respectivement du rayonnement direct et du rayonnement diffus.

a/ Les énergies incidentes réfléchies par le fond et la surface du bassin.

On peut les calculer avec les expressions suivantes:

pour  $R_s$ :

$$R_s = \tau_s (\tau_0 I_0 + \tau_d I_d) \quad (2.25)$$

pour  $R_{BL}$ :

$$R_{BL} = \tau_{BL} (\tau_{bs})^2 (\tau_0 I_0 + \tau_d I_d) \quad (2.26)$$

avec :

$\tau_s$ : réflectivité de la surface du bassin.

$\tau_{BL}$ : réflectivité du fond du bassin.

$\tau_{bs}$ : transmittance de l'eau du bassin.

Dans le cas où on utilise un absorbeur flottant

$R_{BL} = 0$  et  $R_s$  devient  $R_0$  :

$$R_0 = \tau_0 (\tau_0 I_0 + \tau_d I_d) \quad (2.27)$$

Il faudra noter qu'ici on considère que  $R_s$ , et  $R_{BL}$  ou ( $R_0$ ), passent ou (passe) directement à l'extérieur du distillateur sans d'autres interactions

b/ Les pertes par conduction à travers les

### différents matériaux

La valeur de  $q_b$  est donnée par l'expression générale qui est : [9]

$$q_b = \frac{T_b - T_a}{\frac{x_1}{k_1} + \frac{x_2}{k_2} + \dots + \frac{x_n}{k_n}} \quad (2.28)$$

où :

$x_i$  : l'épaisseur du matériel  $i$

$k_i$  : la conductivité du matériel  $i$

Cependant en isolant assez bien les parois latérales on peut négliger les pertes qui en proviennent; et on ne considère donc ce cas que les pertes par le fond. Pour notre prototype le fond est constitué de 2 plaques d'amiante intercalées par une plaque de polyuréthane. D'où l'on aura :

$$q_b = \frac{T_b - T_a}{\frac{x_a}{k_a} + \frac{x_p}{k_p}} \quad (2.29)$$

$x_a$  : épaisseur de l'amiante : 0.02 m.

$k_a$  : conductivité de l'amiante : 0.744 W/m<sup>2</sup>/°K

$x_p$  : épaisseur du polyuréthane :

$k_p$  : conductivité du polyuréthane : 0.27 W/m<sup>2</sup>/°K

### 3°/ Résultats pratiques.

Si on néglige l'absorption solaire par le couvert trans-

parent, si on néglige les déperditions, et si on néglige la différence de température entre les deux faces du verre, le bilan d'énergie devient pour le couvert transparent:

$$\frac{A_B}{A_H} (q_{r.bc} + q_{c.bc} + q_e) = \frac{A_c}{A_H} (q_{r.ca} + q_{c.ca}) \quad (2.30)$$

pour le bassin, dans la pratique ce qui nous intéresse, c'est l'énergie absorbée. En négligeant certains termes, elle équivaut à :

$$E_a = \frac{A_B}{A_H} (q_{r.bc} + q_{c.bc} + q_e) + \frac{A_G}{A_H} q_b \quad (2.31)$$

Il faut préciser que dans l'analyse des bilans d'énergie, on a considéré le système comme statique, i.e. aucune alimentation, aucune évacuation de l'eau distillée.

### 13°/ Analyse de La distillation avec plusieurs étages.

Dans ce qui suit, une évaluation du débit d'eau distillée en fonction du nombre d'étages, est faite en tenant compte bien sûr de certaines approximations. Il faut dire que l'évaluation est un peu simpliste, car elle ne considère au niveau du vitrage

que le flux incident et le flux absorbé.  
C'est une évaluation qui fait appelle au principe de récupération de l'énergie provenant de la condensation de la vapeur, pour chauffer l'eau de l'étage supérieur.

Il faudra retenir que nous n'avons considéré que deux étages au lieu de  $n$  étages.

Soit  $\phi$  le flux incident; les étages successifs reçoivent et absorbent les flux suivants:

	flux incident	flux absorbé
vitrage supérieur:	$\phi(1-R)$	$\phi(1-R)d_v$
vitrage inférieur:	$\phi(1-R)(1-d_v)$	$\phi(1-R)(1-d_v)d_v$
bac:	$\phi(1-R)(1-d_v)^2$	

où :  $d_v$ : coefficient d'absorption du vitrage  
 $R$ : coefficient de réflexion du vitrage.

Les équations d'équilibres thermiques seront [3]

. pour le bac :

$$\phi_2 - D_2 \lambda F_{b-1} - B_b = 0$$

. pour le vitrage inférieur:

$$\phi_1 + D_2 \lambda F_{b-1} - D_1 \lambda F_{1-5} - B_1 = 0$$

Dans ces deux expressions :

$D_2$  : débit d'eau distillée du bac vers le vitrage inférieur.

$D_1$  : débit d'eau distillée du vitrage inférieur vers le vitrage supérieur.



$$\phi_2 = \phi (1-R)(1-\alpha_v)^2$$

$$\phi_1 = \phi (1-R)(1-\alpha_v)\alpha_v.$$

$B_b$  : pertes au niveau du bac

$B_1$  : pertes au niveau du vitrage inférieur.

$F$  est une fonction qui est définie par l'expression:

[3]

$$F_{b-1} = 1 + \frac{T_b - T_1}{Eh(P_c - P_v)} + C \frac{(T_b - T_1)}{\lambda}$$

$$F_{1-s} = 1 + \frac{T_1 - T_s}{Eh(P_c - P_v)} + \frac{C(T_1 - T_s)}{\lambda}$$

$T_b$  : température de l'eau du bac.

$T_1$  : " du vitrage inférieur.

$T_s$  : " du vitrage supérieur.

Nous rappelons qu'on peut utiliser le développement donné par la formule (2.8) pour l'évaluation de  $P_e$  et  $P_v$ .

Si nous posons maintenant  $\psi = \phi(1-R)(1-\alpha_v)$ , on pourra écrire le débit sous la forme :

$$D_2 = \frac{\psi(1-\alpha_v)}{\lambda F_{b-1}} - \beta_2$$

$$D_1 = D_2 + \frac{\psi\alpha_v}{\lambda F_{1-s}} - \beta_1,$$

en supposant que  $F$  varie très peu avec la température, i.e.  $F_{b-1} \approx F_{1-s}$ .

où :  $\beta_2 = \frac{B_b}{\lambda F_{b-1}}$  ;  $\beta_1 = \frac{B_1}{\lambda F_{1-s}}$

Le débit total sera donné alors par :

$$D_T = D_2 + D_1 = 2 \left[ \frac{\Psi (1-d_v)}{\lambda F_{b-1}} - \beta_2 \right] + \frac{\Psi d_v}{\lambda F_{1-2}} - \beta_1$$

avec la supposition précédente ; on obtient :

$$D_T = \frac{\Psi}{F} \left[ 2(1-d_v) + d_v \right] - (2\beta_2 + \beta_1)$$

Dans le cas où l'on considère  $n$  étage, la formule général du débit est donnée par :

$$D_T = \frac{\Psi}{F} \left[ n(1-d_v)^{n-1} + (n-1)(1-d_v)^{n-2}d_v + \dots + d_v \right]$$

-  $\beta [1+2+\dots+n]$  ; en supposant les pertes presque égales,  $\beta$  est alors les pertes par étage

Pour  $d = 0.30$  et  $\beta = 0.1 \frac{\Psi}{F}$

on peut calculer le débit en fonction du nombre d'étage :

$n$ .	Débit.
1	$0.9 \frac{\Psi}{F}$
2	$1.4 \frac{\Psi}{F}$
3	$1.59 \frac{\Psi}{F}$
4	$1.53 \frac{\Psi}{F}$
5	$1.27 \frac{\Psi}{F}$
6	$0.84 \frac{\Psi}{F}$

Et on aperçoit que le débit atteint son maximum pour  $n$  égal 3 étages ; au delà de  $n = 3$  il diminue. Le distillateur à plusieurs étages le plus économique serait donc celui à 3 étages.

## 14°/ Parametres influant le distillateur solaire

### a/ Influence du niveau d'eau et du volume d'air

L'influence de la pente a toujours montré que plus la pente du distillateur est petite, plus le rendement est meilleur. Cependant il ne faut pas comprendre par là qu'il faille aller au delà des limites qui sont qu'il faut permettre à la goutte d'eau de s'écouler le long du verre.

Déjà l'emploi d'un angle faible diminue économiquement les dimensions du verre qui constitue la plus grande partie du distillateur. Une pente inférieure à 10 degrés cause souvent des problèmes de ruissellement, et alors le condensat risque de retomber dans le bac. La règle générale est qu'il faut [9] choisir une pente comprise entre 10 et 18 degrés de plus souvent. Dans les cas où on utilise un film plastique comme couvert transparent, la pente peut être augmentée. La mauvaise mouillabilité de ces matériaux due à certaines propriétés physico-chimiques telles que l'électricité statique, provoque des problèmes de ruissellement. Cependant on peut conserver l'angle optimal qui donne le meilleur rendement du distillateur, mais en faisant subir au film de plastique certains traitements qui permettent d'augmenter la mouillabilité. D'autres possibilités consisteraient à utiliser un film de plastique traité spécialement;

dans ce cas le film de plastique est passé à travers des laminoirs qui labourent des sillons de quelques microns qui vont servir à canaliser le condensat. Cependant ce film ainsi traité (Tedlar de Dupont) est d'un prix de revient supérieur au verre. M<sup>rs</sup>. Fontan et Barasoain, deux chercheurs espagnols ont montré que la quantité d'eau distillée augmentait lorsque le volume d'air entre le vitrage et l'eau du bac diminuait. Des mesures ont été faites avec un angle de 10 degrés et de 40 degrés, et la surface d'évaporation était de 2 mètres carrés; ces mesures ont montré nettement que la production d'eau distillée est beaucoup plus importante avec les 10 degrés qu'avec les 40°. [9]

#### b/ Influence de l'isolation.

Elle permet de diminuer les pertes par conduction sur les bords et le fond du bac qui contient l'eau à distiller. Cependant une augmentation de l'isolation ne se justifie que dans la mesure où, elle répond à la notion de rentabilité. Des expériences effectuées en Australie sur de grands distillateurs ont montré qu'on peut estimer les gains obtenus à 15% de la production avec l'isolation. Il faut noter en fin que les pertes par défaut d'isolation, sont plus importantes avec les petits distillateurs qu'avec les grands distillateurs.

### c/ Influence du vent.

Le vent intervient sur le flux de chaleur échangé entre la vitre et l'ambiant avec le facteur  $h_v = a + bv^n$  qui est le coefficient de convection entre le verre et l'ambiant, où  $v$  est la vitesse du vent exprimée en mètre par seconde. Les couples de valeurs de  $T_c$  et  $T_a$  solution de cette équation de convection, pour différents flux incidents et vitesse de vent, démontrent une faible variation de débit en fonction de la variation de  $T_c$ . Il faut cependant constater que quand l'ensoleillement est faible, le vent aura tendance à diminuer la production d'eau distillée.

### d/ Influence du dépôt et de la concentration du sel.

L'utilisation d'une eau chargée de sels sulfatés et alcalino-terreux, permet de constater la formation d'une nappe de cristaux en surface, et d'un dépôt cristallisé blanc au fond du bac. En Algérie par exemple, à El. Oued, monsieur Gomella avait observé une couche de 2 à 3 mm d'épaisseur continue à la surface du bac [9]. Ces dépôts agissent fortement sur le pouvoir absorbant du bac. Il peut en résulter une forte baisse du rendement du distillateur, par la réflexion d'une grande partie de l'énergie incidente, par les dépôts.

## Chapitre 3

# Choix - Conception et Construction d'un type de distillateur.

### 1<sup>o</sup> Choix.

#### a) Du type. [11]

Les différentes recherches que nous avons effectuées à travers la documentation, nous ont permis de retenir quelques points déterminants dans le rendement du distillateur :

. Une pente faible procure un meilleur rendement et un prix de revient moins élevé. Cependant comme il a été déjà mentionné dans le chapitre précédent, il faudrait que le condensat puisse couler. Ce qui veut dire qu'il faut un compromis qui donne donc l'angle d'inclinaison optimal.

. Une diminution des pertes par conduction thermique par le fond et les parois latérales améliore le rendement.

. L'utilisation d'une pente double augmente la surface de captage des rayons solaires.

. L'introduction d'étages intermédiaires permet d'augmenter le débit d'eau distillée, jusqu'à environ 60%, sans augmentation appréciable du prix de revient de l'appareil. (au maximum trois étages)  
En réunissant ces quatre points, et en tenant compte

de certaines contraintes économiques, nous avons opté pour un distillateur à (2) étages et à double pente. Il faut dire que, il existe depuis longtemps des recherches sur les distillateurs solaires. Et c'est dans ce cadre que nous essayons de réunir quelques points qui ont été soutenus par des chercheurs, pour parvenir à un type de distillateur, que nous voulons économique et rentable.

L'initiative prise ici pourrait donc avoir deux directions: une qui peut aller dans le cadre de la recherche sur les énergies solaires et renouvelables; et une qui peut aller dans le cadre de la solution partielle de l'eau pour certains villages dotés d'une nappe d'eau saumâtre.

#### b) du matériel. [11]

Pour diminuer les pertes il faut calorifuger au maximum le bassin et les parois. Ainsi il va falloir trouver le matériel le plus isolant possible, mais bien entendu il ne faut pas aussi que ce matériel rende le distillateur non rentable, et non économique. Cette contrainte d'économie, après études de différents matériaux, nous amène à choisir un cadre en P.V.C., et une base en amiante-ciment. La facilité d'obtention de ces matériaux (dans le marché local), lié avec leur pouvoir isolant relativement acceptable, nous ont donc conduit à choisir ceux-là. Les cotés triangulaires

sont également constitués de plaques en P.V.C, mais sont moins rigides que les cadres. Quant au choix du couvert transparent, il est plutôt orienté vers le verre. Sa mouillabilité plus grande que celle des autres couverts pouvant exister dans le marché a fait que nous l'avons préféré aux autres (tels que plexiglace, imperméable etc ---). Il faut d'ailleurs se rappeler, cette mouillabilité joue un rôle très important. Avec une pente faible, la goutte d'eau qui trouve des problèmes pour s'écouler, risque de retomber dans le bac. C'est donc ces deux types de matériaux qui composent essentiellement le distillateur, le reste étant constitué d'accessoires que nous décrivons dans les paragraphes qui vont suivre.

## 12° La Conception.

Simple dans sa conception, il l'est d'avantage dans son montage et son entretien qui sont facilités par l'utilisation de modules. Le distillateur peut être démonté, puis nettoyé et remonté en moins d'une heure. Une main d'œuvre qualifiée n'est nécessaire que lors du découpage des vitres, des cadres en P.V.C. et de la pose de ces vitres. Quand il s'agit d'assembler les modules, aucune qualification n'est exigée.

### • Description des modules.

#### a) Le bac réceptacle de l'eau à distiller.



Le bac est constitué de trois parties principales :

- une plaque de base.
- une feuille souple en P.V.C. (l'absorbeur).
- un cadre support en P.V.C.

. La plaque de base: (voir fig. n°4 annexe)-2-4)

Elle est formée de deux plaques d'amiante-ciment d'épaisseur 5 mm chacune, intercallées par une plaque de polyuréthane d'épaisseur 4 cm, le tout est maintenu en place par une moulure pliée en acier, qui est collée sur les rebords tout au tour. Les dimensions de cette plaque de base sont :

. Le cadre support: (voir fig. n°4 annexe)-2-4)

Il est directement posé sur la plaque de base. Il est constitué d'un profilé en P.V.C de porte coulissante, coupé et soudé à 45° avec une longueur de 183.5 cm sur une largeur de 120 cm. Ce sont les dimensions intérieures de ce cadre qui déterminent le bac à eau. Elles sont de 170.5 cm sur 107 cm. Le cadre a pour rôle aussi de supporter la structure des vitres.

. La feuille souple en P.P.V.C. (l'absorbeur.)

Elle a une épaisseur de 200  $\mu$ . Elle épouse la surface du fond du bassin et la totalité des parois du cadre support. Elle est parfaitement noir foncé et constitue donc l'absorbeur. Il faut noter que ces trois parties ne sont ni soudées, ni collées. Elles se superposent directement dans l'ordre : plaque de base, cadre support et en dernier lieu la feuille souple en P.V.C.; et le tout constitue le bac.

### b) La structure du couvert transparent.

La structure est composée d'un profilé en P.V.C et de deux plaques aussi en P.V.C qui constituent les cotés triangulaires. Les cotés triangulaires sont fixés par des rivets sur le profilé qui est coupé et soudé à  $45^\circ$  comme le précédent. Ce profilé est coupé sur des dimensions plus grandes que celles du cadre support, de façon à ce <sup>que ce</sup> cadre structural épouse parfaitement le cadre support. Une fois donc les vitres cotées, il suffit de poser le tout sur le cadre du bac. Quant au vitrage double, le premier (inférieur) est composé de 6 vitres de 63 cm sur 55 cm d'une épaisseur de 3 mm. Le second (supérieur) est composé de 4 vitres de 130 cm sur 65 cm d'une épaisseur de 4 mm.

Les cotés triangulaires sont coupés sur une pente de  $14^\circ$  et sont au nombre de 4 : deux pour le vitrage inférieur et deux pour le vitrage supérieur. Il faut rappeler que tout le matériel en P.V.C est obtenu de la FUMOA-plastique une entreprise qui l'utilise à d'autres fins. (portes et fenêtres etc ---)

### c) Les accessoires.

Un tuyau de diamètre 13 mm est collé sur le sommet du premier vitrage et sur toute la longueur. Ce tuyau est percé de trous d'environ 4 mm de diamètre, espacés de quelques centimètres. Il permet ainsi le refroidissement de ce premier vitrage, en y faisant circuler de l'eau qui donc passe par les trous opposés et ruisselle sur les vitres. Un petit tuyau

noir permet la récupération de cette eau qui a servi au refroidissement après l'avoir collectée (pour la collecte de cette eau voir 4° plus loin). Un autre tuyau identique au précédent est utilisé pour relier les deux canalisations qui récupèrent l'eau distillée. Cette eau distillée est enfin drainée vers l'extérieur par un tuyau flexible de 11 mm de diamètre.

Quant à l'alimentation du bac, elle est assurée par l'intermédiaire d'un tuyau et d'un coude réducteur. Le côté réducteur de ce coude est filtré, et permet ainsi le serrage d'un écrou. L'autre côté reçoit le tuyau qui amène l'eau à distiller. Nous entrerons plus en détail dans la fabrication et la liaison de tous ces éléments dans le paragraphe consacré au détail de construction. Le reste des accessoires est composé de la petite pompe électrique qui alimente le tuyau servant au refroidissement du premier vitrage. Il faut noter qu'ici la pompe n'est pas obligatoire, on peut en l'absence de courant ou de pompe utiliser le système des vases communiquant.

### 13° Détails de construction.

Les premières opérations à effectuer sont le découpage des vitres, le découpage et la soudure des cadres. Ces opérations sont réalisées en collaboration avec des entreprises de la place, à qui il s'agit de communiquer les dimensions et de faire la commande. Pour ce qui est

des cadres, la soudure est réalisée à 45°, à la FUMOA qui possède des machines spécialisées dans ce domaine, et les profilés de ces cadres.

• L'assemblage vitre-structure.

Après avoir fixé les cotés triangulaires sur le cadre par l'intermédiaire de rivets, on procède à la pose du premier vitrage. Le premier vitrage comprend six vitres (3 sur chaque pente). Les vitres sont placées de façon à avoir environ cinq mm d'espace entre les vitres. On applique ensuite un joint de silicone que nous avons utilisé comme colle, sur les bords des vitres tout au tour et sur le sommet. Quand les joints se sont durcis, on pose le tuyau qui va servir au refroidissement, et qui auparavant est percé de trous diamétralement opposés et espacés de quelques centimètres. Ainsi deux joints de silicone sont alors appliqués de part et d'autre du tuyau, pour permettre son adhérence sur le sommet de ce premier vitrage. Quand tout ce premier ensemble devient rigide, on répète la même procédure pour le deuxième vitrage, sauf qu'ici il n'y a pas de tuyau à poser.

Il faudra remarquer qu'on devrait parler d'abord du positionnement de certains accessoires, car une fois le vitrage monté, il devient difficile de travailler sur le cadre, et il y a même dans ce cas des risques de briser les vitres. Ce qui fait qu'il faut d'abord percer les trois trous qui sont pour l'évacuation

d'eau distillé, le retour de l'eau de refroidissement et en fin pour relier les deux cannaux qui récupèrent l'eau distillé. En suite il faut placer les tuyaux qui vont servir à ces opérations.

On passe en fin au perçage du trous de la plaque de base, où on va placer notre coude réducteur d'alimentation. A ce niveau tout le matériel est prêt pour l'assemblage final. C'est au cours de l'assemblage qu'on procède en même temps à la pose d'un joint de mastic autour des différents tuyaux pour assurer l'étanchéité.

Nous pouvons donc résumer la construction du distillateur de la manière suivante:

En partant des dimensions de base, à savoir la surface en mètre carré du prototype désiré.

- on procède à la commande, au découpage, et à la soudure des cadres à la fumoa. (DAKAR).

- A la commande et découpage des vitres à l'entreprise de veroterie (DAKAR).

Remarque que ces deux opérations peuvent se faire en même temps, i.e simultanément.

- perçage des trous servant aux accessoires, et mise en place de ces accessoires.

- assemblage vitres - cadres

- pose des joints d'étanchéité

- perçage du trous de la plaque de base | et pose du coude réducteur.

Après avoir effectué donc toutes ces opérations, l'appareil est assemblé dans l'ordre :

Plaque de base - cadre support - feuille souple - et en dernier lieu le toit en verre.

#### 14°) Détails supplémentaires.

##### a) L'alimentation en eau à distiller.

Nous avons utilisé le système des vases communiquant. Un tuyau relie le réservoir qui contient l'eau à distiller et le fond du bac par l'intermédiaire du coude réducteur. Le réservoir est relevé à un niveau qui nous permet de maintenir l'épaisseur de la couche d'eau dont on a besoin dans le bac. Il est vrai que l'eau en s'évaporant fait baisser le niveau, il suffit alors de procéder à un remplissage périodique (voir fig. n° 4)

##### b) Evacuation de l'eau distillée.

Les canaux qui récupèrent les gouttes d'eau sont tout à fait opposés. Il va falloir donc les relier. C'est ce que nous avons fait en drainant l'eau du canal intérieur vers le canal externe, grâce à un petit tuyau de diamètre 7 mm. Le tout est en fin évacué vers l'extérieur par un tuyau souple planté dans le canal externe par l'intermédiaire d'un bout de tuyau en p.v.c dure de 13 mm de diamètre (voir fig. n° 1 annex) 2-1)

c/ Récupération de l'eau de refroidissement.

Comme on peut le constater le cadre qui supporte les vitres comprend trois canaux. C'est le canal du milieu qui est alors utilisé pour récupérer l'eau de refroidissement. Ainsi nous y avons planté un petit tuyau qui alors débouche soit dans le bac soit à l'extérieur. (voir fig n° 2 annexe) - 2-2)

## Chapitre 4.

## Résultats expérimentaux

### 11°1 Appareils de mesures.

#### a) Rayonnement global:

Nous avons utilisé un pyranomètre type "matemaster" pour les mesures du rayonnement global. Un multimètre type "AVO-EM 272" est branché aux bornes du pyranomètre. Ainsi à chaque heure nous lisons la tension, et nous convertissons les millivolts lus en  $\text{kW/m}^2$  avec l'expression  $105 \text{ mV}$  équivalent à  $1 \text{ kW/m}^2$  qui est une caractéristique de l'appareil.

#### b) Les températures.

Elles sont mesurées avec : pour l'eau du bac, deux thermomètres de  $110^\circ\text{C}$ , placés l'un à gauche, l'autre à droite. Nous faisons la lecture des deux, et ensuite la moyenne des deux lectures.; pour le vitrage inférieure aussi deux thermomètres de  $110^\circ\text{C}$  sont utilisés, là aussi l'un est placé sous la vitre gauche et l'autre sous la vitre droite nous faisons la lecture des deux et en fin la moyenne; pour le vitrage supérieur le même procédé est utilisé.

#### c) L'eau distillée.

Elle est mesurée avec une éprouvette de deux litres de capacité, graduée en vingtaine de ml. Il faut dire qu'on n'a pas eu une éprouvette plus grande, ce qui faisait qu'on était obligé de vider l'éprouvette par-



fois et de recommencer. (moins pratique et augmente les erreurs.).

### 12° Performance du distillateur.

Deux séries de mesures ont été effectuées. Une avec le double vitrage sans refroidissement et sans fermeture de l'espace entre les vitres inférieures. Une autre avec refroidissement et fermeture de l'espace entre les vitres inférieures. Il faut reconnaître dès maintenant que les mesures obtenues ne nous permettent pas une conclusion directe sur la performance du distillateur. Les raisons sont qu'elles sont effectuées dans une courte période (manque de temps.). Ce qui donc a fait qu'on n'a pas pu vérifier de façon satisfaisante l'influence de certains paramètres du distillateurs. Néanmoins c'est des mesures qui nous permettent de s'orienter par rapport à la performance que pouvait avoir ce distillateur, en ayant une vue d'ensemble des résultats obtenus.

Il faut même reconnaître aussi que cette orientation n'est qu'approximative à cause des appareils de mesures employés et de la manière même dont les mesures ont été faites. Nous le déplorons largement. Il faut comprendre qu'on était obligé d'employer de tels appareils et de procéder de cette manière même déplorable, l'établissement n'étant pas doté d'appareils modernes, nous permettant d'enregistrer à chaque instant les valeurs qui étaient à mesurer.

a) Résultats sans refroidissement et sans fermeture de l'espace entre les vitres inférieures.

i) Considérations générales.

Les mesures de cette série sont groupées dans les tableaux 1 - 2 - 3 - 4 - et 5 qui suivent. Elles sont effectuées de huit heures (8H.) du matin à 18H ou 19H du soir. L'appareil est orienté nord-sud dans le sens de sa longueur, de façon à avoir les deux pentes, l'une vers l'Est et l'autre vers l'Ouest, pour ainsi récupérer le maximum de rayonnement. La production est groupée à 80 ou 90% parfois entre 11 heures et 17 heures. Le débit horaire maximum est atteint le plus souvent à 15 heures. Cependant la température de l'eau du bac est maximale toujours à 14 heures. Cela montre donc qu'il y a un décalage entre la production et son vote) et le vote de la température décalage dû à l'inertie thermique du système. Il faut constater également que le matin à 8 heures, la température de l'eau du bac est parfois inférieure ou égale à celle du vitrage inférieur. Ce qui explique le retard de la production le matin, car il faut un supplément d'énergie qu'il faut apporter pour avoir un  $\sigma_t$  qui permettra la condensation.

ii) Interprétation des courbes.

Pour les courbes, celle de la température de l'eau du bac suit celle de l'insolation; mais se trouve

Journée du 18-04-1985  
 Ciel: nuageux . épaisseur d'eau : 3.5cm  
 Vent: moyen.

Heures	t° eau du bac °C	t° vit- rage interne °C	t° vit- rage supéri- °C	t° air ambient °C	* Rayonne- ment direct. (W/m²)	vitesse du vent (m/s)	Produc- tion-eau distillée. (ml/h)
7	-	-	-	-	-	-	-
8	17	19	18	-	0	-	-
9	25	26	23	-	667	-	-
10	39.5	38	31	27	1143	-	-
11	53	50	35	31	1524	-	-
12	67	65	42.5	36.5	1905	-	-
13	79	76	48.5	-	1905	-	-
14	84	81	51	35	1857	-	2230
15	82	80	50	34	1571	-	1080
16	78	76	46	31	1381	-	920
17	68	65.5	39	27.5	857	-	480
18	55.5	55.5	33.5	25	381	-	320
19	46	46	27	21.5	0	-	160
total:							5190

\*: Les valeurs de cette colonne doivent être multipliées par 5/11

tableau 4.1

Journée du 19 - 04 - 1955  
 ciel: clair. épaisseur d'eau 4 cm.  
 vent: fort Vmoyenne: 2.10 m/s.

Heures	t° eau du bac °C	t° vitra- ge int- °C	t° vitrage supéri- °C	t° air am- biant °C	* Rayon- nement direct. (W/m²)	vitesse du vent (m/s)	Production eau dis- tillée. (ml/h)
7	-	-	-	-	-	-	-
8	19	19	18	18	524	1.6	110
9	27	29	22	21	810	1.56	180
10	44	44	29.5	26.5	1190	1.31	140
11	61	59	35.5	30	2190	1.50	400
12	77	75	44	30.5	2429	1.96	880
13	85	83	49	30	2429	1.63	1000
14	89	86	50	29	2429	2.18	1000
15	85	84	49	30	1952	2.22	1350
16	81.5	80	48	28.5	1619	3.86	850
17	68	67	39	27	714	2.84	780
18	55	55	32.5	25	524	2.40	360
19	41	41	25.5	21	0	-	220
total:							7270

\*: Les valeur de cette colonne doivent être multipliées par 5/11

tableau 4-2

Journée du 19-04-85

Ciel: clair  
Vent: fort

épaisseur de la couche d'eau  $\approx$  4cm

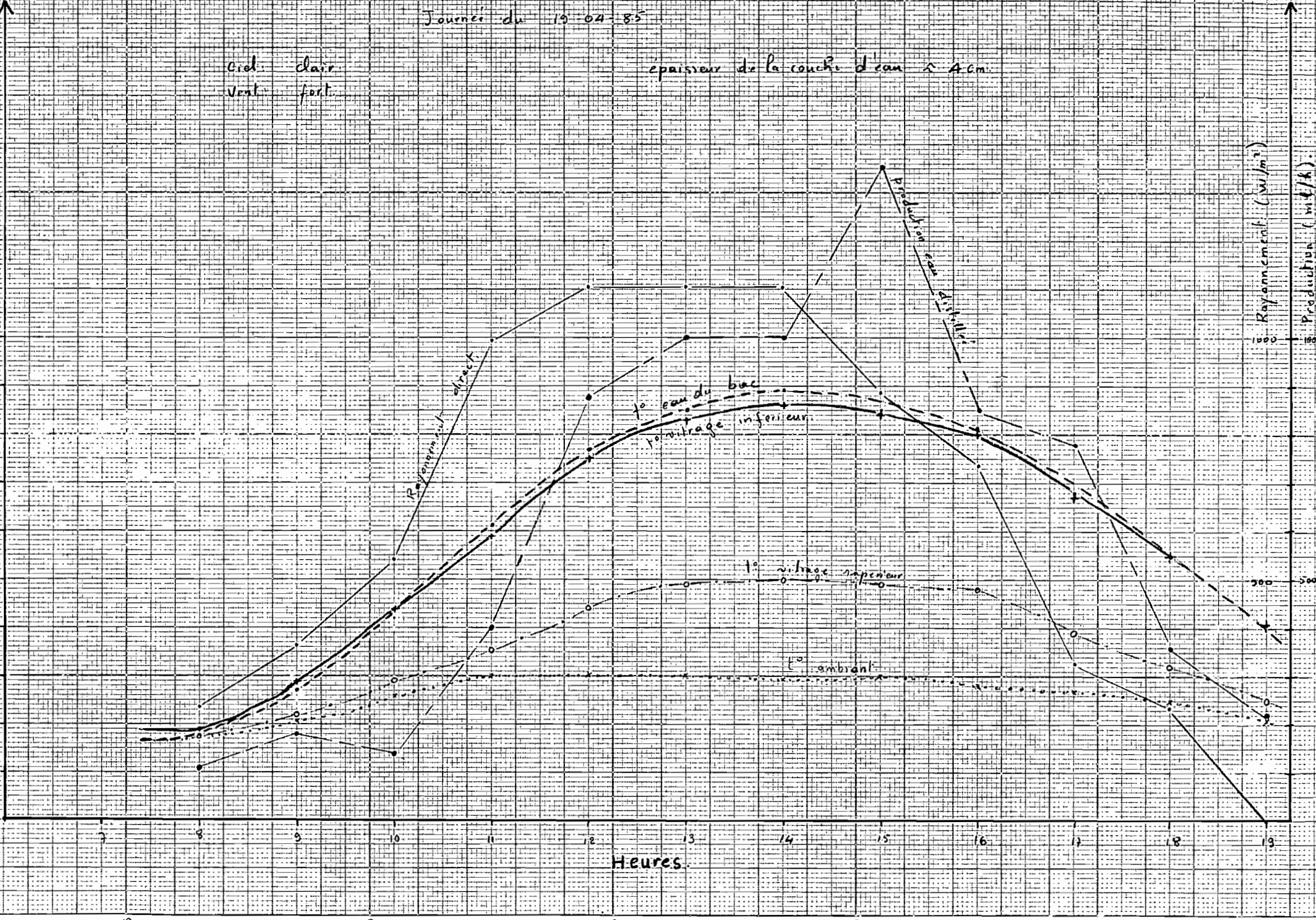
10 en °C

50

Heures

Rayonnement (W/m<sup>2</sup>)

Production (lit/k)



Journée du 20 / 04 / 1985  
Ciel: naageux. • épaisseur d'eau: 4cm.  
Vent: fort

Heures	t° eau du bac °C	t° vitrage interne °C	t° vitrage supérieure °C	t° air am- biant °C	* Rayon- nement direct. (w/m²)	Vitesse du vent. (m/s)	Produc- tion eau distillée (ml/h)
7	-	-	-	-	-	-	-
8	18	20	17	19.5	476		260
9	27	27	21	20.5	809		180
10	42	40	26	23	1238		100
12	54	52	32	24	1048		330
12	69	63	35.5	24	1524		470
13	78	72	41	27	1905		660
14	83	78	45	27	2286		940
15	82	78	45	26	2429		1020
16	79	75	44	25.5	1857		790
17	69	67	42	25	1333		570
18	57	56	31	22	286		500
19	-	-	-	-	-		-
Total:							5820

\* Les valeurs de cette colonne doivent être multipliées par 5/11

tableau 4-3

-58-

Journée du 20-04-85

épaisseur de la couche d'eau  
≈ 4cm

Ciel nuageux  
Vent fort

température en °C

Régénération direct (W/m<sup>2</sup>)

production (mm/h)

100

1000

1000

50

500

500

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

30

20

15

10

5

Régénération direct

t° eau du bac

t° vitrage inférieur

production d'eau distillée

t° vitrage supérieur

t° ambiant

Journée du 22 - 04 - 1985

Ciel: clair. épaisseur d'eau: 5 cm.

Vent: moyen.

Heures	t° eau du bac °C	t° vitrage interne °C	t° vitrage supérie- °C	t° air ambi- °C	* Rayon- nement direct. (W/m²)	Vitesse du vent. (m/s)	production eau disti- (ml/h)
7	-	-	-	-	-	-	-
8	21	20	17	19	524	-	-
9	32	31	25	24	1095	-	-
10	44	43	31	27	1667	-	-
11	61	58	37	30	2095	-	220
12	76	74	44	32.5	2286	-	40
13	85	82	48	33	2381	-	850
14	86	85	49	32	2286	-	1000
15	85	84.5	49	32	2095	-	1200
16	80	79	46.5	29.5	1524	-	1000
17	72	67.5	43	27	952	-	660
18	68	54	31	24	286	-	380
19	-	-	-	-	-	-	-
Total:							5350

\*: Les valeur de cette colonne doivent être multipliées par 5/11

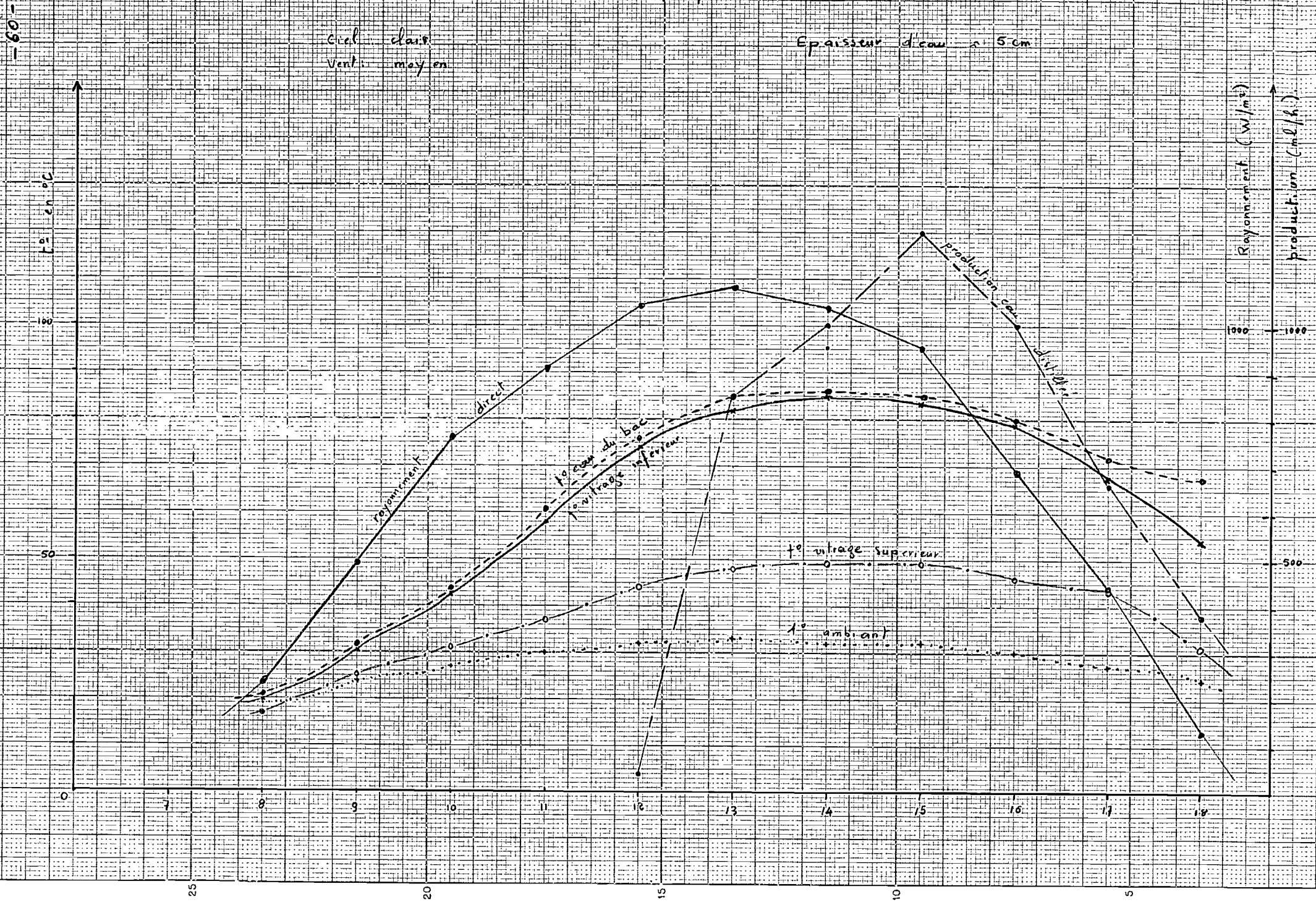
Tableau 4-4.



Journée du 22/04/85

Ciel: clair  
Vent: moyen

Épaisseur de cou: 5 cm



Journée du 23 - 04 - 1985

Ciel: nuageux

épaisseur d'eau: 5cm

Vent: fort.

Heures	t° eau du bac °C	t° vitrage interne °C	t° vitrage supérieur °C	t° air am- biant. °C	Rayon- nement direct. (W/m²)	Vitesse du vent: (m/s)	Producti- on eau (ml/h)
7	-	-	-	-	-	-	-
8	18	17	14.5	19	143	0.36	20
9	32	30	24.5	23	429	2.52	20
10	48	43	30	26.5	714	0.54	120
11	65	60	36	28	857	1.53	380
12	77	75	42	30	1000	2.72	900
13	78.5	75	39.5	30.5	714	3.43	820
14	81.5	80	48	30.5	905	3.96	790
15	83	82	50.5	29	905	3.17	1220
16	79	77.5	46	26.5	714	2.89	1020
17	71	67	37.5	23	476	3.60	610
18	57	55	30	22	0	-	310
19	-	-	-	-	-	-	-
total:							6210

tableau 4-5

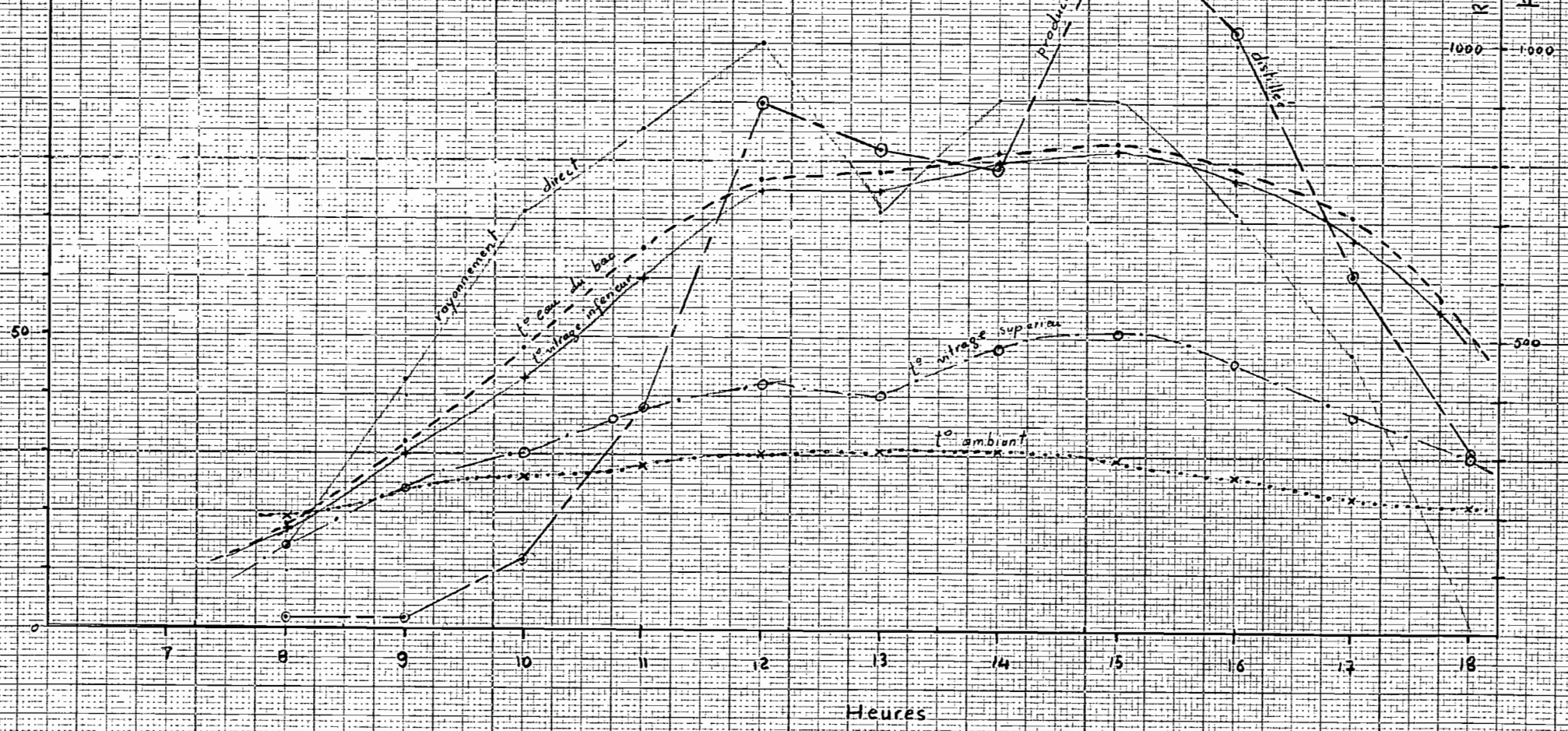
Journée du 23/04/85

Ciel: un peu nuageux  
vent: fort.

épaisseur de la couche d'eau: ~ 5 cm

température en °C.

Rayonnement direct (W/m<sup>2</sup>)  
production (ml/h)



Heures

25

20

15

10

5

décaler un peu par rapport à celle de la production de décalage dû à l'inertie thermique de l'appareil. Avant d'aller plus loin, il faut préciser que toutes les courbes sont tracées en fonction des heures de la journée. (voir figures). Elles sont toutes en forme de cloche, et atteignent, toutes, leur maximum entre 12 heures et 15 heures.

Quant à la courbe de la température de l'eau du bac et celle de la température du vitrage inférieur elles sont très proches. Ceci est dû par fait que ce premier vitrage n'est pas refroidi, et se trouve sous l'effet de serre du deuxième vitrage. Ainsi l'énergie calorifique qu'il rayonne ne pourra pas traverser le vitrage supérieur, et donc se trouve emprisonné entre les deux. Le vitrage supérieur aura alors tendance à s'équilibrer entre la température de l'atmosphère du bac et la température du cloisonnement entre les vitres. Les deux courbes se chevauchent le matin à cause du phénomène précité plus haut. Cette faible différence de température entre le bac et la vitre inférieure, fera qu'une faible quantité d'eau est condensée à ce niveau; et que donc la quantité la plus importante est condensée au niveau du vitrage supérieur, qui est à une température un peu éloignée de celle du bac. Cependant l'étroitesse des espaces entre les vitres inférieures fera aussi qu'une faible quantité de vapeur traverse ces espaces. Ce.

qui explique donc la faiblesse de la quantité d'eau recueillie quand il n'y a pas eu de refroidissement du vitrage inférieur.

Disons tout simple ici qu'à première vue le double vitrage sans refroidissement ne présente pas d'intérêt pour la distillation solaire. Ce n'est pas un problème de chauffage qui se pose, mais plutôt un problème de condensation. La preuve en est qu'on a obtenu un maximum pour la température de l'eau du bac qui varie entre 80 et 89°C.

### b/ Résultats avec fermeture et refroidissement du vitrage inférieur.

Exceptée la différence de température entre la vitre inférieure et l'eau du bac, l'ensemble des considérations générales fait que sur les résultats sans refroidissement est parfaitement valable ici.

Ce qu'il convient de souligner, c'est l'effet net du refroidissement. D'abord on constate une augmentation nette du volume d'eau distillée. Et ceci est dû par l'abaissement de la température de la vitre inférieure. Avec le refroidissement on parvient à maintenir la différence de température entre l'eau du bac et cette vitre inférieure entre 4 et 5°C. L'augmentation de cet écart est nette sur les courbes de températures. Il est plus important entre 11 heures et 16 heures; ce qui fait qu'on recueille plus d'un litre d'eau chaque heure dans cet intervalle.

Il faut dire qu'on peut s'attendre à une production beaucoup plus importante que ce qu'on a recueilli; car le refroidissement ne s'est effectué que sur les  $2/6$  de la surface du vitrage inférieur, à cause de problème technique dont on reparlera au chapitre 7.

Sans le refroidissement, nous avons obtenu une production moyenne de 5.968 l/jour. Alors qu'avec refroidissement nous avons obtenu une production moyenne de 7.792 l/jour. Ce qui correspond à une augmentation de 30.6% pour un refroidissement des  $2/6$  de la surface du vitrage inférieur. Donc on peut dire qu'avec un refroidissement de la surface totale, on pourrait augmenter le débit journalier de 91.8%, i.e qu'on aurait une production moyenne de 11.44 l/jour.

Remarquer que les débits horaires connaissent de grandes fluctuations qui semblent anormales (Exemple: pour la journée du 03-05-85, le débit de 16 heures est inférieur au débit de 17 heures, alors que le rayonnement continue à baisser). Cependant ces fluctuations sont bien normales; elles sont directement liées au débit d'eau de refroidissement sur lequel nous reviendront au chapitre 7. (problèmes techniques). Seulement il faut préciser qu'avec les bonbonnes utilisées, l'eau terminait parfois sans qu'on soit là pour les remplir à nouveau. Ce qui correspondait alors à des moments sans refroidissement, donc à des baisses de la production d'eau distillé.

Journée du 03-05-85

Ciel: nuageux

épaisseur d'eau: 3 cm.

vent: Vmoyenne: 2.14 m/s.

Heures	t° eau du bac °C	t° vitre interne °C	t° vi-trage supérieur °C	t° air ambiant °C	Rayonnement direct w/m²	vitesse du Vent. m/s.	Production eau distillée ml/h.
8	remplissage du bac.						
9	27	27	22	21	381	1.76	10
10	41	39	28	23	571	1.09	30
11	55	50	32	25	667	2.68	90
12	63	58	36	28	857	1.45	110
13	72	68	39	27	905	1.84	1080
14	79	69	38	27	762	3.0	1180
15	69	66	38	25	619	2.66	1400
16	67	64	37	25	476	2.14	600
17	59	53	30	24	286	2.67	760
18	50	46	25	21	0	2.13	470
19	42	36	23	20	0	2.10	200
total:					5524		5930

tableau. 4.8

température °C

Journée du 03-05-85

Ciel: nuageux  
Vent: fort  
épaisseur de la couche d'eau: 3 cm



Rayonnement direct (W/m²)

Production d'eau distillée (ml/h.)

Hauteur

500 500

1000 1000

50

100

9

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

25

20

15

10

5



Journée du 04 - 05 - 85

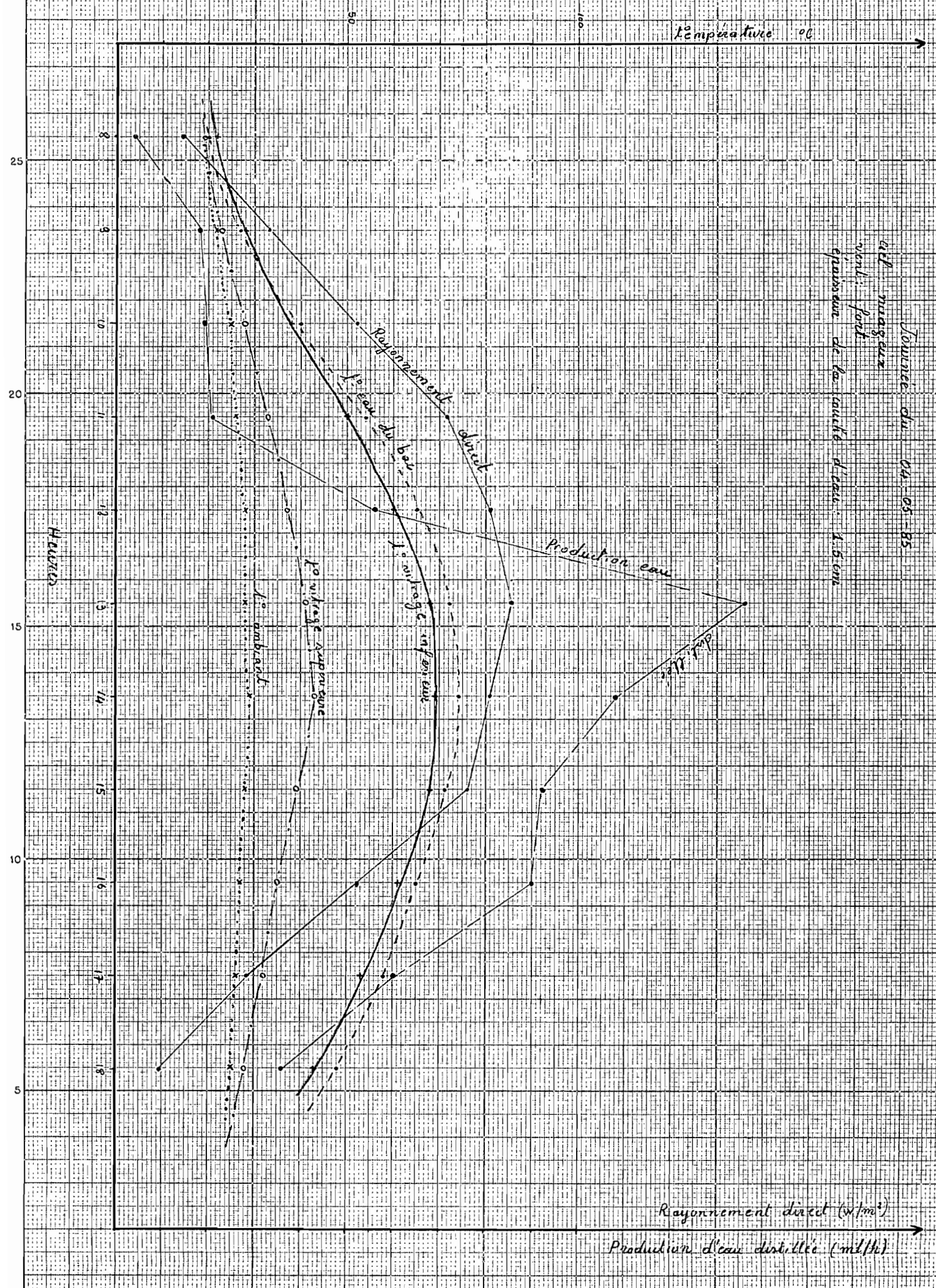
Ciel: nuageux:

épaisseur d'eau: 1.5 cm.

Vent: moyenne: 2.36 m/s.

Heures	t° eau du bac °C	t° vi-trape interne °C	t° vi-trape supérieure °C	t° air ambiant °C	Rayonnement direct: W/m <sup>2</sup>	Vitesse du vent: m/s.	Production eau distillée ml/h.
8	20	22	19.5	19.5	143	1.33	40
9	27	28	23	22	333	1.33	180
10	40	38	28	25	524	0.72	190
11	54	50	33	26	714	3.13	210
12	65	60	37	28	810	3.19	560
13	72	68	41	28	857	2.08	1360
14	74	69	43	29	810	3.27	1080
15	71	68	39	28	762	2.85	920
16	65	61	35	27	524	2.37	900
17	58	53	32	26	286	2.17	600
18	48	43	28	25	95	2.44	360
19	-	-	-	-	-	-	-
total:					5858		6400

Tableau 4.7



Journée du 06 - 05 - 85

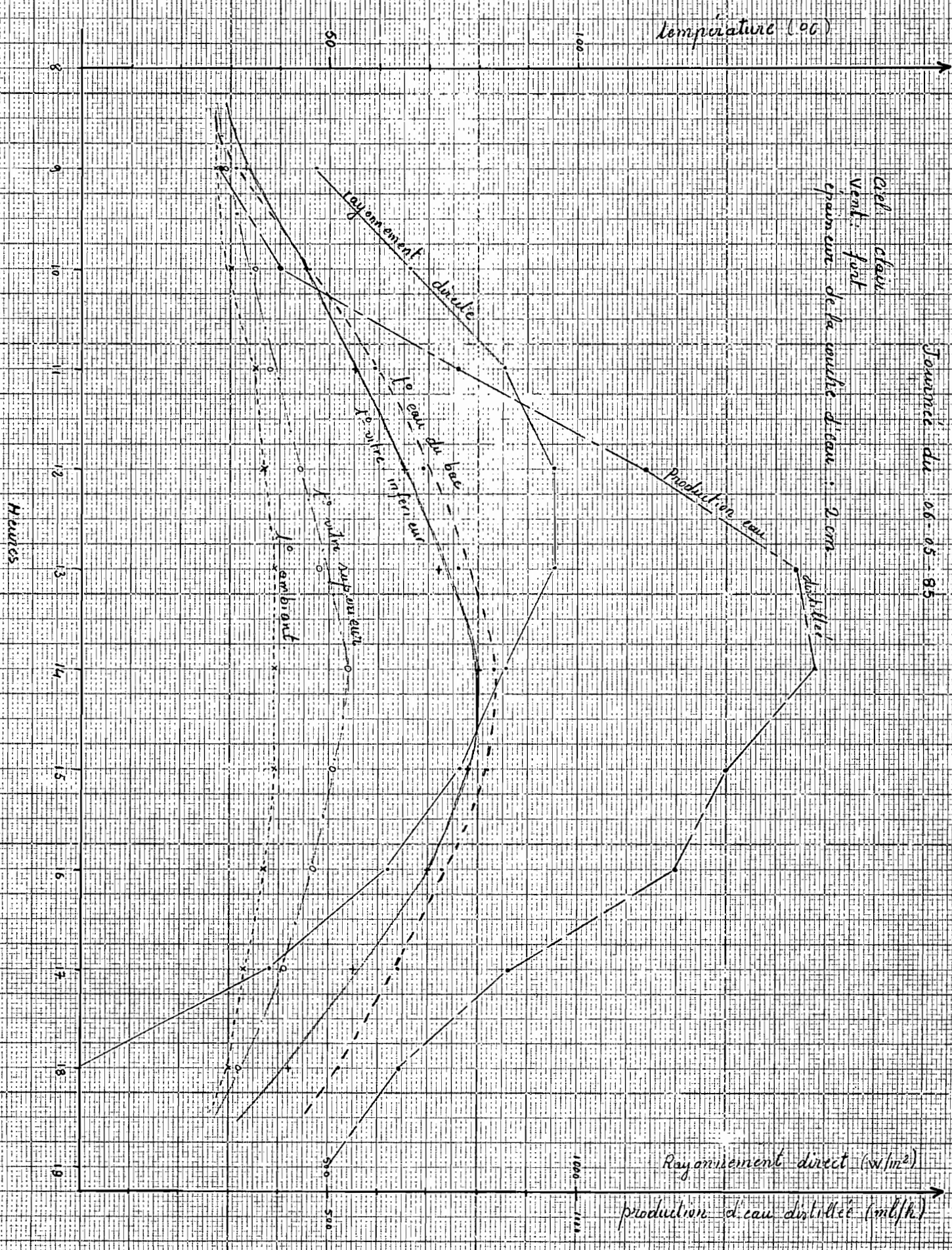
Ciel : clair

épaisseur d'eau : 2 cm.

Vent : Vmoyenne : 2.22 m/s.

Heures	t° eau du bac °C	t° vitra- ge in- terne °C.	t° vi- trage supérieur °C	t° air ambiant °C	Rayon- nement direct: w/m <sup>2</sup>	vitesse du vent en m/s	Produc- tion eau distillée ml/h.
8	remplissage du bac.						
9	31	33	29	27	476	0.53	280
10	46	45	35	30	667	1.03	400
11	59	55	38	35	857	2.82	760
12	69	65	44	37	952	2.95	1140
13	76	72	48	39	952	1.47	1440
14	83	80	54	39	857	2.60	1480
15	82	78	51	39	762	1.82	1300
16	73	70	47	37	620	2.76	1200
17	64	55	41	33	381	2.70	860
18	52	42	32	30	0	3.51	640
19	-	-	-	-	-	-	500
total:					6524		10000

Tableau 4-6



Journée du 06-05-85

Température (°C)

Rayonnement direct ( $W/m^2$ )  
production d'eau distillée (ml/h)

Heures

Journée du 07 - 05 - 85

ciel: clair.

épaisseur d'eau: 2.5 cm.

vent: moyenne: 2.20 m/s

Heures	t° eau du bac °C	t° vi-trage interne °C	t° vi-trage supérieur °C	t° air ambiant °C	Rayonnement direct: w/m <sup>2</sup>	Vitesse du vent: m/s	Production eau distillée: ml/h.
8	-	-	-	-	-	-	-
9	-	-	-	-	-	-	-
10	50	50	37	33	667	2.08	860*
11	59	56	39	35	857	2.17	300
12	69	67	44	37	952	1.32	1060
13	79	74	47	39	952	0.82	1500
14	82	78	55	39	857	3.41	1400
15	79	75	48	36	762	2.95	1340
16	68	64	42	33	571	2.98	1100
17	56	51	33	28	190	1.78	780
18	49	45	33	28	0	-	500
19	-	-	-	-	-	-	-
Total:					5808		8840

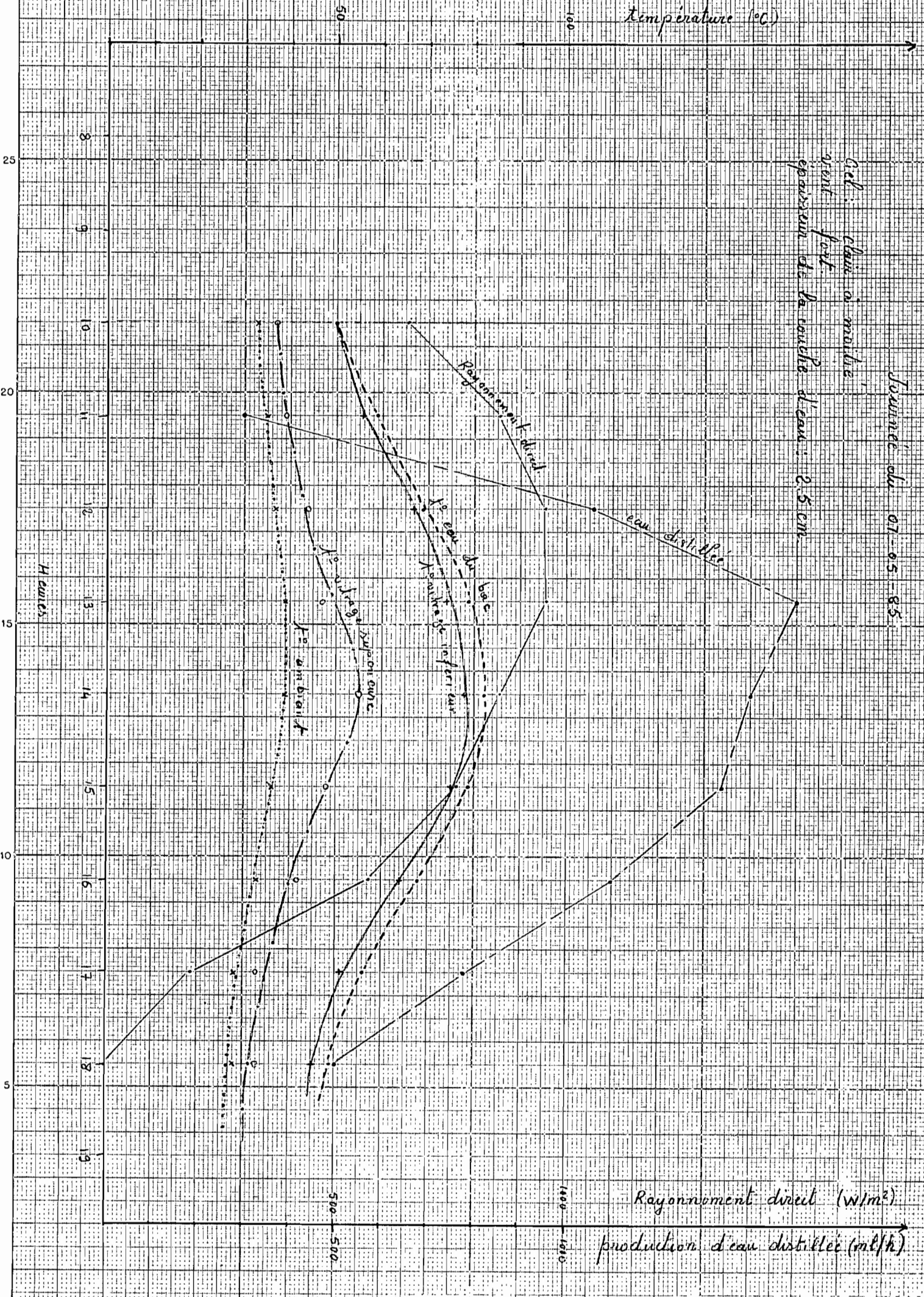
\* : cette valeur est obtenue depuis 8 H.; les autres c'est par heure

Tableau : 4-9

température (°C)

Journée du 07-05-85

Ciel : clair à nuageux  
vent fort  
épaisseur de la couche d'eau : 2.5 cm



Journée du 08-05-85

Ciel:

épaisseur d'eau: 2.5 cm.

vent:

Heures	t° eau du bac °C	t° vi- trage inférieur °C	t° vi- trage supérieur °C	t° air ambiant °C	Rayon- nement w/m <sup>2</sup>	vitesse du vent. m/s.	production eau dis- tillée. ml/h.
7	-	-	-	-	-	-	-
8	21	22	20	21	143	0.55	10
9	29	30	27	24.5	429	1.02	10
10	42	36	33	28	667	0.97	60
11	57	53	38	30	857	0.34	590
12	68	63	42	32	952	0.51	820
13	74	70	47	35	1000	0.64	1140
14	78	73	47	37	905	-	1330
15	78	73	47	37	810	-	1350
16	70	65	38	31	571	4.85	1100
17	61	55	35	29	333	-	800
18	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	1200
<i>total:</i>							8410

tableau 4-10

Nous avons tracé sur une même feuille (page suivante) les courbes de production en fonction du temps de deux journées de conditions atmosphériques à peu près identiques. Avec ces deux courbes, on voit l'effet du refroidissement. On constate aussi qu'en refroidissant, on diminue le décalage ou l'inertie thermique. Les productions qui étaient maximales le plus souvent à 15 heures (sans refroidissement), deviennent maximale le plus souvent à 13 heures ou à 14 heures (avec refroidissement).

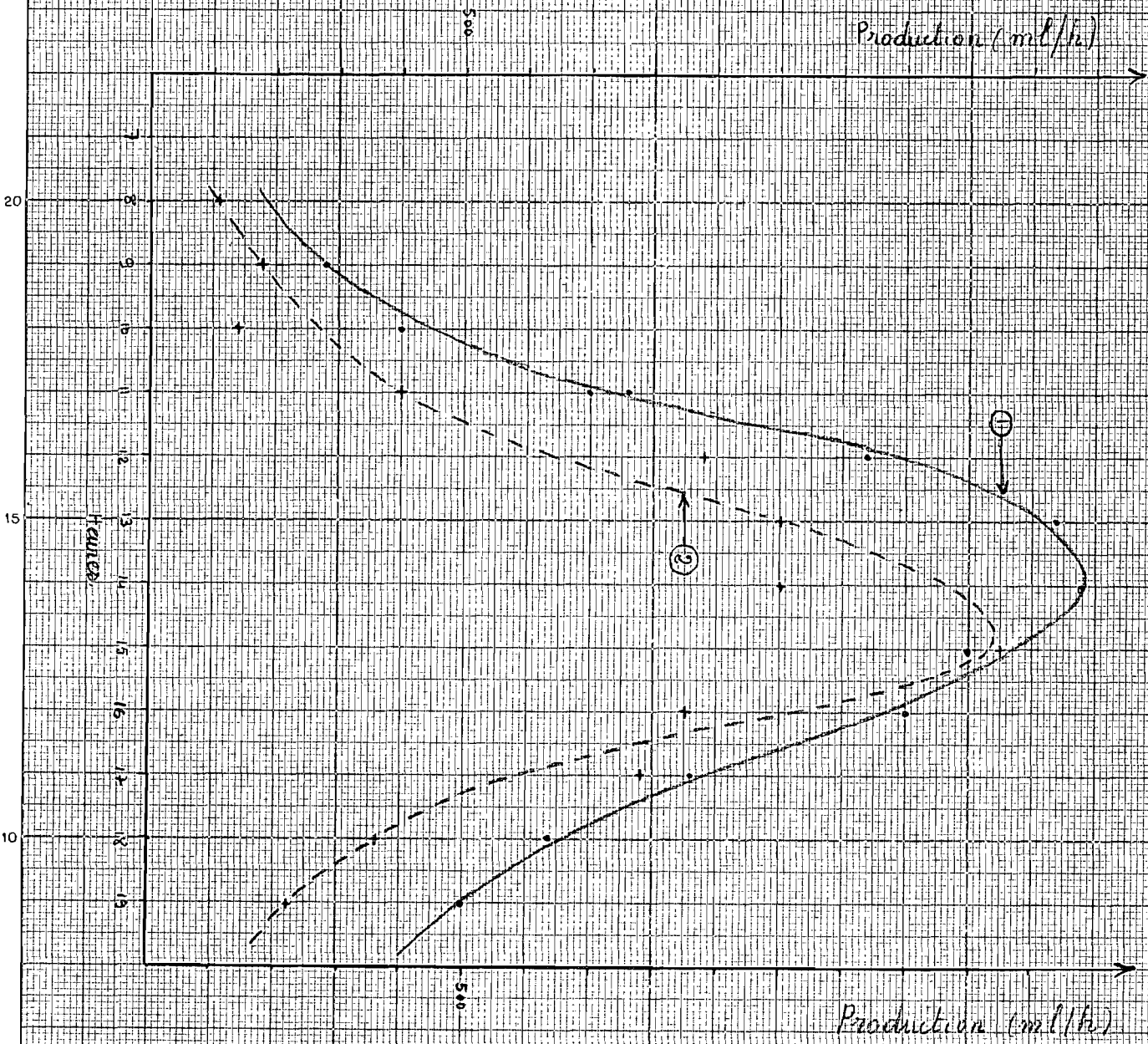
### C1 Calcul de rendement.

Calculer le rendement du distillateur reviendrait à considérer la quantité de chaleur utilisée pour produire une certaine quantité d'eau par rapport à la quantité de chaleur reçue, dans une même période. Nous avons vu que pour faire évaporer l'eau, il faut lui fournir une certaine quantité d'énergie qui est égale au débit d'eau distillé multiplié par la chaleur latente de vaporisation,  $i.e. \dot{m} \times h_{fg}$ . Donc nous pouvons écrire que  $\eta = \frac{\dot{m} \times h_{fg}}{I_G}$  où  $I_G$  est la chaleur totale fournie à l'eau. Cette chaleur totale n'est rien d'autre que le rayonnement global arrivant au niveau de l'eau du bac.

Cependant il faut retenir qu'avec l'inertie thermique du système, la chaleur qui arrive sur l'eau à une heure précise ne correspond pas à la quantité d'eau recueillie.



Comparaison de la production sans refroidissement  
et avec refroidissement pour deux journées de même  
conditions atmosphériques (ciel clair = vent fort)  
(journées du 19-04-85 et du 06-05-85)



Courbe ① Refroidissement du vitrage inférieur (06-05-85)  
Courbe ② Sans refroidissement du vitrage inférieur (19-04-85)

lie à cette même heure. La preuve en est que le rayonnement global est toujours maximal entre 12 heures et 14 heures, alors que la production est maximale à 15 heures. Donc on voit que pour calculer avec précision le rendement à chaque heure, il faudrait pouvoir évaluer ce décalage. Par conséquent nous avons préféré calculer le rendement global de la journée au lieu de le calculer à chaque heure. Ainsi pour la détermination de  $h_{fg}$  nous avons considéré la température maximale de la journée. Nous avons tenu compte aussi de la réflexion et de l'absorption des vitres.

Le flux d'énergie qui arrive sur l'eau sera :

$$I_E = \Phi_0 (1-R)(1-d_v)(1-d_L).$$

Nous avons négligé la réflexion de la surface de l'eau et du fond du bac.

Selon les valeurs données par [ ] pour des verres ordinaires d'épaisseur variant entre 3.175 mm et 4.762 mm, on a :  $R = 8.1\%$  ;  $d_v = 6.8\%$  et  $d_L = 11\%$ .

d'où l'on obtient :

$$\eta = \frac{\dot{m} \times h_{fg}}{0.762 \Phi_0}$$

Nous convertirons  $\Phi_0$  en  $\text{kJ/m}^2$ , ce qui nous amène à l'expression :

$$\eta = \frac{\dot{m} \times h_{fg}}{1.746 \times \Phi_{\max} \times \Delta t}$$

où :

$\Phi_{\max}$  : le flux maxi-mesuré dans la journée en  $[\text{W/m}^2]$

$\Delta t$  : la durée d'insolation en  $[\text{h}]$

$\dot{m}$  : débit d'eau journalier en  $[\text{kg/m}^2]$  ou  $[\text{l/m}^2]$

$h_{fg}$ : chaleur latente de vaporisation en  $[kJ/kg]$  à la température maxi- de la journée.

Les résultats sont résumés dans le tableau du bas pour refroidissement et sans refroidissement.

Avec Refroidissement:

Journée du:	durée d'insolation [h]	$\Phi_{max}$ [ $w/m^2$ ]	Débit [ $l/m^2$ ]	$h_{fg}$ [ $kJ/kg$ ]	$T_{max}$ $^{\circ}C$ .	$\eta$ (%)
03-05-85	10	905	2.51	2311.3	79	36.7
04-05-85	11	857	2.91	2323.9	74	41.08
06-05-85	10	952	4.54	2301.1	83	68.85
07-05-85	10	952	4.01	2303.7	82	55.58
08-05-85	10	1000	3.82	2313.8	78	50.62

Sans refroidissement

Journée du	durée d'insolation [h]	$\Phi_{max}$ [ $w/m^2$ ]	Débit [ $l/m^2$ ]	$h_{fg}$ [ $kJ/kg$ ]	$T_{max}$ [ $^{\circ}C$ ]	$\eta$ (%)
18-04-85	10	866	2.36	2298.6	84	35.88
19-04-85	11	1104	3.30	2285.8	89	35.57
20-04-85	11	1104	2.64	2301.1	83	28.65
22-04-85	11	1082	2.43	2293.4	86	26.82
23-04-85	11	1000	2.82	2301.1	83	33.79
24-04-85	11	1190	2.80	2306.2	81	28.24

## Chapitre 5

## Etude de coût et Rentabilité.

### 14°) Coût total de l'appareil.

Le coût total de l'appareil est revenu à 114 000 CFA.

Il faut dire que ce coût tient compte de certaines opérations nécessitant un peu de spécialité, telles que le découpage et la soudure des profites à la FUMOR, et le découpage aussi des verres à Sénégal-miroir. Le tableau de la page suivante nous donne une indication plus claire quant à la quantité, au prix unitaire et au prix total.

Il faut noter aussi qu'on ne considère pas ici des coûts de transport et d'assemblage de l'appareil. Pour ce qui est de l'assemblage, la raison est qu'on n'a pas besoin d'aucune spécialité pour l'effectuer, et qu'on peut donc le faire soi-même. Quant au transport, son coût dépend du lieu et donc devient difficile à évaluer. Nous tenons compte ici aussi de tous les accessoires, sauf la pompe dont on a préféré le système de vase communicant à sa place pour effectuer le refroidissement de la vitre inférieure. Il faut entendre par accessoires, les tuyaux et raccords utilisés, pour relier les différents canaux, et évacuer l'eau distillée et de refroidissement.

### 12°) La rentabilité de l'appareil.

Si nous voulons calculer le prix de revient d'un litre d'eau distillée, il faut diviser le prix de revient total de

Devis du distillateur.

Materiau.	quantité ou dimension.	prix unitaire	prix total. CFA.
Verre 4mm.	4 x (1.3 x 0.65)	7500/m <sup>2</sup>	25350
Verre 3mm	6 x (0.65 x 0.55)	6000/m <sup>2</sup>	12870
Plaque oriente- ciment + polyu- rthane	2 x 1.70m	4540/m <sup>2</sup>	10896
Absorbent en P.V.C. noir.	1.5 x 2 m	400 /m <sup>2</sup>	1200
Mastic-silicone	2	2340/unité	4680
Plaque contre- plaqué: 4mm.	1	3400/unité	3400
Facture des cadre en P.V.C + tuyau blanc + main-d'œuvre (voir page suivante)	-	-	53140
Tube rubson. (voir page suivante)	1	2375/unité	2375
	total :		113 911 CFA.

l'appareil utilisé aussi longtemps que possible, par le nombre de litres d'eau produits dans cette période. Or le prix de revient de l'appareil va comprendre : l'investissement et le fonctionnement. Pour le fonctionnement, son coût se résume à l'entretien qui presque n'existe pas, étant donné que l'énergie est gratuite (le soleil). Quant à l'investissement, il comprend le coût du matériel et de la main-d'œuvre, et du transport qui, nous venons de le voir, est difficile à évaluer. Il reste à voir maintenant la durée de vie du distillateur, durée de vie qui va dépendre du matériel employé. Pour notre cas nous considérons une durée de vie de dix ans, tout en retenant que l'appareil peut vivre plus que cela. (Le distillateur de Las Salinas en Chili a fonctionné pendant près de 40 ans).  
La production  $j$  annuelle est évaluée égale à :

$$P_r [\text{l/an/m}^2] = 365 \left[ \frac{\text{Jours}}{\text{an}} \right] \times A \left[ \frac{\text{l}}{\text{kwh}} \right] \times E_g \left[ \frac{\text{kwh}}{\text{m}^2/\text{jour}} \right]$$

Selon [7], la moyenne journalière de l'ensoleillement à Dakar entre 1967 et 1982 est de  $5.83 [\text{kwh/m}^2]$ .

$A$  : production moyenne journalière en  $[\text{l/kwh}]$ . pour notre cas : on a calculé la production moyenne journalière en  $[\text{l/m}^2]$  égale à  $3.56 \text{ l/m}^2$ , et l'énergie journalière moyenne reçue égale à  $4.62 \text{ kwh/m}^2$ ,

$$\text{d'où } A = \frac{3.56 [\text{l/m}^2]}{4.62 [\text{kwh/m}^2]} = 0.771 [\text{l/kwh}]$$

d'où l'on obtient pour  $P_r : [\text{l/an/m}^2]$ .

$$P_r = 365 \times 0.771 \times 5.83 = 1640.65 [\text{l/an/m}^2].$$

Ce qui permet une récupération de  $16406.5 [l/m^3]$  pour un fonctionnement de dix ans.

Si nous négligeons les coûts de fonctionnement et de transport, il reste le capital investi pour le matériel et la main-d'œuvre et qui s'élève à : 114 000 CFA.

Le litre d'eau distillée nous revient alors à :

$$\frac{114000}{16406.5} = 6.95 \text{ CFA soit } \approx 7 \text{ CFA.}$$

11°1 Discussion:

L'étude et la réalisation de l'appareil ne sont effectuées que dans quelques mois. Ainsi, nous avons connu quelques problèmes techniques. Alors le fonctionnement de l'appareil n'a été que de deux mois. On voit donc qu'il serait difficile de dire que les résultats obtenus sont fiables à 100%. Il faut ajouter à cela les appareils et les techniques de mesures employés. D'abord considérons le temps: l'année connaît des périodes de forts ensoleillement et de faible ensoleillement. Mais aussi chaque période d'ensoleillement est conditionnée par la pureté de l'atmosphère. Il apparaît qu'il faille faire le tour des douze mois pour pouvoir situer la période de fonctionnement optimal du distillateur. Quant aux appareils et mesures, ils sont sources d'erreur et d'imprécision. Prendre une mesure à chaque n'est qu'approximatif. Ainsi dire que la température est maximale à 14 heures n'est pas évident. Il faudrait avoir une continuité dans les mesures pour savoir à quel moment exactement tel paramètre est maximal. Ce qui n'était pas le cas avec nos appareils qui n'étaient que thermomètres et pyranomètre.

Dans tous les cas ces remarques ne sont faites que pour donner à nos résultats leur juste valeur, pour qu'on sache qu'ils sont obtenus dans de telles ou telles conditions.



Ainsi sans refroidissement, nous avons récupéré en moyenne  $2.73 \text{ l/m}^2/\text{jour}$ ; et avec refroidissement (des 3/6, il faut bien le préciser) nous avons récupéré en moyenne  $3.56 \text{ l/m}^2/\text{jour}$ ; soit une augmentation de la production de 30.40%. Dans l'extrapolation de l'arrosage des 6/6, on pourrait s'attendre donc à une production moyenne de  $10.63 \text{ l/m}^2/\text{jour}$ ; et dans ce cas avec les calculs faits au chapitre 4, le litre d'eau nous reviendrait à 2.32 CFA pour un fonctionnement de 10 ans, au lieu de 7 CFA. Et en plus, il faut dire que ces  $10.63 \text{ l/m}^2/\text{jour}$  constituent une minoration, car l'arrosage n'est pas uniforme. Il faut constater que nous nous insistons plus sur les résultats avec refroidissement que sur les résultats sans refroidissement. La première raison est que ceux sans refroidissement sont très faibles, bien que l'eau se trouvant à une température très élevée. Ce qui d'ailleurs nous amenait à dire qu'il y a un problème de condensation qui se pose au niveau du premier vitrage. La différence de température entre ce dernier et l'eau du bac est très faible. La deuxième raison est qu'il apparaît donc que sans refroidissement, il ne semble pas intéressant d'utiliser le double vitrage dans la distillation solaire. Voilà donc les raisons qui ont fait qu'on a préféré discuter sur les résultats avec refroidissement qu'on pourrait améliorer en améliorant le refroidissement de la vitre inférieure.

## 12°1 Recommandations:

### - Du point de vue fabrication de l'appareil:

Les problèmes rencontrés au cours du fonctionnement de l'appareil, nous ont permis de constater la nécessité d'apporter quelques modifications.

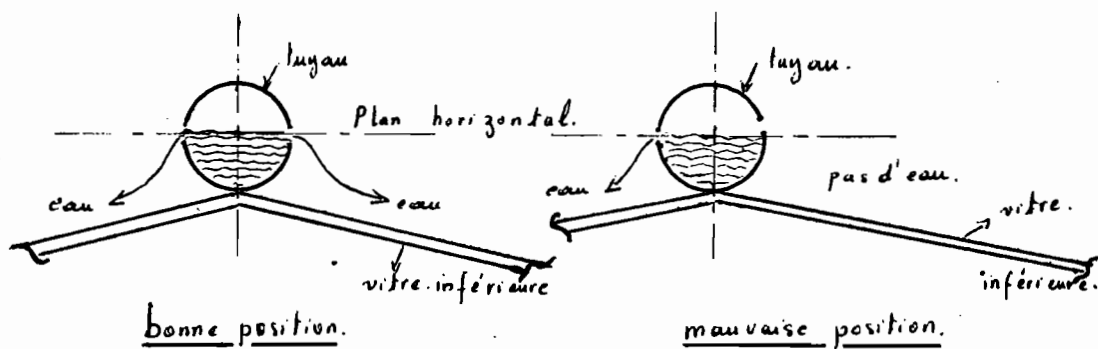
D'abord les cotés triangulaires du vitrage inférieur, sont directement en contact avec l'atmosphère du bac. Cette dernière se trouve parfois à des températures inacceptables par ces cotés triangulaires en P.V.C, mais moins rigides que les cadres. Les conséquences sont qu'ils se déforment sous l'action de la température. Il va falloir donc trouver un autre matériau adéquat, i.e qui puisse supporter et la température et l'humidité.

Au niveau des vitrages, le problème qui se pose se trouve être celui de dépôt de sel sur la vitre inférieure. En effet l'eau qui a servi au refroidissement laisse des dépôts de sel sur ce vitrage inférieur. Il est donc évident qu'il faille avoir les possibilités d'accéder à ce vitrage pour nettoyer ces sels. Ce qui veut dire qu'il faut poser la vitre supérieure de façon à ce qu'on puisse l'enlever et la remettre facilement ce qui n'était pas le cas chez nous.

Quant à l'eau de refroidissement, elle a été évacuée directement dans le bac au départ. Mais suite à cela, nous avons constaté une baisse de la température de l'eau du bac très rapide le soir et le matin. On a observé alors que le retour de l'eau dans le bac n'est profitable qu'entre 11 heures et 15 heures, intervalle où la température de cette eau de re-

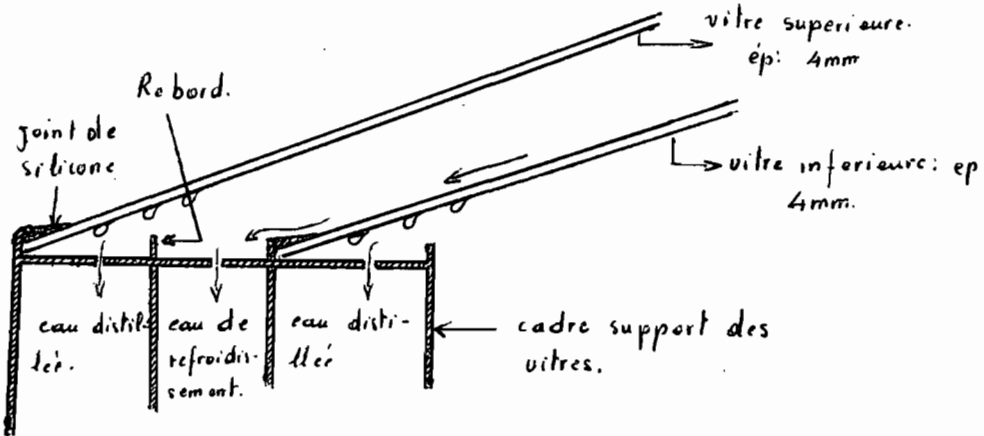
refroidissement va de  $46^{\circ}\text{C}$  à  $56^{\circ}\text{C}$ . Ainsi nous avons rejeté cette eau à l'extérieur, et nous recommandons de ne l'utiliser dans le bac que dans l'intervalle précédent.

Le problème le plus crucial est celui du positionnement des trous sur le tuyau de refroidissement. En effet, ces trous, s'ils sont bien positionnés, devraient nous permettre un arrosage uniforme de la surface extérieure du vitrage inférieur. Cela n'a pas été le cas; ce qui a fait qu'au cours de nos mesures avec refroidissement, seul un côté a été refroidi à moitié (les 2/6); i.e. 2 vitres sur six. Il faudrait donc bien veiller une prochaine fois, à une parfaite horizontalité de ces trous diamétralement opposés. La figure qui suit illustre le problème.



Le second problème qui nous a gêné énormément sur le débit d'eau de refroidissement, est la faible hauteur du rebord qui doit arrêter cette eau de refroidissement. Là aussi le schéma de page suivante illustre le problème. En effet pour un débit assez grand, cette eau va circuler sur la vitre inférieure avec une vitesse assez grande, et vient frapper le rebord. Vu la hauteur insuffisante de ce rebord, l'eau déborde

donc et vient se mélanger avec l'eau distillée provenant du



deuxième vitrage. Ainsi on était obligé de maintenir un débit pour lequel, l'eau ne déborde pas. Cette solution n'étant pas optimale, car 2/3 du vitrage est refroidi, il faudrait alors augmenter la pente du vitrage supérieur, pour avoir une hauteur du rebord qui permet d'obtenir un grand débit et accélérer ainsi la condensation. Il faut préciser que la hauteur de ce rebord a été diminuée au départ.

- Du point de vue utilisation de cette eau distillée.

D'abord à usage domestique, une manière simple qui permet de gagner en quantité, consiste à faire un mélange d'eau saumâtre et d'eau distillée dans des proportions adéquates. En considérant une eau potable de 0.5 g/l (valeur recommandée par l'O.M.S), on voit qu'il faut par exemple, avec de l'eau saumâtre de 5 g/l, 1 l d'eau saumâtre et 9 l d'eau distillée, pour se retrouver avec 10 l d'eau potable de 0.5 g/l. Mais une teneur > 5 g/l n'est qu'une limite. Car il y a très peu de zone au Sénégal où la teneur

dépane 5g/l (voir carte du Sénégal en annexe)  
 Ainsi sur la base de se retrouver avec une teneur de  
 0.5g/l, nous avons calculé la proportion du mé-  
 lange à faire, en fonction de la teneur en sel de  
 l'eau saumâtre dont on dispose.

teneur en sel	Rapport du Mélan- ge $\frac{\text{eau diti}}{\text{eau saumâ}}$
5g/l	9/1
4g/l	8.75/1.25
3g/l	8.3/1.7
2.5g/l	8/2
2g/l	7.5/2.5
1g/l	5/5

Dans les autres domaines, certaines précautions sont à  
 prendre. Car la température de l'eau ne permet  
 pas l'élimination des bactéries

## Conclusion

Nous voilà au terme d'un travail au cours duquel nous avons tenté l'optimisation d'un petit distillateur à effet de serre.

L'appareil testé à l'E.P.T. a permis de récupérer en moyenne 7 litres d'eau distillée par jour, ou encore 0.771 l/kwh reçu. Ce qui donc avec l'investissement réalisé, nous ramène le prix du litre d'eau à 7 CFA. pour un fonctionnement de 10 ans. Prix qui peut même se ramener encore à 3.32 CFA., en extrapolant le refroidissement; et cela correspondrait à une production de 10.63 l/m<sup>2</sup>/jour soit 23.41 l/jour. Cela signifie qu'on pourrait satisfaire en eau, pour la consommation humaine, 6 à 5 personnes /jours. Voilà donc des résultats très encourageants quant à la poursuite de l'optimisation de ce distillateur. Ainsi il reste à compléter ce travail, avec l'étude de tous les paramètres du distillateurs, tels:

- l'épaisseur de la couche d'eau
- la pente à donner aux vitres.
- la concentration des sels.
- l'isolation.
- le vent

et en fin l'amélioration du refroidissement de la vitre inférieure.

- ANNEXES -

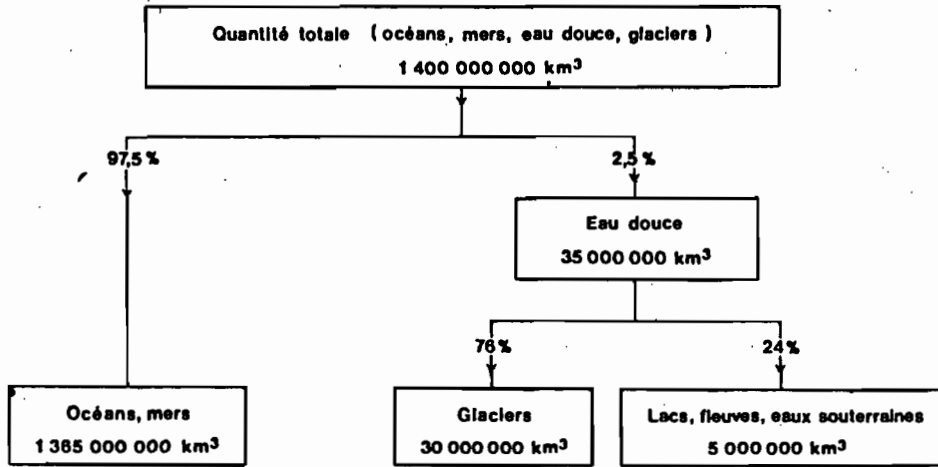


figure ① L'eau dans le monde. [2]

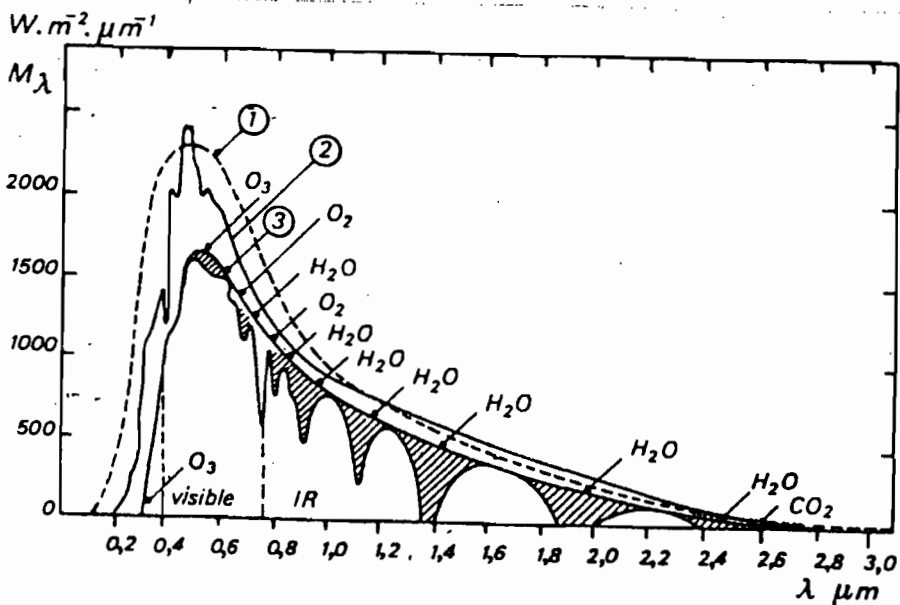


Fig. ②\*

Spectre du rayonnement solaire : 1 - Corps noir à 5 800 K.  
 2 - Courbe de l'énergie rayonnée à la limite de l'atmosphère.  
 3 - Courbe de l'énergie au niveau de la mer. Les zones hachurées  
 représentent les bandes d'absorption. [9]  
 (D'après Handbook of Geophysics).



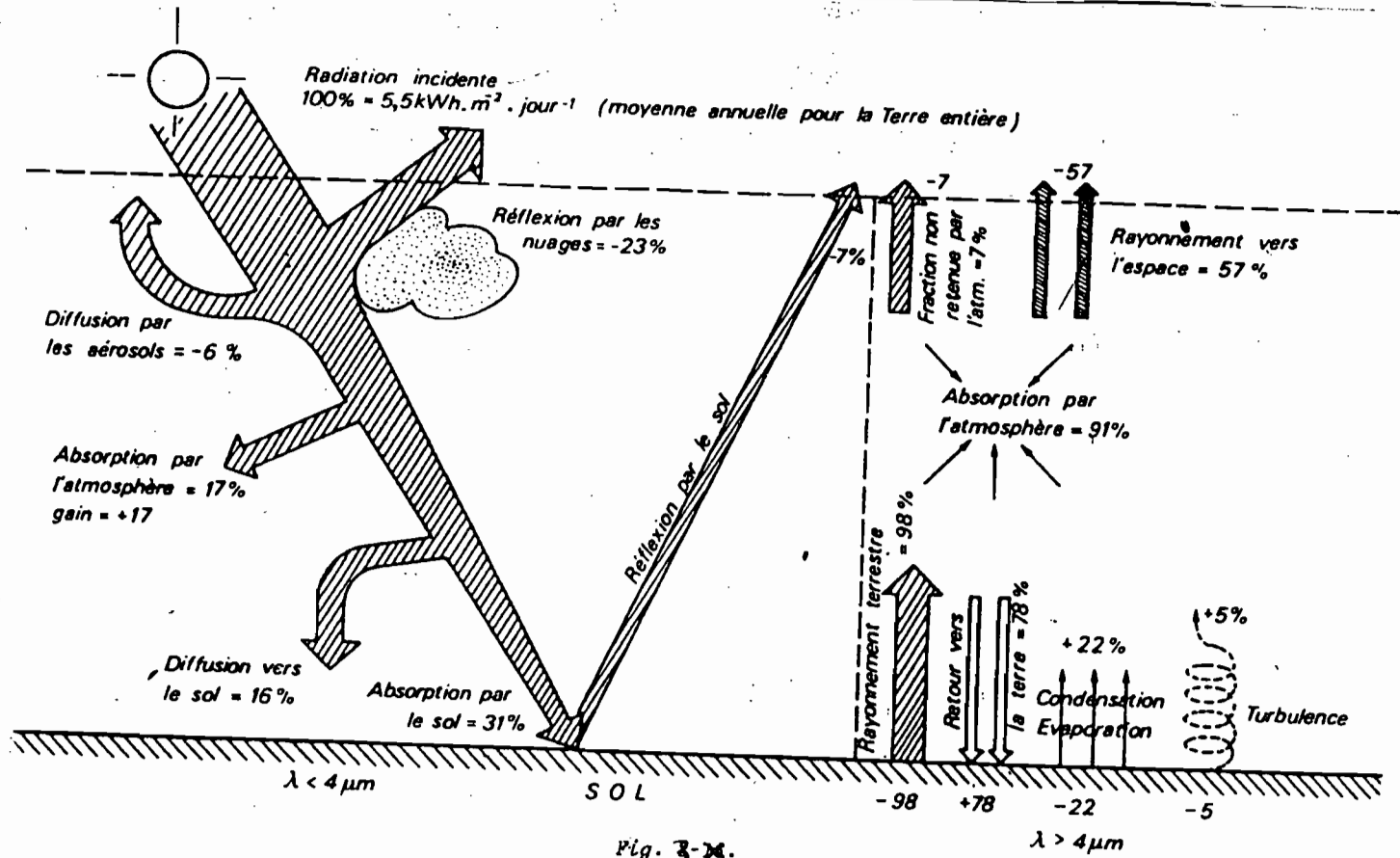
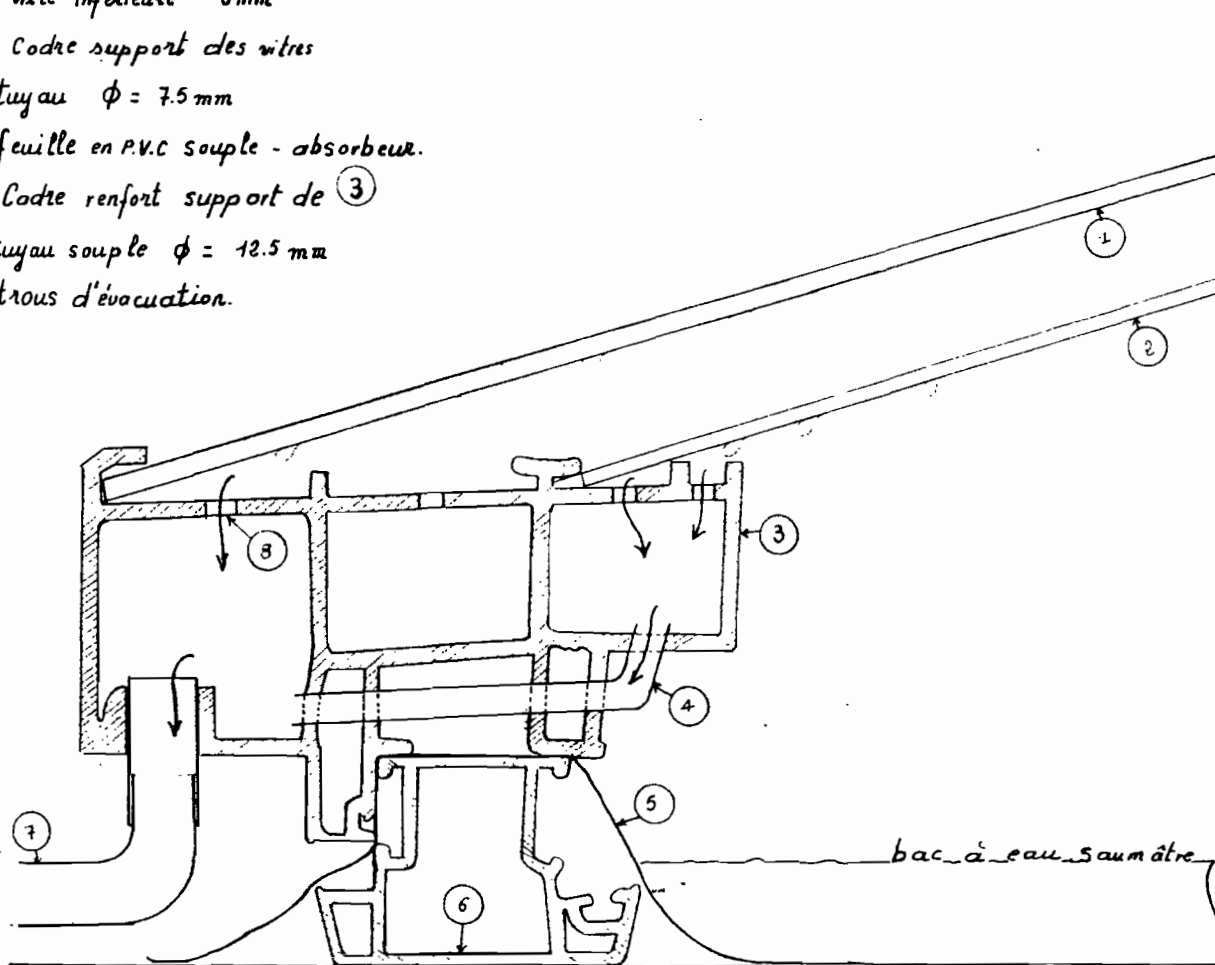


Fig. 3-X.  
 Bilans du rayonnement solaire et du rayonnement terrestre. [9]

- ① vitre supérieure 4mm
- ② vitre inférieure 3mm
- ③ Cadre support des vitres
- ④ tuyau  $\phi = 7.5$  mm
- ⑤ feuille en P.V.C souple - absorbeur.
- ⑥ Cadre renfort support de ③
- ⑦ tuyau souple  $\phi = 12.5$  mm
- ⑧ trous d'évacuation.

Dessin N° 1



bac à eau saumâtre

amiante-ciment épaisseur: 7mm

polyuréthane: épaisseur: 38mm.

amiante-ciment épaisseur 7mm.

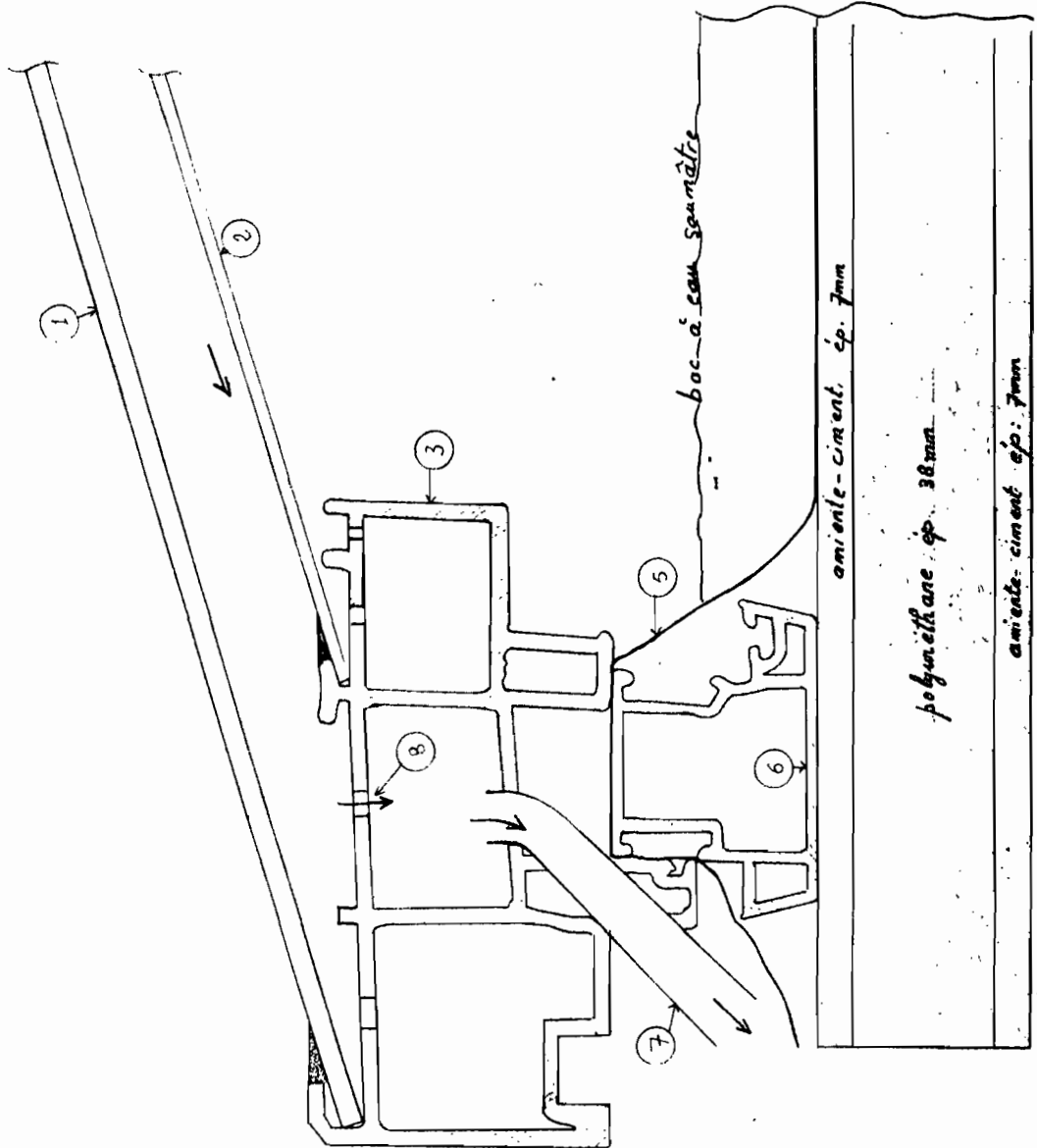
ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES		
Ibrahima	NDIAYE	Projet de fin d'Etude.:
M <sup>rs</sup>	439	Distillateur solaire
MECANIQUE		à double effet
Coupe transversale du cadre montrant la récupération de l'eau distillée		Echelle: 1/1

Annexe - 2-1

- 25 -

Dessin. N° 8.

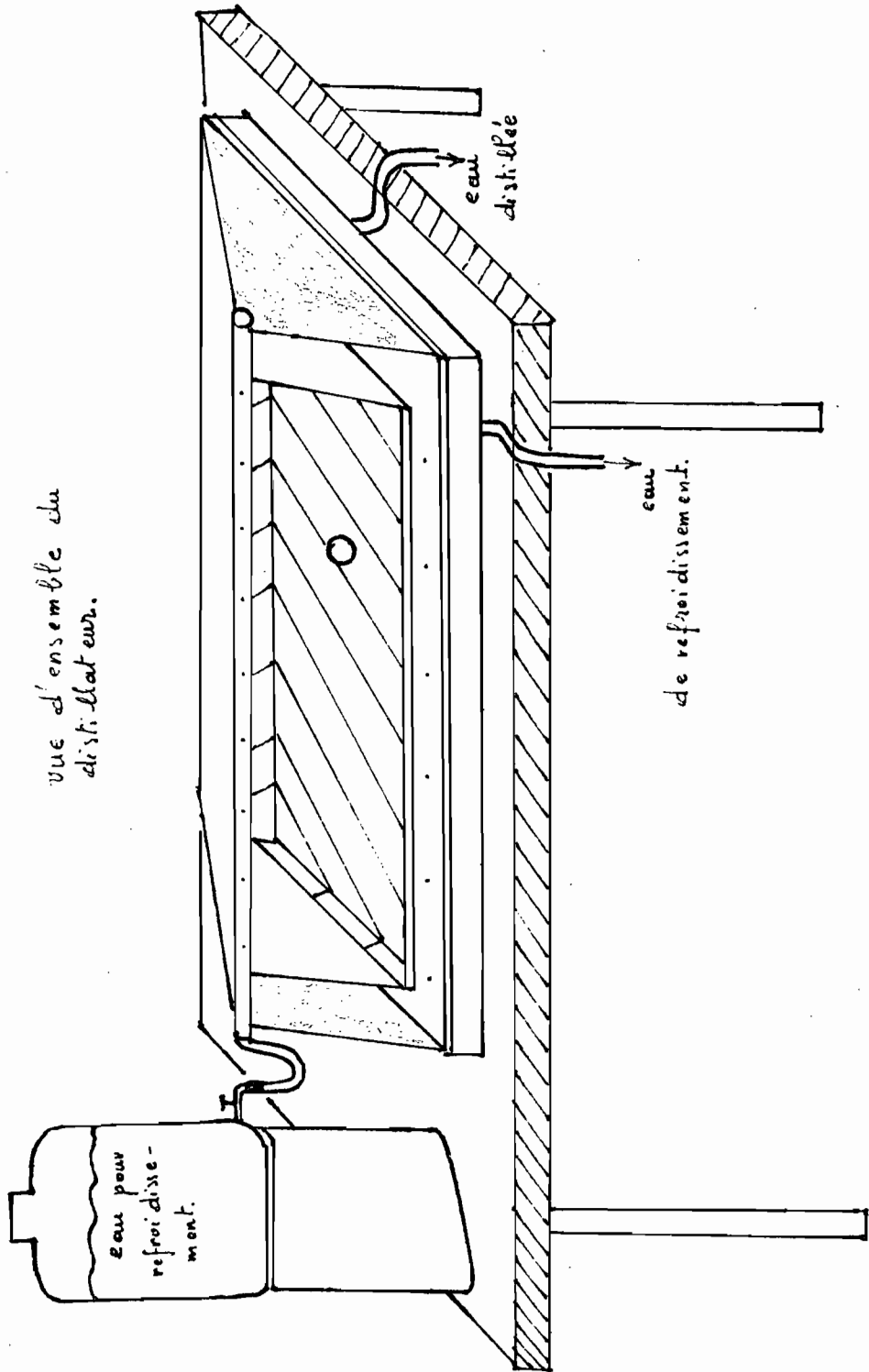
1 voir dessin N° 1



ECOLE POLYTECHNIQUE DE THIES	
Titulaire	NDIAYE
M <sup>re</sup>	439
MECANIQUE	Projet de fin d'étude
	Distillateur solaire à double effet
Coupe transversale du cadre montrant la récupération de l'eau de refroidissement. Echelle: 1/4	

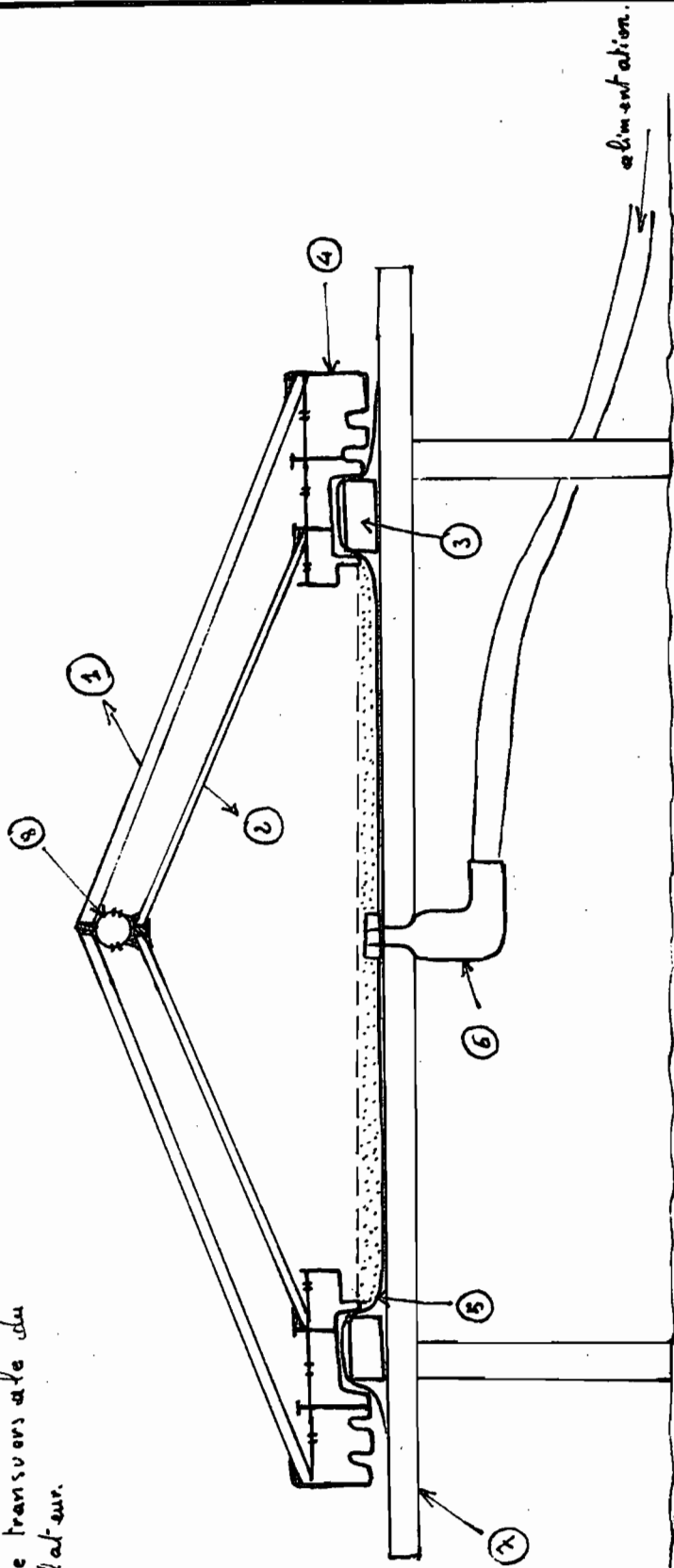
Dessin n° 3

vue d'ensemble du distillateur.



Dessin n° 4

Coupe transversale du distillateur.



8 - Tuyau de refroidissement.

1 - verre 4 mm ép

2 - verre 3 mm ép

3 - caroté

4 - cadre support des vitres.

5 - feuille P.V.C noir. (absorbent).

6 - coude réducteur. + évanou

7 - plaque de base (amiante-ciment + polyuréthane).

alimentation.

Carte 8  
NAPPE MAESTRICHIENNE  
Résidu sec

LEGENDE

- Réseau principal de bonne qualité, perméable
- Réseau principal sans continuité ou forte imprégnation
- Réseau secondaire de stabilité permanente
- Réseau principal ou secondaire de faible
- Chemin de fer
- Cité de plus de 1000 habitants
- Cité de moins de 1000 habitants
- Zones d'habitat rural
- Zones d'habitat rural

1 -> 1 cm = 100 km

1 -> 1 cm = 100 km

1 -> 1 cm = 100 km

1 -> 1 cm = 100 km



PRGM  
AGF

Février 1982 1 J.R. SH

Echelle 1/2 000 000

RÉPUBLIQUE

DIJ

Teneur en fluor > 2 mg/l

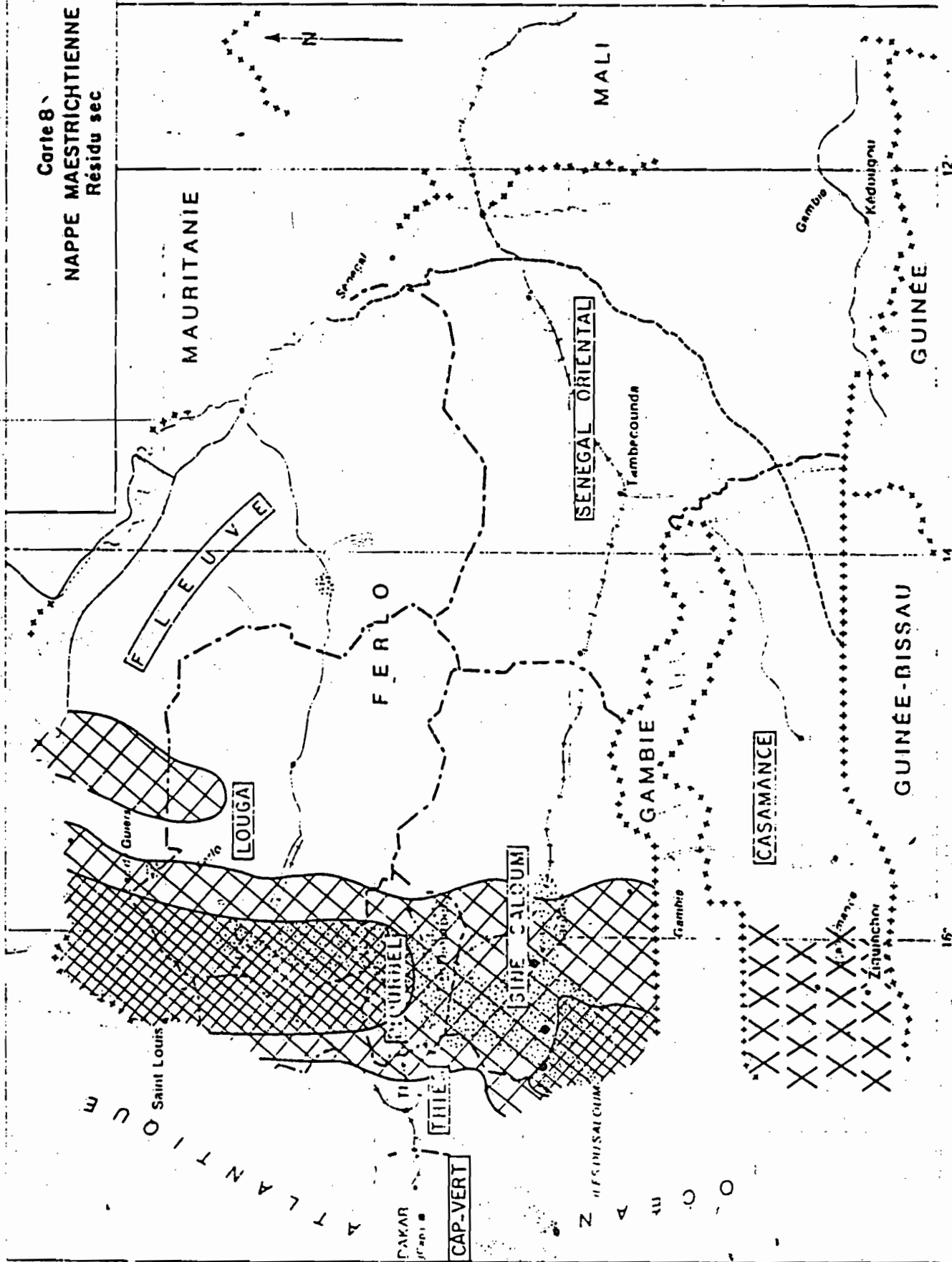
> 20 g

Hypothétique

X X X X

> 2,0 g/l

< 1,0 g/l



Carte 6  
NAPPE PHRÉATIQUE  
Résidu sec

**LÉGENDE**

Frontière phréatique de l'aquifère  
vulnérable par les pluies

Frontière entre aquifères vulnérables  
des pays limitrophes

Frontière des couches de l'aquifère  
perméable

Frontière des couches de l'aquifère  
non perméable

Chemins de fer

Cours d'eau permanents

Cours d'eau temporaires

Zones maritimes les  
moins salines

Frontière de l'aquifère vulnérable

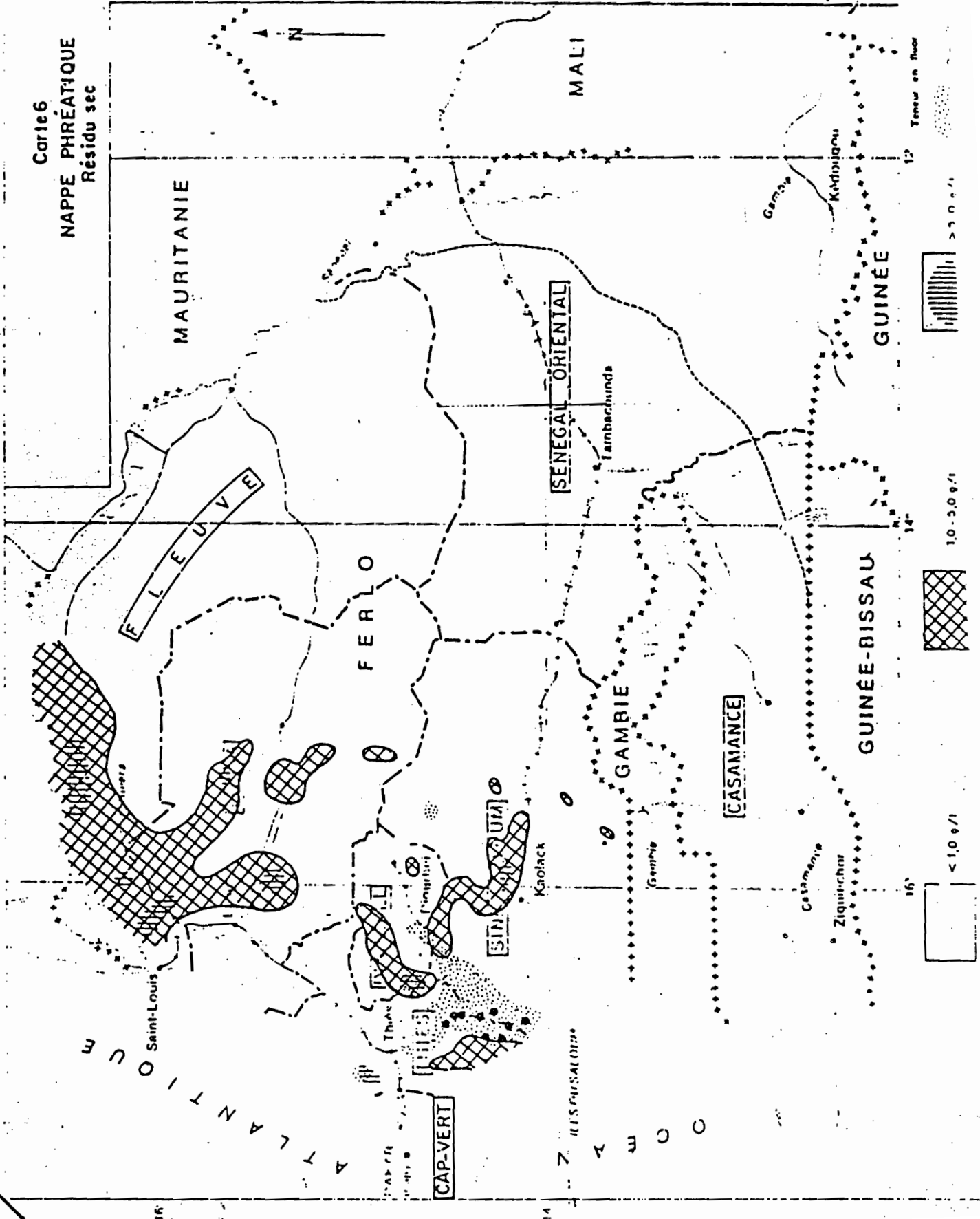
Frontière de l'aquifère vulnérable  
à l'ouest (1972) et l'est  
de l'aquifère vulnérable  
à l'ouest (1972) et l'est  
de l'aquifère vulnérable  
à l'ouest (1972) et l'est

FRGM  
AGF

14-05-1982 1 JR SB

Echelle 1/1 000 000

RÉPUBLIQUE  
DU



## Références

- [1] - A. MAUREL : Le désalment de l'eau de mer  
'La Recherche' n° 120 Mars 1981 : vol. 12.
- [2] - A. MAUREL : "Energie solaire et desaloment de  
l'eau de mer." Revue Internationale  
d'Héliotechnique 1<sup>er</sup> semestre. 1982.
- [3] - D. LAPLAZE " optimisation d'un distillateur à  
effet de serre " - Revue Internationale d'Hélio-  
technique - 1<sup>er</sup> semestre - 1983
- [4] - T. A. LAWAND. " THE Technical Evaluation  
of a Large Scale solar Distillation Plant "  
Journal of. Engineering for Power -  
April - 1970.
- [5] - H. MASSON. " La distillation solaire est-elle  
possible ? " - Industries et Travaux d'Outre-  
mer - n° 86 - Janvier 1961.
- [6] - J. R. VAILLANT. " Les problèmes du désale-  
ment de l'eau de mer et des eaux sau-  
mâtres " Edition - EYROLLES - 1970.
- [8] - J. F. KREIDER. " Solar heating and Cooling "



- Engineering - Practical design And Economics -  
Revised 1<sup>st</sup> Edition - NEW-YORK - McGraw-  
HILL - C 1977 -

[7] - H. GBAGUIDI : " Etude de Parametres de  
Fonctionnement d'un distillateur a' off et de  
Serre " - 13 Mars 1984.

[9] - Ener - 3.11. " Les sources d'energie et leur  
exploitation " - Cours d'energie de la 3<sup>e</sup>  
Annee - Par D. BEDARD - E.P.T - 1982-83

[10] - CH. N. GUEYE. " Conception, fabrication et  
Exploitation d'un prototype de distilla-  
teur solaire de petites dimensions "  
- Projet de Fin d'etudes - E.P.T 1980

[11] - D. BEDARD. " Optimisation et diffusion  
du "Distel" " CERER - 1984.