

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd- Tlemcen -

Faculté de Technologie



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

En : HYDRAULIQUE

Spécialité : HYDRAULIQUE URBAINE

Par :

M^{elle}. Nour El Houda ABIDAT

Sujet

**ETUDE D'UN MODELE REDUIT D'UNE STATION DE
TRAITEMENT DES EAUX DE MER PAR ENERGIE SOLAIRE :
ETUDE DE CAS EL-BEKHATA**

Soutenu publiquement, le 25 / 06 /2018

Devant le jury composé de :

M ^{me} . F. DEBBAL	MAA	Univ. Tlemcen	Présidente
M ^r . A.CHIBOUB FELLAH	Professeur	Univ. Tlemcen	Examineur 1
M ^r . A. BENMANSOUR	Professeur	Univ. Tlemcen	Examineur 2
M ^r . L. BENADDA	MAA	Univ. Tlemcen	Encadreur
M ^{me} S. BOULEFRAD	MRA	Univ. Tlemcen	Co-Encadreur

Année Universitaire 2017/2018

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ
الحمد لله، والشكر لله، الذي بفضلہ ونعمته تتم الصالحات

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

La mémoire de mon défunt père

Mes chers parents, en particulier ma très chère mère

Mes chers Grands-parents

Mes chers Frères et Sœurs

Mon cher Beau-frère Djawed

Mes chères Nièces Yasmine & Sérine

Mes chers Oncles et Tantes

Toute ma famille

Tous mes ami(e)s

Tous ceux qui sont chers pour moi

Nour El-Houda

Remerciements

Au terme de ce travail je remercie :

ALLAH

Le miséricordieux de m'avoir conduit, donné la force, le courage et la volonté.

Je tiens à exprimer mes vifs et chaleureux remerciements à :

Mon encadreur Monsieur Lotfi BENADDA, de m'avoir dirigé, orienté et aidé le long de l'élaboration de ce mémoire.

Madame Soumia BOULEFRAD d'avoir accepté de co-encadrer ce travail.

Madame Faiza LALLAM d'avoir accepté de présider le Jury de ce mémoire.

Messieurs Abdelghani CHIBOUB FELLAH et Abdelhalim BENMANSOUR d'avoir pris la peine d'examiner et corriger ce travail.

Monsieur Belkacem BENADDA pour son aide précieuse pour réussir une partie de ce travail.

Mon oncle Samir ZAR et ma Sœur Wassila pour leurs aides.

Messieurs Belfilali Mehdi, Abdelmalek FEKHIKHER, Zakaria SARI HASSOUN, Ismat BOUMECHRA et Karim BENHADOUCHE, Bedredine YAHIANI et Mohammed El-Amin SOUARIT pour leur aides et suggestions.

Tous mes enseignants du département de l'hydraulique, ainsi que le personnel du laboratoire de traitement et les agents.

Tous ceux qui ont participé de loin ou de près pour réaliser ce travail.

Tous mes collègues et ami(e)s.

Merci à vous tous.

RESULME

Dans cette étude nous sommes intéressés à l'alimentation en eau potable par dessalement des eaux de mer, en se focalisant sur un des procédés de traitement les plus simples, en l'occurrence, la distillation par rayonnement solaire.

Ainsi, la présente étude est composée en quatre parties pratiques principales, à savoir, la conception d'un modèle de distillation, essais et mesures sur le prototype conçu, analyses au laboratoire et discussion des résultats, enfin étude d'un cas réel de distillation solaire sur la base des résultats obtenus.

Les différentes mesures et analyses effectuées ont démontré que le prototype conçu est adéquat à la distillation des saumures, le taux de salinité analysé indique que l'eau distillée est bonne pour la consommation domestique.

En plus, ce travail comprend une partie engineering de dimensionnement, concernant la projection d'une station de distillation avec poste de traitement monobloc, permettant de distiller l'eau directement captée de la mer, au niveau de la région d'El-Bekhata, pour l'alimentation en eau la population estivale de cette plage, ainsi que le hameau d'El-Bekhata.

Mots clefs : distillation solaire, prototype de distillation, analyses des eaux distillées, dimensionnement, alimentation en eau d'El-Bekhata.

ABSTRACT

In this study we are interested in the supply of drinking water by desalination of seawater, focusing on one of the simplest treatment processes, in this case, solar distillation

Thus, the present study is composed of four main practical parts, namely, the design of a distillation model, tests and measurements on the prototype designed, laboratory analyzes and discussion of the results, finally study of a real case of solar distillation on the basis of the results obtained.

The various measurements and analyzes carried out have demonstrated that the designed prototype is suitable for brine distillation, the analyzed salinity indicates that distilled water is good for domestic consumption.

In addition, this work includes a dimensioning engineering part, concerning the projection of a distillation station with monobloc treatment station, allowing to distil the water directly captured from the sea, in the region of El-Bekhata, for the water supply the summer population of this beach, as well as the hamlet of El-Bekhata.

Key words : solar distillation, distillation prototype, distilled water analysis, sizing, El-Bekhata water supply.

ملخص

تهتم هذه الدراسة بطرق إمداد مياه الشرب بواسطة تحلية مياه البحر، مع التركيز على واحدة من أبسط عمليات المعالجة، في هذه الحالة، التقطير الشمسي.

وهكذا، يتكون هذا العمل من أربعة أجزاء رئيسية، وهي تصميم نموذج للتقطير الشمسي لمياه البحر مع إجراء اختبارات وقياسات على النموذج المصمم وتحاليل مخبرية ومناقشة النتائج المتحصل عليها، وأخيراً دراسة حالة حقيقية للتقطير بالطاقة الشمسية على أساس النتائج التي تم الحصول عليها.

وقد أظهرت مختلف القياسات والتحليلات التي أجريت أن النموذج المصمم مناسب لتقطير مياه البحر، وتشير الملوحة التي تم تحليلها إلى أن الماء المقطر مفيد للاستهلاك المحلي.

بالإضافة إلى ذلك، يتضمن هذا العمل جزءاً هندسياً، يتعلق بتخطيط محطة التقطير مياه بحر منطقة البخاتة ومعالجتها، مما يسمح بإمداد المصطافين بهذا الشاطئ، فضلاً عن قرية البخات بالمياه المحلاة.

Ⓜ **كلمات مفتاحية :** التقطير الشمسي، نموذج التقطير، تحليل الماء المقطر، التخطيط، تزويد البخاتة بالمياه.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 01 TECHNIQUES DE DESSALEMENT.....	5
1.1.INTRODUCTION	6
1.2.PROCEDES DE DESSALEMENT	6
1.2.1.LA CONGELATION.....	6
1.2.2.L'ELECTRODIALYSE.....	7
1.2.3.ECHANGE D'IONS	9
1.2.4.L'OSMOSE INVERSE	10
1.2.5.DISTILLATION SOLAIRE	12
1.3.CONCLUSION.....	14
CHAPITRE 02 LA DISTILLATION	15
2.1.INTRODUCTION	16
2.2.DISTILLATION A SIMPLE EFFET	16
2.3.DISTILLATION A MULTIPLES EFFETS	17
2.4.LA DISTILLATION A DETENTE SUCCESSIVES OU MULTI STAGE FLASH.....	18
2.5.DISTILLATION PAR COMPRESSION DE VAPEUR.....	19
2.5.1.COMPRESSION MECANIQUE DE VAPEUR (MVC)	19
2.5.2.THERMOCOMPRESSION DE VAPEUR (TCV).....	19
2.6.DISTILLATION SOLAIRE	20
CHAPITRE 03 L'ENERGIE SOLAIRE	22
3.1.INTRODUCTION	23
3.2.L'ENERGIE SOLAIRE.....	23
3.2.1.DEFINITION DU SOLEIL	23
3.2.2.ASPECT GEOMETRIQUE DU RAYONNEMENT	24
3.2.2.1.POSITIONNEMENT DE LA TERRE PAR RAPPORT AU SOLEIL.....	24
3.2.2.2.REPERAGE SOLAIRE	24
3.2.2.3.COORDONNEES DU SOLEIL	25
3.2.3.RAYONNEMENT SOLAIRE.....	26
3.2.3.1.ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE SUR UNE SURFACE....	26
3.2.3.2.ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE SUR UN PLAN INCLINE.....	26
3.3.SYSTEMES D'ENERGIE LIES AU SOLAIRE.....	27
3.3.1.SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE	27
3.3.2.LE SOLAIRE THERMIQUE	28

CHAPITRE 04 PROTOTYPES DES SYSTEMES DE DISTILLATION.....	29
4.1.INTRODUCTION	30
4.2.DIFFERENTS TYPES DE SYSTEMES DE DISTILLATION.....	30
4.2.1.DISTILLATEUR MONO-INCLINE AVEC UN CONDENSEUR SEPRE ...	30
4.2.2. CAPTEURS PARABOLIQUES.....	31
4.2.3.DISTILLATEUR SOLAIRE A CAPTEURS CYLINDRO-PARABOLIQUES	31
4.2.4.DISTILLATION SOLAIRE A EFFET DE SERRE.....	32
4.2.5.DISTILLATEUR SOLAIRE INCLINE A CASCADES	32
4.2.6.DISTILLATEUR SOLAIRE INCLINE A MECHE	33
4.2.7.DISTILLATION SOLAIRE A MULTIPLES EFFETS	33
4.2.8.DISTILLATEURS STATIQUES	34
4.2.9.DISTILLATEURS A RUISSELLEMENT.....	34
CHAPITRE 05 CONCEPTION DU PROTOTYPE DE DISTILLATION.....	36
5.1.INTRODUCTION	37
5.2.CHOIX DU TYPE DE PROTOTYPE A REALISER.....	37
5.3.AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CE TYPE DE DISTILLATEUR.....	37
5.4.DIMENSIONNEMENT DU PROTOTYPE.....	38
5.4.1.DIMENSIONNEMENT DU PRISME	38
5.4.2.DIMENSIONNEMENT DU BAC ET DE L' ABSORBEUR	39
5.4.3.SUPPORT ET TABLE ELEVATRICE.....	40
5.4.4.CONCEPTION DU SYSTEME D'EVACUATION DE L'EAU DESTILLEE	40
5.4.5.CONCEPTION DU SYSTEME DE RECCUPERATION DU PERMEAT	40
5.4.6.SYSTEME D'ALIMENTATION DU BASSIN PAR LA SAUMURE.....	41
5.4.7.SYSTEME D'ISOLATION.....	42
5.5.SYSTEME DE MESURE.....	42
5.5.1.COMPOSANTS ET CAPTEURS ELECTRONIQUES.....	42
5.5.2.LECTURE DES VALEURS.....	44
5.5.3.AUTRES COMPOSANTS	46
5.6.CONCLUSION.....	47
CHAPITRE 06 RESULTATS ET DISCUSSIONS.....	48
6.1.INTRODUCTION	49
6.2.ANALYSE ET DISCUSSION DES EAUX DE MER.....	49
6.3.MISE A EAU DE MER DU PROTOTYPE ET MESURES.....	51
6.4.RESULTATS DES PARAMETRES MESURES A PARTIR DU PROTOTYPE	52
6.5.DISCUSSIONS DES RESULTATS DES MESURES DU PROTOTYPE.....	54
6.5.1.VARIATIONS DES TEMPERATURES INTERNES DU PRISME.....	53
6.5.2.VARIATION DES TEMPERATURES INTERNES AVEC CELLE DE L' AIR.....	56
6.5.3.VARIATION DES TEMPERATURES INTERNES AVEC L'HUMIDITE.....	58
6.5.4.VOLUME DISTILLE EN FONCTION DE L' HUMIDITE	60
6.5.5.VOLUME DISTILLE EN FONCTION DES TEMPERATURES INTERNES	62
6.6.DISCUSSIONS DES RESULTATS D'ANALYSES DU PERMEAT.....	64
6.7.CONCLUSION.....	65

CHAPITRE 07 ETUDE DE CAS.....	66
7.1.INTRODUCTION	67
7.2.ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE DE LA ZONE CHOISIE.....	67
7.3.ESTIMATION DEMOGRAPHIQUE ET DES BESOINS EN EAU.....	70
7.4.DESCRPTION DU TISSU URBAIN ET DE LA COTE DE BAIGNADE	71
7.5.CONCEPTION DU PROJET DE DISTILLATION	72
7.5.1.SYSTEME DE CAPTAGE DES EAUX DE MER.....	72
7.5.2.OUVRAGE DE DISTILLATION	72
7.5.3.POSTE DE TRAITEMENT ET STOCKAGE EAU TRAITEE	73
7.5.4.STATION DE POMPAGE ET DE DEVELOPPEMENT.....	74
7.5.5.DIMENSIONNEMENT DES CANALISATIONS ET DES POMPES.....	75
7.5.5.1.REFOULEMENT VERS LA BÂCHE DE LA PLAGE.....	75
7.5.5.2.REFOULEMENT VERS LE RESERVOIR DU HAMEAU D’EL- BEKHATA	77
7.6.SYNTHESE	78
CONCLUSION GENERALE.....	79
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	82

LISTES DES FIGURES

Figure 1.1 : Organigramme des procédés de dessalement.....	6
Figure 1.2 : Procédé de congélation sous vide [3].....	7
Figure 1.3 : Fonctionnement des compartiments de l'électrodialyse	8
Figure 1.4 : Procédé de l'électrodialyse.....	8
Figure 1.5 : Fonctionnement des compartiments de l'électrodialyse	9
Figure 1.6 : colonne échangeur d'ions.....	10
Figure 1.7 : Diagramme d'échange sur résines des cations et anions.....	10
Figure 1.8 : Principe de l'osmose direct	11
Figure 1.9 : Principe de la pression osmotique	11
Figure 1.10 : Principe de l'osmose inverse.....	12
Figure 1.11 : Système de distillation solaire.....	13
Figure 1.12 : Le distillateur solaire a l'énergie solaire	13
Figure 2.1 : Principe de distillateur à simple effet	16
Figure 2.2 : Schéma de distillation a multiple effets	17
Figure 2.3 : Schéma MSF à une cellule	18
Figure 2.5 : Schéma d'un compresseur mécanique de vapeur	19
Figure 2.6 Thermocompression de vapeur.....	19
Figure 2.7 : Distillation solaire	20
Figure 2.8 : Courbe Température-pression de l'eau pure et de l'eau de mer.....	20
Figure 3.1 : Le soleil	23
Figure 3.2 : Schématisation des mouvements de la terre autour du soleil.....	24
Figure 3.3 : Les coordonnées horizontales	24
Figure 3.4 : Les coordonnées horaires	25
Figure 3.5 : Rayonnement reçu sur une surface quelconque	26
Figure 3.6 : Rayonnement reçu sur plan incliné	26
Figure 3.7 : Organigramme des systèmes solaires.....	27
Figure 3.8 : Panneau photovoltaïque	27
Figure 3.9 : Panneau solaire thermique.....	28
Figure 4.1 : Principe d'un distillateur solaire simple	30
Figure 4.2 : Schéma représentatif du prototype	30
Figure 4.3 : Collecteurs paraboliques	31
Figure 4.4 : Collecteur cylindro-parabolique.....	31
Figure 4.5 : Distillateur solaire à effet de serre	32
Figure 4.6 : Distillateur solaire incliné à cascade	32
Figure 4.7 : Distillateur solaire incliné à mèche	33
Figure 4.8 : Principe d'un distillateur solaire multiple effets	33
Figure 4.9 : Distillateurs statique	34
Figure 4.10 : Distillateur équi-courant et à contre-courant.....	34
Figure 5.1 : Dimension du prisme en verre.....	38
Figure 5.2 : Bac absorbant	39
Figure 5.3 : Table élévatrice et système de coulissement.....	39
Figure 5.4 : Système d'évacuation du perméat.....	40

Figure 5.5 : Condensation de la vapeur en tête du prisme et sur les parois	40
Figure 5.6 : Vu du prototype et du système d'évacuation du perméat	41
Figure 5.7 : Vu du prototype et du système d'alimentation du bac	41
Figure 5.8 : Vu du prototype et du système d'isolation.....	42
Figure 5.9 : Capteur de température LM35 (avec condensateur)	43
Figure 5.10 : Capteur de l'humidité.....	43
Figure 5.11 : Capteurs LM35 (a) : de température de vapeur du prisme, (b) : de température de l'eau muni d'un flotteur	43
Figure 5.12 : Installation des capteurs sur la carte Arduino Uno.....	44
Figure 5.13 : Ecran d'affichage LCD et régulateur d'image	44
Figure 5.14 : Interface du langage de programmation sur la carte Arduino Uno	45
Figure 5.15 : Partie du programme de transfert des signaux en données et leur affichage.....	45
Figure 5.16 : Maquette d'installation des différents composants du prototype.....	46
Figure 6.1 : Matériel utilisé.....	49
Figure 6.2 : Poids du récipient	49
Figure 6.3 Chauffage des eaux saumâtre	50
Figure 6.4 : L'étuve.....	50
Figure 6.5 : Poids du sel après étuve.....	51
Figure 6.6 : Niveau d'eau saumâtre dans le bac	51
Figure 6.7 : Le TDS mètre	52
Figure 6.8 : Courbe d'évolution des températures du bac et de vapeur en fonction du temps (30 Mai 2018).....	54
Figure 6.9 : Courbe d'évolution des températures du bac et de vapeur en fonction du temps (31 Mai 2018).....	55
Figure 6.10 : Courbe d'évolution des températures du bac et de vapeur en fonction du temps (03 Juin 2018).....	55
Figure 6.11 : Courbe d'évolution des températures du bac et de vapeur en fonction du temps (04 Juin 2018).....	56
Figure 6.12 : Courbe d'évolution des températures d'air et de vapeur en fonction du (temps 30 Mai 2018).....	56
Figure 6.13 : Courbe d'évolution des températures d'air et de vapeur en fonction du temps (31 Mai 2018).....	57
Figure 6.14 : Courbe d'évolution des températures d'air et de vapeur en fonction du temps (03 Juin 2018).....	57
Figure 6.15 : Courbe d'évolution des températures d'air et de vapeur en fonction du temps (04 Juin 2018).....	58
Figure 6.16 : Courbe d'évolution des températures de vapeur et de l'humidité en fonction du temps (30 Mai 2018).....	58
Figure 6.17 : Courbe d'évolution des températures de vapeur et de l'humidité en fonction du temps (31 Mai 2018).....	59
Figure 6.18 : Courbe d'évolution des températures de vapeur et de l'humidité en fonction du temps (03 Juin 2018)	60

Figure 6.19 : Courbe d'évolution des températures de vapeur et de l'humidité en fonction du temps (04 Juin 2018)	60
Figure 6.20 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de l'humidité(30 Mai 2018).....	60
Figure 6.21 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de l'humidité(31 Mai 2018).....	61
Figure 6.22 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de l'humidité (03 Juin 2018)	61
Figure 6.23 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de l'humidité (04 Juin 2018).....	62
Figure 6.24 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de la température de vapeur (30 Mai 2018).....	62
Figure 6.25 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de la température de vapeur (31 Mai 2018).....	63
Figure 6.26 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de la température de vapeur (03 Juin 2018).....	63
Figure 6.27 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de la température de vapeur (04 Juin 2018).....	64
Figure 6.28 : Prise de l'eau distillée pour analyse	64
Figure 7.1 : Localisation d'El-Bekhata par rapport à l'appartenance Administrative (Image satellite GoogleEarth 06/2018).....	67
Figure 7.2 : Localisation d'El-Bekhata par rapport au chef-lieu de Wilaya de Tlemcen (Image satellite GoogleEarth 06/2018).....	68
Figure 7.3 : Pluviométrie d'El-Bekhata	68
Figure 7.4 : Géologie d'El-Bekhata	69
Figure 7.5 : Hydrogéologie d'El-Bekhata.....	70
Figure 7.6 : Vu de la structure urbaine du Hameau d'El-Bekhata.....	71
Figure 7.7 : Vu de la cote de baignade.....	71
Figure 7.8 : Vu du captage des eaux de mer	72
Figure 7.9 : Vue en coupe de l'ouvrage de distillation	73
Figure 7.10 : Vue en plan de l'ouvrage de distillation.....	74
Figure 7.11 : Vue en coupe des ouvrages de filtration	74
Figure 7.12 : Vue en coupe du bassin de stockage et station de pompage	75
Figure 7.13 : Cote terrain naturel de positionnement de la bâche-plage	75
Figure 7.14 : Positionnement du réservoir 100 m ³ d'El-Bekhata	77
Figure 7.15 : Vue d'ensemble de l'installation du projet sur plage d'El-Bekhata.....	78

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1 : Classification des techniques de dessalement.....	14
Tableau 6.1 : Les résultats des prélèvements obtenus (30Mai – 04 juin 2018).....	53
Tableau 7.1 : Calcul des besoins en eau	70
Tableau 7.2 : Dimensionnement de la conduite de refoulement et de la pompe	76
Tableau 7.3 : Dimensionnement de la conduite de refoulement et de la pompe	77

LISTE DES ABREVIATIONS

a	: Azimut solaire
B	: Les besoins en eau (l/s)
B _P	: Besoins de pointe (l/s)
C ₀	: cote de refoulement (m)
C ₁	: cote d'alimentation (m)
CTN _B	: cote terrain naturel de la bâche (m)
D	: diamètre (mm)
Dot	: dotation (l/j/hab)
E	: Équation du temps
Ec	: Energie cinétique Joule
g	: gravité de la pesanteur = 9.81 m/s ² ;
H	: hauteur manométrique totale (m)
Hg	: hauteur géométrique (m)
Ib.S	: composant direct
IC	: La valeur du rayonnement solaire
Id	: Rayonnement diffus sur surface horizontale par un facteur de visibilité entre la surface et le ciel
Id.S	: composant diffus
Igr.S	: composant le réfléchi par le sol
IO	: La constante solaire est de l'ordre de 1,356 KW.m ⁻² .
IT.S	: Le rayonnement diffus sur surface inclinée
K _P	: Coefficient de pointe
L	: longueur de la conduite (m)
L°	: la longitude °
m	: Masse de l'échantillon g
M	: Masse molaire de l'eau g
N	: nombre d'années (2008 -2050)
n _j	: numéro du jour de l'année
OMS	: Organisation Mondiale de la Santé
P	: puissance
P ₂₀₀₈	: population en 2008
P ₂₀₅₀	: population en 2050
R	: Constante des gaz parfaits
RGPH	: résonnement général
Q	: les besoins en eau de pointe (l/s)
S	: la surface arbitraire ayant une inclinaison (m ²)
T	: Température °C
T _X	: taux d'accroissement
V	: vitesse d'écoulement (m/s)
V _B	: volume de la bâche (m ³)
WD	: Compression isotherme réversible
α _h	: Hauteur du soleil

ΔH : perte de charge (m)
 δ : Déclinaison, épaisseur °, m
 γ : L'angle horaire °
 Φ : Latitude du lieu °
 ω : Angle horaire °
 λ : coefficient de perte de charge de Coolbrook
 λl : Latitude locale
 θ_i : L'angle d'incidence
 θ_z : l'angle que fait la direction du soleil avec la verticale
 ρ : masse volumique = 1000 Kg/m³ ;
 η : rendement de la pompe %
 τ : Heure de calcul H

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

L'eau demeure un critère indispensable pour la vie et pour le développement socioéconomique durable d'un pays, ce qui fait que l'accès à l'eau potable est essentiel, c'est un droit humain de base.

Malheureusement, de nos jours, la consommation mondiale d'eau a fortement augmenté par rapport aux ressources en eau douce mobilisables, aggravant la situation d'accès à l'eau qu'est devenu l'un des défis majeurs de ce siècle, que l'humanité doit relever rapidement.

D'ailleurs, la pénurie d'eau touche déjà tous les continents, le '*Conseil Mondial de l'Eau*' de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), avait avancé que sur une population de 6 milliards d'habitants (en 2017), 1 sur 4 n'accède pas à une eau de qualité et en quantité suffisante [1].

Avoir donc une meilleure connaissance des ressources en eau existantes, s'avère crucial pour arriver à combler ce manque. Parmi ces ressources, les océans sont une réserve inépuisable à condition de séparer le sel et l'eau. D'autres réserves comme les eaux saumâtres trop salées pour être directement consommables sont aussi exploitables.

Ainsi, dessaler l'eau de mer ou des eaux saumâtres pour obtenir de l'eau douce est une des solutions pour atténuer la problématique de la pénurie d'eau. Ce qui fait que de plus en plus d'états souhaitent voir l'eau de mer devenir potable pour éviter les pénuries. Le dessalement de l'eau connaît donc, un développement fulgurant et s'avère actuellement nécessaire dans certaines régions pauvres en eau.

Raison pour laquelle, les usines de dessalement se multiplient dans de nombreux pays, surtout ceux en prise à des pénuries d'eau (Algérie, Libye, pays du golfe, l'Australie, la Grande Bretagne, Espagne, Italie, Grèce) et aux États-Unis) [1].

En fait, concernant l'Algérie, elle dispose de ressources naturelles limitées, irrégulières et très inégalement réparties. A l'exception des eaux fossiles du Sahara, les ressources hydrauliques naturelles sont principalement situées dans le Nord du pays. 90 % de la totalité des écoulements superficiels se trouvent sur la région littorale, les 10 % restant se partageant entre les Hauts Plateaux et les bassins sahariens. La demande globale en eau a considérablement et rapidement augmenté, elle dépasse actuellement plus de la moitié du volume des ressources potentiellement mobilisables [1].

Face à ces défis, l'Algérie a suivi une planification des ressources en eau conventionnelles et même l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles, notamment le dessalement des eaux de mer qu'est devenue une nécessité de plus en plus pressante et une solution imposée afin de faire face à ces besoins grandissants et pour atténuer la pression sur les ressources locales.

Effectivement, notre pays a réalisé durant la dernière décennie une dizaine de station de dessalement des eaux de mer le long de son littoral, dont pratiquement la totalité utilisent la filtration osmotique et y sont destinées à l'alimentation en eau potable à grande échelle (tout un ensemble d'agglomérations) vu des débits importants produits par ces stations.

Toutefois, dans une autre optique, il est intéressant d'approvisionner en eau les petites agglomérations sises au bord du littoral, ainsi que les plages visitées en période estival par de la population de baignade, en utilisant des systèmes simples de dessalement des eaux de mer, en l'occurrence la distillation.

Bien sûr, rien ne paraît plus facile que d'imiter la nature, il suffit de distiller de l'eau de mer pour en extraire de l'eau douce, c'est à dire produire de la vapeur d'eau en faisant bouillir l'eau de mer et récupérer l'eau douce par condensation de la vapeur.

Malheureusement, la première difficulté de la distillation est d'ordre économique ; car pour évaporer un litre d'eau initialement à 25 degrés, il faut dépenser 2260 kilojoules (kJ) d'énergie, ce qu'évoque un coût d'énergie thermique très déraisonnables.

Par contre, cette difficulté peut être by-passée en faisant appel aux sources des énergies renouvelables, dont l'Algérie bénéficie largement, tel-que l'énergie solaire.

C'est dans cette optique, que nous avons étudié dans ce mémoire la distillation par rayonnement solaire des eaux de mer, pour l'alimentation en eau des petites agglomérations du littoral, ainsi que les plages en période estival.

Pour montrer l'importance du sujet et son rôle dans l'atténuation des problèmes d'alimentation en eau des hameaux et des plages en période estival, nous avons dans ce travail réalisé un prototype de distillation solaire sur lequel nous avons effectué les essais de distillation. Par la suite, nous avons procédé à l'étude d'un cas réel de distillation destinée à l'approvisionnement d'une région littoral et sa plage par de l'eau distillée.

Ceci dit, notre travail s'articule principalement sur deux parties importantes, à savoir :

- ❖ Partie bibliographique : dans laquelle nous avons traité en quatre (04) chapitres :
 - Chapitre 01 : Les techniques de dessalement ;
 - Chapitre 02 : La distillation ;
 - Chapitre 03 : L'énergie solaire ;
 - Chapitre 04 : Les prototypes de distillation.
- ❖ Partie matériel et méthode : dans laquelle nous avons traité en trois (03) chapitres :
 - Chapitre 05 : Réalisation du prototype ;
 - Chapitre 06 : Analyse, résultats et discussions ;
 - Chapitre 07 : Etude de cas.

PARTIE 01

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE 01
TECHNIQUES DE DESSALEMENT

1.1. INTRODUCTION

Les problèmes en relation avec l'eau sont nombreux et très divers. Il n'y a donc aucune solution simple permettant de répondre à sa demande dans n'importe quel pays.

Le dessalement de l'eau marine ou saumâtre est un processus qui permet d'extraire le sel pour la rendre potable.

Les principales méthodes utilisées pour dessaler l'eau de mer sont :

- ❖ La congélation ;
- ❖ L'électrodialyse ;
- ❖ L'échange d'ions ;
- ❖ L'osmose inverse ;
- ❖ La distillation.

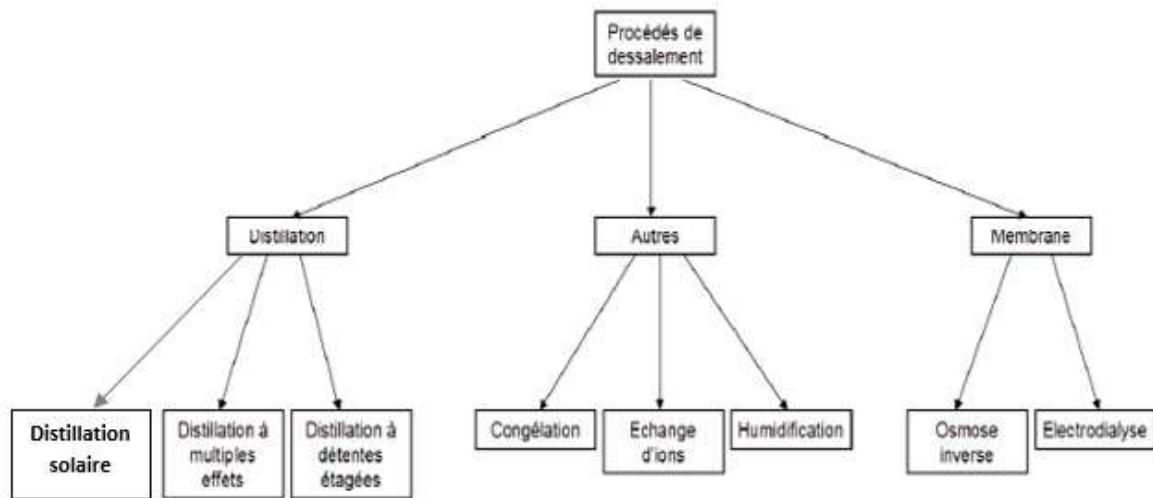


Figure 1.1 : Organigramme des procédés de dessalement [2]

1.2. PROCEDES DE DESSALEMENT

1.2.1. LA CONGELATION

Le dessalement par congélation est basé sur le changement de phase liquide-solide de l'eau de mer. Selon la thermodynamique, la glace formée à partir de l'eau de mer est pure. Elle peut être séparée de la solution concentrée, puis fondue afin d'obtenir une eau douce.

En pratique, la glace est contaminée par les sels lors de la congélation pour des raisons cinétiques, et par la saumure elle-même pendant la séparation glace solution. Le procédé doit permettre de minimiser cette contamination.

Les opérations unitaires d'un procédé de dessalement par congélation sont :

- ❖ Le prétraitement de l'eau de mer (élimination des solides en suspension, élimination des gaz dissouts pour les procédés sous vide) ;
- ❖ La formation des cristaux de glace à partir de la solution saline (pour les procédés en suspension, des cristaux de grande taille sont souhaités pour faciliter le lavage) ;
- ❖ Le lavage et/ou ressuage des cristaux de glace (pour les procédés continus, lavage dans une colonne par environ 5% de l'eau produite) ;
- ❖ La fusion des cristaux de glace.

Les procédés de congélation peuvent être divisés en trois catégories : la congélation primaire sous vide, la congélation secondaire et la congélation indirecte [1].

- ❖ Congélation primaire (sous vide) : utilise directement l'eau contenue dans l'eau de mer comme réfrigérant ; à pression réduite, l'eau s'évapore et extrait la chaleur de la saumure, ce qui conduit à une congélation partielle de la solution. Les cristaux formés sont lavés dans une colonne et fondus [2].

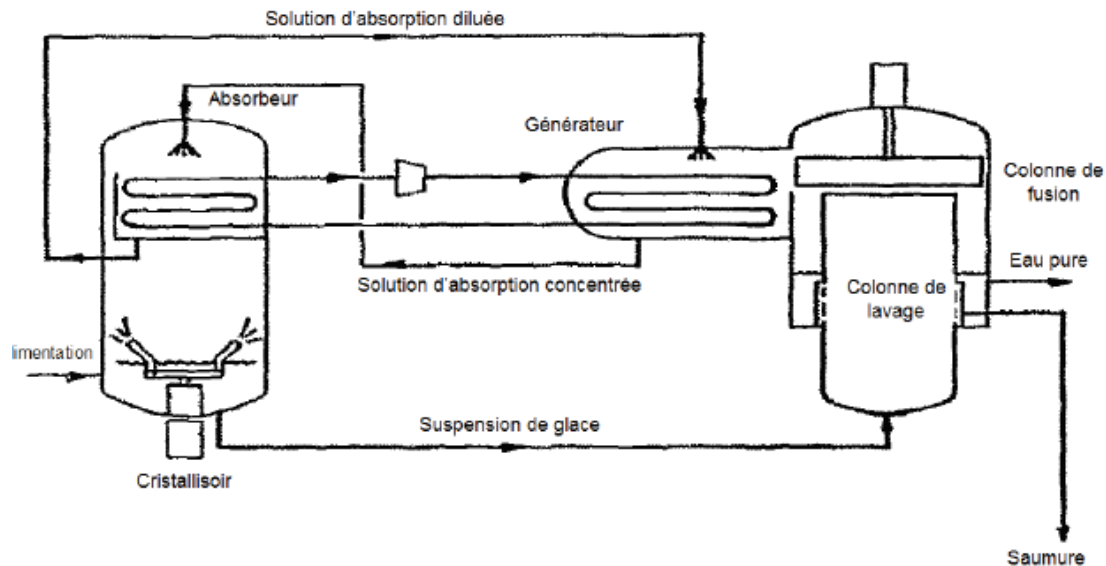


Figure 1.2 : Procédé de congélation sous vide [3]

- ❖ Congélation secondaire : La technique fonctionne en mode continu et utilise un réfrigérant inerte et non miscible avec l'eau de mer. Le réfrigérant froid, sous pression et à l'état liquide est injecté directement dans l'eau de mer. Sa vaporisation provoque alors le refroidissement de la solution et la formation des cristaux de glace ; Les cristaux de glace sont ensuite séparés de la saumure, passent dans la colonne de lavage puis sont envoyés dans le fondoir. Les vapeurs de réfrigérant sont comprimées puis condensées par échange de chaleur avec les cristaux de glace dans le fondoir, [4].
- ❖ Congélation indirecte : L'enthalpie nécessaire pour la congélation partielle de l'eau de mer est évacuée par transfert de chaleur indirect à travers une paroi, elle peut être opérée en mode continu ou en mode discontinu ; conduisant à la formation de cristaux de glace en suspension grâce à un ensemencement qui permet d'éviter le dépôt sur la surface froide [1] ou en raclant le dépôt formé sur la surface froide, les cristaux de glace, en suspension dans la saumure, sont ensuite lavés et fondus respectivement dans des colonnes de lavage et de fusion, la glace formée subit un drainage par une fusion partielle jusqu'à ce que la glace résiduelle soit potable [5].

1.2.2. L'ELECTRODIALYSE

L'électrodialyse est un procédé chimique qui permet de séparer les ions Na^{+2} et les ions Cl^{-2} contenus dans une solution salée afin de ne conserver que les molécules d'eau. Il est composé de plusieurs compartiments séparés alternativement par des membranes anioniques ou cationiques et à chaque extrémité du système on dispose une cathode et une anode.

Une membrane anionique ne laisse passer que les anions, c'est-à-dire les ions Cl^{-2} et une membrane cationique ne laisse passer que les cations, c'est-à-dire les ions Na^{+2} . Ces membranes sont des parois minces, denses et insolubles entre deux phases aqueuses. Le transfert d'un ion à travers une membrane est accompli par l'action d'un champ électrique.

Les procédés électro-dialytiques utilisent des membranes organiques composées de matériaux similaires à ceux des résines échangeuses d'ions.

La structure de la membrane est fabriquée à partir d'un matériau polymère, comme du chlorure de polyvinyle (PVC).



Figure 1.3 : Fonctionnement des compartiments de l'électrodialyse [6]

La nature des ions détermine le type de membrane : les membranes cationiques sont perméables aux cations et les membranes anioniques sont perméables aux anions.

Parfois un prétraitement de la solution est nécessaire. En effet, les particules en suspension d'un diamètre supérieur à 10 nm sont susceptibles de boucher les pores de la membrane.

De plus certaines substances chimiques sont capables de neutraliser les effets sélectifs de la membrane tels que les anions organiques de grandes tailles, les oxydes de fer ou de manganèse.

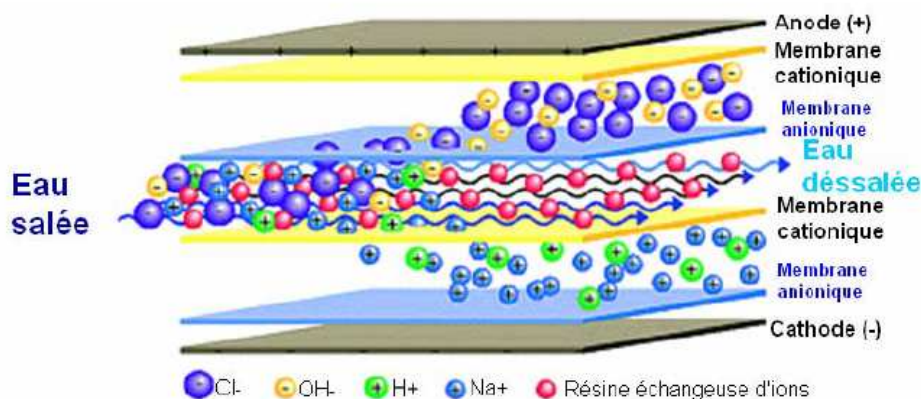


Figure 1.4 : Procédé de l'électrodialyse [6]

Les cations sont attirés par la cathode et traversent donc une membrane cationique pour se diriger vers cette électrode. Les anions sont au contraire attirés par l'anode et traversent une membrane anionique pour se diriger vers cette autre électrode.

Ainsi, chaque ion après avoir traversé une membrane se retrouve « prise au piège » dans le compartiment suivant. Ainsi les compartiments déjà traversés sont remplis de molécules d'eau uniquement et s'appellent « compartiments de dilution » donnant de l'eau pure. Les autres compartiments s'appellent « compartiments de concentration », car ils s'enrichissent en sel dissous.

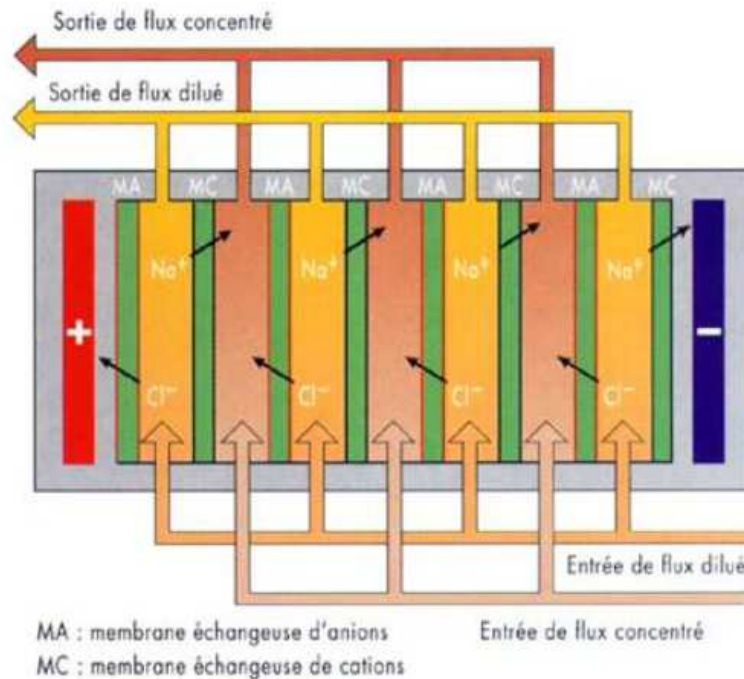


Figure 1.5 : Fonctionnement des compartiments de l'électrodialyse [6]

Cette méthode est utilisée pour le dessalement des eaux saumâtres dont le taux de salinité est inférieur à 10 g/l [6].

1.2.3. ECHANGE D'IONS

Le traitement par échange d'ions emploie des résines spéciales pour éliminer les contaminants minéraux et des anions excédentaires de l'eau.

Les échangeurs ioniques commerciaux courants sont, aujourd'hui, des résines synthétiques au sein desquelles des groupes chimiques fonctionnels jouent le rôle d'échangeurs. La capacité d'échange d'un échangeur ionique est exprimée en milliéquivalent par gramme ou par litre d'échangeur on trouve aussi les unités de CaCO_3 par gramme ou par litre d'échangeur. La capacité totale d'échange n'est en pratique jamais atteinte [7].

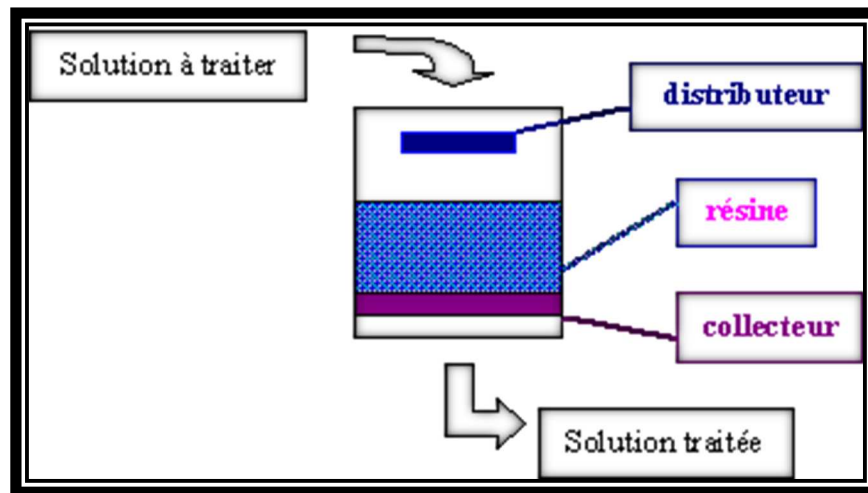


Figure 1.6 : colonne échangeur d'ions [7]

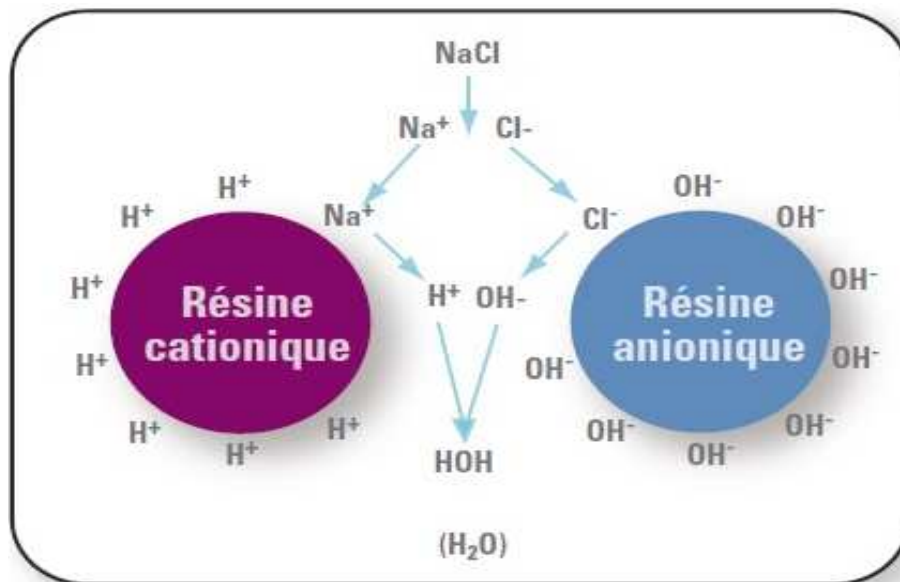


Figure 1.7 : Diagramme d'échange sur résines des cations et anions [7]

1.2.4. L'OSMOSE INVERSE

Une unité complète d'osmose inverse pour la production d'eau potable comprend :

- ❖ Un module de prétraitement de l'eau brute par application de procédés physico-chimiques tels que coagulation, filtration sur sable et/ou filtration sur cartouches selon la nature de l'eau ;
- ❖ Un module haute pression de dessalement par osmose inverse (osmoseur), c'est le cœur du traitement par passage à haute pression de l'eau de mer dans des tubes contenant les membranes semi-perméables ;
- ❖ Un module de post-traitement de remise à l'équilibre de l'eau et chloration avant stockage.

L'osmose inverse met en œuvre des membranes semi perméables qui laissent passer l'eau alors qu'elles retiennent 99% de tous les éléments minéraux dissous de même que 100% de la plupart des molécules organiques et des matières colloïdales les plus fines, inertes ou vivantes (argiles, micro algues, macromolécules, bactéries, virus etc...).

L'osmose directe est un phénomène naturel selon lequel l'eau migre à travers une membrane semi perméable, du compartiment le moins concentré vers le compartiment le plus concentré :

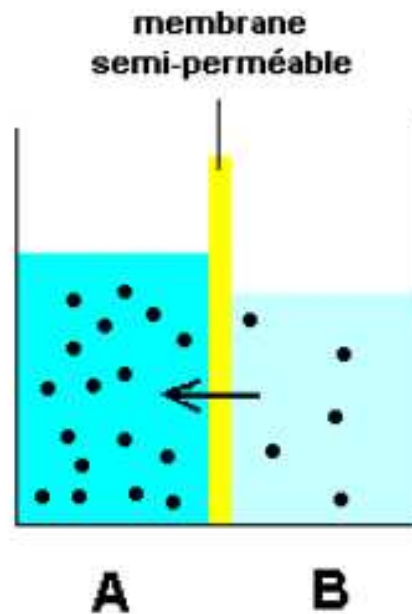


Figure 1.8 : Principe de l'osmose direct [8]

L'osmose directe se poursuit jusqu'à atteindre un équilibre ; la différence de pression ainsi créée est appelée pression osmotique du système :

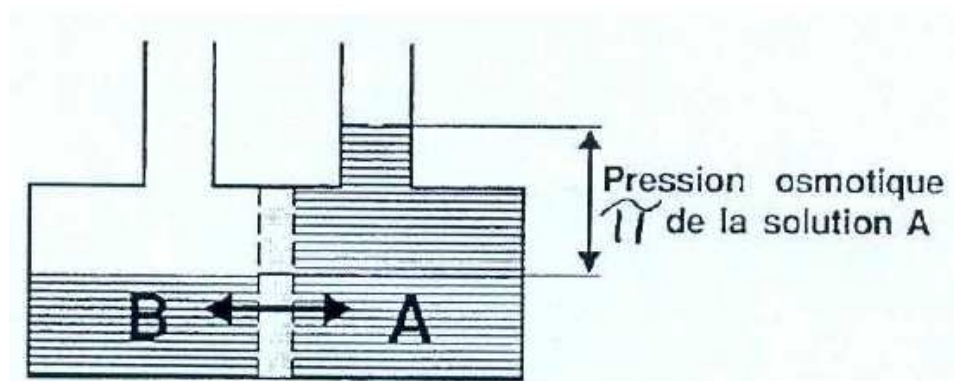


Figure 1.9 : Principe de la pression osmotique [8]

En fonction de la salinité de l'eau, les pressions osmotiques sont généralement comprises entre les valeurs suivantes :

- ❖ Eau de mer : 25 à 36 bars
- ❖ Eau saumâtre : 2,5 à 15 bars

L'application sur la solution concentrée d'une pression supérieure à la pression osmotique inverse le phénomène : l'eau migre du compartiment le plus concentré vers le compartiment le moins concentré. Les solutés (sels molécules etc...) sont retenus par la membrane :

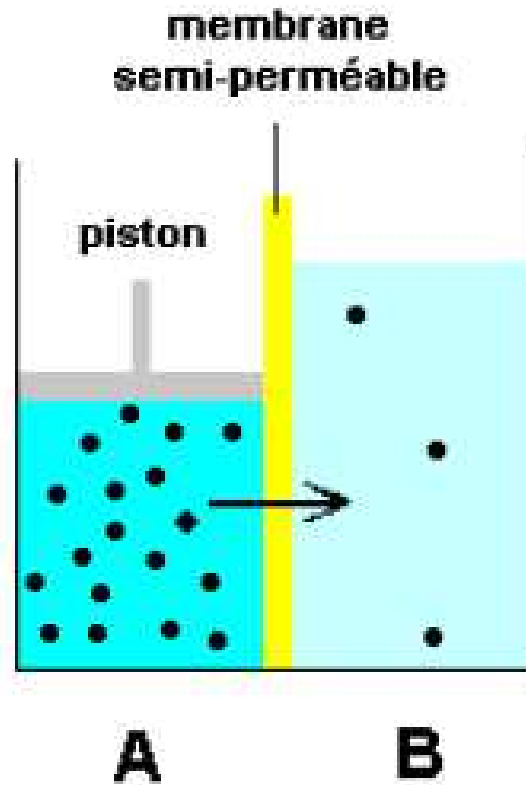


Figure 1.10 : Principe de l'osmose inverse [8]

1.2.5. DISTILLATION SOLAIRE

La distillation solaire est un procédé simple et pouvant être appliqué de façon rustique mais elle ne convient évidemment qu'aux régions où l'ensoleillement est suffisant.

L'eau salée dans le bac va se chauffer (d'autant plus vite que le bassin est noir) et avec l'augmentation de température une partie de l'eau s'évapore et la vapeur d'eau se liquéfie sur la surface intérieure de la vitre transparente. Éventuellement des gouttes d'eau vont se former, couler sur la surface de la vitre et tomber dans le récupérateur situé au coin. Il faut régulièrement nettoyer le bassin pour éliminer le sel [8].

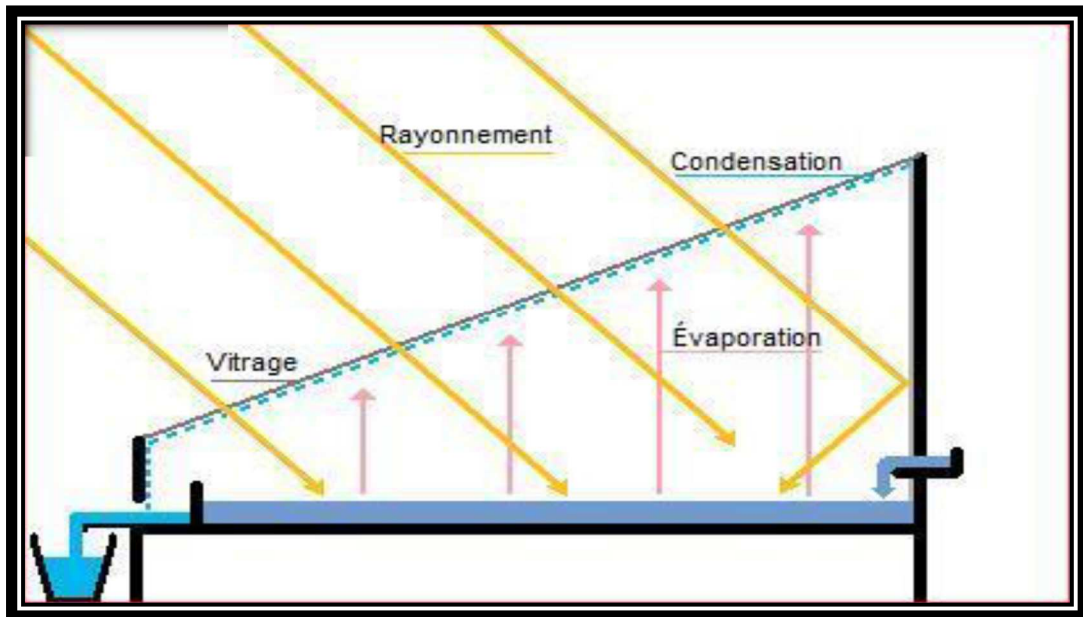


Figure 1.11 : Système de distillation solaire [8]

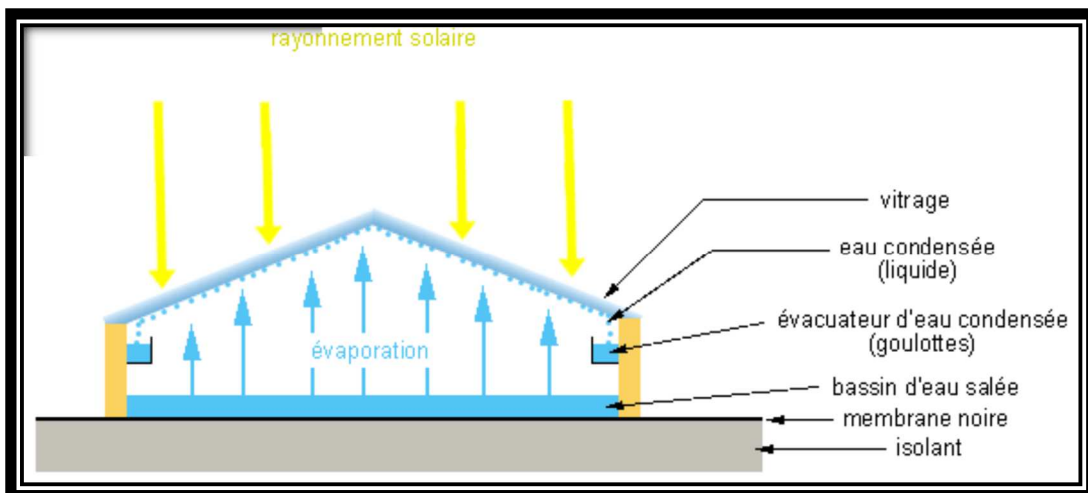


Figure 1.12 : Le distillateur solaire a l'énergie solaire [8]

1.3. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons balayé l'ensemble des techniques de dessalement des eaux de mer, comme synthèse nous essayons dans le tableau suivant récapitulé les différentes techniques avec leurs caractéristiques et la quantité d'énergie qu'elles consomment.

Tableau 1.1 : Classification des techniques de dessalement

La technique de dessalement	Caractéristiques de système de Dessalement	Energie consommée (KWh/m ³)
Osmose Inverse	-une production faible : 500 à 5000 m ³ /jour - applique pour l'eau saumâtre (une salinité inférieure à 10 g/l) - séparation des molécules organiques de 10 ⁻⁷ mm de taille -une qualité d'eau de salinité de 0.5 g/l	4-5
Electrodialyse	- la quantité d'énergie consommée dépend de la concentration de sel. -une quantité d'eau produit faible - eau saumâtre de salinité inférieure à 10g/l	5
Distillation par Dépression	eau très pure	2-3
Multi-Stage (Flash distillation MSF)	- grande capacité : supérieure à 5000 m ³ /jour - eau de mer de salinité supérieure à 30 g/l	15
Multi-Effect (distillation MED).	- grande capacité - eau de mer	15
Dessalement sous vide	-grande capacité - eau de mer	5
Dessalement par congélation	- grande capacité - eau de mer	5
Distillation solaire	2250 kj (si le changement d'état se fait à 100°C) - méthode très économique - rendement relativement faible : 4 à 5 l/m ² .jour	Energie gratuit est Propre

CHAPITRE 02
LA DISTILLATION

2.1. INTRODUCTION

Dans ces procédés, il s'agit de chauffer l'eau de mer pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient pas de sels, il suffit alors de la condenser pour obtenir de l'eau douce liquide, on retrouve le cycle naturel de l'eau.

En effet l'eau s'évapore naturellement des océans, la vapeur s'accumule dans les nuages puis l'eau douce retombe sur terre par les précipitations. Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'Antiquité pour produire de très faibles quantités d'eau douce sur les bateaux.

L'inconvénient majeur de ce type de procédés de distillation est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. Pour transformer un kg d'eau liquide en vapeur à la même température, il faut environ 2250 kilojoules (si le changement d'état se fait à 100°C). Pour réduire la consommation d'énergie des procédés industriels, des procédés multiples effets qui permettent de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation ont été mis au point. Deux procédés se partagent le marché du dessalement thermique, le procédé de distillation à détentes étagées (Multi-Stage Flash distillation MSF) et le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effet Distillation MED)

2.2. DISTILLATION A SIMPLE EFFET

Le distillateur simple effet reste un dispositif très présent dans la littérature, malgré son très mauvais rendement énergétique, donc sa quasi-disparition dans le domaine industriel, cela parce que, c'est un dispositif, dont le principe est très facile à comprendre. C'est un puissant moyen pédagogique.

Les premières unités industrielles de distillation d'eau de mer sont apparues à bord des navires ; c'étaient dans la plupart des cas des bouilleurs simple effet à faisceau noyé.

L'eau de mer est chauffée dans un récipient étanche par de la vapeur circulant dans un faisceau tubulaire plongé dans un récipient étanche par de la vapeur circulant dans un faisceau tubulaire plongé dans l'eau de mer qu'il porte à ébullition. La vapeur montante produite se condense sur un autre faisceau tubulaire placé dans la partie haute de l'enceinte, parcouru cette fois-ci par de l'eau de mer froide. La vapeur qui se condense est alors recueillie dans un réceptacle, la température d'ébullition de l'eau peut être abaissée dans la mesure où l'on réduit la pression dans la chambre d'évaporation [9].

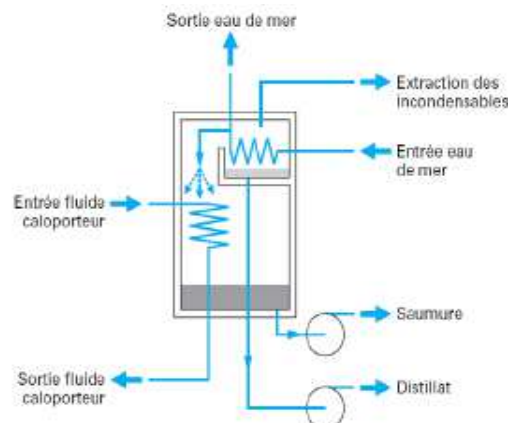


Figure 2.1 : Principe de distillateur à simple effet [10]

2.3. DISTILLATION A MULTIPLES EFFETS

Ce procédé permet d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur à simple effet afin d'en augmenter le rendement en récupérant la chaleur d'apport pour une nouvelle distillation et le processus s'effectue comme suit :

- ❖ Dans la première cellule de distillation, l'eau de mer ruisselle sur un serpentín de tubes chauffés ou sur des plaques, grâce à la chaudière. Elle se transforme ainsi en vapeur à seulement 70°C, grâce à une pression inférieure à la pression atmosphérique. Cela évite l'entartrage des tuyaux.
- ❖ L'eau de mer non transformée en vapeur s'accumule au fond de la cellule. Elle se concentre davantage de sels car celui-ci n'est pas vaporisable.
- ❖ L'eau est pompée, puis envoyée dans la cellule 2.
- ❖ La vapeur entre dans la deuxième cellule, puis se condense dans le serpentín.
- ❖ Ce passage à l'état liquide dégage assez d'énergie pour en céder à l'eau de mer. Celle-ci ruisselle sur les tubes ainsi chauffés et se vaporise.
- ❖ Le même processus se répète dans la troisième cellule. En pratique, on peut placer en série jusqu'à 6 ou 7 cellules de distillation.
- ❖ Le dernier serpentín est refroidi par l'eau de mer.
- ❖ La vapeur condensée dans les serpentíns donne de l'eau douce. Il faut 2 à 4 litres d'eau salée pour obtenir 1 litre d'eau douce.

La chaleur à fournir à une unité de distillation à multiples effets est uniquement celle qui est nécessaire pour réchauffer l'appoint d'eau de mer dans le premier effet et pour vaporiser la production de ce seul effet [11].

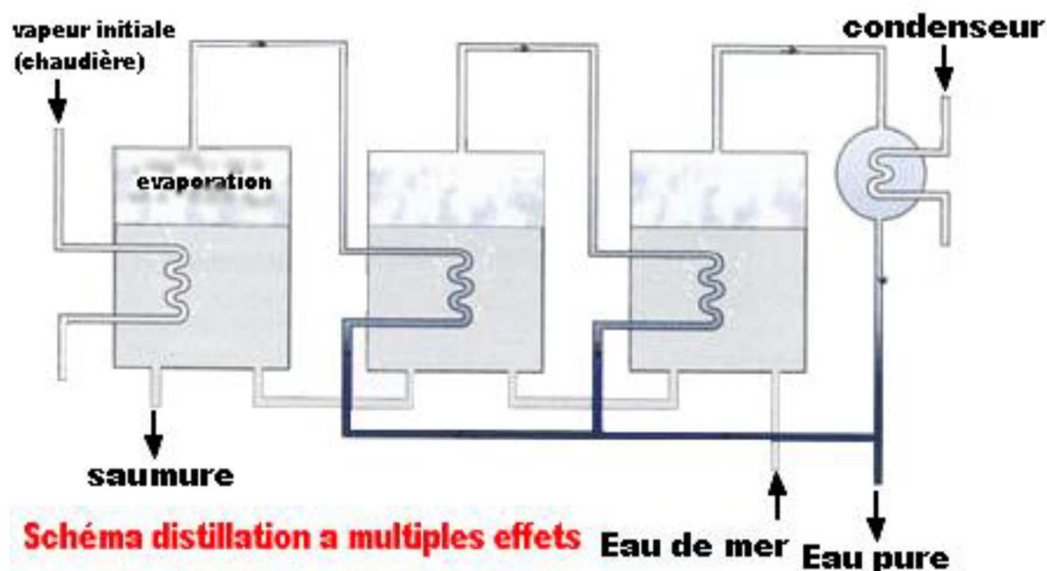


Figure 2.2 : Schéma de distillation a multiple effets [11]

2.4. LA DISTILLATION A DETENTE SUCCESSIVES OU MULTI STAGE FLASH

La vaporisation instantanée, plus connue sous son appellation anglo-saxonne MSF pour Multi-Stage Flash, consiste à chauffer l'eau de mer (de 25 °C à 85 °C, à la pression de 1013 mbar, sur la figure 02) puis à l'introduire dans une suite de cellules où la pression est inférieure à la pression de saturation¹⁶ (passage de 1013 à 60 mbar sur la figure). L'eau surchauffée va donc bouillir spontanément et assez violemment, d'où le nom de « flash », pour retourner à l'état d'équilibre thermodynamique (pression 60 mbar, température 35 °C). La vapeur produite est condensée en utilisant l'eau de mer qui est ainsi préchauffée, ce qui permet d'économiser une partie de l'énergie nécessaire [11].

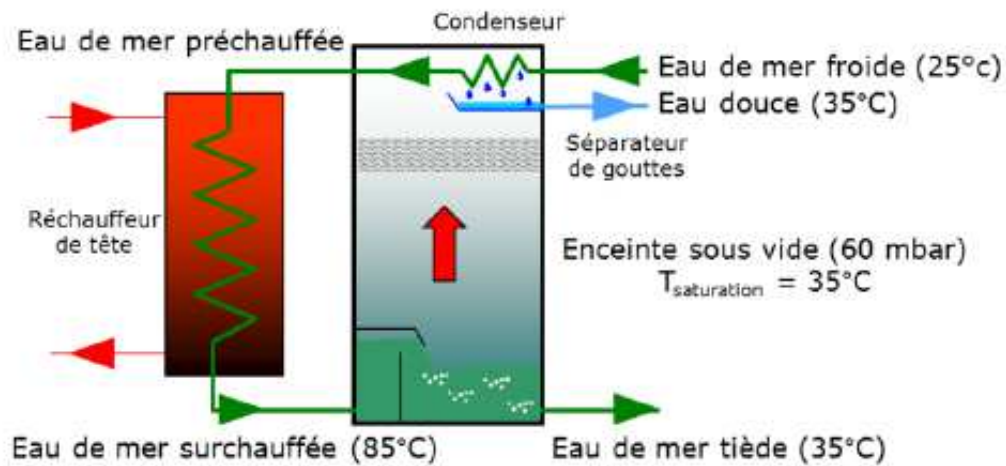


Figure 2.3 : Schéma MSF à une cellule [11]

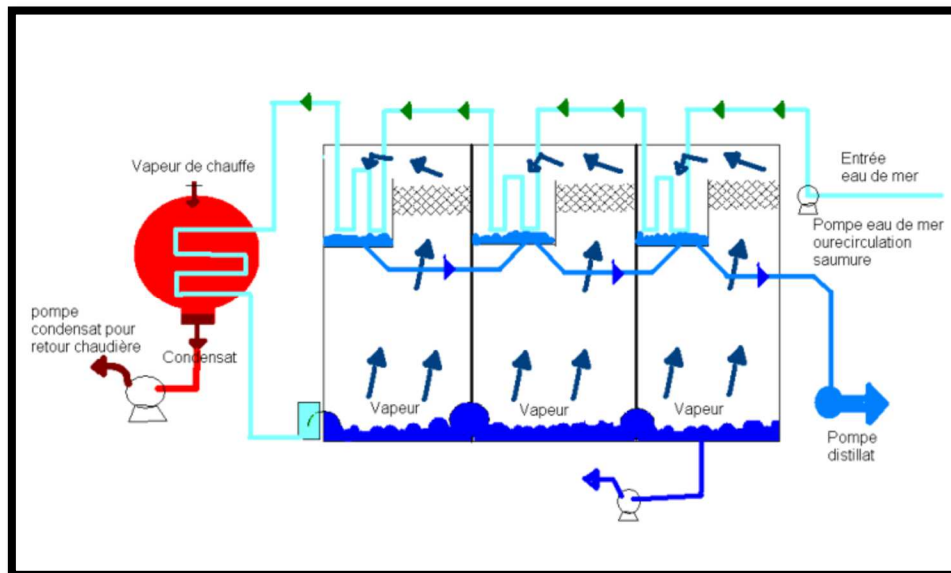


Figure 2.4 : Fonctionnement d'un système par détentes Successives (MSF) [11]

2.5. DISTILLATION PAR COMPRESSION DE VAPEUR

La distillation par compression de vapeur est aussi un procédé permettant de produire de l'eau en minimisant la consommation d'énergie. Elle est toujours associée au procédé multiple-effet, le nombre d'effets pouvant être réduit à un seul.

Le principe est le même que celui des pompes à chaleur, le fluide de travail subissant le cycle thermodynamique étant cette fois l'eau. Contrairement à une pompe à chaleur, le circuit du fluide thermodynamique est ouvert au lieu d'être fermé. La compression peut être réalisée avec un compresseur mécanique ou avec un thermo compresseur [12].

2.5.1. COMPRESSION MECANIQUE DE VAPEUR (MVC)

Dans ce procédé, l'eau à dessaler est portée à ébullition dans une enceinte isolée thermiquement. La vapeur produite est aspirée par un compresseur qui élève sa température de saturation. Cette vapeur traverse ensuite un faisceau tubulaire et se condense en provoquant l'ébullition de l'eau salée [10].

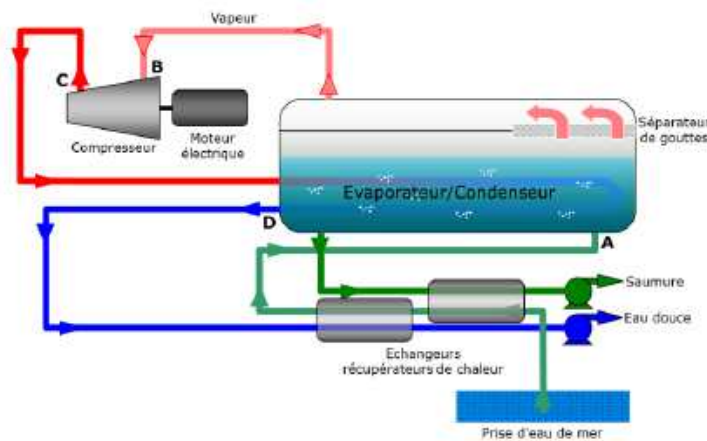


Figure 2.5 : Schéma d'un compresseur mécanique de vapeur [12]

2.5.2. THERMOCOMPRESSION DE VAPEUR (TCV)

La taille des usines de dessalement n'ayant jamais cessé de croître, la compression mécanique a rapidement été inadaptée aux grosses installations, à cause des limites à la fois techniques et économiques pour le compresseur. Même si le rendement diminue très vite quand le taux de compression augmente, la thermocompression s'est rapidement imposée car l'investissement et le coût de maintenance sont extrêmement bas [12].

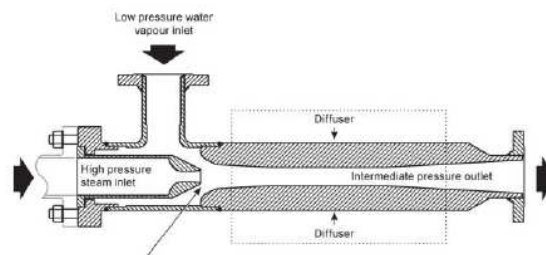


Figure 2.6 Thermocompression de vapeur [12]

2.6. DISTILLATION SOLAIRE

Parmi les différents procédés les plus économique en matière de dessalement par distillation ; c'est la distillation solaire est une solution intéressante pour les régions isolées et/ou éloignées.

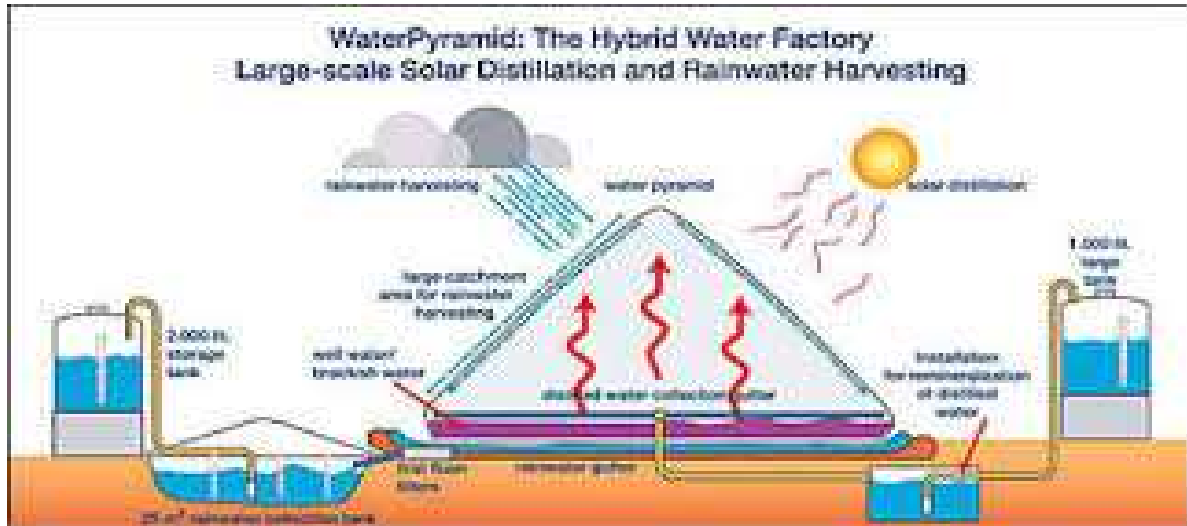


Figure 2.7 : Distillation solaire [9]

Pour la distillation, comme l'eau salée bout à une température légèrement supérieure à l'eau pure, si l'on considère de l'eau de mer et de l'eau pure à la même température de 25°C, il y aura moins de vapeur d'eau au-dessus de l'eau de mer qu'au-dessus de l'eau pure. En d'autres termes, la pression partielle de vapeur d'eau sera plus basse au-dessus de l'eau de mer. Pour obtenir la même pression, il faudrait que l'eau de mer soit légèrement plus chaude que l'eau pure.

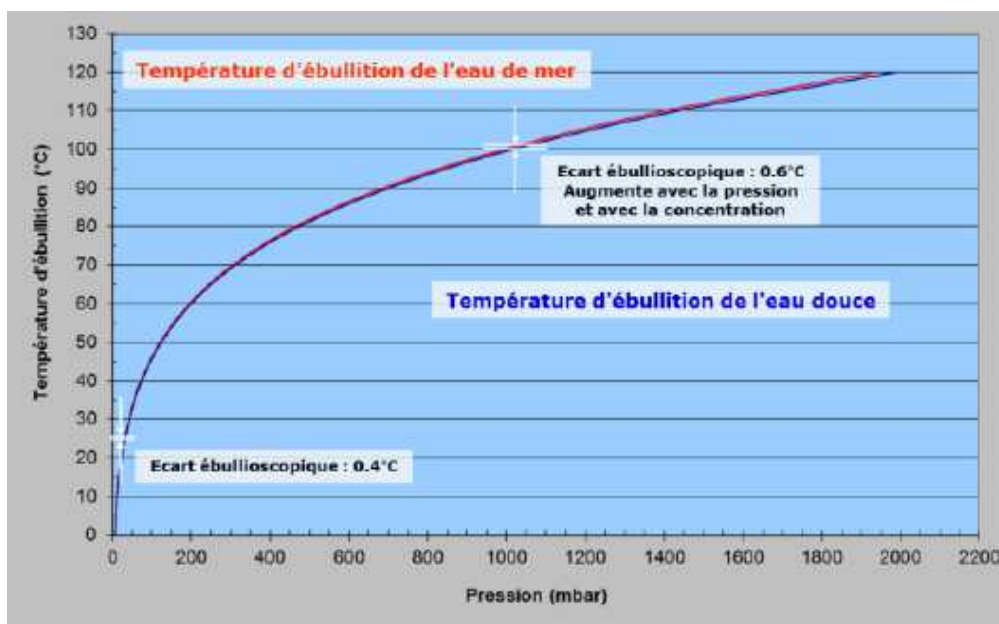


Figure 2.8 : Courbe Température-pression de l'eau pure et de l'eau de mer [9]

L'énergie minimum de dessalement sera donc le travail à fournir pour faire passer un kilogramme de vapeur (m) de la pression qui règne au-dessus de l'eau de mer à celle qui règne au-dessus de l'eau pure. Les tables thermodynamiques indiquent ces pressions : 3170 Pa pour l'eau pure, 3105 Pa pour l'eau de mer [13].

La loi de compression isotherme réversible nous donne le travail à fournir :

$$WD = \frac{m}{M} R.T. \ln \frac{P_{eau\ pure}}{P_{eau\ de\ mer}} \quad (2.1)$$

Dans cette étude nous sommes intéressé à ce type de dessalement des eaux de mer, à savoir la distillation solaire

CHAPITRE 03
L'ENERGIE SOLAIRE

3.1. INTRODUCTION

Les énergies renouvelables englobent un ensemble hétérogène de technologies, ces divers types peuvent fournir de l'électricité, de l'énergie thermique ou de l'énergie mécanique et produire des combustibles susceptibles de répondre à de multiples besoins en matière de services énergétiques. Certaines technologies d'énergies renouvelables peuvent être mises en place à l'endroit où elles sont utilisées, en milieu rural ou urbain, tandis que d'autres sont employées essentiellement au sein de grands réseaux énergétiques [14].

Dans ce chapitre nous traitons l'énergie solaire, base de notre étude de distillation solaire.

3.2. L'ENERGIE SOLAIRE

3.2.1. DEFINITION DU SOLEIL

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1.391.000 km, sa masse est de l'ordre de 2×10^{27} tonnes.

Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermonucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564×10^6 tonnes d'hydrogène en 560×10^6 tonnes d'hélium, la différence est dissipée sous forme d'énergie ($E_c = mc^2$), ce qui représente une énergie totale de 36×10^{14} KW.

La terre étant à une distance de 150×10^6 km du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de $1,8 \times 10^{14}$ KW.

La valeur du rayonnement solaire (IC) reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne I_0 appelée constante solaire est de l'ordre de $1,356 \text{ KW.m}^{-2}$.

En première approximation, on peut calculer la valeur de IC en fonction du numéro du jour de l'année n_j par la relation [15] :

$$IC = I_0[1 + 0.33 \times \cos (0.984 \times n_j)] \quad (3.1)$$

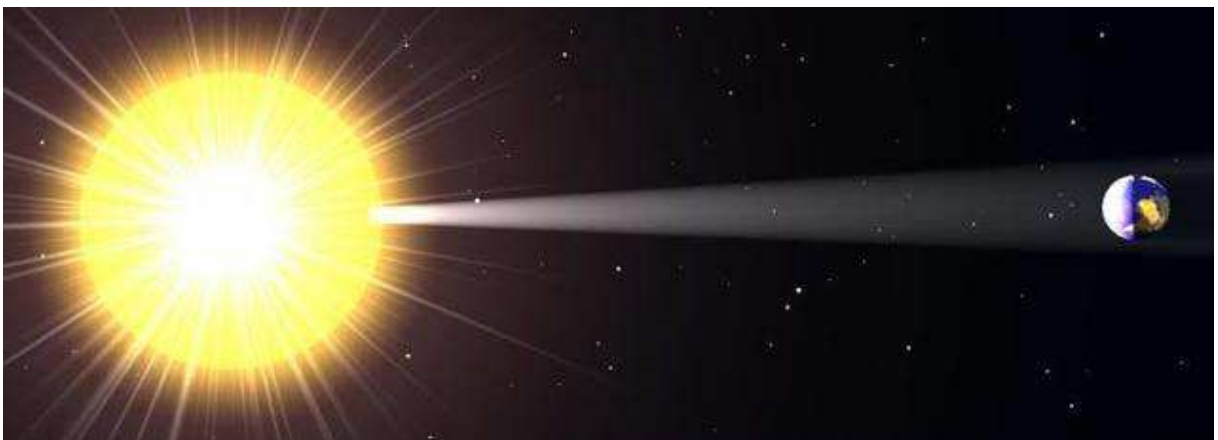


Figure 3.1 : Le soleil

3.2.2. ASPECT GEOMETRIQUE DU RAYONNEMENT

3.2.2.1. POSITIONNEMENT DE LA TERRE PAR RAPPORT AU SOLEIL

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique.

L'excentricité de cette ellipse est faible, ce qui fait que la distance Terre/ Soleil ne varie que de $\pm 1,7\%$ par rapport à la distance moyenne qui est de 149 675 106 Km.

La terre tourne également sur elle-même autour de l'axe des pôles et passant par le centre de la terre appelé l'équateur, dont l'angle d'inclinaison entre l'équateur et l'écliptique est de l'ordre de $23^{\circ}27'$ [16].

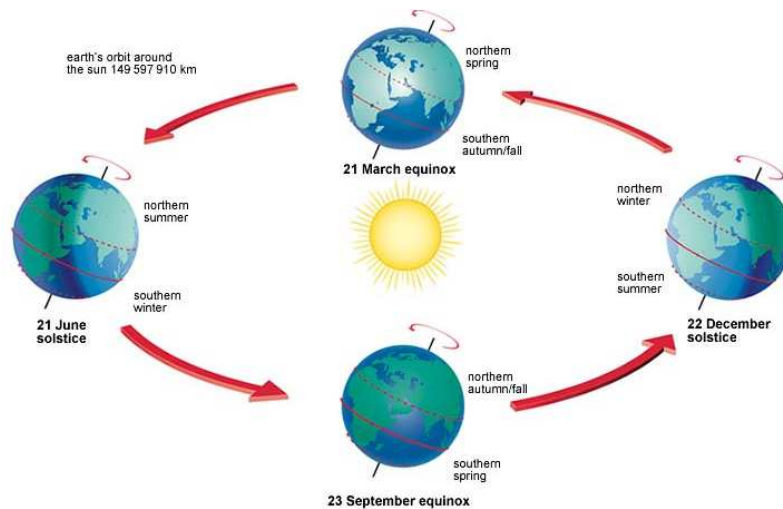


Figure 3.2 : Schématisation des mouvements de la terre autour du soleil

3.2.2.2. REPERAGE SOLAIRE

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles qui sont :

- ❖ L'azimut (a), l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction sud.
- ❖ La hauteur du soleil (α), l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection.

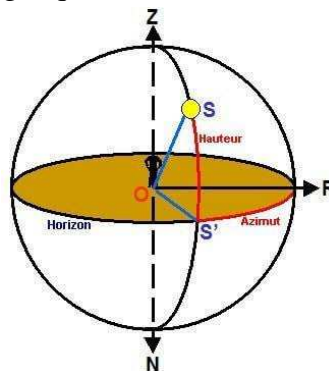


Figure 3.3 : Les coordonnées horizontales

L'équation de passage des coordonnées horizontales aux coordonnées horaires est [15], [16] :

$$\sin(a) \times \cos(\alpha) = \cos(\delta) \times \sin(\omega) \quad (3.2)$$

$$\cos(a) \times \cos(\alpha) = \cos(\delta) \times \cos(\omega) \times \sin(\Phi) - \cos(\Phi) \times \sin(\delta) \quad (3.3)$$

$$\sin(h) = \cos(\Phi) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega) + \sin(\Phi) \times \sin(\delta) \quad (3.4)$$

3.2.2.3.COORDONNEES DU SOLEIL

La connaissance de la position du soleil dans le ciel est indispensable pour une bonne conception des systèmes solaires. Les paramètres géométriques les plus importants sont la déclinaison (δ), la hauteur du soleil (α) et l'azimut solaire (a).

La terre tourne autour d'elle-même, l'axe de rotation a une inclinaison de 23.45° par rapport au plan orbital terre-soleil. L'angle entre la ligne terre-soleil (à partir de leurs centres) et le plan équatorial est appelé déclinaison solaire ; celle-ci varie de -23.45° le 21 Décembre à $+23.45^\circ$ le 21 Juin.

Afin d'estimer la déclinaison de la terre, l'équation la plus simple a été développée par Cooper :

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \times \frac{284+N}{365} \right) \quad (3.5)$$

Si une meilleure précision est requise, l'équation de Spencer est utilisée :

$$\delta = \frac{180}{\pi} \times (0.006918 - 0.399912 \cos \tau + 0.070257\tau - 0.006758 \cos 2\tau + 0.000907 \sin 2\tau - 0.00269 \cos 3\tau - 0.00148 \sin 3\tau) \quad (3.6)$$

Avec :

$$\tau = \frac{360(n-1)}{365} \quad (3.7)$$

L'équation de Spencer estime la déclinaison avec un écart maximal de 0.0006 radian.

Pour calculer la hauteur du soleil et son azimut, l'équation du temps est nécessaire. Le midi solaire est le moment où le soleil est à sa hauteur maximale. A ce moment-là, il se positionne dans la direction Sud dans notre cas. Le midi solaire diffère du midi local. Cette différence est appelée équation du temps, elle varie en fonction du jour et de la longitude, Spencer donne l'équation du temps avec une erreur maximale de 0.0025 radian, soit l'équivalent de 35 secondes d'arc:

$$E = 229.18 \times (0.000075 + 0.001868 \cos \tau - 0.032077 \sin \tau - 0.014615 \cos 2\tau - 0.04089 \sin 2\tau) \quad (3.8)$$

La position du soleil est exprimée en fonction de l'angle azimut solaire 'a', angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction du sud; cet angle est mesuré positivement vers l'Ouest. L'angle de l'altitude solaire 'h', angle que fait la direction du soleil avec sa projection. Le complément de 'h' ou l'angle que fait la direction du soleil avec la verticale est appelé angle zénithal (θ_z).

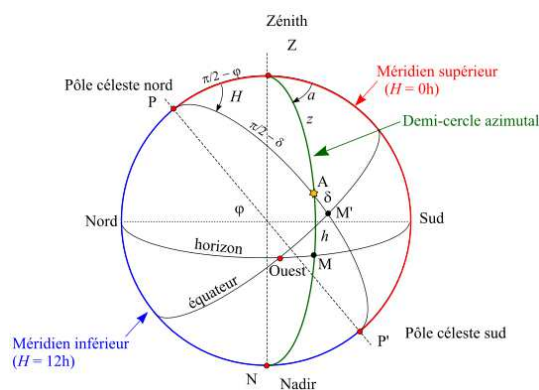


Figure 3.4 : Les coordonnées horaires

Les formules, pour estimer les deux grandeurs en fonction du lieu et du temps et la latitude locale λ , sont les suivantes [28]:

$$\sin h = \sin \lambda \times \sin \delta + \cos \lambda \times \cos \delta \times \cos \omega \quad (3.9)$$

L'azimut est calculé par les relations suivantes :

$$a = \sin^{-1} \times \left(\frac{\cos \delta \times \sin \omega}{\cos h} \right) \quad \text{Si } \cos h \geq \tan \delta / \tan L \quad (3.10)$$

$$a = 180 - \sin^{-1} \times \left(\frac{\cos \delta \times \sin \omega}{\cos h} \right) \quad \text{Si } \cos h < \tan \delta / \tan L \quad (3.11)$$

3.2.3. RAYONNEMENT SOLAIRE

3.2.3.1. ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE SUR UNE SURFACE

Le calcul du rayonnement réfléchi est basé sur visibilité de l'horizontal par rapport à la surface. Le rayonnement solaire sur une surface arbitraire ayant une inclinaison (S) par rapport à l'horizontale et un angle azimutal 'a' est la somme des composants direct, diffus et le réfléchi par le sol [15],[16] :

$$IT.S = I_b.S + I_d.S + I_{gr}.S \quad (3.12)$$

L'angle d'incidence (θ_i) du rayonnement direct sur une surface inclinée est :

$$\cos \theta_i = \cos(90 - h) \times \cos S + \sin S \times \sin(90 - h) \times \cos(a - \gamma) \quad (3.13)$$

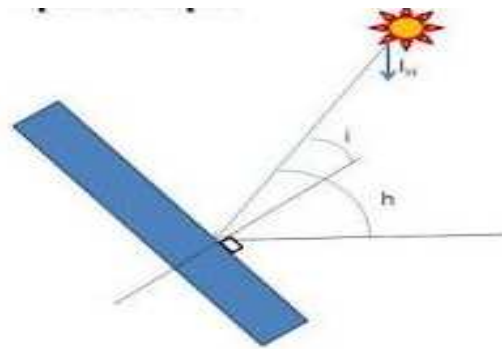


Figure 3.5 : Rayonnement reçu sur une surface quelconque

3.2.3.2. ESTIMATION DU RAYONNEMENT SOLAIRE SUR UN PLAN INCLINE

Le rayonnement diffus sur surface inclinée (I_d,S) est obtenu en multipliant le rayonnement diffus sur surface horizontale par un facteur de visibilité entre la surface et le ciel :

$$I_d.S = I_d \left(\frac{1 + \cos S}{2} \right) \quad (3.14)$$

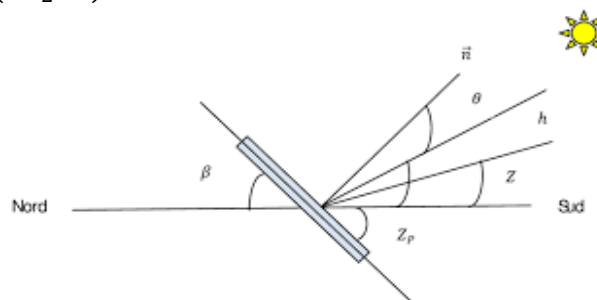


Figure 3.6 : Rayonnement reçu sur plan incliné

3.3. SYSTEMES D'ENERGIE LIES AU SOLAIRE

Il existe deux types d'énergies liés au solaire, à savoir le solaire thermique et le solaire photovoltaïque.

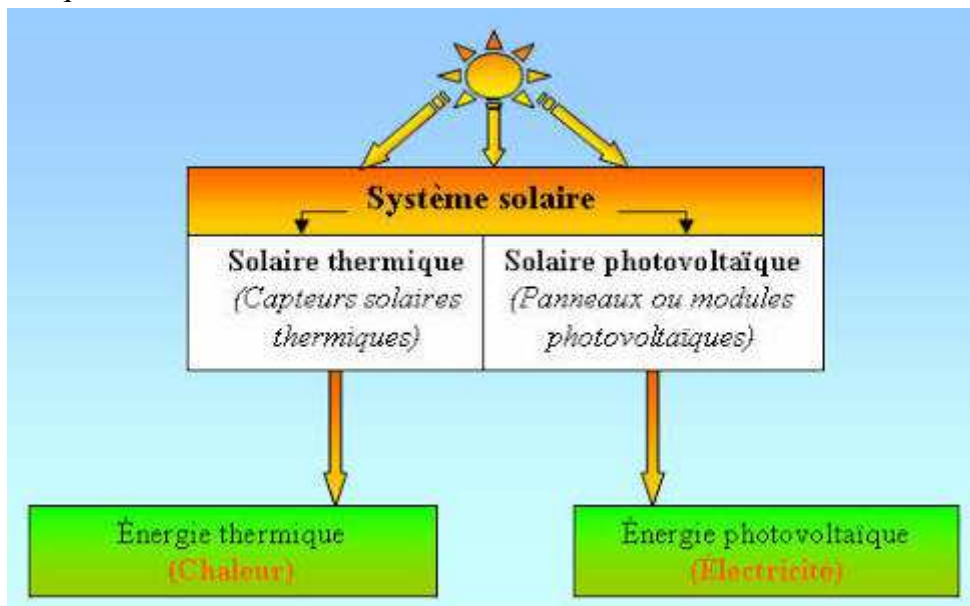


Figure 3.7 : Organigramme des systèmes solaires

3.3.1. SOLAIRE PHOTOVOLTAÏQUE

Les systèmes photovoltaïques produisent de l'énergie électrique en utilisant l'énergie solaire pour faciliter le flux d'électrons et produire ainsi un courant électrique continu. On la considère comme une technologie d'énergie renouvelable relativement évoluée. Étant donné que les systèmes photovoltaïques produisent de l'électricité.

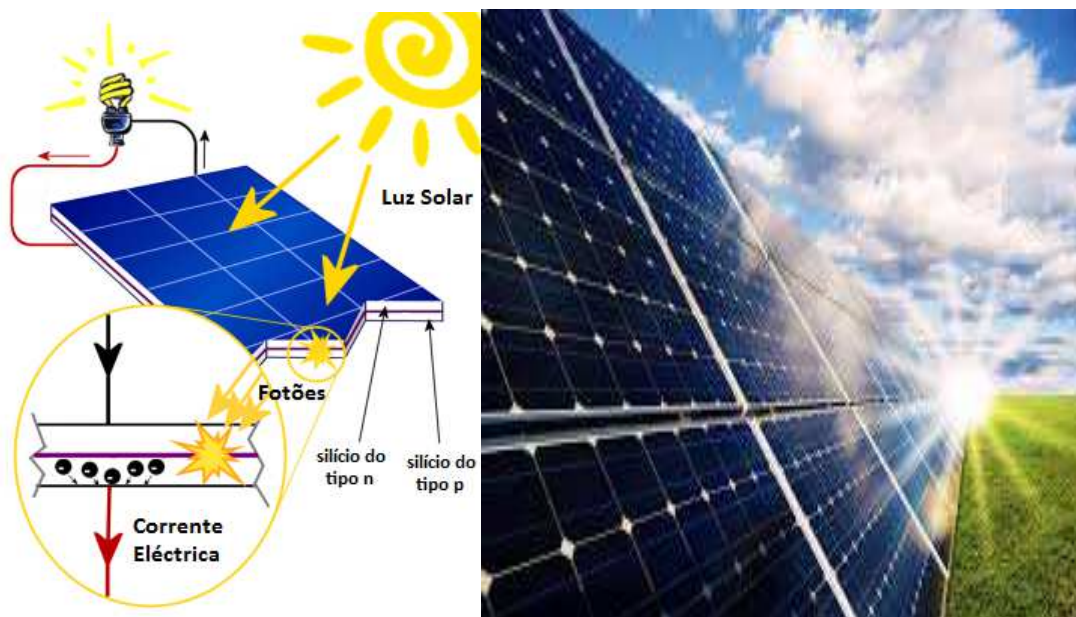


Figure 3.8 : Panneau photovoltaïque

3.3.2. LE SOLAIRE THERMIQUE

Le fonctionnement d'un chauffe-eau solaire consiste en un transfert de l'énergie solaire absorbé par les capteurs vers un système de stockage et de la réutiliser pour des besoins de chauffage.

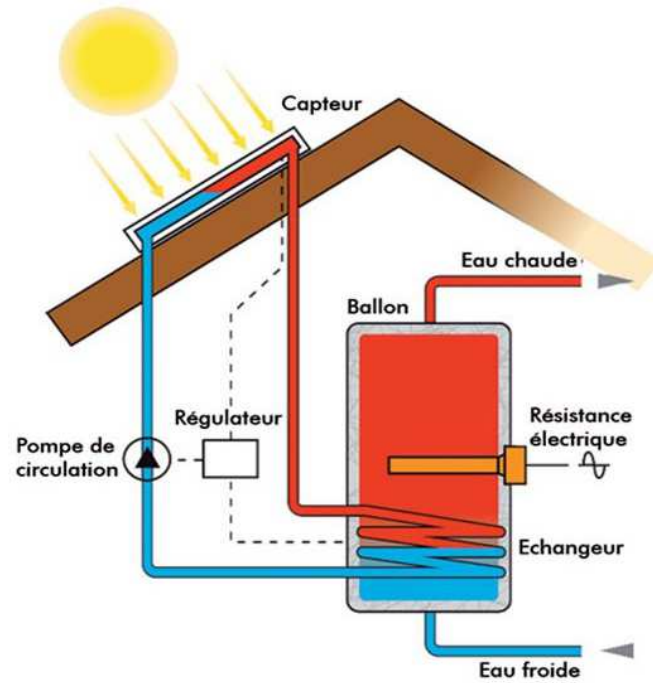


Figure 3.9 : Panneau solaire thermique

CHAPITRE 04

**PROTOTYPES DES SYSTEMES
DE DISTILLATION**

4.1. INTRODUCTION

Dans le but d'améliorer la rentabilité des systèmes de distillation solaire, beaucoup de travaux théoriques et expérimentales ont été effectués, ce qui a abouti à l'apparition de nouveaux prototypes de distillateurs solaires de différentes configurations, dont nous présentons dans ce chapitre certains types de prototypes.

4.2. DIFFERENTS TYPES DE SYSTEMES DE DISTILLATION

Il existe plusieurs types de distillateurs solaires, ils peuvent être différents, en terme de conception et en terme de matériaux utilisés, mais ils utilisent tous le même principe et servant aux mêmes fonctions.

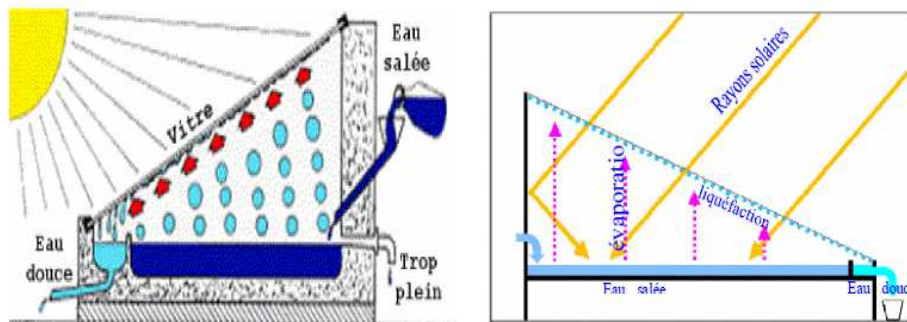


Figure 4.1 : Principe d'un distillateur solaire simple[18]

4.2.1. DISTILLATEUR MONO-INCLINE AVEC UN CONDENSEUR SEPARÉ

Le distillateur comprend un bassin calorifugé dont le fond teinté en noir joue le rôle d'un absorbeur sur lequel s'étend une couche d'eau saumâtre et il est fermé par dessus avec un vitrage légèrement incliné. Le condenseur est une chambre calorifugée qui communique dans le distillateur à travers une ouverture.

Un réflecteur plan est monté sur le distillateur et est dirigé dans la direction du Sud.

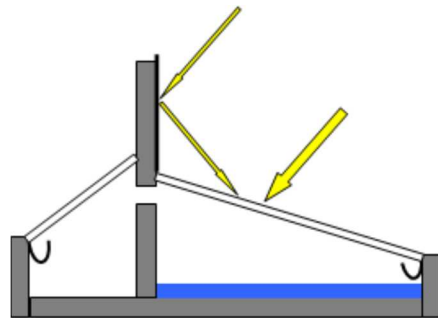


Figure 4.2 : Schéma représentatif du prototype [18]

Dans ce type de prototype le rayonnement solaire émanant du soleil arrive sur la couverture transparente du distillateur. Une quantité supplémentaire du rayonnement solaire réfléchi par le réflecteur arrive également sur le vitrage du distillateur.

Ensuite, une partie du rayonnement incident se transmet dans le distillateur, il traverse la couche d'eau qui en absorbe une quantité et enfin il arrive sur la plaque d'absorption où il sera converti en chaleur. Cette chaleur entraîne l'augmentation de la température de la plaque qui va, à son tour, transférer par convection sa chaleur à la lame d'eau saline. La température de cette dernière va s'élever ce qui provoque son évaporation.

Par suite de sa faible densité, la vapeur d'eau monte dans le distillateur et finit par se condenser sur la face interne du vitrage. De plus, en raison de la différence de pression entre les deux chambres, une quantité de vapeur d'eau va diffuser dans le condenseur et elle va finir par se condenser sur sa toiture [19].

4.2.2. CAPTEURS PARABOLIQUES

Ayant la même forme que les paraboles de réception satellite, ils s'orientent automatiquement et suivent le soleil afin de réfléchir et concentrer ses rayons vers le récepteur du système qui peut atteindre une température de plus de 1000°C.

Le foyer est une enceinte fermée contenant du gaz qui monte en température sous l'effet de la concentration. Cela entraîne un moteur qui convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique puis en électricité. Un de leurs principaux avantages repose sur leur modularité : ils peuvent être installés dans des endroits isolés, non raccordés au réseau électrique [20].

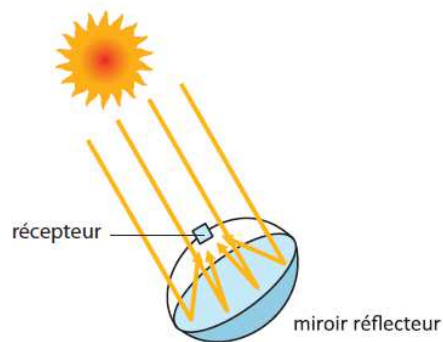


Figure 4.3 : Collecteurs paraboliques [20]

4.2.3. DISTILLATEUR SOLAIRE A CAPTEURS CYLINDRO-PARABOLIQUES

Ce type de centrale se compose de rangées parallèles de longs miroirs cylindro-paraboliques qui tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil.

Les rayons solaires sont concentrés sur un tube récepteur horizontal, dans lequel circule un fluide caloporteur dont la température atteint en général 400°C, qui sera pompé à travers des échangeurs afin de produire de la vapeur surchauffée qui actionne une turbine ou un générateur électrique [21].

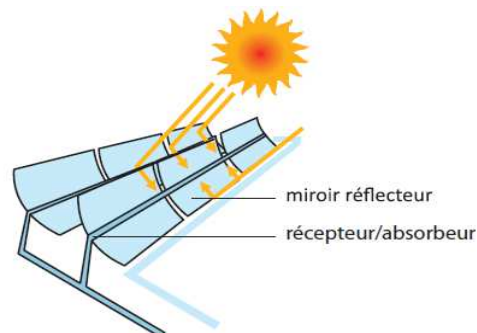


Figure 4.4 : Collecteur cylindro-parabolique [20]

4.2.4. DISTILLATION SOLAIRE A EFFET DE SERRE

Soit une serre fermée et exposée au soleil à l'intérieur de laquelle se trouve une lame d'eau de mer ou d'eau saumâtre de quelques centimètres d'épaisseur. L'air à l'intérieur de la serre est surchauffé et saturé de vapeur d'eau (douce) qui se condense au contact de la paroi en verre relativement froide. Les gouttes d'eau douce peuvent être recueillies en bas du vitrage dans une gouttière par exemple [22].

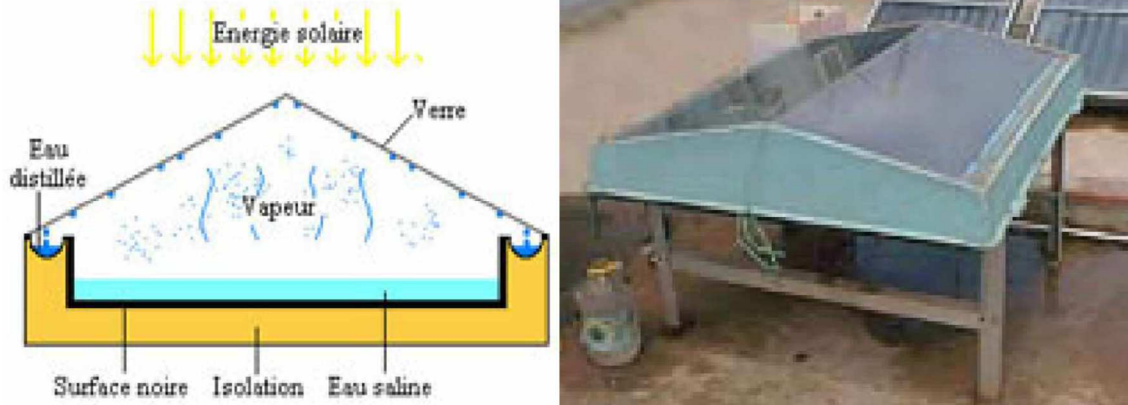


Figure 4.5 : Distillateur solaire à effet de serre [23]

4.2.5. DISTILLATEUR SOLAIRE INCLINE A CASCADES

Cet appareil présente deux avantages : la lame d'eau est très faible et l'orientation par rapport au rayonnement incident se rapproche davantage de l'optimum.

Un modèle de ce type n'a été exécuté qu'en petites tailles. Ces appareils fonctionnent bien mais leur construction et leur entretien sont coûteux [24].

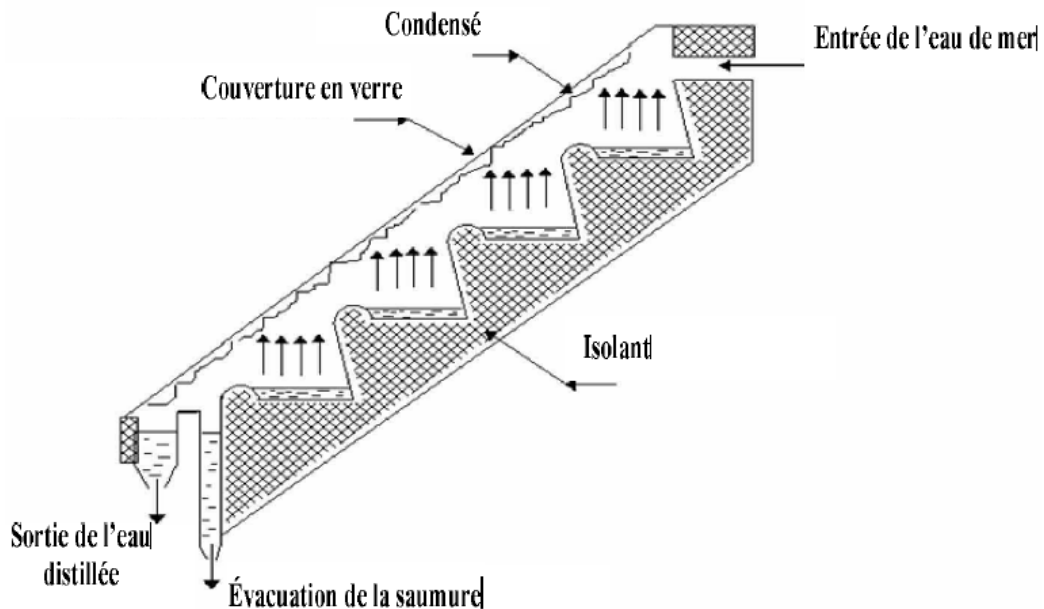


Figure 4.6 : Distillateur solaire incliné à cascade [25]

4.2.6. DISTILLATEUR SOLAIRE INCLINE A MECHE

Dans un distillateur à mèche, l'eau d'alimentation coule lentement à travers une garniture poreuse, absorbant les rayonnements dite « mèche » ; la mèche peut être inclinée de sorte que l'eau d'alimentation présente un meilleur angle avec le soleil, réduisant ainsi la réflexion et présentant une grande surface efficace, en plus, il y a moins d'eau d'alimentation dans le distillateur à tout moment ayant une épaisseur constante, donc l'eau est chauffée plus rapidement et à une température élevée [24].

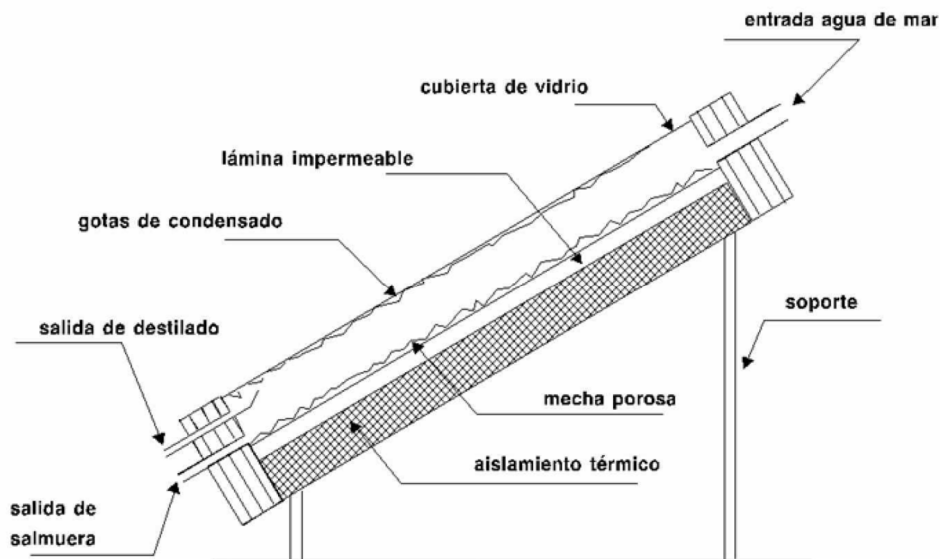


Figure 4.7 : Distillateur solaire incliné à mèche [25]

4.2.7. DISTILLATION SOLAIRE A MULTIPLES EFFETS

La température d'ébullition de l'eau varie avec la pression, on peut donc utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe d'une seconde chambre à pression et température plus faible [22].

Le nom de multiples effets a été donné à ce type d'appareils parce que la vapeur initiale (vapeur de chaudière) accomplit plusieurs fois son effet.

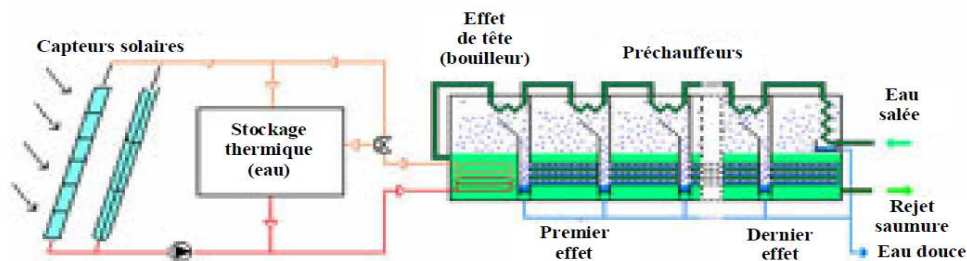


Figure 4.8 : Principe d'un distillateur solaire multiple effets [23]

4.2.8. DISTILLATEURS STATIQUES

Ce sont des distillateurs dont la nappe d'eau à distiller est immobile. Les principales géométries rencontrées sont représentées ci-dessous, ils peuvent être soit à simple soit à double vitrage :

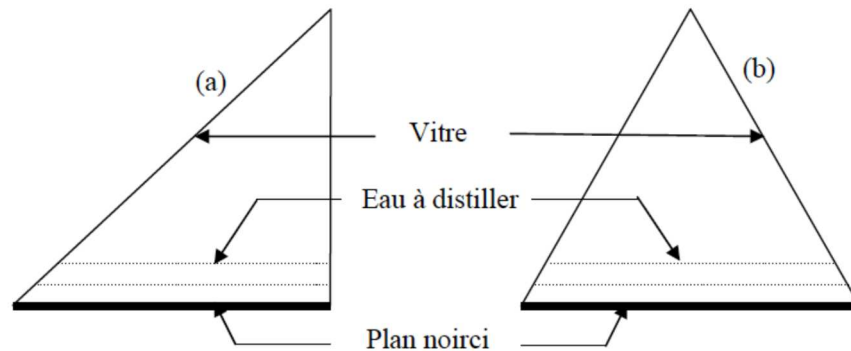


Figure 4.9 : Distillateurs statique

4.2.9. DISTILLATEURS A RUISSELLEMENT

Ce sont des distillateurs dont l'eau à distiller est en mouvement, dont les différentes géométries rencontrées peuvent être représentées comme suit :

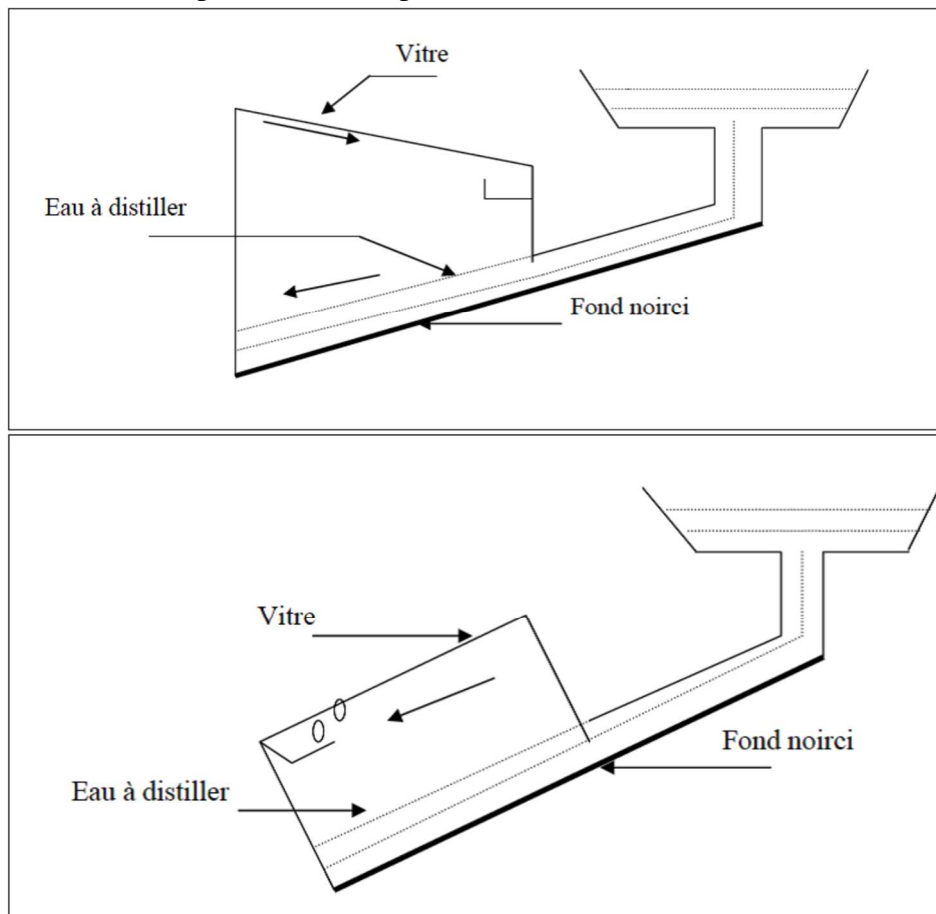


Figure 4.10 : Distillateur équi-courant et à contre-courant [26]

Les distillateurs à ruissellement présentent, d'une manière générale, une faible inertie thermique et beaucoup d'inconvénients tels que la perte de chaleur [26].

PARTIE 02

MATERIELS ET METHODES

CHAPITRE 05

CONCEPTION DU PROTOTYPE

DE DISTILLATION

5.1. INTRODUCTION

Intéressé par le type de traitement par distillation solaire, nous avons eu la réflexion sur un système de distillation intégrant l'énergie solaire.

Ceci dit, dans ce chapitre, nous allons décrire la maquette du prototype que nous avons conçu, ainsi que les étapes de sa réalisation.

Le banc de la distillation est composé de plusieurs organes, auxquels nous présentons dans cette partie la description détaillée de chacun.

5.2. CHOIX DU TYPE DE PROTOTYPE A REALISER

Plusieurs types de distillateurs ont été réalisés et mis en point pour le traitement des eaux (tel qu'il été décrit au chapitre précédent), dans notre cas nous avons eu la réflexion pour un distillateur à effet de serre de forme prismatique comme un prototype expérimental, tel qu'il a été décrit au chapitre précédent, ainsi que les avantages qu'il présente.

5.3. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE CE TYPE DE DISTILLATEUR

La raison pour laquelle nous avons opté à la réalisation de ce type de prototype de distillation en prisme, parce qu'il présente plusieurs avantages, tel que :

- ❖ C'est un distillateur simples et modernes utilisés fréquemment pour obtenir de l'eau potable à partir de l'eau salée.
- ❖ Son prix de revient plus bas à raison de sa dépendance à l'énergie solaire propre et moins coûteuse.
- ❖ L'installation de l'unité pilote est simple et facile.
- ❖ L'intensité du rayonnement solaire à l'intérieur du bac de dessalement de l'eau de mer est un facteur météorologique qui évolue en fonction de la position géographique et les fluctuations saisonnières. Elle influe directement sur la quantité de chaleur reçue par l'eau dans les tubes placés sur le toit, contribuant ainsi, à l'augmentation de sa chaleur sensible.
- ❖ L'absorption de l'énergie solaire conduit à une augmentation conséquente de la tension de vapeur d'eau nécessaire à l'humidification de l'air.
- ❖ Une forte valeur de l'humidité relative correspond à une forte valeur du débit de condensât.

Toutefois, ce prototype présente quelques inconvénients, jugé pas trop importantes comme :

- ❖ Une diminution de l'humidité relative se répercute par une augmentation conséquente de la quantité de gaz non condensable (air), qui, par sa présence, constitue une barrière sur la paroi du tube du condenseur, désactivant ainsi le phénomène de condensation. Ce qui explique la réduction graduelle du débit du condensât pendant la nuit.
- ❖ La nécessité d'économiser de l'énergie est le souci de procurer de nouvelles ressources en eau.
- ❖ Efficacité limitée sur un territoire bien défini là où on a des températures élevées.

Toutefois, ces inconvénients sont pratiquement les mêmes pour les autres types prototypes.

5.4. DIMENSIONNEMENT DU PROTOTYPE

Le prototype nous l'avons réalisé entre la période allant entre le mois de février 2018 au début avril 2018, il est principalement composé de quatre (04) organes : partie prismatique en verre, bac en acier monté sur une table coulissante, table d'alimentation du distillateur et partie de récupération de l'eau distillé.

5.4.1. DIMENSIONNEMENT DU PRISME

La couverture verrière intervient essentiellement par sa nature et sa forme prismatique, tel que transmettre le maximum de rayonnement solaire. Il faut qu'elle soit non hydrophobe elle doit aussi résister aux attaques du vent et des particules solides.

Notre prisme s'est fait de telle façon qu'il absorbe le maximum de rayonnement solaire, toutefois la complication du calcul de l'angle du rayonnement solaire sur une surface inclinée, ainsi que le manque des données d'ensoleillement nous a poussé à s'appuyer sur certains travaux indiquant les meilleures inclinaisons par rapport au rayons d'ensoleillement, en l'occurrence l'angle variant entre 45° et 85° .

Ainsi dans notre cas, nous avons choisi un angle des verres de 70° , cet angle permet un optimum captage des rayonnements solaire, en plus il favorise un écoulement adéquat des gouttes d'eau évaporée sur ces parois [27].

Le prisme à une base carré d'une largeur de 71.1 cm, une hauteur de 70 cm, une largeur en crête de 10 cm réalisée pour le maintien stable du prisme. Il est également doté de miroirs pour augmenter l'effet des rayonnements sur le bac, installées dans la partie inférieure du prisme, sur une hauteur de 10 cm dans la partie verticale et 12 cm dans la partie inclinée.



Figure 5.1 : Dimension du prisme en verre

5.4.2. DIMENSIONNEMENT DU BAC ET DE L'ABSORBEUR

Le rôle du bac absorbant est d'absorber le maximum de rayonnement solaire global et transmettre la chaleur produite par cette absorption vers la saumure. Les études faites dans ce domaine montrent que la surface absorbante peut être construite de plusieurs matériaux (bois, métal, béton, matière synthétique ou en verre ordinaire). Le choix de la matière de la surface absorbante ou bac noir dépend de son inertie thermique, de la résistance à l'oxydation par l'eau et les dépôts minéraux.

Dans notre cas, nous avons conçu un bac absorbeur en acier noir, dont nous avons soudé de la tôle noire épaisse de 4 mm.

Le bac a une forme carrée, sa largeur est de 55 cm, sa hauteur est de 10 cm, il est monté sur table élévatrice.

Le bac est muni d'une règle de mesure du niveau d'eau, il peut contenir une capacité maximale de 30 litres des eaux saumâtres ou salées.

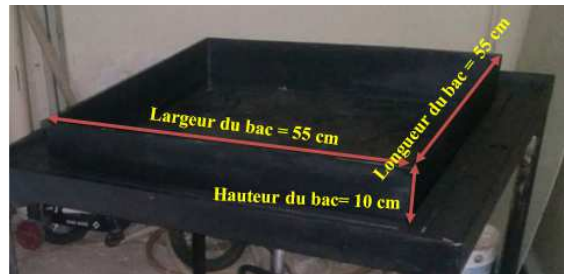


Figure 5.2 : Bac absorbant

5.4.3. SUPPORT ET TABLE ELEVATRICE

Notre prototype est conçu suivant un système de coulissement ; en fait, le bac est soudé sur un plateau élévateur par un levier en suivant les pieds de la table, celui-ci peut monter et descendre avec une distance optimale pour son entretien.

Le prisme est tenu posé sur la table carrée de 1.20 m hauteur et de 72 cm de large, le bac s'introduit dans le prisme jusqu'à une hauteur de 10 cm, où il sera bloqué par les nervure du plateau avec ceux de la table.

La table est dotée de roues qui peuvent se bloquer, ainsi elle a la possibilité de ce déplacé aisément dans l'espace.



Figure 5.3 : Table élévatrice et système de coulissement

5.4.4. CONCEPTION DU SYSTEME D'EVACUATION DE L'EAU DESTILLEE

L'eau distillée s'évapore et coule à travers les parois du prisme sur une pente de 70° pour s'accumuler au niveau des canaux d'écoulement ayant des pentes de 1% orientés vers le point le plus bas, où se situe l'orifice d'évacuation du perméat.

L'orifice est lié à une zone de stockage d'eau distillée par une conduite de 10 mm dont la capacité du réservoir de récupération du perméat est de 20 litres.

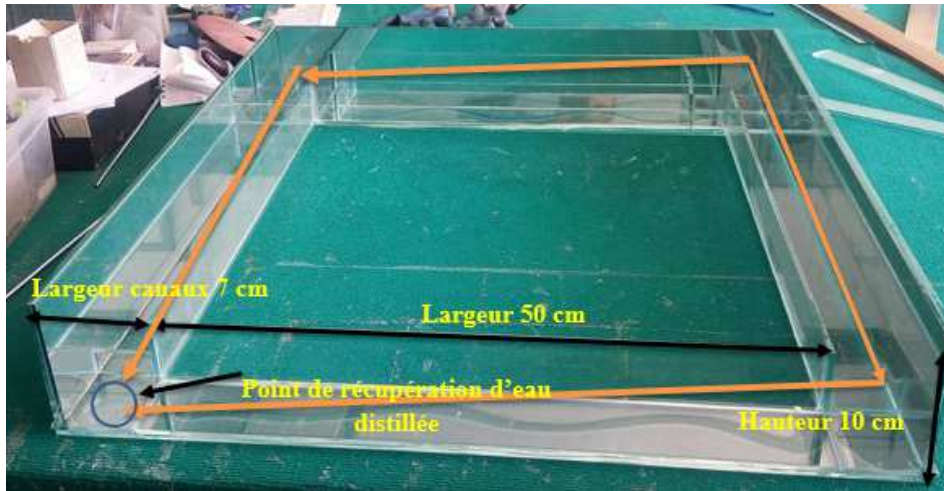


Figure 5.4 : Système d'évacuation du perméat

5.4.5. CONCEPTION DU SYSTEME DE RECCUPERATION DU PERMEAT

Au moment où l'eau de mer se distille l'humidité devient plus en plus très élevée, la vapeur se condense en tête du prisme et sur les parois de ce dernier.



Figure 5.5 : Condensation de la vapeur en tête du prisme et sur les parois

L'eau douce condensée est ensuite collectée et amenée sur les parois, puis elle circule à travers les rigoles vers le point de récupération d'eau distillée et amenée par une conduite au stockage dans le réservoir de l'eau douce récupérée.

Après avoir distillé l'eau de mer on doit rincer et nettoyer le bac pour qu'on puisse refaire l'expérience dans meilleures conditions.



Figure 5.6 : Vu du prototype et du système d'évacuation du perméat

5.4.6. SYSTEME D'ALIMENTATION DU BASSIN PAR LA SAUMURE

Le bac en acier s'alimente par un bac de capacité de 20 litres doté d'une vanne et mit sur un support en bois plus élevé que le bac (2,4 m), permettant de l'alimenté directement par un tuyau flexible, à travers le prisme.

L'alimentation est dotée d'un flotteur se positionnant à la hauteur d'eau constante dans le bac.



Figure 5.7 : Vu du prototype et du système d'alimentation du bac

5.4.7. SYSTEME D'ISOLATION

Le système d'isolation sert à conserver la chaleur et minimiser la perte de chaleur dans le bac, pour cela nous avons utilisé le polyester comme isolant, ayant une épaisseur de 4 cm, sur les vitres de la base du prisme et sur les vitres inclinées de 12 cm, ainsi qu' autour du bac.



Figure 5.8 : Vu du prototype et du système d'isolation

5.5. SYSTEME DE MESURE

Pour étudier le rendement de notre distillateur il est primordial de procéder à certaines mesures considérées comme principales dans la distillation, à savoir :

- ❖ La température de l'air ;
- ❖ La température de l'eau dans le bac ;
- ❖ La température de l'air condensé dans le prisme et
- ❖ L'humidité dans le prisme.

5.5.1. COMPOSANTS ET CAPTEURS ELECTRONIQUES

Pour prendre les mesures nécessaires à la distillation, il a fallu installé des capteurs et sondes de température et un capteur d'humidité :

- ❖ Capteur de la température extérieure de l'aire « LM35 », celui-ci doit être doté d'un condensateur ;
- ❖ Capteur de l'humidité, qui doit être doté de résistance et
- ❖ Deux capteurs étanches de la température de l'eau et de la vapeur « TP100 », également doté de résistance.

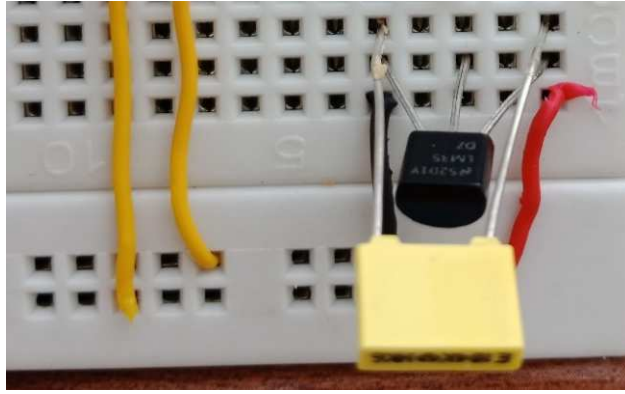


Figure 5.9 : Capteur de température LM35 (avec condensateur)



Figure 5.10 : Capteur de l'humidité

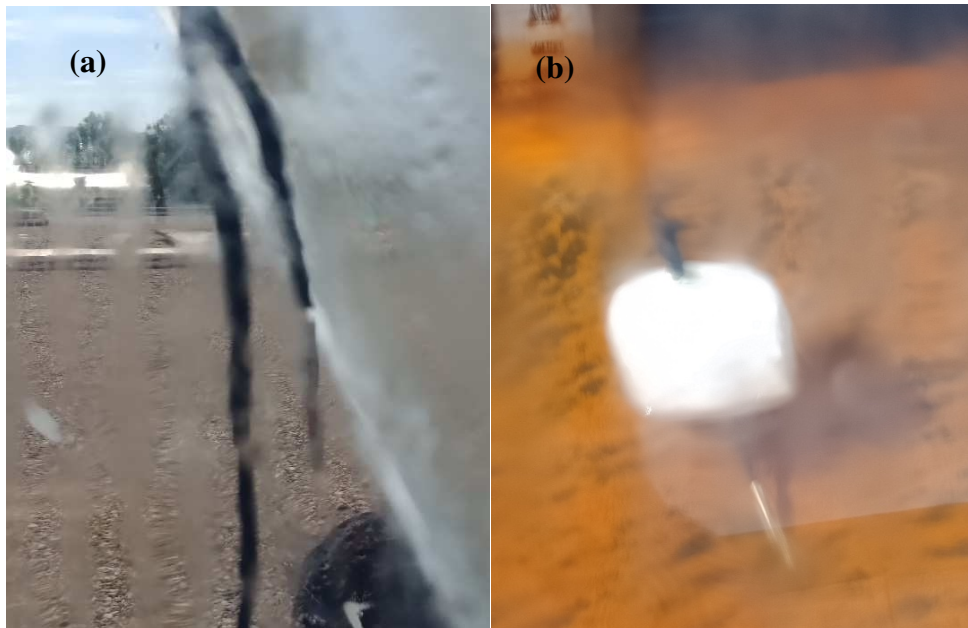


Figure 5.11 : Capteurs LM35 (a) : de température de vapeur du prisme, (b) : de température de l'eau muni d'un flotteur

5.5.2. LECTURE DES VALEURS

L'ensemble des valeurs de températures et de l'humidité sont transmises sous forme d'un signal électronique à une carte dite « Arduino Uno » permettant suivant un programme de lire les valeurs de chaque signal.

Dans notre cas, nous avons écrit le programme de lecture des données et leur affichage directement sur un écran LCD.

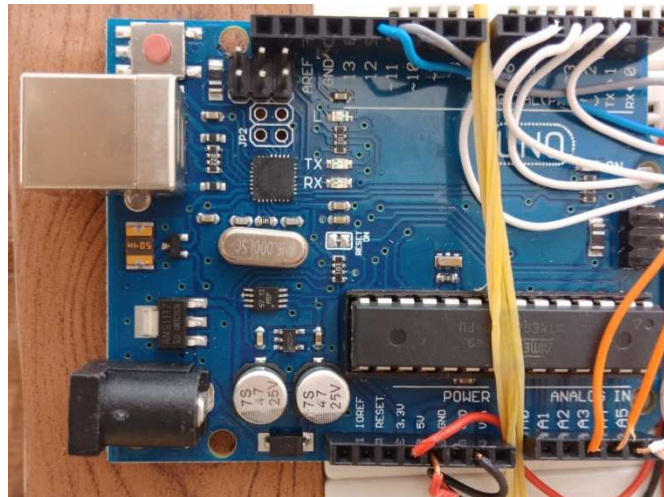


Figure 5.12 : Installation des capteurs sur la carte Arduino Uno

La carte Arduino Uno est une carte à microcontrôleur, elle possède 14 broches d'entrée/sortie numériques, 6 entrées analogiques, un oscillateur à quartz de 16 MHz, un connecteur USB, un jack d'alimentation, une embase ICSP, et un bouton d'initialisation (reset). Elle contient tout ce qui est nécessaire au fonctionnement du microcontrôleur. Pour l'utiliser, il suffit de la relier à un ordinateur avec un câble USB, ou encore de l'alimenter à l'aide d'un bloc secteur externe ou de piles.

Les valeurs peuvent être stockées dans une base de données sous Excel, comme elles peuvent être affichées sur un écran.

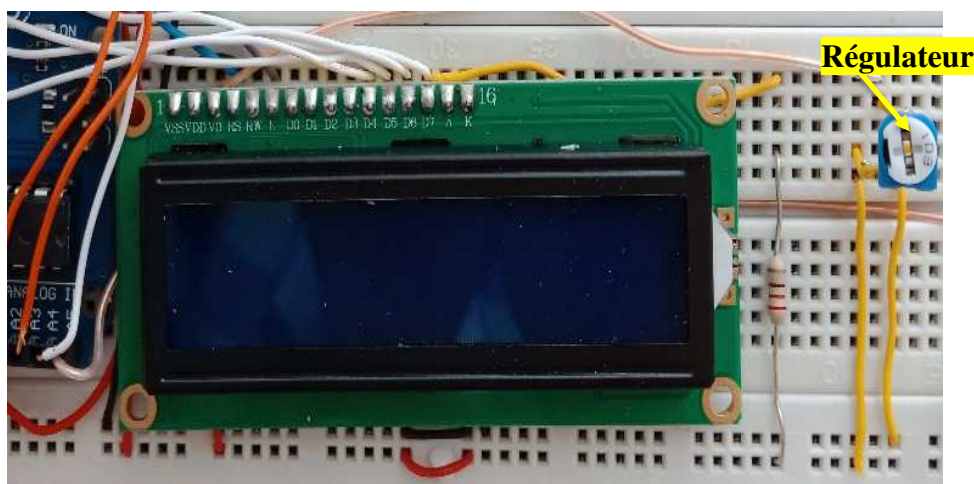


Figure 5.13 : Ecran d'affichage LCD et régulateur d'image

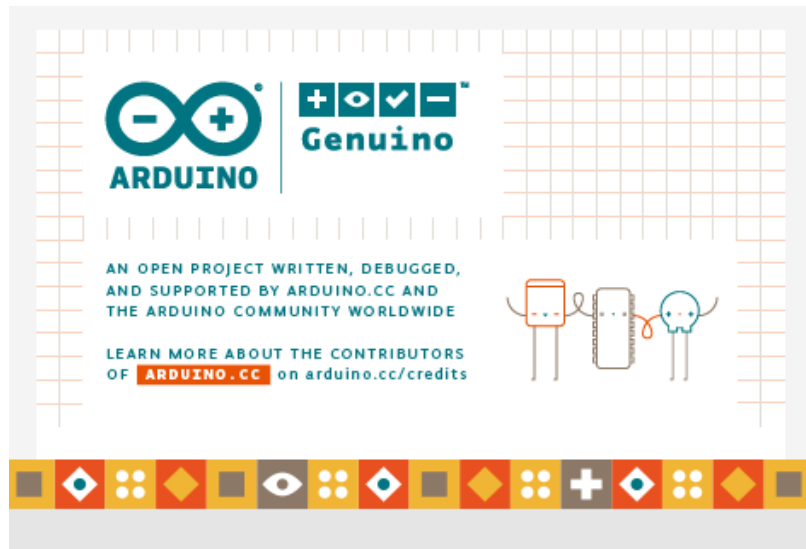


Figure 5.14 : Interface du langage de programmation sur la carte Arduino Uno

```

proj_dessalement | Arduino 1.8.4
Fichier Édition Croquis Outils Aide
proj_dessalement
#include <LiquidCrystal.h>

const int rs = 12, en = 11, d4 = 5, d5 = 4, d6 = 3, d7 = 2;
LiquidCrystal lcd(rs, en, d4, d5, d6, d7);

float LireH() {

    float tmp;
    float Hum=0;
    digitalWrite(0, HIGH);
    for(int i =0; i<10; i++){
        tmp = analogRead(4)* 1.1/1024 * 100;
        Hum += tmp;
    }

    Hum/=10;

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Humidite");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(Hum,1);
    digitalWrite(0, LOW);
    return Hum;
}

float LireT_Pyramide() {

```

Arduino/Genuino Uno sur COM1

Figure 5.15 : Partie du programme de transfert des signaux en données et leur affichage

5.5.3. AUTRES COMPOSANTS

Le dispositif de mesure est doté d'autres composants reliés aux différents capteurs, tel que les résistances pour diviser la tension adéquatement à celle demandée par chaque composant, en plus un condensateur pour éliminer les bruits (stabiliser une alimentation électrique, filtrer et traiter des signaux périodiques, ...etc.).

En plus, des fils de liaison pour raccorder les différents composants à l'Arduino Uno, le tout est monté sur table de connexion électronique.

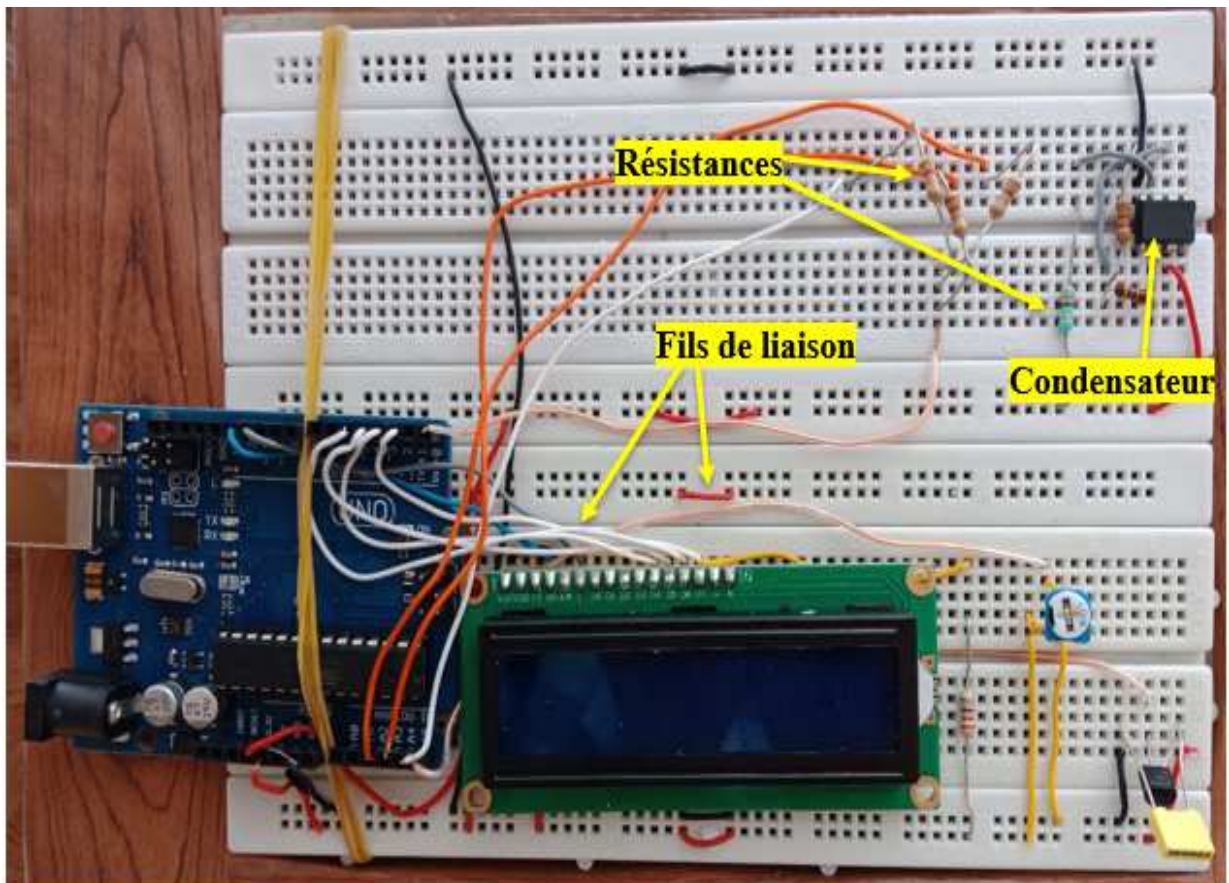


Figure 5.16 : Maquette d'installation des différents composants du prototype

5.6. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons décrit en détail le modèle réduit de distillation que nous avons mis au point.

Celui-ci est conçu d'une façon de permettre la distillation des eaux quel que soit la direction du rayonnement solaire, avec un système électronique de mesure par lecture directe.

En plus, nous avons eu la réflexion pour qu'il soit mobile afin de faciliter son déplacement, sa table est élévatrice pour mieux le gérer, quant-àux remplissage de son bac se fait facilement.

CHAPITRE 06
RESULTATS ET DISCUSSIONS

6.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre nous avons procédé à la pratique par la mise en marche de notre prototype de distillation ; en premier lieu nous avons analysé l'échantillon des eaux de mer que nous avons prélevé, par la détermination de sa concentration en sel.

En parallèle nous avons alimenté le bac par la saumure et nous avons procédé entre le 12 Mai au 06 Juin 2018 à des mesures horaires (entre 9h et 17h) aux paramètres des températures de l'air, de la vapeur et du bac, de l'humidité, ainsi des volumes des eaux distillées et des eaux brutes dans le bac. Par la suite nous avons effectué des analyses sur les eaux distillées au laboratoire et in-situ par la mesure du taux de salinité.

Enfin, ce chapitre contient également une interprétation détaillée des valeurs des paramètres et des résultats obtenus

6.2. ANALYSE ET DISCUSSION DES EAUX DE MER

Nous avons analysé les eaux de mer au niveau du laboratoire de traitement des eaux, du département de l'hydraulique entre la période du 12 Mai au 06 Juin 2018 en utilisant certains matériaux (figure ci-dessous) et en procédant au mode opératoire suivant :



Figure 6.1 : Matériel utilisé

- ❖ Prélèvement d'un échantillon d'eau salé de 01 litre ;
- ❖ Mesure du poids net du récipient $m_0 = 259$ g ;



Figure 6.2 : Poids du récipient

- ❖ Mesure du poids du récipient avec 01 litre d'eau salée $m_1 = 1392$ g ;
- ❖ Chauffage de l'eau salée avec agitation thermique pendant 2 heures, pour évaporer l'eau salée avant étuvage, pour ne pas obturer l'étuve par l'eau ;



Figure 6.3 Chauffage des eaux saumâtre

- ❖ Mise en place du récipient presque sec dans l'étuve pendant 24h avec une température de 107°C ;



Figure 6.4 : L'étuve

- ❖ Mesure du poids du récipient après 14h : $m_2 = 294$ g ;
- ❖ Mesure du poids du sel :

$$m_3 = m_2 - m_0$$



Figure 6.5 : Poids du sel après étuve

Les résultats obtenus au laboratoire sur le degré de salinité de l'échantillon de l'eau de mer prélevé ont indiqué que la concentration en sel est de :

$$\underline{m_3 = 35 \text{ g/l}}$$

6.3. MISE A EAU DE MER DU PROTOTYPE ET MESURES

En parallèle de la mesure de la salinité nous avons procédé à la mise en eau de notre banc d'essai, par l'échantillon de l'eau de mer, par la suite entamé nous avons procédé aux mesures et analyses selon le mode opératoire suivant :

- ❖ Remplir le bac jusqu'à 6,5 cm de hauteur, l'équivalent d'un volume de près de 20 litres ;



Figure 6.6 : Niveau d'eau saumâtre dans le bac

- ❖ Lecture horaire des valeurs des trois températures (air, bac, vapeur) ;
- ❖ Lecture horaire de la valeur de l'humidité du prisme ;
- ❖ Lecture horaire du niveau d'eau saumâtre dans le bac ;
- ❖ Mesure du niveau du distillat dans le réservoir de récupération ;
- ❖ Mesure journalière du taux de salinité par le TDS mètre, celui-ci nous donne une indication sur la potabilité de l'eau en fonction du degré de salinité (en ppm) contenu dans le distillat.



Figure 6.7 : Le TDS mètre

Les résultats de mesure des différents paramètres nous les avons résumés dans le tableau 6.1.

6.4. RESULTATS DES PARAMETRES MESURES A PARTIR DU PROTOTYPE

Après avoir exposé notre modèle au niveau de la terrasse des laboratoires de la faculté de technologie, nous avons dans l'immédiat rempli son bac par une quantité de 20 litres et juste après entamé la prise des mesures horaires des différents paramètres en suivant la procédure décrite précédemment, entre la date variant du 30 Mai au 04 Juin 2018.

L'ensemble des valeurs que nous avons mesurées journalièrement et chaque par heure dans le tableau ci-dessous :

Tableau 6.1 : Les résultats des prélèvements obtenus (30Mai – 04 juin 2018)

date	heure	H _{bac} (cm)	V _{bac} (ml)	V distillé (ml)	T° air	T° Bac	T° Vapeur	Humidité	TDS (ppm)
30-mai	9h00	6,44	175,5	135	21,2	23,1	23,1	6,5	181
	10h00	6,42	234	180	22,6	26	26	8,6	
	11h00	6,42	247	190	23,6	26,3	26,3	13,6	
	12h00	6,38	364	280	26,1	27,4	27,4	21,9	
	13h00	6,35	455	350	27,1	27,6	27,6	22	
	14h00	6,29	637	490	27,3	27,9	27,9	25,1	
	15h00	6,20	916,5	705	26,3	28,9	28,8	26,4	
	16h00	6,14	1079	830	24,3	27,9	28,1	29,8	
	17h00	6,10	1202,5	925	23,1	27	27,1	29,4	
31-mai	9h00	6,03	1436,5	1105	21,3	22,3	22,4	8	127
	10h00	5,97	1599	1230	24,8	25	25	13,4	
	11h00	5,94	1703	1310	26,4	27,4	27,4	28,3	
	12h00	5,90	1826,5	1405	29,5	30,1	30,1	28,5	
	13h00	5,85	1963	1510	28,4	28,5	28,6	29,3	
	14h00	5,82	2054	1580	28,8	29	29	29,5	
	15h00	5,80	2132	1640	29,1	29,3	29,3	29,8	
	16h00	5,73	2327	1790	27,8	30,3	30,3	30,9	
	17h00	5,69	2450,5	1885	25,2	29,5	29,5	30,3	
date	heure	H _{bac} (cm)	V _{bac} (ml)	V distillé (ml)	T° air	T° Bac	T° Vapeur	Humidité	TDS (ppm)
03-juin	9h00	5,42	3276	2520	20,7	21,6	21,6	7,4	334
	10h00	5,36	3445	2650	22,3	24,3	24,3	9,6	
	11h00	5,31	3601	2770	24,1	25,7	25,7	14,1	
	12h00	5,27	3718	2860	25,6	27,4	27,4	21,4	
	13h00	5,22	3887	2990	27,2	28,3	28,2	23,7	
	14h00	5,19	3965	3050	26,9	27,9	28	29,6	
	15h00	5,12	4186	3220	27,7	27,9	28	29,6	
	16h00	5,06	4355	3350	27	27,7	27,7	29,7	
	17h00	5,03	4446	3420	26,1	27,7	27,8	27,1	
04-juin	9h00	4,79	5187	3990	24,4	25,2	25,2	6,9	424
	10h00	4,73	5343	4110	27,9	28,1	28,3	8,7	
	11h00	4,68	5499	4230	28,9	30,2	30,3	12,1	
	12h00	4,61	5707	4390	29,8	30,3	30,3	23,4	
	13h00	4,58	5798	4460	30,3	32	32	25,3	
	14h00	4,55	5889	4530	30,5	33,8	33,9	29,8	
	15h00	4,49	6071	4670	30,9	34	34,1	30,4	
	16h00	4,47	6136	4720	30	33,5	33,5	30,7	
	17h00	4,38	6409	4930	29,3	32,3	32,3	28,1	

6.5. DISCUSSIONS DES RESULTATS DES MESURES DU PROTOTYPE

Nous avons dans cette partie discuté les résultats obtenus en faisant varier certains paramètres entre eux en fonction du temps de mesure, à savoir :

- ❖ Discussion des variations des températures internes du prisme ;
- ❖ Discussion de la variation des températures internes avec celle de l'air ;
- ❖ Discussion de la variation des températures internes avec l'humidité du prisme ;
- ❖ Discussion du volume de distillat obtenu en fonction des températures internes ;
- ❖ Discussion du volume de distillat obtenu en fonction des températures internes.

6.5.1. VARIATIONS DES TEMPERATURES INTERNES DU PRISME

Nous avons au départ comparé les températures internes du prisme à savoir la température de l'eau dans le bac et celle évaporée. Les variations sont illustrées dans les courbes suivantes :

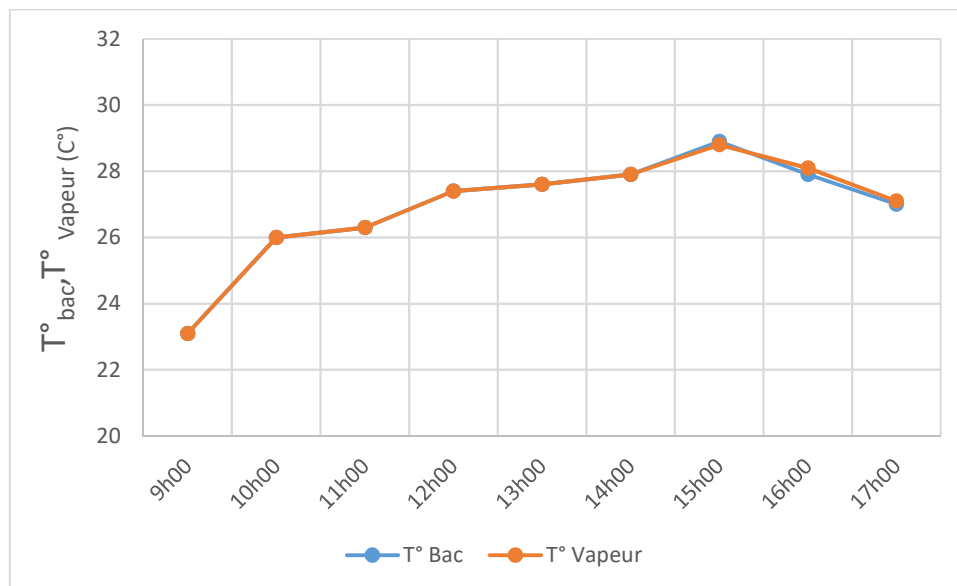


Figure 6.8 : Courbe d'évolution des températures du bac et de vapeur en fonction du temps (30 Mai 2018)

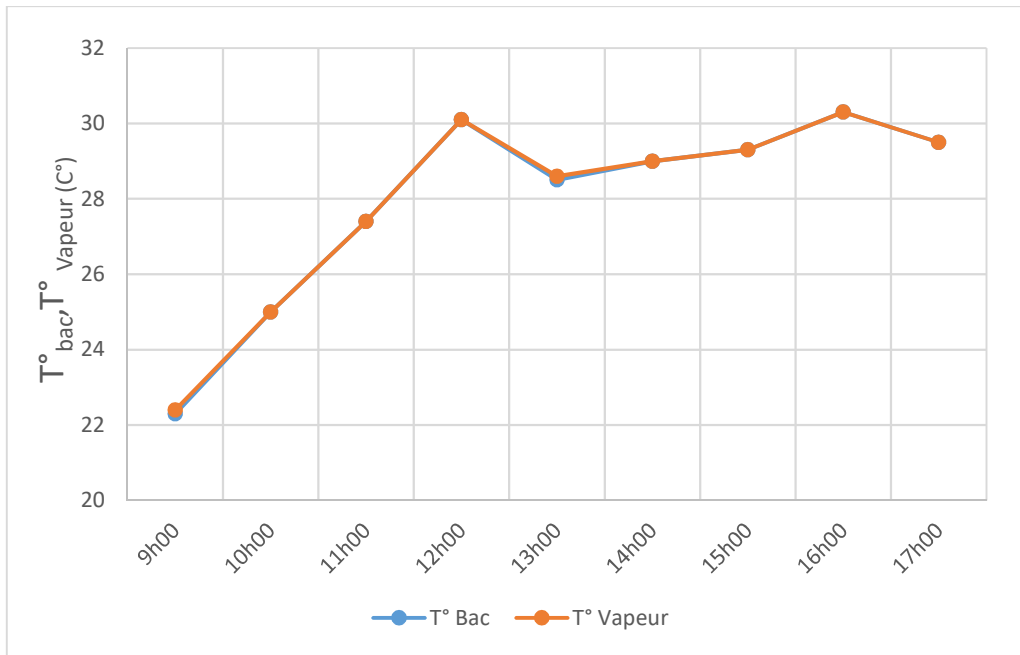


Figure 6.9 : Courbe d'évolution des températures du bac et de vapeur en fonction du temps (31 Mai 2018)

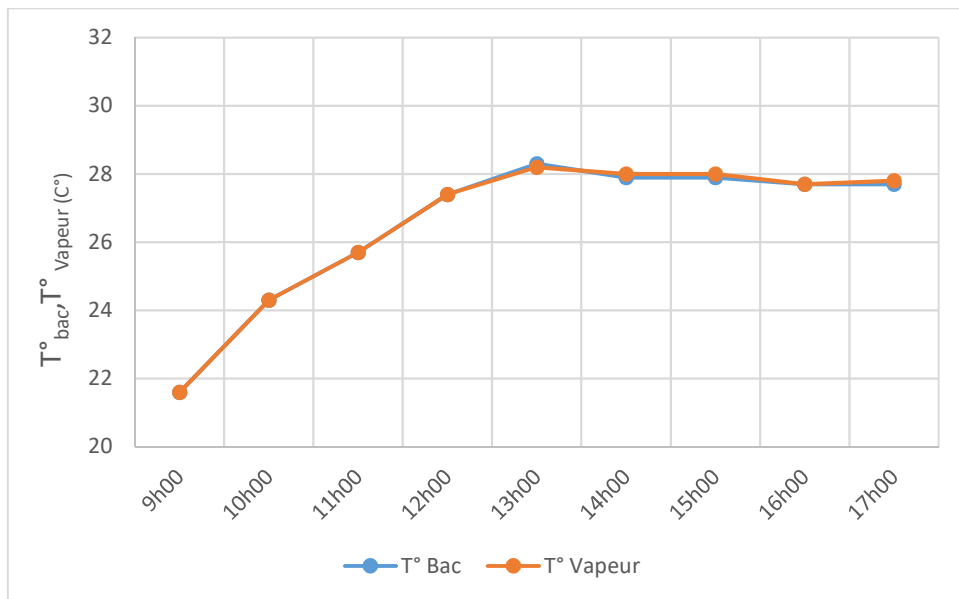


Figure 6.10 : Courbe d'évolution des températures du bac et de vapeur en fonction du temps (03 Juin 2018)

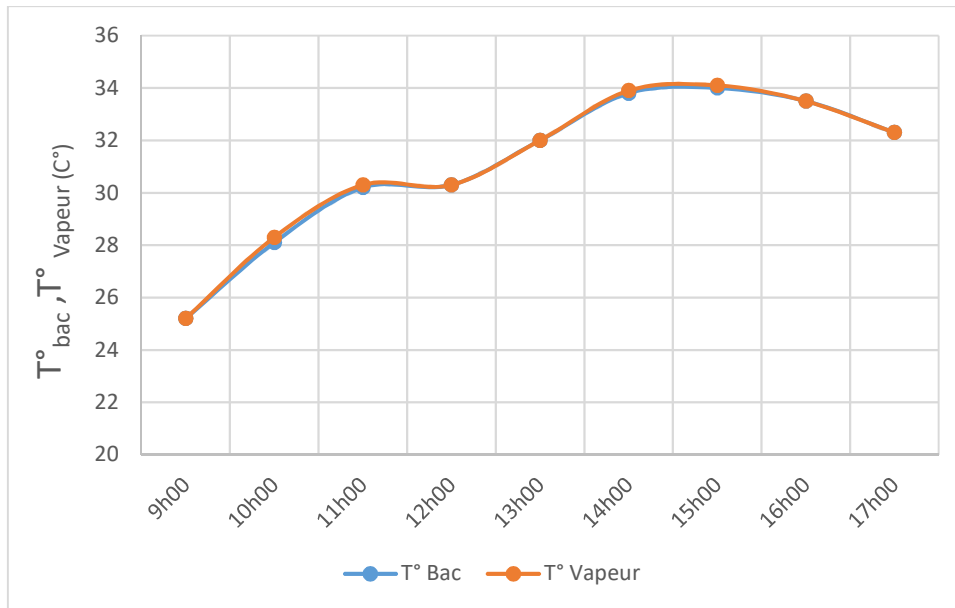


Figure 6.11 : Courbe d'évolution des températures du bac et de vapeur en fonction du temps (04 Juin 2018)

Les figures (62, 63, 64, 65) Montrent que les courbes des deux températures, soit de l'eau dans le bac ou de la vapeur dans le prisme, sont superposées l'une sur l'autre, ce qui exprime que la température des eaux à l'intérieur du prototype est pratiquement la même.

6.5.2. VARIATION DES TEMPERATURES INTERNES AVEC CELLE DE L'AIR

En vue que les températures à l'intérieur du prisme sont pratiquement identiques, nous avons réduit notre analyse de comparaison horaire et journalière à la température de l'air avec celle de vapeur uniquement puisque celle-ci concerne directement les eaux distillées. Les variations sont illustrées dans les courbes suivantes :

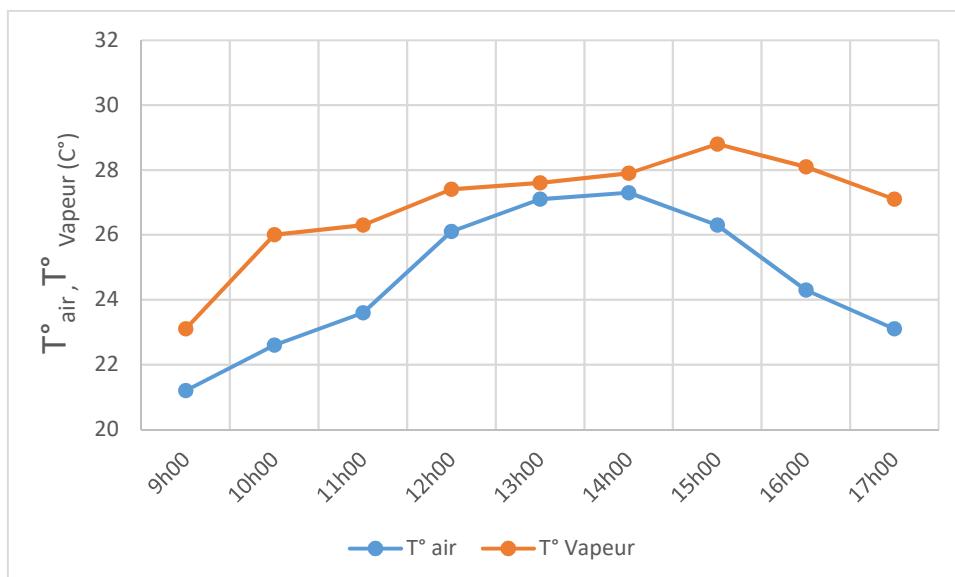


Figure 6.12 : Courbe d'évolution des températures d'air et de vapeur en fonction du temps (30 Mai 2018)

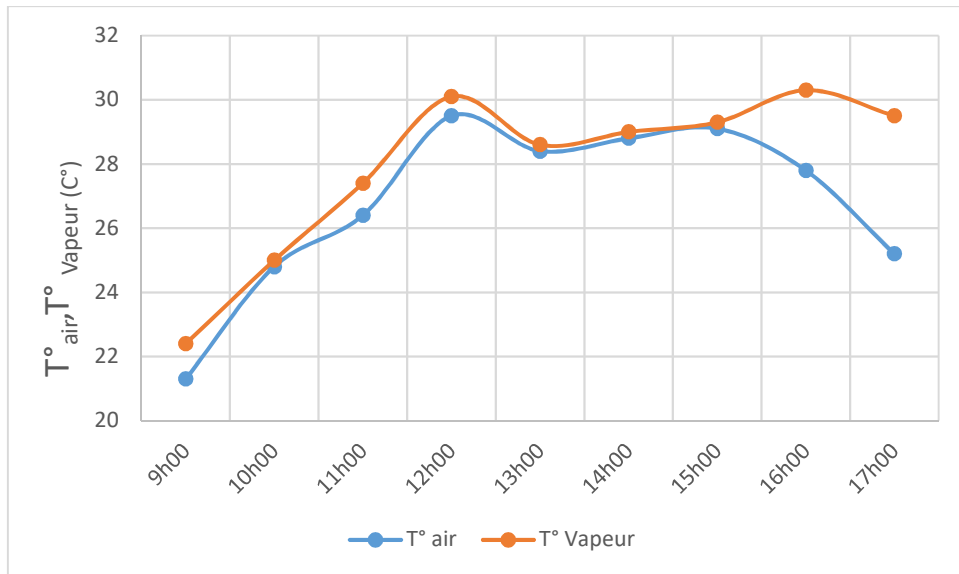


Figure 6.13 : Courbe d'évolution des températures d'air et de vapeur en fonction du temps (31 Mai 2018)

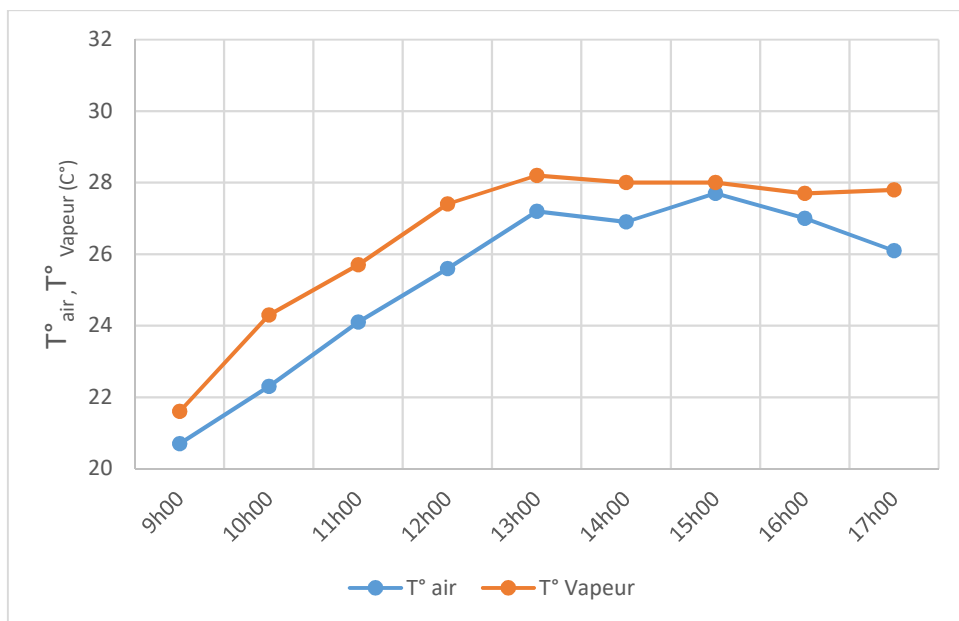


Figure 6.14 : Courbe d'évolution des températures d'air et de vapeur en fonction du temps (03 Juin 2018)

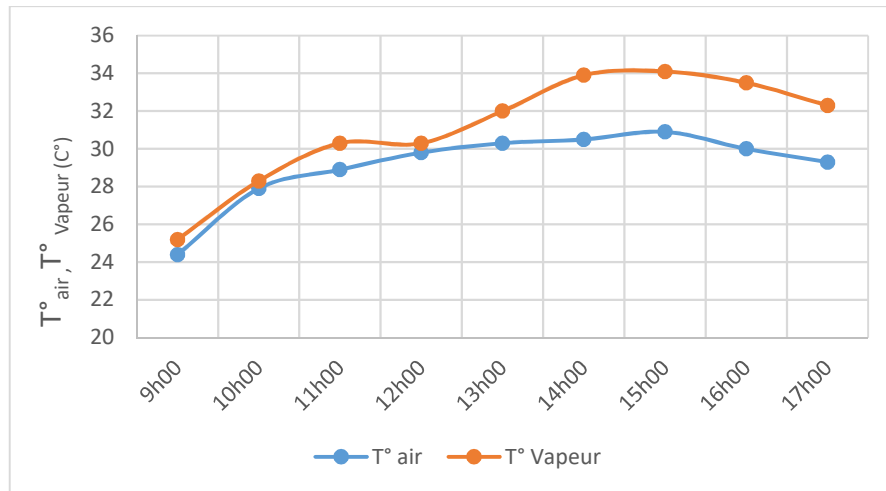


Figure 6.15 : Courbe d'évolution des températures d'air et de vapeur en fonction du temps (04 Juin 2018)

Les figures (66, 67, 68, 69) montrent que les deux températures suivent pratiquement les mêmes allures, la température de l'eau évaporée est toujours supérieure à celle de l'air, et par conséquent la température de l'eau dans le bac, traduisant le rôle réflecteur des miroirs que nous avons eu la réflexion de mettre sur les parois du prisme.

Nous avons remarqué également que la température de l'air se lyse à partir de 15h, par contre celle de la valeur reste toujours élevée vu la condensation importante de la vapeur d'eau, clairement visible dans le prisme.

6.5.3. VARIATION DES TEMPERATURES INTERNES AVEC L'HUMIDITE

Nous avons également procédé à la comparaison horaire et journalière à la température de vapeur avec celle de l'humidité afin de connaître l'interaction importante entre ces deux paramètres. Les variations sont illustrées dans les courbes suivantes :

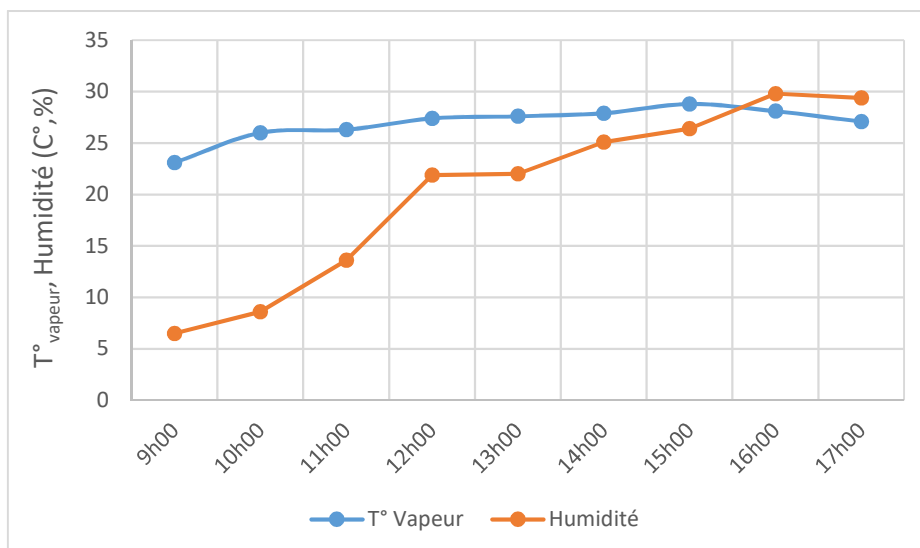


Figure 6.16 : Courbe d'évolution des températures de vapeur et de l'humidité en fonction du temps (30 Mai 2018)

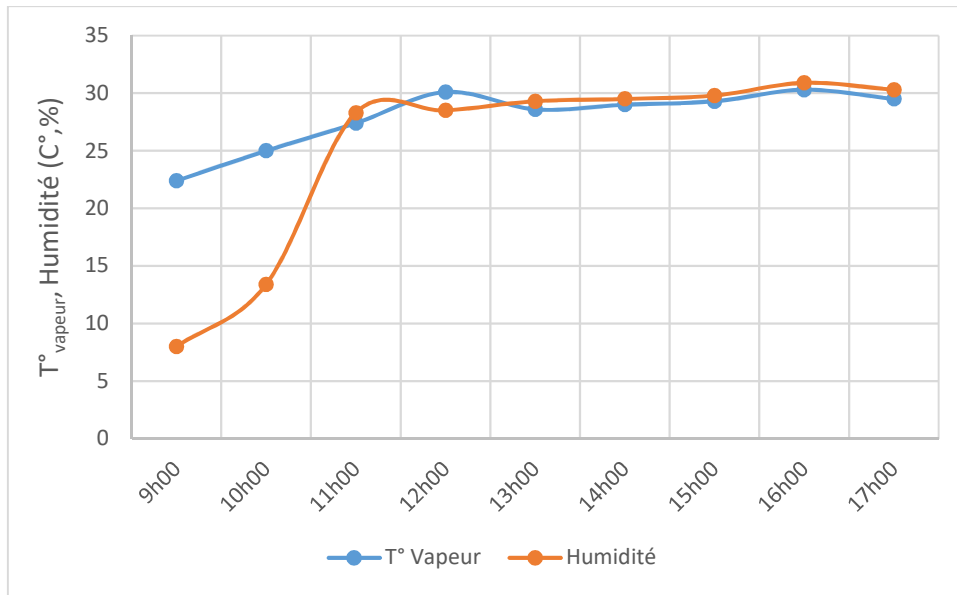


Figure 6.17 : Courbe d'évolution des températures de vapeur et de l'humidité en fonction du temps (31 Mai 2018)

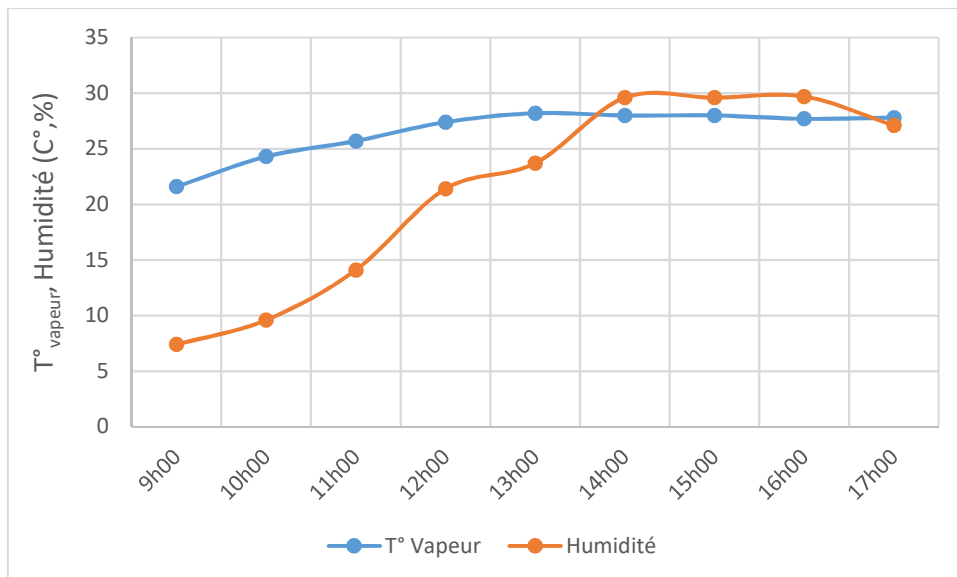


Figure 6.18 : Courbe d'évolution des températures de vapeur et de l'humidité en fonction du temps (03 Juin 2018)

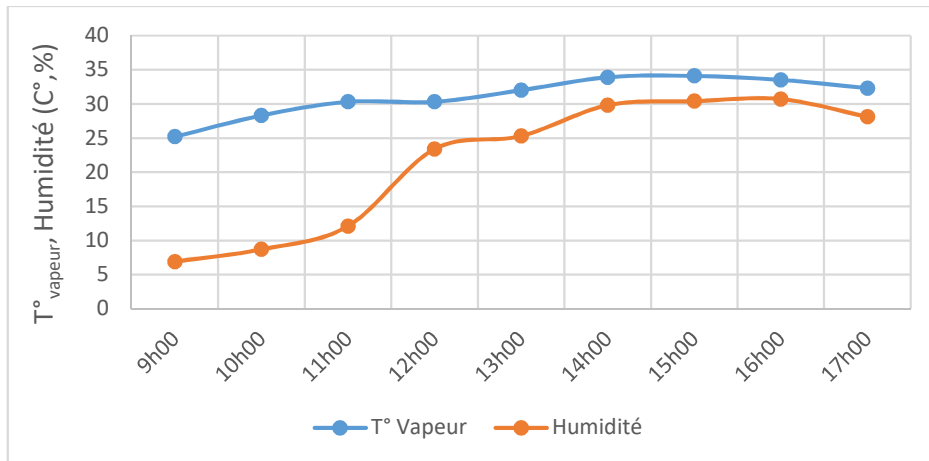


Figure 6.19 : Courbe d'évolution des températures de vapeur et de l'humidité en fonction du temps (04 Juin 2018)

Les figures (70, 71, 72, 73) illustrent le lien entre l'humidité suivant celle de la température. En effet, en début de matinée nous avons remarqué que l'humidité augmente timidement par rapport à la température, c'est pratiquement aux alentours de midi que l'humidité s'approche de la courbe de température et se maintient pratiquement constante, ceci est fortement dû à la concentration de la condensation de vapeur en fin de journée.

Les pourcentages de variation confirment cette discussion, par le fait qu'au début de la journée on a une évolution d'humidité ne dépassant pas les 30% (entre 9h et 12h), alors qu'entre midi et 9h le pourcentage d'augmentation de l'humidité est plus de 220%, puis une stabilisation de la variation en après-midi ne dépassant pas les 20%.

6.5.4. VOLUME DISTILLE EN FONCTION DE L'HUMIDITE

Nous avons jugé important de comparer la variation entre l'humidité à l'intérieur du prisme (vapeur d'eau) en fonction du volume distillé, pour éclairer le lien entre ces deux paramètres. Les variations sont illustrées dans les courbes suivantes :

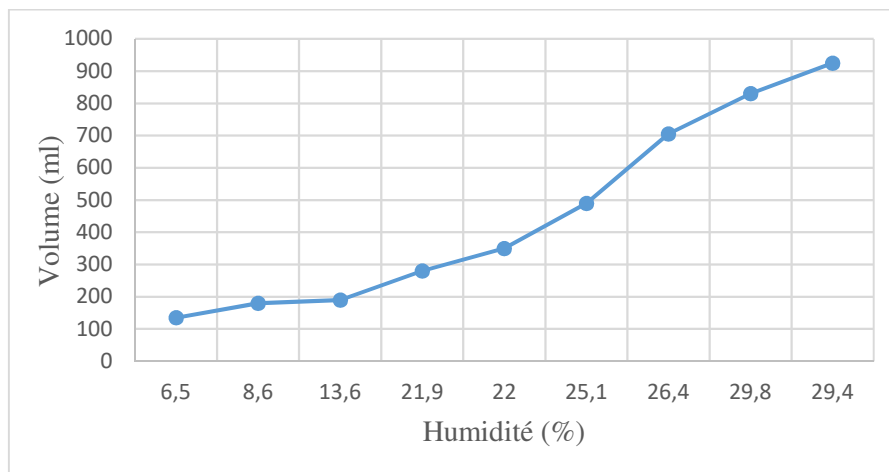


Figure 6.20 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de l'humidité (30 Mai 2018)

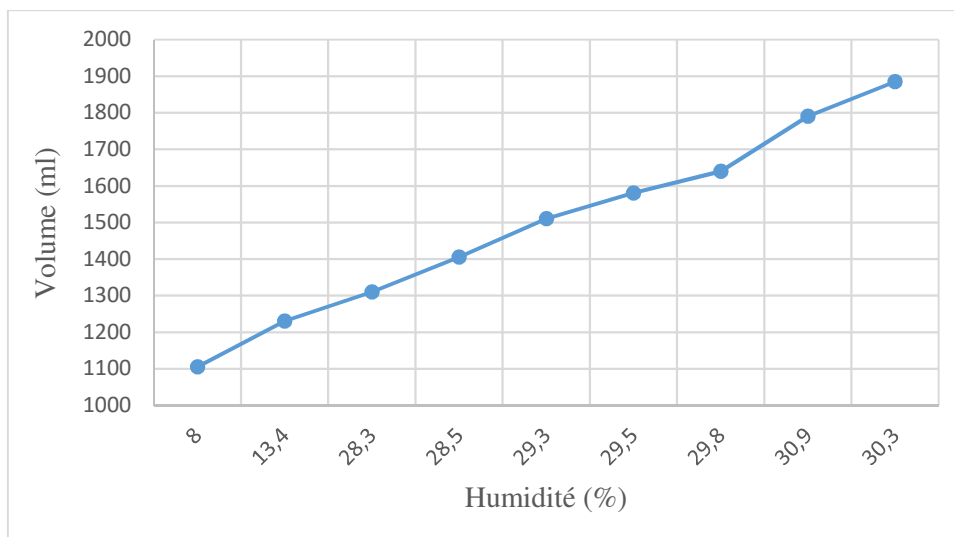


Figure 6.21 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de l'humidité (31 Mai 2018)

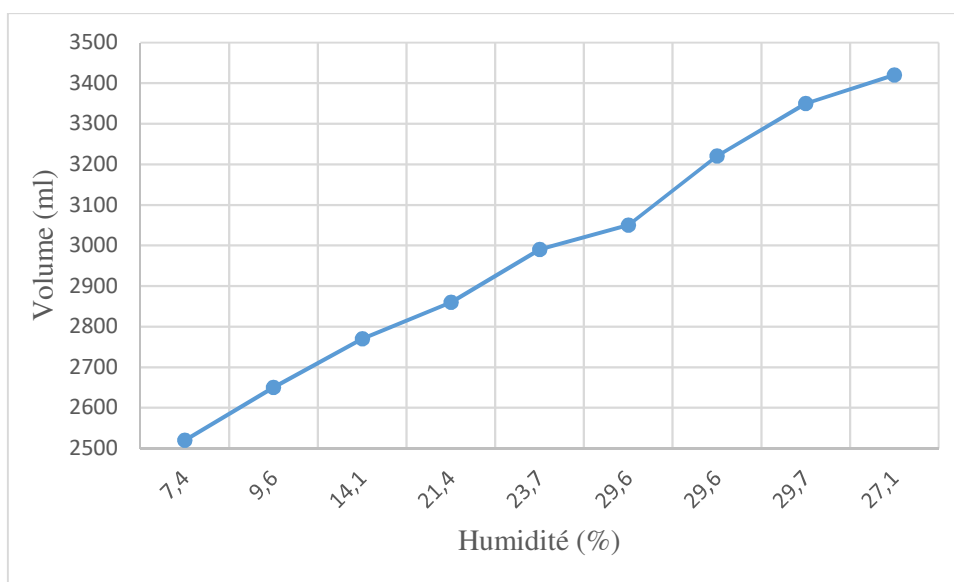


Figure 6.22 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de l'humidité (03 Juin 2018)

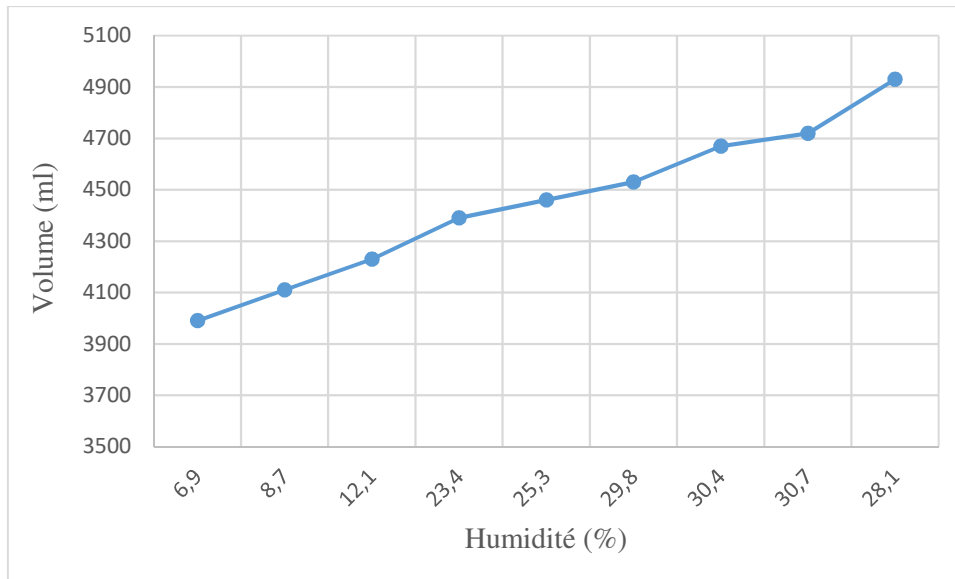


Figure 6.23 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de l'humidité (04 Juin 2018)

Les figures (74, 75, 76, 77) montrent l'évolution du volume des eaux distillées en fonction de l'humidité allant du 30 Mai au 04 Juin 2018.

Il est clair que la variation est linéaire pendant la période de mesure. Nous remarquons tant que l'humidité augmente des gouttes d'eau se forment sur les parois, et glissent pour s'accumuler dans le réservoir du perméat ; pour l'ensemble des courbes nous avons remarqué que la pente des droites atteint les 70% par heure.

6.5.5. VOLUME DISTILLE EN FONCTION DES TEMPERATURES INTERNES

Il est également utile de comparer la variation entre les températures de vapeur en fonction du volume distillé, pour éclairer le lien entre ces deux paramètres. Les variations sont illustrées dans les courbes suivantes :

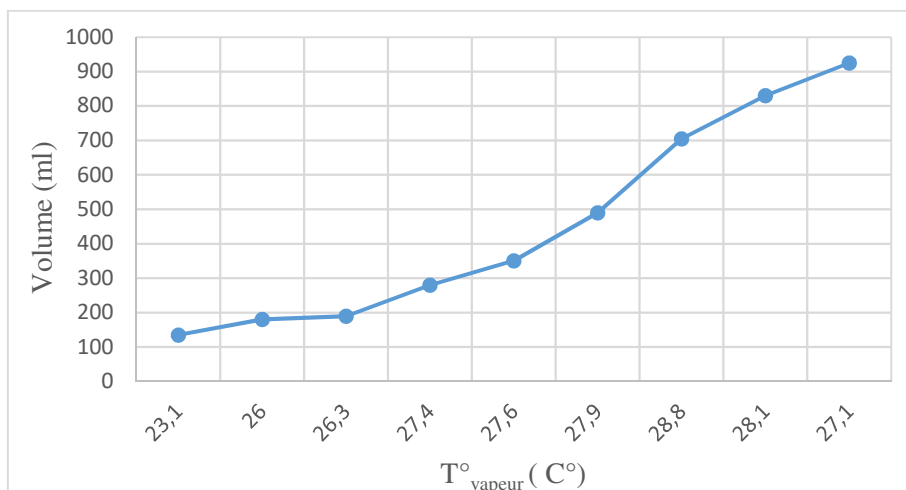


Figure 6.24 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de la température de vapeur (30 Mai 2018)

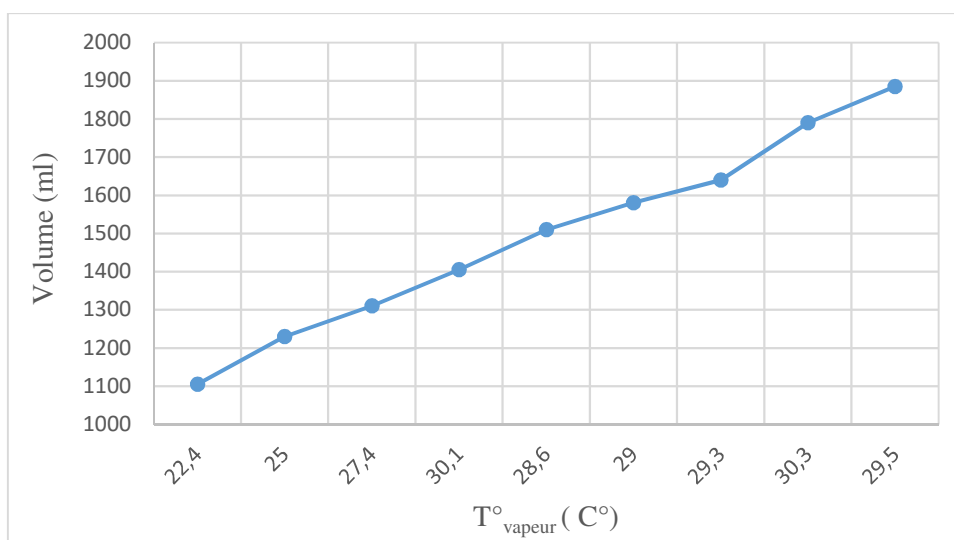


Figure 6.25 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de la température de vapeur (31 Mai 2018)

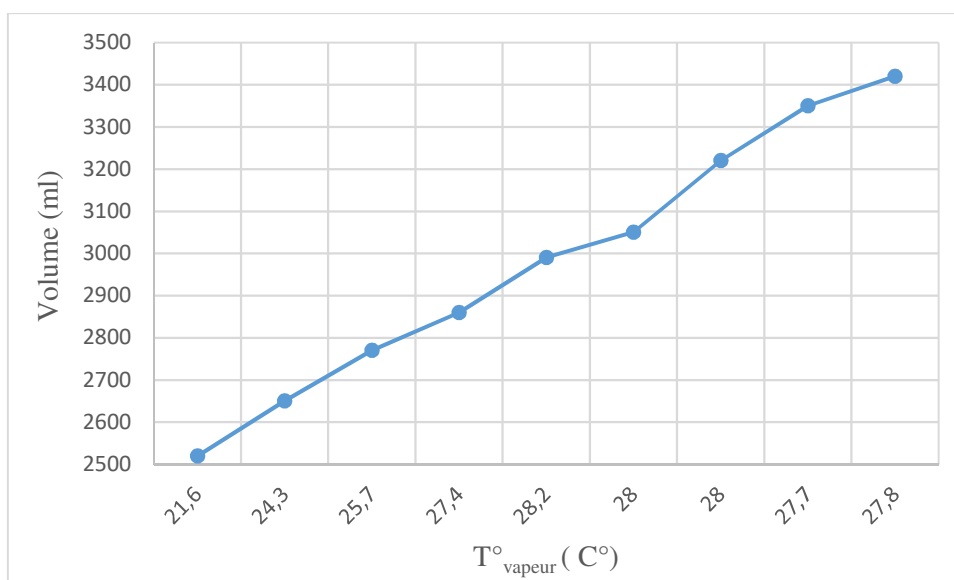


Figure 6.26 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de la température de vapeur (03 Juin 2018)

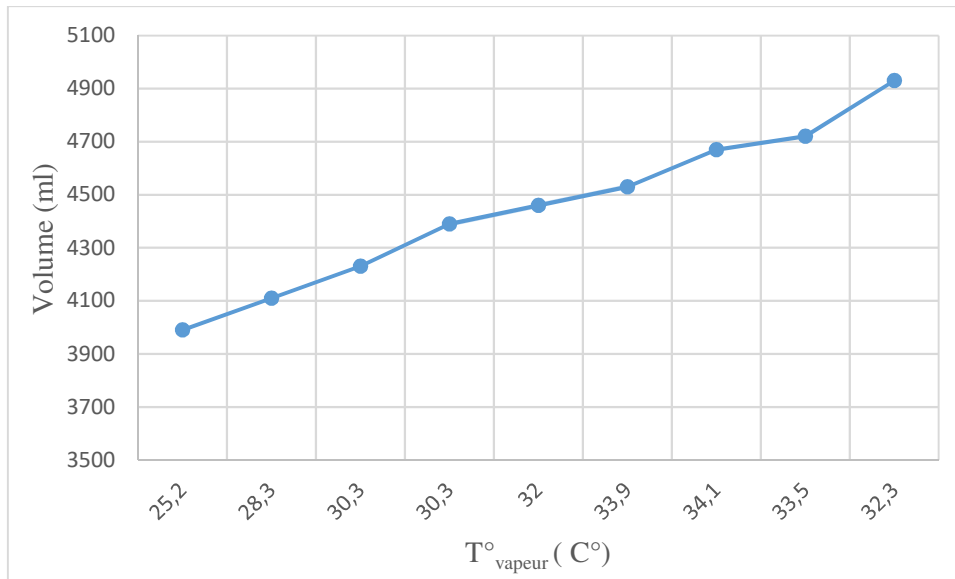


Figure 6.27 : Courbe de cumulation du volume distillé en fonction de la température de vapeur (04 Juin 2018)

Les figures (78, 79, 80, 81) montrent que l'évolution du volume d'eau distillée en fonction de la température de vapeur, pendant la période de mesure, est également linéaire ayant des pentes dépassant les 80%, ce qui explique que la température de vapeur influe sur le volume, tant qu'elle est élevée, plus le volume devient important.

6.6. DISCUSSIONS DES RESULTATS D'ANALYSES DU PERMEAT

Nous avons également procédé à des analyses sur le perméat pour confirmer ou affirmer son degré de salinité et/ou notre distillateur fonctionne adéquatement. Pour cela, nous avons prélevé des échantillons directement de la sortie du distillateur solaire (figure ci-dessous), que nous avons analysé au laboratoire de traitement suivant la même démarche que l'analyse de la salinité de l'eau brute (sauf en considérant une quantité de 100 ml), en plus nous avons mesuré le taux de salinité du cumule journalier.



Figure 6.28 : Prise de l'eau distillée pour analyse

Les résultats obtenus sur les analyses d'eau brute et d'eau distillée montrent que la concentration en sel des eaux distillées est totalement nulle, les valeurs mesurées par le TDS-mètre indique que le taux de sel dans le perméat est entre 181 et 434 ppm, ce qui place notre eau distillée dans la marche des eaux potables.

6.7. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons mis en essais notre prototype, après avoir analysé les eaux de mer dont le résultat de salinité obtenu été de 35 g/l, nous avons procédé à des variations entre les différents paramètres observés le long de la durée d'expérimentation, nous avons constaté que le lien est bien clair entre l'ensemble des températures, l'humidité et le volume distillé, celui-ci augmente en fonction de l'augmentation de la température et l'humidité en cour de la journée.

L'analyse du distillat à bien démontrer que le modèle que nous avons conçu est bien adopté pour distillé les eaux de mer et qui peuvent même être destinée à la consommation domestique comme il a été indiqué par le TDS-mètre.

CHAPITRE 07
ETUDE DE CAS

7.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous avons essayé de concrétiser notre projet de dessalement et l'expérience que nous venons d'aborder sur la réalité.

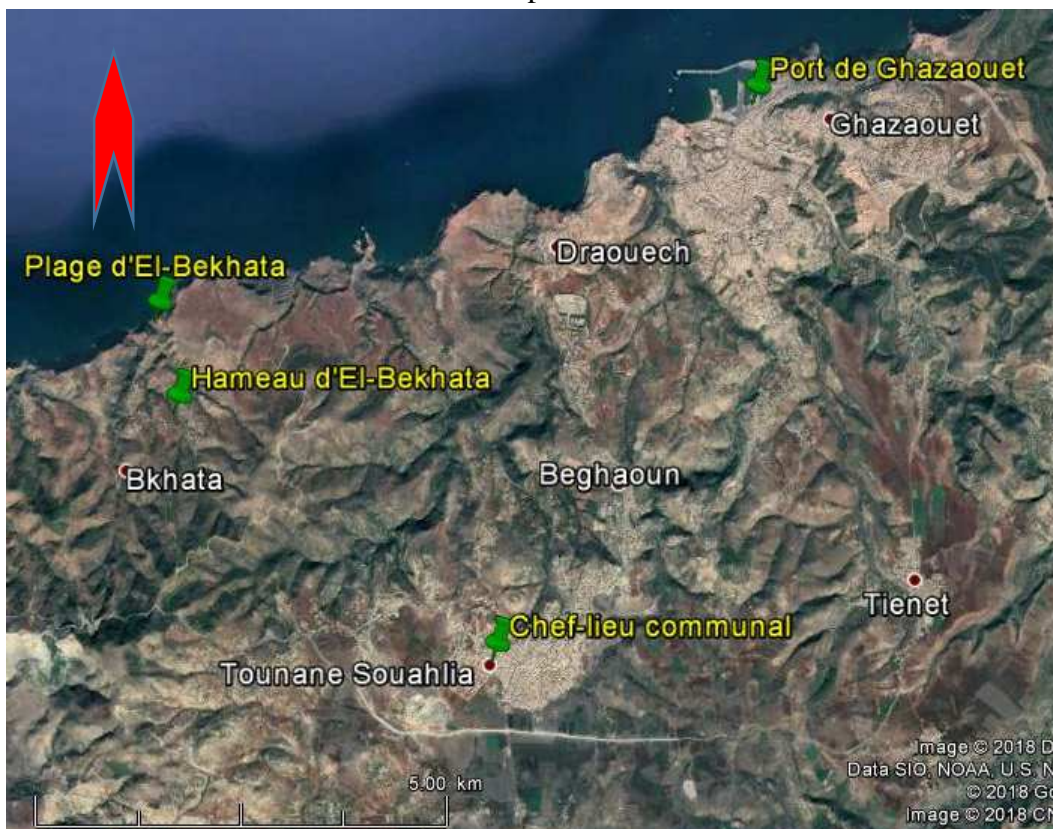
En effet, l'installation d'une petite unité de dessalement des eaux de mer dans certaines plages non alimentées en eau, reste une réflexion intéressante et primordiale pour desservir la population estivale en eau, ainsi que certaines habitations si elles existent.

C'est dans ce contexte que nous avons projeté une petite station de dessalement des eaux de mer par distillation, au niveau de la plage du Hameau d'El-Bekhata, celle-ci elle n'est pas trop visitée en été en plus elle n'est pas desservie en eau, par contre sa population elle est alimentée à partir des sources ayant des goûts salés.

Ceci-dit, l'installation que nous projetons dans ce chapitre, permettra d'alimenter les bornes fontaines le long de la cote de baignade, ainsi que les douchettes et les robinets sanitaires, en plus l'alimentation d'un réservoir pour desservir les différentes habitations du hameau d'El-Bekhata.

7.2. ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE DE LA ZONE CHOISIE

Le hameau d'El-Bekhata est localisé au Nord/Ouest de la Wilaya de Tlemcen, soit à 89 Km à l'Ouest du chef-lieu de la Wilaya, il appartient administrativement aux zones éparses de la commune de Souahlia, il est distant de 9 Km au Nord/Ouest du chef-lieu de la commune Tounane et de 20 Km à l'Ouest du port du Ghazaouet.



**Figure 7.1 : Localisation d'El-Bekhata par rapport à l'appartenance Administrative
(Image satellite GoogleEarth 06/2018)**

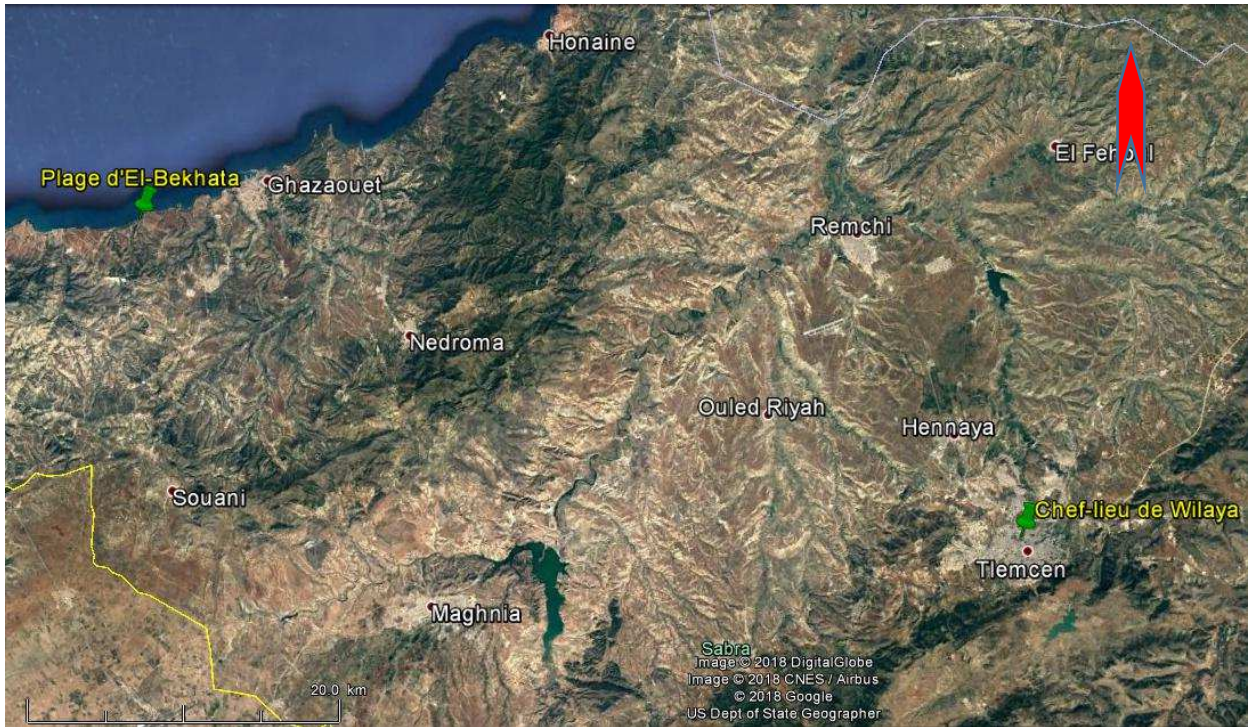


Figure 7.2 : Localisation d’El-Bekhata par rapport au chef-lieu de Wilaya de Tlemcen (Image satellite GoogleEarth 06/2018)

La région d’étude est caractérisée par un climat littoral méditerranéen, froid en hiver et chaud en été, avec une moyenne annuelle de température de 17.10 °C. Les vents dominants sont de direction S et NE, avec des vitesses variantes de 29 à 33 Km/h. Pour les précipitations, la moyenne annuelle des pluies est de l’ordre de 372 mm (Selon la carte pluviométrique de l’Algérie).



Figure 7.3 : Pluviométrie d’El-Bekhata

La région d'étude appartient géologiquement à l'Unité de Souahlia dans les Monts des Traras. C'est un Klippe reposant selon un contact à peu près horizontal sur les marnes du miocène moyen de la région et qui illustre la notion d'allochtone (formation déplacée). Elle se caractérise par une allure très chaotique (désordonné), lui donnant l'aspect de blocs de tailles diverses emballés dans une matrice mylonitisée à blocs plus petits et à complexe triasique représenté ici surtout soit par des amas de « roches vertes », soit par des Ophites avec un métamorphisme toujours très net accompagnant plusieurs phases de déformation.

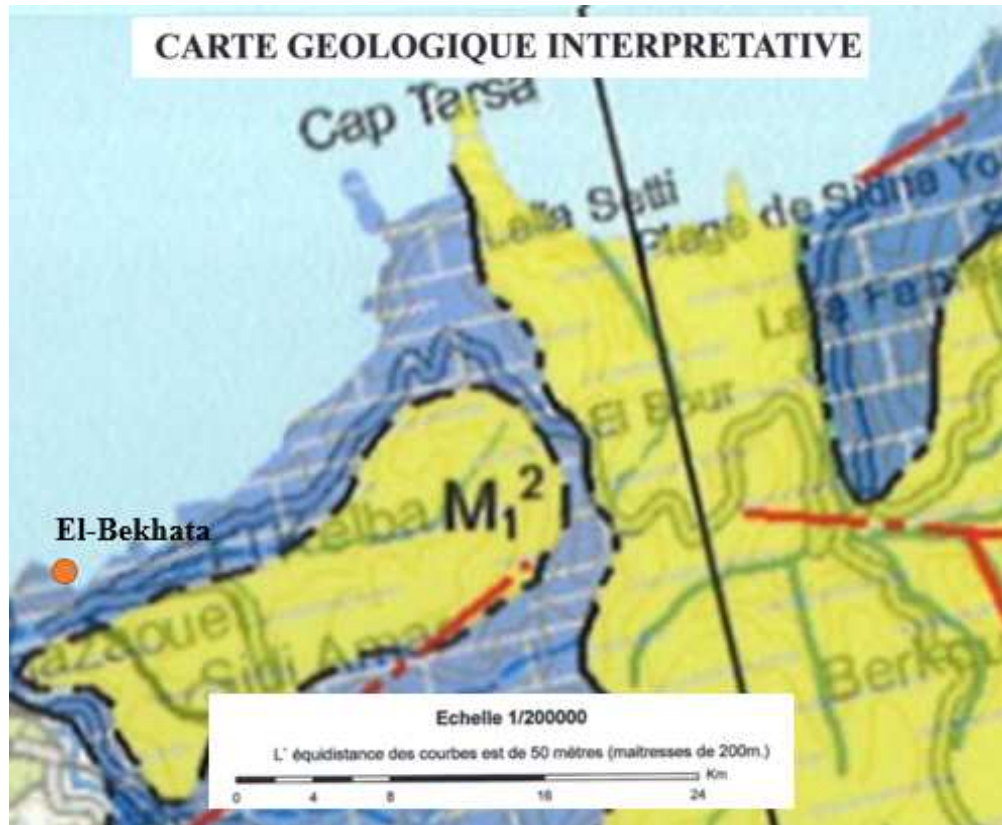


Figure 7.4 : Géologie d'El-Bekhata

L'intérêt de la connaissance du cadre hydrogéologique s'impose pour distinguer les différentes formations géologiques susceptibles de constituer un réservoir souterrain des eaux, ainsi que la qualité de ces eaux en fonction de la roche géologique dans laquelle l'aquifère appartient.

Pour notre région, la géologie et le mode structural ne permet pas à une assez importante accumulation souterraine des eaux de se constituer, en plus le contact géologique avec la mer, ainsi que la formation rocheuse indique que les eaux souterraines de la région sont peu salées.



Figure 7.5 : Hydrogéologie d'El-Bekhata

7.3. ESTIMATION DEMOGRAPHIQUE ET DES BESOINS EN EAU

L'estimation de la population est primordiale pour l'estimation des besoins en eau. Dans notre région il existe deux types de population à alimenter, à savoir :

- ❖ La population d'El-Bekhata, estimé selon le **RGPH 2008** à un nombre de **577 habitants**, avec un taux d'accroissement de **0.7%**. Ainsi, pour un dimensionnement à l'échéance 2050, la population est estimée par la relation suivante :

$$P_{2050} = P_{2008} \times (1 + T_x)^N \quad (7.1)$$

$$P_{2050} = 774 \text{ Habitants}$$

- ❖ La population estivale, estimée à un maximum **250 personne/jour**, vu que la plage n'est pas trop fréquentée.

Ainsi la population totale au niveau d'El-Bekhata est de l'ordre de :

$$P_{2050} = 1024 \text{ Habitants}$$

Les besoins en eau sont calculés sur la base d'une dotation de 100 l/j/hab., par la formule :

$$B = \text{Dot} \times \text{Population} \quad (7.2)$$

Le dimensionnement est basé sur la demande de pointe, calculé par la relation :

$$B_P = K_P \times B \quad (7.3)$$

$$K_P = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{B} \text{ (en l/s)}} \quad (7.4)$$

Nous résumons, l'ensemble des calculs dans le tableau suivant :

Tableau 7.1 : Calcul des besoins en eau

	Population (habitants)	Besoins (l/s)	Coefficient de pointe	Besoins de pointe (l/s)
Bekhata	774	0,90	4,14	3,71
Estivale	250	0,29	6,15	1,78
Total	1024	1,19	/	5,49

7.4. DESCRIPTION DU TISSU URBAIN ET DE LA COTE DE BAINNADE

Le tissu urbain de la zone d'étude est composé de plusieurs domiciles non structurés, en plus d'autres dispersés en espace.



Figure 7.6 : Vu de la structure urbaine du Hameau d'El-Bekhata

Par contre la cote de baignade est large, elle n'est dotée d'aucune habitation, elle constitue un choix idéal pour la projection d'une installation de distillation des eaux de mer.



Figure 7.7 : Vu de la cote de baignade

7.5. CONCEPTION DU PROJET DE DISTILLATION

Nous avons au niveau de cette cote de baignade d'El-Bekhata projeté une mini station de distillation des eaux de mer, ayant une capacité permettant l'alimentation en eau des populations d'El-Bekhata et estivale.

Cette station est équipée de plusieurs organes, en l'occurrence :

- ❖ Ouvrage de captage des eaux de mer ;
- ❖ Bassin de réception des eaux ;
- ❖ Prisme de distillation ;
- ❖ Caniveaux de récupération ;
- ❖ Chambre de filtration ;
- ❖ Bassin de stockage des eaux traitées ;
- ❖ Installation des panneaux photovoltaïques
- ❖ Refoulement vers les bornes fontaines, robinets sanitaires ;
- ❖ Refoulement vers réservoir de stockage.

7.5.1. SYSTEME DE CAPTAGE DES EAUX DE MER

La prise en mer est une crépine fixée de façon verticale par piliers en acier inoxydable sur la conduite de prise sous mer en diamètre 200 mm en PEHD, PN 16.

Cette conduite de 50 ml, est fixée par des plots en béton armée sous la mer, elle achemine les eaux de mer de façon gravitaire au bassin de réception des eaux.

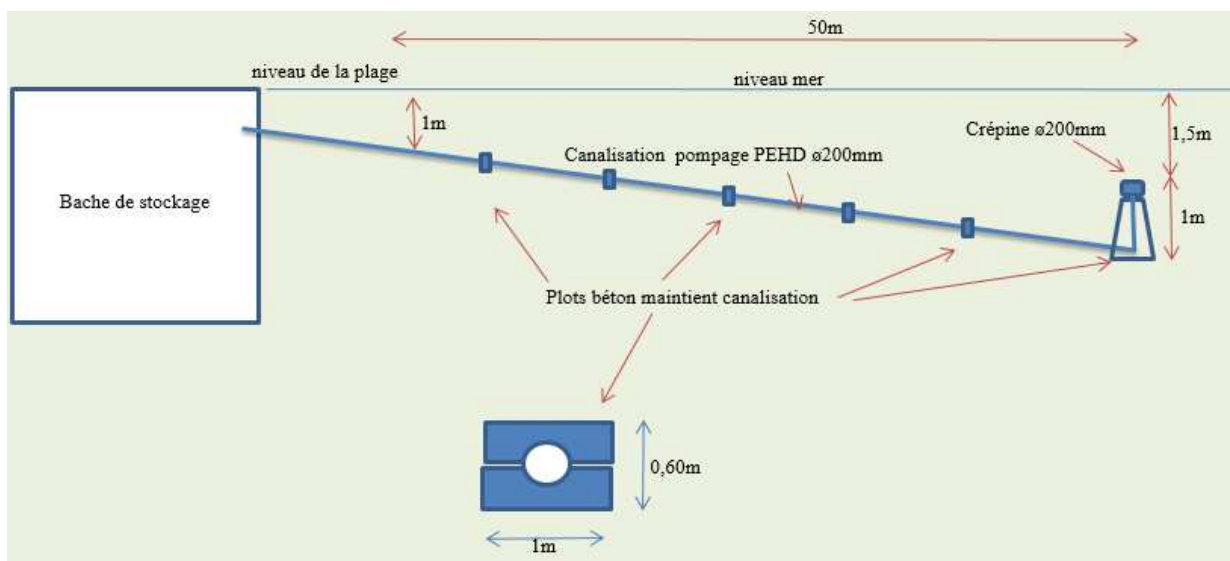


Figure 7.8 : Vu du captage des eaux de mer

7.5.2. OUVRAGE DE DISTILLATION

L'ouvrage de distillation est composé d'une bache de réception sur laquelle est monté le prisme en verre de distillation, à l'extrémité de la bache des caniveaux véhiculant les eaux distillées vers le poste de traitement.

La capacité de la bache est dimensionnée pour l'alimentation journalière de la population égale à :

$$V_B = B \times \text{temps d'une journée} \quad (7.5)$$

On considère ainsi un volume de bache de :

$$V_B = 120 \text{ m}^3$$

Pour une meilleure distillation nous avons opté pour une bache carrée, semi-enterrée, de petite profondeur de 3 m, avec une largeur de 6,5 m.

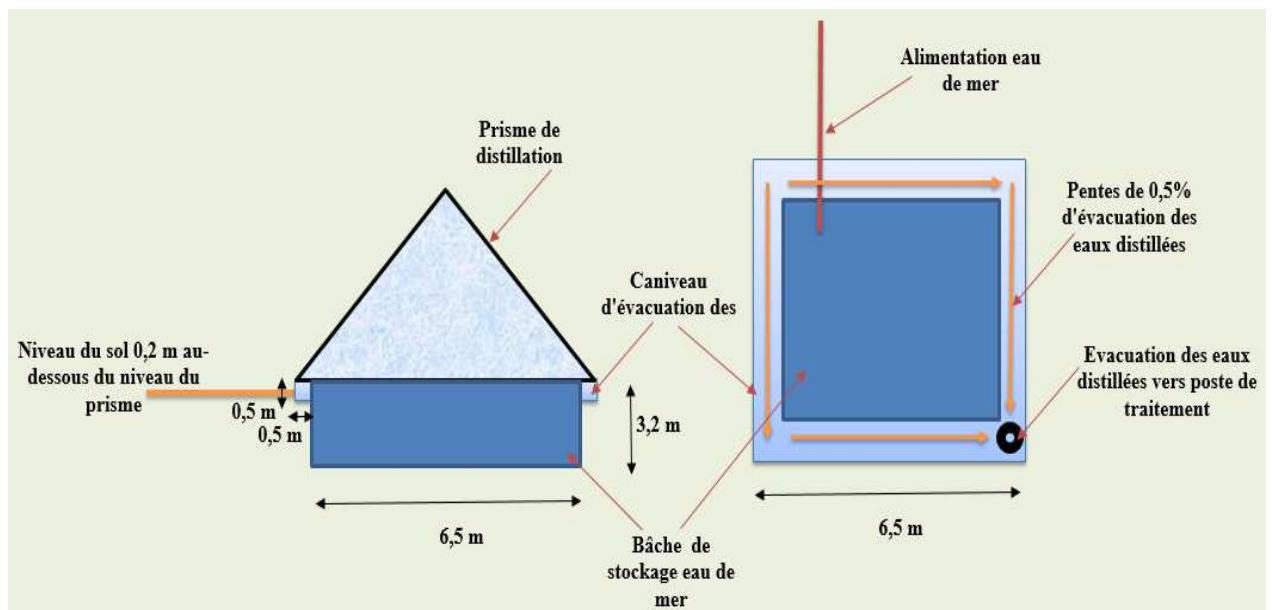


Figure 7.9 : Vue en coupe de l'ouvrage de distillation

7.5.3. POSTE DE TRAITEMENT ET STOCKAGE EAU TRAITEE

Les eaux récupérées de l'ouvrage de distillation sont transmises vers un poste de traitement composé de :

- ❖ Deux tamiseurs, un à mailles grossières et l'autre à mailles fines, pour l'élimination des particules fines véhiculées par l'eau ;
- ❖ Un bac de déchets, pour accueillir les particules décantées dans le bassin à tamis, le pompage se fait par des pompes fonctionnant à l'aide des panneaux photovoltaïques ;
- ❖ Une filtration sur filtre de sable ;
- ❖ Une clarification par filtration à travers un filtre à charbon ;
- ❖ Une désinfection au chlore par une pompe doseuse fournissant du chlore en fonction du débit, la pompe doseuse fonctionne par le biais de panneaux photovoltaïques ;
- ❖ Stockage des eaux traitées, dans un réservoir enterré de forme rectangulaire, de 120 m³ de capacité, avec une profondeur de 4 m, une largeur de 5 m et une longueur de 6 m.

Les différentes dimensions des ouvrages du poste de traitement sont illustrées dans la figure ci-dessous.

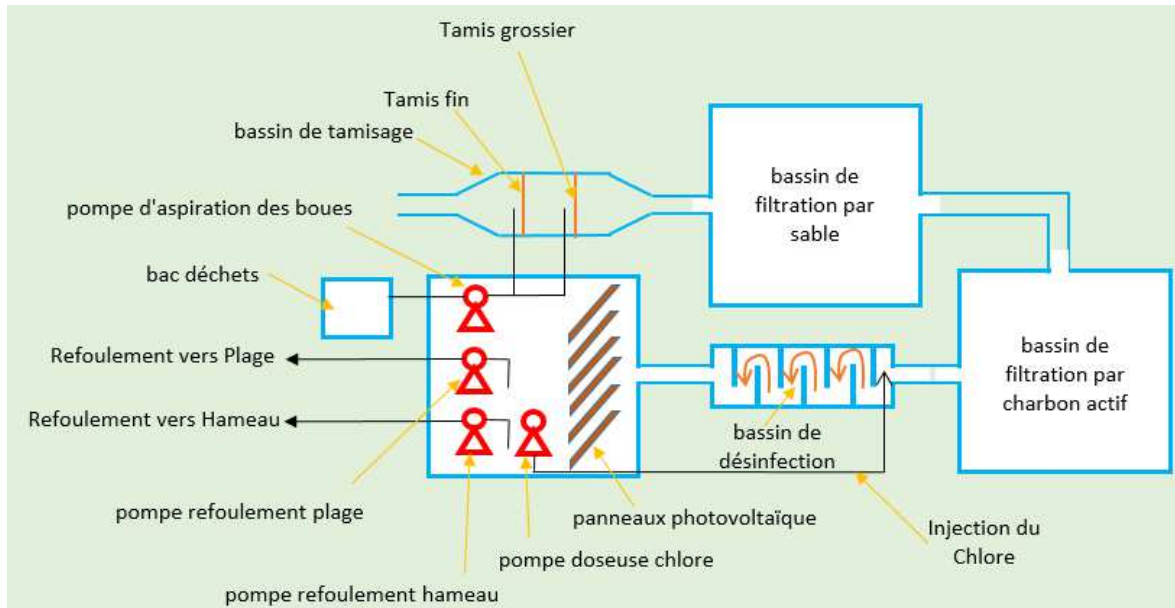


Figure 7.10 : Vue en plan de l'ouvrage de distillation

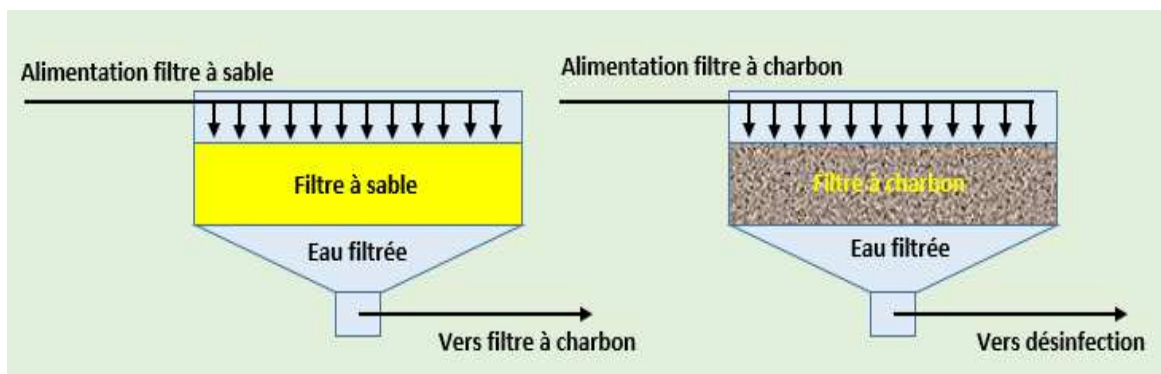


Figure 7.11 : Vue en coupe des ouvrages de filtration

7.5.4. STATION DE POMPAGE ET DE DEVELOPPEMENT

Le réservoir de stockage des eaux traitées est surélevé par une station de pompage, composée de quatre (04) pompes :

- ❖ Une pompe pour l'aspiration des boues décantées ;
- ❖ Deux pompes pour l'alimentation de la population estivale et le hameau d'El-Bekhata ;
- ❖ Une pompe doseuse du chlore ;
- ❖ En plus, à chaque catégorie du pompage, nous ajoutons une pompe de secour ;
- ❖ L'ensemble des pompes sont alimentées électriquement par des panneaux solaires.

La figure ci-dessous illustre le schéma de la station de pompage.

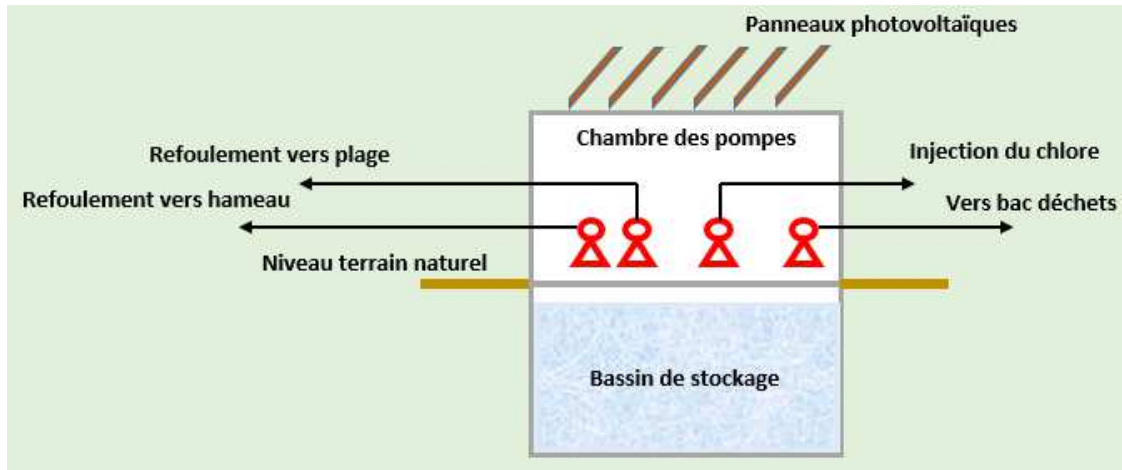


Figure 7.12 : Vue en coupe du bassin de stockage et station de pompage

7.5.5. DIMENSIONNEMENT DES CANALISATIONS ET DES POMPES

Le refoulement concerne deux parties, à savoir :

- ❖ Le refoulement vers la bêche de la plage, alimentant les bornes, les douchettes et les robinets sanitaires disposés dans les rives gauches et droite de la plage ainsi qu'au milieu de la plage.
- ❖ Le refoulement vers le réservoir d'eau du village d'El-Bekhata.

7.5.5.1. REFOULEMENT VERS LA BÊCHE DE LA PLAGE

La bêche alimentant les bornes, les douchettes et les robinets sanitaires sont installés à la cote de 8.2 m (comme mentionné dans la figure), elle est enterrée et la charge à l'entrée est de 0.5 m.



Figure 7.13 : Cote terrain naturel de positionnement de la bêche-plage

La bâche à une forme carrée, elle a une capacité de stockage de 25 m³, sa profondeur est de 3 m, et sa largeur est de 3 m.

Le dispositif de pompage est localisé à la cote de 1.6 m. Le diamètre de refoulement est calculé par la relation de Bress :

$$Q = 1.5 \times \sqrt{Q} \quad (7.6)$$

Avec Q étant les besoins en eau de pointe pour la population estivale.

La puissance de la pompe de refoulement est déterminée par la relation :

$$P = \frac{\rho g H Q}{\eta} \quad (7.7)$$

Avec :

ρ : masse volumique = 1000 Kg/m³ ;

g : gravité de la pesanteur = 9.81 m/s² ;

H : hauteur manométrique totale (m) :

$$H = H_g + \Delta H \quad (7.8)$$

H_g : hauteur géométrique (m) :

$$H_g = C_1 - C_0 \quad (7.9)$$

C_0 : cote de refoulement = 1.6 m dans notre cas ;

C_1 : cote d'alimentation (m) :

$$C_1 = CTN_B + \text{Charge à l'entrée} \quad (7.10)$$

CTN_B : cote terrain naturel de la bâche (m) ;

ΔH : perte de charge (m) :

$$\Delta H = \lambda \frac{V^2}{2 g D_{int}} L \quad (7.11)$$

λ : coefficient de perte de charge de Coolbrook = 0.004 (dans notre cas pour le PEHD) ;

V : vitesse d'écoulement :

$$V = \frac{4 Q}{\pi D_{int}^2} \quad (7.12)$$

L : longueur de la conduite = 50 m dans notre cas ;

η : rendement de la pompe = 60% dans notre cas (alimentation par photovoltaïques).

Nous résumons les calculs dans le tableau suivant :

Tableau 7.2 : Dimensionnement de la conduite de refoulement et de la pompe

Q		D			V bâche	L	C ₀	CTN	Charge	C ₁	λ	V	DH	Hg	H	η	P
(l/s)	(m ³ /s)	Cal.	Norm.	Int.	m ³	(ml)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m/s)	(m)	(m)	(m)	%	Watt
1,78	0,0018	0,063	DN90	67,20	25,00	50,00	1,60	8,20	0,50	8,70	0,004	0,50	0,04	7,10	7,14	0,60	207,60

Ainsi nous avons besoin d'une canalisation de refoulement de **DN90 mm**, une pompe de puissance d'environ **250 Watt**, et nous aurons ainsi besoin de panneaux photovoltaïques de **250 Watts**.

7.5.5.2. REFOULEMENT VERS LE RESERVOIR DU HAMEAU D'EL-BEKHATA

Le réservoir alimentant le village d'El-Bekhata est installée à la cote de 212.3 m, sa hauteur est de 4 m, elle est sur sol et la charge à l'entrée est de 0.5 m.



Figure 7.14 : Positionnement du réservoir 100 m³ d'El-Bekhata

Le réservoir à une forme carrée, il a une capacité de stockage de 100 m³, sa profondeur est de 4.8 m, et sa largeur est de 5 m.

En utilisant le débit de pointe alimentant la population d'El-Bekhata, nous résumons les calculs dans le tableau suivant :

Tableau 7.3 : Dimensionnement de la conduite de refoulement et de la pompe

Q		D			V bâche	L	C ₀	CTN	Charge	C ₁	λ	V	ΔH	H _g	H	η	P
(l/s)	(m ³ /s)	Cal.	Norm.	Int.	m ³	(ml)	(m)	(m)	(m)	(m)		(m/s)	(m)	(m)	(l/s)	(m ³ /s)	Cal.
3,71	0,0037	0,091	150	106	100,00	4000	1,6	215,8	0,5	216,3	0,004	0,42	1,36	214,70	216,06	0,60	13106

Ainsi nous avons besoin d'une canalisation de refoulement de **DN150 mm**, une pompe de puissance d'environ **13.5 KW**, et nous aurons ainsi besoin de panneaux photovoltaïques de **13.5 KW**.

7.6. SYNTHÈSE

Dans ce chapitre nous avons essayé d'appliquer notre expérience de distillation solaire sur un cas réel, en utilisant le modèle que nous avons conçu en grande échelle.

Notre choix a été sur la plage et le hameau d'El-Bekhata, au Nord/Ouest de la commune de Tounane/Souahlia, en vue qu'elle présente les meilleures conditions de l'installation d'une usine de distillation solaire.

En effet, l'étude du milieu physique a clarifiée que la population manque d'eau de qualité et en quantité satisfaisant les besoins, alors que la plage est dépourvue des fontaines et des eaux destinées aux douchettes et aux robinets sanitaires.

En plus, le site est très favorable pour la projection d'un système de distillation, vu l'espace adéquat pour le projet.

Ainsi, l'ouvrage que nous avons conçu est composé de plusieurs organes, à savoir, le distillateur solaire, le poste de traitement, la station de production ainsi que les adductions vers la bache d'alimentation au niveau de la plage et le réservoir desservant la population du village.

La figure suivante est une vue d'ensemble de l'installation de notre projet de distillation solaire, au niveau la plage d'El-Bekhata.



Figure 7.15 : Vue d'ensemble de l'installation du projet sur plage d'El-Bekhata

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

Dans cette étude nous sommes intéressés à l'alimentation en eau potable par distillation solaire des eaux de mer. Pour y arriver, nous avons balayé plusieurs références bibliographiques traitant différentes études théoriques et pratiques sur les techniques de dessalement et l'application de l'énergie solaire pour le traitement des eaux de mer.

Nous sommes ainsi focalisés dans ce travail sur un des procédés de traitement les plus simples, en l'occurrence, la distillation par rayonnement solaire.

Pour mieux comprendre ce phénomène de distillation solaire nous avons jugé utile de concevoir un modèle réduit de distillation solaire, sur laquelle des différentes analyses et mesures peuvent être effectués.

Ainsi, nous avons composé cette étude en quatre parties pratiques principales, à savoir, la conception du prototype de distillation, essais et mesures sur le prototype conçu, analyses au laboratoire et discussion des résultats, enfin étude d'un cas réel de distillation solaire sur la base des résultats obtenus.

Après consultation de plusieurs références et publications, nous avons constaté qu'un distillateur solaire prismatique peu fournir les meilleurs résultats, sur ce fait nous avons mis au point une maquette d'un prototype prismatique composé de trois compartiments essentiels.

Le premier compartiment que nous avons réalisé est le prisme en verre, il est l'élément le plus important du prototype, nous l'avons conçu sous forme d'une pyramide à base carrée pour qu'il absorbe le maximum d'énergie solaire quelque soit la direction du soleil. Dans sa partie inférieure nous l'avons doté de vitres orienté vers l'intérieure pour augmenter la réflexion du rayonnement solaire dans le bac à saumure. Nous avons également mis au point un dispositif d'accueil de la saumure et de réception du distillat, ainsi que celui permettant l'installation des outils de mesures.

La deuxième partie du modèle est la table dite élévatrice, sur laquelle se pose le prisme de distillation, mais également celle-ci nous l'avons conçu pour permettre au bac contenant la saumure à coulisser à l'aide d'un levier vers l'intérieur et l'extérieur du prisme avec un système de blocage avec la table une fois la base du bac atteint la limite inférieure du prisme, ce système permettra l'entretien et le contrôle du bac sans toucher au prisme. En fait, le bac a une forme carrée, que nous avons fabriqué en acier noir afin d'absorber le maximum du rayonnement solaire, et isoler de l'extérieure par du polyester pour assurer son isolation thermique et conserver la chaleur à l'intérieure, quand-au volume maximal que peut accueillir ce bac est de 30 l.

La troisième, très importante partie du prototype, concerne les différents outils de mesure, il s'agit d'un ensemble de capteurs et sondes électroniques, que nous avons installé sur le prototype pour effectuer principalement les mesures de l'humidité du prisme et des différentes températures (air, saumure, vapeur). Ces composants de mesure nous les avons calés par des résistances et amplificateurs tous raccordés sur une table électronique pour transmettent les données à la carte arduino uno, elle-même est placé sur la table, celle-ci permet suivant le programme informatique que nous avons établi d'afficher les valeurs mesurées sur un écran LCD ou les transmettre à un ordinateur sous forme de base de données.

Notre projet expérimental de distillation nous l'avons placé au niveau de la terrasse des laboratoires de la faculté de technologie de l'université de Tlemcen, sur lequel nous avons effectué entre le 14 Mai et le 04 Juin 2018 les différentes mesures de température et de l'humidité.

En effet, nous avons pris des échantillons des eaux de mer, que nous avons au départ analysé la salinité au laboratoire de traitement des eaux, dont la valeur a été de 35 g/l, nous avons par la suite rempli le bac de notre distillateur par près 20 l d'eau et nous avons durant toute la période des essais effectué des mesures horaires des températures et de l'humidité interne du prisme.

Nous avons constaté que les températures et l'humidité sont maximales entre midi et 16h, que la variation des températures du bac est de la vapeur interne du prisme sont pratiquement identiques, ils ont la même allure de la variation horaire de la température externe de l'air, que l'humidité varie suivant la variation des températures, celle-ci est également à son maximum entre midi et 16h, dont la brume est visiblement claire dans le prisme avec la formation des gouttes d'eau distillées sur ces parois, ce qui donne en chaque heure un nouveau volume d'eau distillé.

L'analyse au laboratoire de la salinité du distillat montre que ce dernier est complètement exempt de salinité, ce qui a été confirmé par l'analyse du taux de salinité (TDS) sur différents échantillons du perméat, qui indique que notre eau distillée peut être propre à la consommation. Ceci dit, le modèle que nous avons réalisé a démontré son rendement important que dans un temps réduit de mesure et sous un climat pas très ensoleillé.

Sur la base des résultats que nous avons obtenus, nous avons décidé d'enrichir notre travail par la projection d'un projet d'engineering ayant pour but de distiller es eaux de mer pour alimenter une population estivale ainsi que certaines habitations.

Pour cela, notre choix a été sur la région d'El-Bekhata que l'analyse de son milieu physique a bien indiqué qu'elle présente un lieu favorable pour ce type de projets. Ainsi, nous avons mis en place une micro installation de distillation solaire relié à un poste de traitement par filtration sur sable et charbon actif, ainsi qu'un petit ouvrage de désinfection, cette station alimente par refoulement une bêche d'eau de 25 m³ permettant l'alimentation des bornes fontaines, des douchettes et des robinets sanitaires de la population estivale de la plage, en plus l'alimentation du réservoir du hameau d'El-Bekhata d'une capacité de 100 m³. L'ensemble des équipements électromécaniques fonctionnent à l'aide de l'énergie solaire en utilisant des panneaux photovoltaïques.

Enfin, notre projet a deux volets, en l'occurrence, un volet de recherche sur le phénomène de distillation solaire des eaux de mer et saumâtres, dont le modèle que nous avons conçu constitue un banc expérimentale adéquat et favorable pour les différentes expériences expérimentales. D'un autre côté, un volet engineering, où l'emplacement de ce type de projet dans certaines plages reste un investissement économique très rentable pour la population autour de ces plages ou la population estivale.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] : D.W. Johnson, J.L. Lott, C.M. Sliepcevich, The exchange crystallization freeze desalination process, *Desalination*, 18 (1976) 231-240
- [2] : C. Y. Cheng, W. C. Cheng et M. D. Yang, The vacuum freezing multiple phase transformation process, *Desalination*, 67 (1987) 139-153
- [3] : J.H. Fraser, Absorption freezing vapor compression – process selection, pilot plant design, process economics, *Desalination*, 33 (1980) 85-98
- [4] : J.B. Maguire, Fresh water from the sea, A new process, *Desalination*, 67 (1987) 155-162.
- [5] : H. M. Curran, water desalination by indirect freezing, *desalination*, 7 (1970) 273-284.
- [6] : CORBASSON Cécile, PONCERY Anaïs, CACHARD Sophie. "La désalinisation de l'eau de mer (électrodialyse)" dans *Exposés : Les applications de l'électrolyse sur le site La 3ème9 : une classe à projet scientifique*. visité avril 2018
- [7] : BECHKI D. (2011). Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes. Doctorat en sciences en génie mécanique. Université Hadj lakhdar Batna.
- [8] : FIDALI S. (2007). Modélisation et conception d'un distillateur pour les communautés rurales. Magister en mécanique. Option : énergétique, département de mécanique .Université de Batna.
- [9] : A. Maurel, « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres et autres Procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce » 2e édition, *Technique et documentation*. Paris. 232p
- [10] : P. Danis. Dessalement de l'eau de mer. *Techniques de l'Ingénieur*, J 2700. Juin 2003.
- [11] : Production adduction d'eau potable, usine de dessalement. hmf.enseeiht.fr, BEI ERE 2009 - 2010, consulté le 02/03/2018
- [12] : BANDELIER Philippe (Le dessalement d'eau de mer et des eaux saumâtres) Janvier 2017
- [13] : expériences de Laboceano, Laboratoire brésilien de technologie océanique : laboceano.coppe. [Consulté en avril 2018] (
- [14] : Beals, D. et D. Hutchinson (1993). *Environmental Impacts of Alternative Electricity Generation Technologies: Final Report*. Beals and Associates, Guelph, Ontario, Canada, 151 p. Jacobson, M.Z. (2009).
- [15] : (Guillaume Deguy, « Etude et conception d'un système de climatisation utilisant le rayonnement solaire », mémoire d'ingénieur, Université de Lubumbashi, 2004.
- [16] : Yves Jannot .*Thermique solaire*. Paris (2011).
- [17] : (Michel Daguénet, *les séchoirs solaires : théorie et pratique*, unesco 1985)

- [18] : http://fr.ekopedia.org/wiki/Dessaleur_solaire. "Dessaleur Solaire", Licence Art Libre V1.2., 2006.
- [19] : Benhammou Mohammed1, Mougat Houcine1 et Marif Yacine Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, Centre de Développement des Energies Renouvelables, BP. 478, Route de Reganne, Adrar, Algérie, en ligne 22-05-2013
- [20] : document Annuaire de la filière française de la solaire thermodynamique 2011 visité le 12/03/2018
- [21] : DOCUMENT directory of the french solar thermodynamic industry, 2011 visité le 12/03/2018
- [22] : Alain Maurel. "Dessalement de l'Eau de Mer et des Eaux Saumâtres", Technique & Documentation, Paris, France, 226 p. 2001.
- [23] : document Le Dessalement Solaire - Considérations Techniques A. Sadi Centre de Développement des Energies Renouvelables, B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger 2000 visité 22/03/2018
- [24]: www.itdg.org/docs/technical_information_service/solar_distillation. "Solar Distillation", Intermediate Technology Development Group, 2006. Visité le 29/03/2018
- [25] : Eduardo Zarza Moya, www.gem.es/MATERIEL/DOCU " Dessalement de l'Eau au Moyen d'Energie ", CIEMAT- Plateforme Solaire D'Almeria, 2006.
- [26] : R. RAHMANI, « Rendement d'un distillateur solaire à film capillaire à plusieurs étages, effet de certains paramètres thermo physiques sur le rendement », Mémoire magister, Université Mentouri de Constantine, 2007.
- [27] : M.R Yaïche1 et S.M.A Bekkouche2 » Estimation du rayonnement solaire global en Algérie pour différents types de ciel » Revue des Energies Renouvelables Vol. 13 N°4 (2010) 683 – 69525 Décembre 2010
- [28] : N. BOUKERZAZA, A. CHAKER et Z. HADDAD, « Influence de l'irradiation globale sur les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire ».

RESULME

Dans cette étude nous sommes intéressés à l'alimentation en eau potable par dessalement des eaux de mer, en se focalisant sur un des procédés de traitement les plus simples, en l'occurrence, la distillation par rayonnement solaire.

Ainsi, la présente étude est composée en quatre parties pratiques principales, à savoir, la conception d'un modèle de distillation, essais et mesures sur le prototype conçu, analyses au laboratoire et discussion des résultats, enfin étude d'un cas réel de distillation solaire sur la base des résultats obtenus.

Les différentes mesures et analyses effectuées ont démontré que le prototype conçu est adéquat à la distillation des saumures, le taux de salinité analysé indique que l'eau distillée est bonne pour la consommation domestique.

En plus, ce travail comprend une partie engineering de dimensionnement, concernant la projection d'une station de distillation avec poste de traitement monobloc, permettant de distiller l'eau directement captée de la mer, au niveau de la région d'El-Bekhata, pour l'alimentation en eau la population estivale de cette plage, ainsi que le hameau d'El-Bekhata.

Mots clefs : distillation solaire, prototype de distillation, analyses des eaux distillées, dimensionnement, alimentation en eau d'El-Bekhata.

ABSTRACT

In this study we are interested in the supply of drinking water by desalination of seawater, focusing on one of the simplest treatment processes, in this case, solar distillation

Thus, the present study is composed of four main practical parts, namely, the design of a distillation model, tests and measurements on the prototype designed, laboratory analyzes and discussion of the results, finally study of a real case of solar distillation on the basis of the results obtained.

The various measurements and analyzes carried out have demonstrated that the designed prototype is suitable for brine distillation, the analyzed salinity indicates that distilled water is good for domestic consumption.

In addition, this work includes a dimensioning engineering part, concerning the projection of a distillation station with monobloc treatment station, allowing to distil the water directly captured from the sea, in the region of El-Bekhata, for the water supply the summer population of this beach, as well as the hamlet of El-Bekhata.

Key words : solar distillation, distillation prototype, distilled water analysis, sizing, El-Bekhata water supply.

ملخص

تهتم هذه الدراسة بطرق إمداد مياه الشرب بواسطة تحلية مياه البحر، مع التركيز على واحدة من أبسط عمليات المعالجة، في هذه الحالة، التقطير الشمسي.

وهكذا، يتكون هذا العمل من أربعة أجزاء رئيسية، وهي تصميم نموذج للتقطير الشمسي لمياه البحر مع إجراء اختبارات وقياسات على النموذج المصمم وتحاليل مخبرية ومناقشة النتائج المتحصل عليها، وأخيراً دراسة حالة حقيقية للتقطير بالطاقة الشمسية على أساس النتائج التي تم الحصول عليها.

وقد أظهرت مختلف القياسات والتحليلات التي أجريت أن النموذج المصمم مناسب لتقطير مياه البحر، وتشير الملوحة التي تم تحليلها إلى أن الماء المقطر مفيد للاستهلاك المحلي.

بالإضافة إلى ذلك، يتضمن هذا العمل جزءاً هندسياً، يتعلق بتخطيط محطة التقطير مياه بحر منطقة البخاتة ومعالجتها، مما يسمح بإمداد المصطافين بهذا الشاطئ، فضلاً عن قرية البخات بالمياه المحلاة.

Ⓜ **كلمات مفتاحية :** التقطير الشمسي، نموذج التقطير، تحليل الماء المقطر، التخطيط، تزويد البخاتة بالمياه.