REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Yahia Farés Médéa
Faculté de technologie
Département de génie mécanique



Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de Master en
Génie mécanique
Spécialité énergies renouvelables en mécanique

Thème :

Etude et simulation d'un distillateur solaire simple En utilisant les réseaux de neurones artificiels

Présenté par :

Mr. BOUKHARI Hamza

Mr. BRAIK Amine

Dirigé par

Dr. CHIBA Younes

Promotion : 2017-2018



Remerciements :

En premier lieu, nous remercions notre **DIEU**, notre Créateur pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.

Nous tenons à notifier un remerciement spécial à tous nos enseignants du Département de Technologie qui ont contribué à notre formation de master, en particulier, notre encadreur pédagogique :

Dr. CHIBA Younes

Qu'ils trouvent ici toute notre gratitude et reconnaissance pour leur aide, leur encadrement dont nous avons bénéficié durant toute notre scolarité.

Enfin nos remerciements vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour l'aboutissement à la réalisation de ce travail.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

A mes parents . Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que dieu leur procure bonne santé et longue vie. A tous mes frères et mes sœurs,

Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagnaient durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, collègues d'étude, et frères de cœur.

Nomenclature

Introduction générale……1

Chapitre I : Gisement solaire et Thermique solaire

I - INTRODUCTION 1
I - 1 - LE SOLEIL 1
I - 2 - ASPECTS GEOMETRIQUES DU RAYONNEMENT SOLAIRE 2
I - 3 - MOUVEMENTS DE LA TERRE 2
I - 3 - 1 - Les coordonnées célestes 3
I -3 -1 - 1 - Les coordonnées géographiques 3
I -3 -1 - 2 - Les coordonnées horaires 4
I -3 -1 - 3 - Les coordonnées horizontales 4
I - 3 - 2 - Les temps solaires 5
I -3 -2 - 1 - Le temps solaire vrai (T.S.V) 5
I -3 -2 - 2 - Le temps solaire moyen (T.S.M) 5
I -3 -2 - 3 - Le temps universel (T.U) 5
I -3 -2 - 4 - Le temps légal (TL) 5
I - 3 - 3 - Direction des rayons solaires 6
I - 4 - ASPECTS ENERGETIQUES DU RAYONNEMENT SOLAIRE 8
I - 4 - 1 - L'atmosphère terrestre 8
I - 4 - 2 - Rayonnement du ciel et de l'atmosphère 9
I - 4 - 3 - Rayonnement solaire au sol 10
I -4 -3 - 1 - Rayonnement direct 10
I -4 -3 - 2 - Rayonnement diffus 11
I -4 -3 - 3 - Rayonnement global 11
I - 5 - L'ALBEDO 12

Chapitre II : la distillation solaire

II - INTRODUCTION 15
II - 1 - DEFINITION 15
II - 2 - PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT 15
II - 3 - TYPES DE DISTILLATION SOLAIRE 16
II - 3 - 1 - Distillateurs à simple effet 16
II -3 -1 - 1 - Distillateur à pente unique 16
II -3 -1 - 2 - Distillateur à double pentes 17

II - 3 - 1 - 2 - 1 - Caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire simple 16
II -3 -1 - 3 - Distillateur solaire terre-eau 17
II -3 -1 - 4 - Distillateur sphérique à balayage 17
II - 3 - 2 - Distillateurs à multiples effets 18
II - 3 - 3 - Distillateurs solaire à film capillaire 18
II - 4 - CARACTERISTIQUES DES DISTILLATEURS SOLAIRES A EFFET DE SERRE 20
II - 4 - 1 - Paramètres influant sur le fonctionnement du distillateur 19
II -4 -1 - 1 - Paramètres externes: 19
II - 4 - 1 - 1 - 1 - Paramètres météorologiques 19
II - 4 - 1 - 1 - 2 - Intensité du rayonnement solaire 19
II - 4 - 1 - 1 - 3 - La vitesse du vent 20
II - 4 - 1 - 1 - 4 - Température ambiante de l'air 20
II - 4 - 1 - 1 - 5 - Paramètres géographiques 20
II - 4 - 1 - 1 - 6 - Nature de l'eau à traiter 20
II -4 -1 - 2 - Paramètres internes 22
II - 4 - 1 - 2 - 1 - Paramètre de position 22
II - 4 - 1 - 2 - 2 - Paramètre de construction 22
II -4 -1 - 3 - Paramètres optiques 24
II -4 -1 - 4 - Paramètres thermo-physiques 24
II - 5 - LES CARACTERISTIQUES DE FONCTIONNEMENT 24
II - 5 - 1 - La production (le débit du distillat) 24
II - 5 - 2 - L'efficacité globale: 25
II - 5 - 3 - L'efficacité interne: 25
II - 5 - 4 - Performance: 24

Chapitre III : Etude et modélisation d'un distillateur simple

III - INTRODUCTION 25
III - 1 - DESCRIPTION ET PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT 25
III - 2 - HYPOTHESE SIMPLIFICATRICES 26
III - 3 - BILANS ENERGETIQUES DANS UN DISTILLATEUR SIMPLE 26
III - 3 - 1 - Echanges de chaleur à l'intérieur du distillateur 26
III -3 -1 - 1 - Echange de chaleur de l'eau entre l'absorbeur et la surface de condensation 26
III -3 -1 - 2 - Echange de chaleur entre la vitre et la surface d'eau 26
III -3 -1 - 3 - Echange de chaleur entre la vitre et l'ambiant 26

III - 3 - 2 - Modélisation mathématique 26
III -3 -2 - 1 - Bilan du vitrage 27
III -3 -2 - 2 - Bilan de l'eau 27
III -3 -2 - 3 - Bilan du bassin inférieur 28
III -3 -2 - 4 - Bilan de l'isolant 28
III -3 -2 - 5 - Débit du condensat 28
III - 3 - 3 - Expression des différents coefficients de transfert de chaleur 29
III -3 -3 - 1 - Par rayonnement eau-vitre 29
III -3 -3 - 2 - Par convection eau-vitre..... 29
III -3 -3 - 3 - Par évaporation 29
III -3 -3 - 4 - Par rayonnement vitre-ambiant 30
III -3 -3 - 5 - Par convection vitre-ambiant 30
III -3 -3 - 6 - Par convection bassin-eau 30
III -3 -3 - 7 - Par conduction Isolant-bassin 31
III - 4 - Analogique électrique 32
III - 5 - CALCUL LES PERTES DU DISTILLATEUR SOLAIRE SIMPLE 33

Chapitre IV : les Réseaux de neurone

IV - INTRODUCTION 35
IV - 1 - HISTORIQUE 35
IV - 2 - LES RESEAUX DE NEURONE 37
IV - 2 - 1 - Le neurone..... 37
IV -2 -1 - 1 - Bases biologiques. 37
IV -2 -1 - 2 - Les réseaux neurone artificiels 38
IV - 2 - 2 - Comparaison 38
IV - 3 - ARCHITECTURE 39
IV - 3 - 1 - Les réseaux non bouclés 40
IV - 3 - 2 - Les réseaux bouclés 40
IV - 4 - APPRENTISSAGE 41
IV - 5 - STRUCTURE DU RESEAU 41
IV - 5 - 1 - Fonction de combinaison 42
IV - 5 - 2 - Fonction de transfert 42
IV - 6 - DOMAINE D'UTILISATION 42

Chapitre V : Résultats et discussions

V - INTRODUCTION 44

V - 1 - .LANGAGE DE PROGRAMMATION UTILISE 44

V - 2 - MODELISATION DES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS DU DISTILLATEUR SIMPLE 48

Conclusion générale.

Référence bibliographique.

Annexes.

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I.

Figure I. 1 Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère. 1
Figure I. 2 : Schématisation des mouvements de la terre autour du soleil 2
Figure I. 3 : les coordonnées géographiques. 3
Figure I. 4 : Les coordonnées horaires. 4
Figure I. 5 :Les coordonnées horizontales 4
Figure I. 6 : Fuseau horaire mondial. 6
Figure I. 7 : Représentation des vecteurs unitaires. 7
Figure I. 8 : Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre 9
Figure I. 9 : Spectre du rayonnement atmosphérique. 9

CHAPITRE II.

Figure II. 1 : Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire simple. 15
Figure II. 2 : Distillateur solaire simple à pente unique. 16
Figure II. 3 : Distillateur solaire simple à double pentes. 17
Figure II. 4 : Distillateur solaire terre-eau 18
Figure II. 5 : Distillateur solaire sphérique à balayage. 19
Figure II. 6 : Distillateur solaire à film capillaire. 20

CHAPITRE III.

Figure III. 1 Coupe longitudinale du distillateur. 29
Figure III. 2: Bilans énergétiques d'un distillateur solaire simple 31
Figure III. 3 : Représentation de l'analogie électrique du distillateur solaire simple. 39

CHAPITRE IV.

Figure IV 1 :Représentation d'un neurone réel. 39

Figure IV 2 : Comparaison entre neurone biologique et neurone artificiel 40
Figure IV 3 : Définition des couches d'un réseau multicouche. 41
Figure IV 4 : Réseau non bouclé 42
Figure IV 5 : Réseau bouclé. 42
Figure IV 6 :processus d'ajustement des poids au cours de l'apprentissage supervisé. 42
Figure IV 7 : structure du réseau. 43
Figure IV 8 : La fonction sigmoïde. 44
Figure IV 9 :.La fonction linière par morceau. 44
Figure IV 10 : La fonction en échelon 45

CHAPITRE V

Figure V1: Panneau principal de l'application NEURAL NETWORK DATA. 47
Figure V 2 :la création d'un réseau de neurone 48
Figure V 3 : architecture du réseau 48
Figure V 4 : NEURAL NETWORK TRAINING. 49
Figure V 5 : Architecture de réseaux de neurones utilisée pour distillateur 57
Figure V 6: Corrélation entre données expérimentales et prédites de production journalière du distillateur simple. 51
Figure V 7: Corrélation entre données expérimentales et prédites de production journalière du distillateur simple. 59
Figure V 8: Corrélation entre données expérimentales et prédites de production journalière du distillateur simple. 60
Figure V 9 : Architecture de réseaux de neurones utilisée pour distillateur a cascade. 61
Figure V 10: Corrélation entre données expérimentales et prédites de production journalière du distillateur solaire à cascade. 54
Figure V 11: Corrélation entre données expérimentales et prédites de production journalière du distillateur solaire à cascade. 55
Figure V 12 : variation de coefficient de pertes thermique vers l'avant en fonction de la température de l'eau du distillateur solaire simple. 57
Figure V 13 : la variation des pertes thermiques en fonction de la température de l'eau du distillateur solaire simple. 58
Figure V 14 : variation de coefficient de pertes thermique vers l'avant en fonction de la température ambiante 59
Figure V 15 : la variation des pertes thermiques en fonction de la température ambiante. 66

LISTE DES TABLEAUX :

Chapitre I

Tableau I. 1 : Le quantième du jour de l'année. 4
Tableau I. 2 : Spectre électromagnétique..... 12
Tableau I. 3 : Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique. 13
Tableau I. 4 : Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude. 13
Tableau I. 5 : Valeurs de l'albédo du sol 14
Tableau I. 6 : L'albédo des différentes soles. 14

Chapitre II

Tableau II. 1 : Réflexion; absorption, transmission vis à vis du rayonnement solaire pour 26

Chapitre III

Tableau III 1 : Analogie entre le système thermique et le système électrique…….. 37

Chapitre V

Tableau V 1: Valeurs des paramètres d'entraînement utilisées dans le modèle Réseau neurone de production journalière..... 59
Tableau V 2: Valeurs des paramètres d'entraînement utilisées dans le modèle Réseau neurone de production journalière..... 52
Tableau V 3: Valeurs des paramètres d'entraînement utilisées dans le modèle Réseau neurone de production journalière..... 53
Tableau V 4: Valeurs des paramètres d'entraînement utilisées dans le modèle Réseau neurone de production horaire..... 54
Tableau V 5: Valeurs des paramètres d'entraînement utilisées dans le modèle Réseau neurone de production horaire..... 55

Nomenclature

Symboles

A_bSurface du bassin (m^2)

h_{fg}Chaleur latente de vaporisation, J/kg.

$Q_{C.B-E.}$: Flux thermique par convection entre le fond du bac et le film d'eau, W/m^2

$Q_{C.E-V}$: Flux thermique par convection entre le film d'eau et le vitrage, W/m^2

Q_{Evap} : Flux thermique par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage, W/m^2

$Q_{Perte\ (B)::}$Flux thermique perdu par le fond du bac, W/m^2

$Q_{Perte\ (I):}$ Flux thermique perdu par l'isolant, W/m^2

$Q_{R.E-V}$: Flux thermique par rayonnement entre le film d'eau et le vitrage, W/m^2

$Q_{cond,I-B}$: Flux thermique par conduction entre le bac et l'isolant thermique, W/m^2 .

U_B:Coef.global de pertes thermiques du bassin, W/(m^2 . K).

U_I Coef. global de pertes thermiques de l'isolant, W/(m^2 . K)

a Angle azimutal (°)

E : Temps local d'origine (h)

G : Rayonnement solaire incident, W/m^2

G : Puissance solaire incidente, W/m^2

Id : Rayonnement solaire diffus, W/m^2

ID : Rayonnement solaire direct, W/m^2

IG : Rayonnement globale incident W/m^2

K: Conductivité thermique, W/m. K

Lv Chaleur latente de vaporisation kJ/kg

q: Le flux de chaleur W/m^2

r: Coefficient de corrélation

S : Surface d'échange, m^2

T: Température, K

T_A Température ambiante, °C, K

T_B Température du bac, °C, K

T_{Ciel} Température du ciel, °C, K

T_E Température de l'eau, °C, K

T_I Température de l'isolant, °C, K

TL: Temps Local,

TSM : Temps solaire Moyen, h

TSV: Temps solaire vrai, h

TU : Temps Universel, h

TV Température de la vitre, °C.

V :Vitesse du vent m/s

Lettres grecques

$\boldsymbol{\alpha}$: Coefficient d'absorption,

Altitude, degré

α_t:Coefficient d'absorption thermique effective,

β : L'angle d'inclinaison de la vitre, degré

βp : Coefficient d'expansion volumique, K^{-1}

δ : l'angle de Déclinaison solaire, degré

ε : Emissivité, Sans dimension

ηg: Efficacité globale, %

ηi : Efficacité interne, %

θ : Latitude, degré

λ: Conductivité Thermique, W/m. K

Indices

a : Air Ambiant,

A : ambiant

b : Basin (Absorbeur)

B : bassin

c : Convection

C : convection

eff : Effective

I : isolant

R : rayonnement

Résumé

La distillation solaire dont l'approche élémentaire est le cycle hydrologique naturel de l'eau, est souhaitable pour approvisionner en eau potable de petites communautés (humaines ou animales) qui habitent dans des régions arides et isolées où l'énergie et l'eau sont insuffisantes et où l'énergie solaire est abondante. Dans cette étude, nous présentons une simulation numérique du rendement d'un distillateur solaire simple dans lequel nous distinguons simulation entre les valeurs expérimentales et les valeurs prédites en tenant compte du rendement du distillateur solaire et de tous les phénomènes de transfert thermique du distillat. Et le calcul du coefficient des pertes, les pertes en utilisant deux programmes informatique différents.

Mots clés : Distillation solaire, Coefficient de pertes, Rendement, simulation, réseaux de neurones

Abstract:

Solar distillation, where basic approach is the natural hydrological cycle of water, is desirable for providing drinking water to small communities (human or animal) that witch live in arid and isolated areas where energy and water are available. Insufficient and where solar energy is abundant. In this study, we present a numerical simulation of the efficiency of a simple solar distiller in which we distinguish optimization between the experimental values and the predicted values taking into account the yield of the solar distiller and all the phenomena of heat transfer of the distillate, and calculate the coefficients of losses, using two different computer programs.

Key words: Solar distillation, Coefficient of losses, Efficiency, simulation, neural network .

الملخص

إن النهج الأساسي للتقطير الشمسي هوا لدورة الهيدرولوجية الطبيعية للماء،حيث يتطلع إليه لتوفير مياه الشرب للمجتمعات الصغيرة (إنسان أو حيوان) التي تعيش في المناطق القاحلة و الصحراوية حيث الطاقة المائية غير كافية مع توفر في الطاقة الشمسية.في هذه الدراسة نقوم بعرض لمحاكاة رقمية لمردود مقطر شمسي بسيط نقوم من خلالها باظهارالمثالية بين القيم التجريبية والقيم المتبناة بعد الأخذ بعين الاعتبار مردود المقطر الشمسي وكل ظواهر الانتقال الحراري داخل المقطر أيضا حساب معامل الضياع الطاقوي داخل المقطر وذالك بالاعتماد على برنامجين رقميين مختلفين.

الكلمات المفتاحية :تقطير شمسي، مردود ،معامل الضياع ،محاكاة،الشبكات العصبونية

Introduction générale

Au fil des années, le problème de la disponibilité et l'approvisionneront des énergies et de l'eau ne font que s'accentuer. Développement industriel, démographie galopante, coût exorbitant et pollution sont autant des facteurs qui plaident pour l'utilisation des énergies renouvelables et en particulier de l'énergie solaire.

Parmi les solutions préconisées, l'utilisation de distillateurs solaires est une des solutions pour pallier à ce manque dans les endroits reculés et déshérités où l'eau potable est insuffisante et l'énergie solaire abondante.

Plusieurs types de configurations de distillateurs solaires ont été construits et essayés à travers le monde. Dans le même temps beaucoup de chercheurs ont proposé des modèles mathématiques pour décrire les transferts de chaleur et de matière dans les distillateurs solaires.

Pour réaliser ce travail nous avons pu nous appuyer sur nombreuses études théoriques dans le domaine de la distillation solaire à effet de serre, Ainsi le choix de la simulation numérique comme outil d'étude a été motivé par les résultats présentés dans les différentes études.

Nous avons présenté au premier chapitre une étude théorique sur le gisement solaire, aspect géométriques du rayonnement solaire, aspect énergétique du rayonnement solaire, albédo.

Le deuxième chapitre est consacré pour l'étude théorique des distillateurs solaires, les différents types des distillateurs solaires, principe de fonctionnement du distillateur solaire les différentes équations gouvernant le fonctionnement du système, les expressions des différents Coefficients intervenant dans ce système d équations, la modélisation et le modèle mathématique de ce système. Le troisième chapitre Cette partie présente l'étude et l'analyse et les modélisations d'un système de distillateurs solaires simple à effet de serre. . Une analyse détaillée des phénomènes thermiques de la distillation solaire a été faite dont le principe de fonctionnement du modèle de distillateurs est dicté selon des hypothèses explicites conduisant à élaborer des systèmes d'équations différentielles pour le système. Dans le quatrième chapitre on a étudié les réseaux de neurone, les types de réseau de neurone artificiel, l'architecture l'apprentissage et les domaines d'application .Le cinquième chapitre est consacré à l'exploitation des résultats expérimentaux et numériques. La conclusion générale de ce mémoire reprend les principaux résultats de nos travaux, ainsi que les remarques générales à l'égard de ceux-ci, des perspectives sont également présentées tant au niveau des développements à venir sur ce travail qu'au niveau des voies ouvertes par l'usage de ce dernier.

I - 1 - Introduction

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé dans des domaines aussi variés l'agriculture, la météorologie, les applications énergétiques et la distillation d'eau.

I - 2 - Le soleil

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de **1391000km** (**100** fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de **2.1027tonnes** [1]**.**

Toute l'énergie du soleil provient des réactions thermo – nucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde **564,106 tonnes** d'hydrogène en **560,106 tonnes** d'hélium, la différence (4 millions de tonnes) est dissipée sous forme d'énergie (E=mc2), ce qui représente une énergie totale de **36.1014 kW**. La terre étant a une distance de **150.106km** du soleil, elle reçoit approximativement une énergie de **1,8.1014 kW** [1]**.**

La valeur du rayonnement solaire **Ic** reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée a la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit a environ **80 km** d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne $\mathbf{I_0}$ appelée constante solaire est de l'ordre de **1,356 kW** .m2. En première approximation, on peut calculer la valeur de **Ic** en fonction du numéro du jour de l'année **nj** par la relation [1, 2, 3] **:**

$$Ic = I_0(I + 0.003 \times \cos(0.984 \times nj) \qquad (I.1)$$

La répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère est illustrée par la figure (I.1)

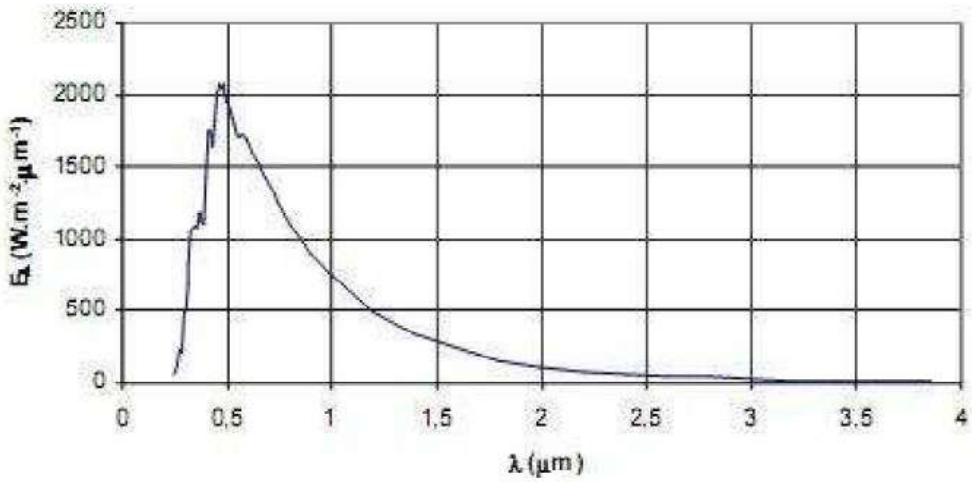


Figure I.1 :Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère[2].

On notera que **98 %** du rayonnement solaire est émis dans des longueurs d'ondes inferieures à **4km**, En première approximation, le rayonnement solaire peut être assimile au rayonnement d'un corps noir aune température de **5777K** [4].

I - 3 - Aspects géométriques du rayonnement solaire

Dans le but ultérieur de calculer le flux reçu par un plan incline place a la surface de la terre et orienté dans une direction fixée, notre intérêt va porter dans ce qui suit sur les aspects géométriques du rayonnement solaire intercepte par la terre. La connaissance de ce flux est la base de dimensionnement de tout système solaire [2,3].

I - 4 - Mouvements de la terre

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 $\pm$**17**%par rapport a la distance moyenne qui est de **149 675** . $\mathbf{10^6}$**km** [3].La terre tourne également sur elle- même autour d'un axe appelé l'axe des pôles et passant le centre de la terre appelé l'**équateur**. L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire a l'écliptique, en fait l'équateur et l'écliptique font entre eux un angle appelé **inclinaison,** de l'ordre de **23°27'** [3]**.**

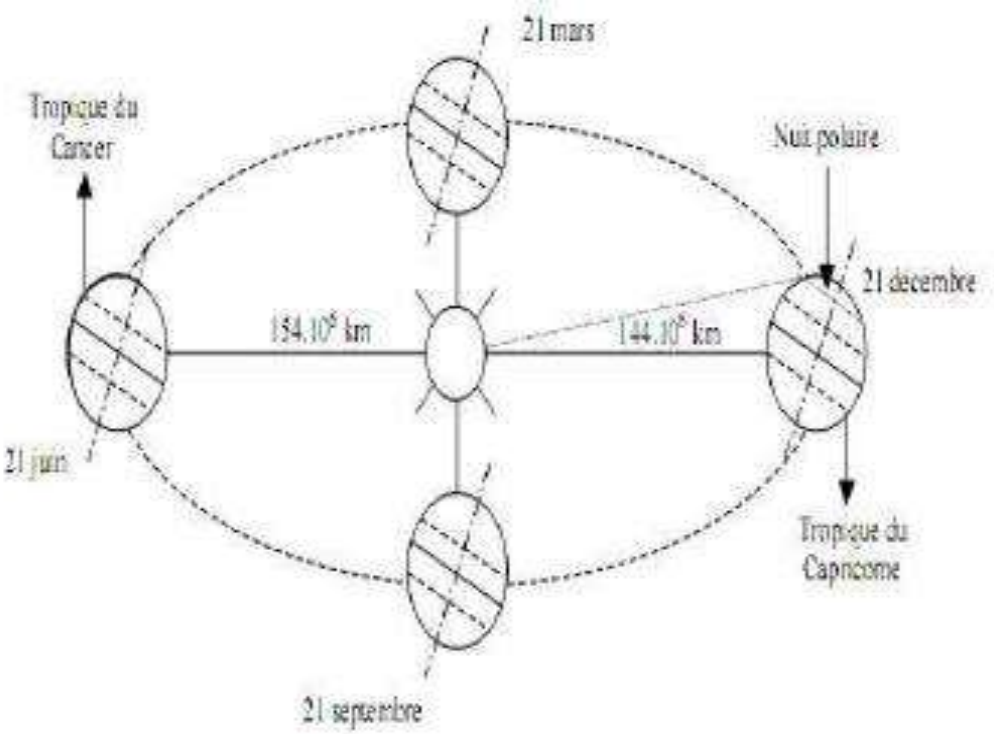


Figure I. 2 : Schématisation des mouvements de la terre autour du soleil [2].

I - 4 - 1 - Les coordonnées célestes

I -4 -1 - 1 - Les coordonnées géographiques

Ce sont des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre, on distingue notamment :

- **la longitude L :** elle est comptée positivement vers l'est et négativement vers l'ouest, à partir du méridien de **Greenwich** [2,3].

- **la latitude G :** permet de repérer la distance angulaire d'un point quelconque à l'équateur. Elle varie de **0°**a**90°** dans l'hémisphère nord et de **0°** à **-90°** dans l'hémisphère sud [2,3].

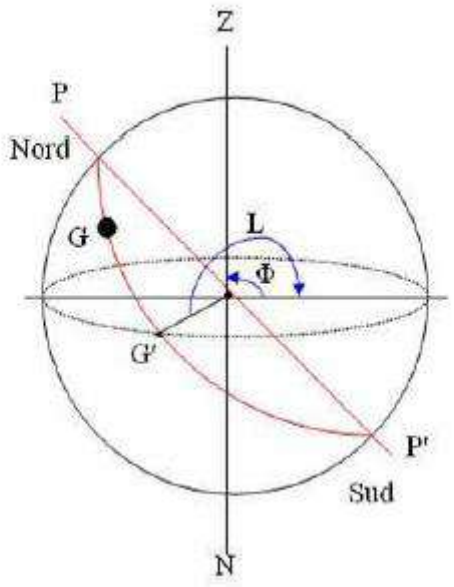


Figure I.3 : les coordonnées géographiques [3].

I -4 -1 - 2 - Les coordonnées horaires

- **La déclinaison :** qui est l'angle que fait le plan de l'équateur avec celui de l'écliptique. Elle varie au cours de l'année de **+ 23°27'** à **-23°27'** et détermine l'inégalité des durées des jours. Elle s'obtient à partir de la formule suivante :

$$\delta = 23.45 \times \sin\left(\frac{284 \times nj}{365}\right) \times 360 \qquad \text{(I.2)}$$

.

- n_j étant le numéro du jour dans l'année compte a partir 1^{er} janvier

Mois	jan	fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sept	Oct	Nov	Des
Numéro du 1er jour de chaque mois dans l'année	1	32	60	91	121	152	182	213	244	274	305	335

Tableau I. 1 : Le quantième du jour de l'année [3].

- L'angle horaire w : détermine par la rotation régulière de la terre autour de son axe. Il est compte positivement dans le sens rétrograde de**0°** à**360°**.

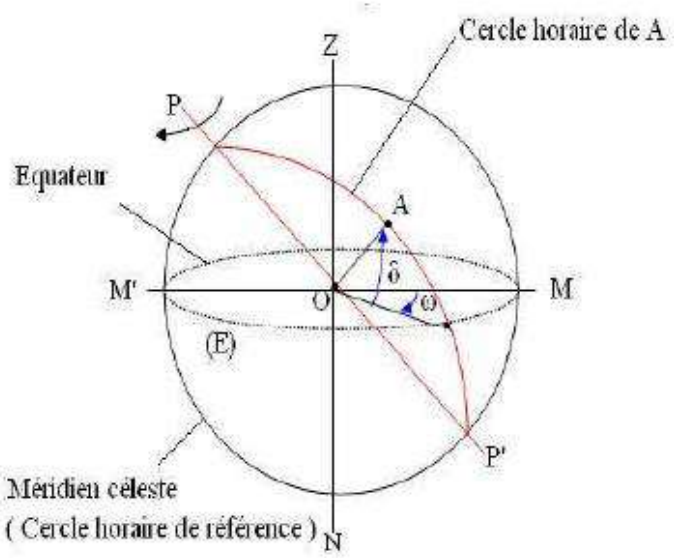


Figure I.4 : Les coordonnées horaires [3].

I -4 -1 - 3 - Les coordonnées horizontales

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles qui sont [2,3] :

- L'azimut a : l'angle que fait la projection de la direction du soleil avec la direction sud.

- la hauteur du soleil h : l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection

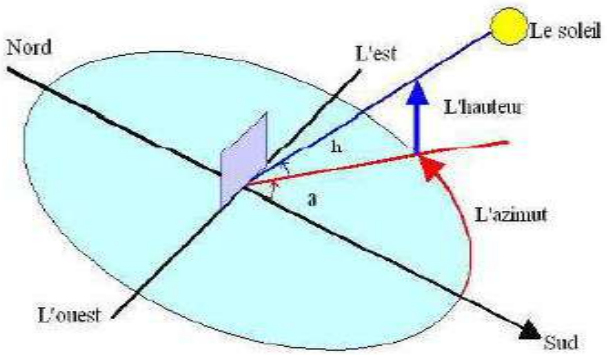


Figure I.5 :Les coordonnées horizontales [3].

δ L'équation de passage des coordonnées horizontales aux cordonnées horaires est :

$$\sin(a) \times \sin(h) = \cos(\delta) \times \sin(w)$$

$$\cos(a) \times \cos(h) = \cos(\delta) \times \cos(w) \times \sin(\phi) - \cos(\phi) \times \sin(\delta)$$

$$\sin(h) = \cos(\phi) \times \cos(\delta) \times \cos -(w) + \sin(\phi) \times \sin(\delta) \qquad \text{(I.3)}$$

I - 4 - 2 - Les temps solaires

On distingue :

I -4 -2 - 1 - Le temps solaire vrai (T.S.V)

En un instant et a un lieu donne, le temps solaire vrai est l'angle horaire du soleil **w**. Il est donne par l'expression [2,3] :

$$TSV = 12 + w/15 \qquad \text{(I.4)}$$

w est exprimé en degré.

Si w = 0, TSV=12h.00

Si w<0, la matinée.

Si w>0, l'après-midi.

I -4 -2 - 2 - Le temps solaire moyen (T.S.M)

Il est donne par la relation [2,3] :

$$TSV + TSM = Et \qquad \text{(I.5)}$$

Et, est l'équation du temps, qui corrige le **T.S.V** par rapport au **T.S.M,** exprimée par la relation [2,3] :

$$Et = 9.87 \sin(2N') - 7.53 \cos(N') - 1.5 \sin(N')[\text{min}] \qquad \text{(I.6)}$$

$$N' = (nj - 81) \times 365/360 \qquad \text{(I.7)}$$

I -4 -2 - 3 - Le temps universel (T.U)

C'est le temps moyen du méridien de Greenwich (méridien origine) [2,3] :

$$TU = TSM - L/15 \qquad \text{(I.8)}$$

Ou L est la longitude.

L >0 pour les villes situées a l'Est de Greenwich.

L < 0 pour les villes situées a l'Ouest de Greenwich.

TU = TSM pour le méridien de Greenwich.

I -4 -2 - 4 - Le temps légal (TL)

C'est le temps officiel d'un état, il est donne par [2,3] :

$$TL = TU + \Delta H \qquad (1.8)$$

Ou : **H** : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considère (en Algérie **H=1)**

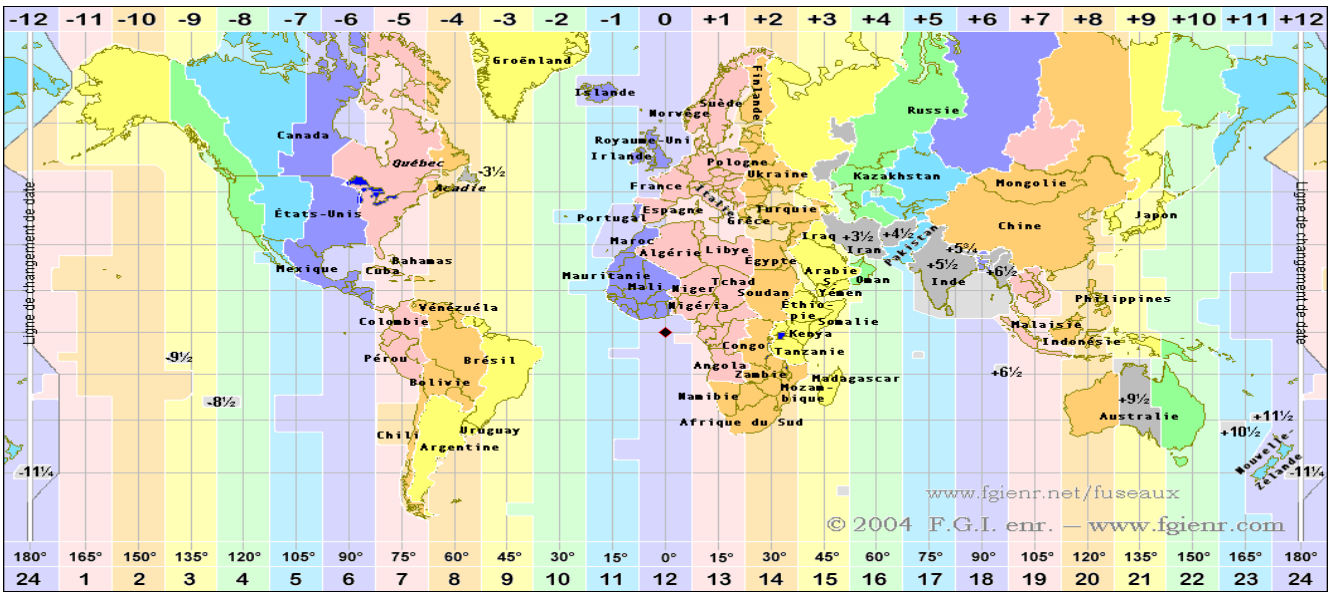


Figure I.6 : Fuseau horaire mondial [2].

I - 4 - 3 - Direction des rayons solaires :

On considère un plan quelconque caractérise par deux angles **α** et **γ** [2,3] :

α étant l'angle entre le méridien local et la normale au plan.

α = **0**, le plan est oriente vers le Sud.

α =**π**, le plan est oriente vers le Nord.

α = **- π/2**, le plan est oriente vers l'Est. .

α = **π/2**, le plan est oriente vers l'Ouest.

γ étant l'angle entre le plan horizontal et le plan considère.

γ = **0**, le plan est horizontal.

γ = **π/2**, le plan est vertical.

Soit :

$\vec{N}$: Le vecteur unitaire porte par la direction des rayons solaires.

$\vec{n}$: Le vecteur unitaire porte par la normale a la surface.

i: angle incidence (n, N) (figure I.7)

$$\vec{N}\begin{cases}\sin(a)\times\cos(h)\\ \cos(a)\times\cos(h)\\ \sin(h)\end{cases}\quad \vec{n}\begin{cases}\sin(a)\times\cos(\gamma)\\ \cos(a)\times\cos(\gamma)\\ \sin(\gamma)\end{cases} \qquad \text{(I.9)}$$

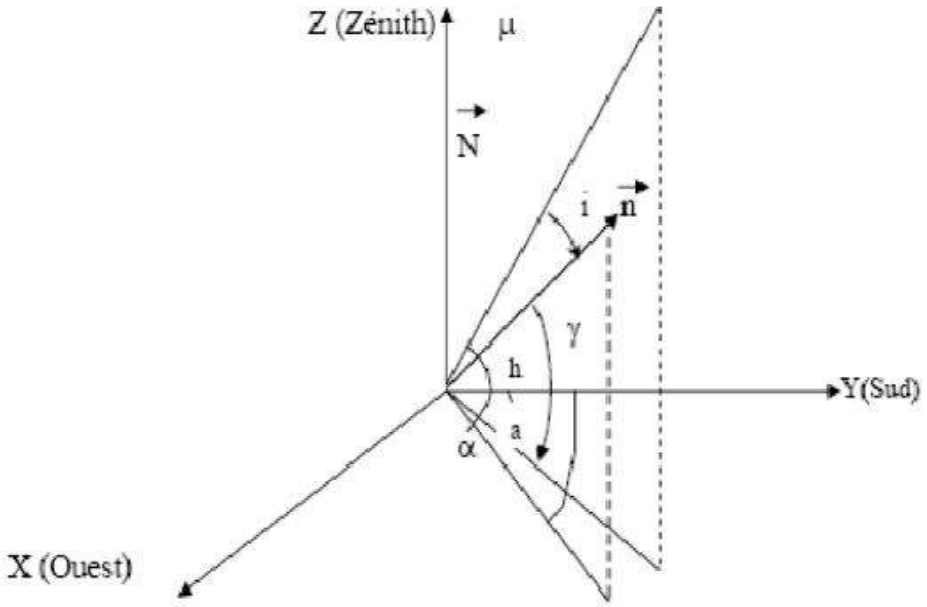


Figure I.7 : Représentation des vecteurs unitaires [3].

$$\vec{N}\times\vec{n} = \left\|\vec{N}\right\|\times\|\vec{n}\|\times\cos(i) = \cos(i) \qquad \text{(I.10)}$$

$$\vec{N}\times\vec{n} = \cos(h)\times\sin(a)\times\sin(a)\times\cos(\gamma)+\cos(a)\times\cos(h)\times\cos(a)\times\cos(\gamma)+$$

$$\sin(h)\times\sin(\gamma) = \cos(i) \qquad \text{(I.11)}$$

Par conséquent :

$$\cos(h)\times\cos(a-a)\times\cos(\gamma)+\sin(h)\times\sin(\gamma) = \cos(i) \qquad \text{(I.12)}$$

Exprimons cos (i) en coordonnées horaires, il en résulte :

$$\cos(i) = \cos(\delta) \times \sin(\omega) \times \sin(a) \times \cos(\gamma) + (\sin(\varphi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) - \cos(\varphi) \times \sin(\delta) \times \cos(a) \times \cos(\gamma) + (\cos(\varphi) \times \cos(\omega) \times \cos(\varphi) + \sin(\varphi) \times \sin(\delta)) \times \sin(\gamma)$$ **(**I.13)

Dans les cas particulier ou les surfaces sont horizontales ou verticales avec différents orientations, L'expression (I.12) devient :

Surfaces horizontales :**y** = $\boldsymbol{\pi/2}$

$$\cos(i) = \cos(\varphi) \times \cos(\omega) \times \cos(\delta) + \sin(\varphi) \times \sin(\delta) \quad \text{(I.12a)}$$

Surfaces verticales : **y** = **0**

-Surfaces verticales orientées vers le Sud : **a**= **0**

$$\cos(i) = \sin(\varphi) \times \cos(w) \times \cos(\delta) - \cos(\varphi) \times \sin(\delta) \quad \text{(I.12b)}$$

-Surfaces verticales orientées vers le Nord :$a = \pi$

$$\cos(i) = \cos(\varphi) \times \sin(\delta) - \sin(\varphi) \cos(w) \times \cos(\delta) \quad \text{(I.12c)}$$

-Surfaces verticales orientées vers l'Est :$-\pi/2$

$$\cos(i) = -\cos(\delta) \times \sin(w) \quad \text{(I.12d)}$$

-Surfaces verticales orientées vers l'Ouest: $a = +\pi/2$

$$\cos(i) = \cos(\delta) \times \sin(w) \quad \text{(I.12e)}$$

-Surface orientée vers le Sud et inclinée d'un angle b par rapport a l'horizontale :

$$\cos(i) = \cos(\delta) \times \cos(w) \times \cos(\varphi - B) + \sin(\delta) \times \sin(\varphi - B) \quad \text{(I.12f)}$$

I - 5 - Aspects énergétiques du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire subit un certain nombre d'altérations et d'atténuations aléatoires en traversant l'atmosphère; réflexion sur les couches atmosphériques, absorption moléculaire, diffusion moléculaire et par les aérosols (poussière, gouttelettes...) Au niveau du sol, a cause de la diffusion, une partie du rayonnement est diffuse (c'est-a-dire isotrope). L'autre partie, dite directe est anisotrope [8].

I - 5 - 1 - L'atmosphère terrestre

L'atmosphère est constituée de plusieurs couches de caractéristiques différentes, qui sont :

- La troposphère, entre le sol et **15 Km** d'altitude.
- La stratosphère entre **15** et **80 Km** d'altitude.
- L'ionosphère entre **80** et **200 Km** d'altitude.

Les caractéristiques absorbantes de l'atmosphère sont déterminées par la présence de:

- CO2 (**0.03 %)**
- Vapeur d'eau en quantité variable caractérisée par l'épaisseur d'eau condensable qui est L'épaisseur d'eau que l'on obtiendrait en condensant toute la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère.
- Ozone O3 située entre **10** et **30 Km** d'altitude.
- Aérosols, constitues de grains de sable, poussiers, fumées....

La figure(I.8) donne la répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre Avec indication des gaz partiellement opaques qui filtrent selon ce rayonnement selon la longueur d'onde [8].

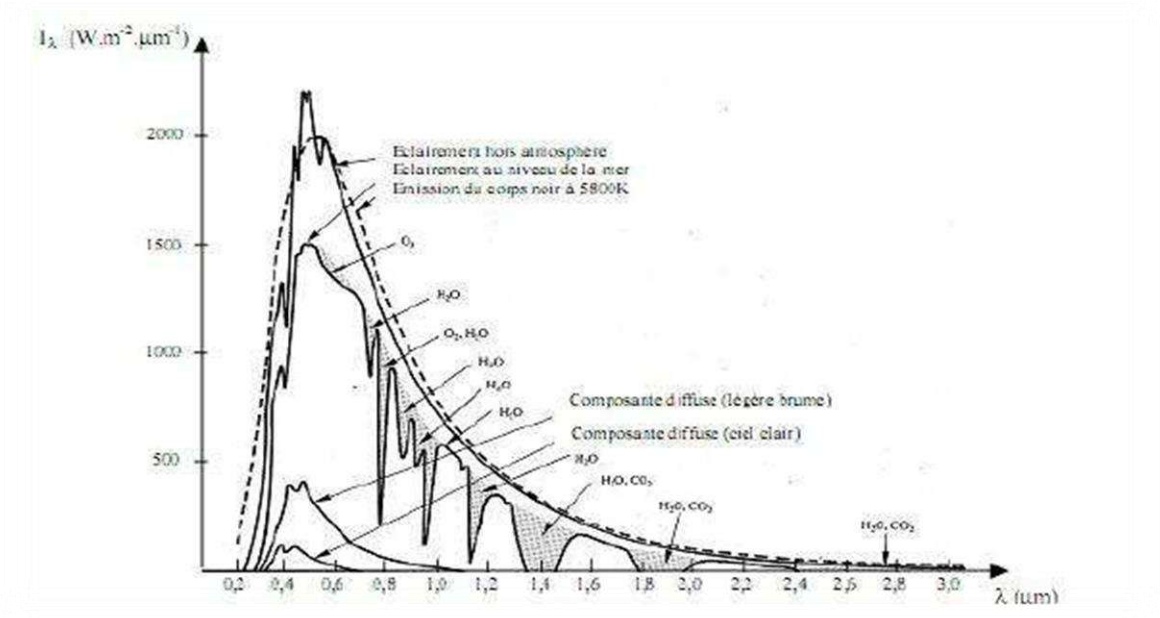


Figure I. 8 : Répartition spectrale du rayonnement solaire au niveau du sol terrestre [8].

I - 5 - 2 - Rayonnement du ciel et de l'atmosphère

Les gaz non transparents de l'atmosphère (CO2, O3, H2O) émettent vers la terre un rayonnement dans les principales bandes suivantes :

- Vers **14.7 mm** pour le CO_2.
- Entre **5** et **7 mm** et entre **14** et **20 mm** pour la vapeur d'eau.
- Vers **9.6 mm** pour O_3.

Ainsi et comme le montre **la figure (I.9),** il s'agit d'un rayonnement émis dans les grandes longueurs d'ondes (> 3um) contrairement au rayonnement solaire émis dans des longueurs d'ondes inferieures a **3um** [3].

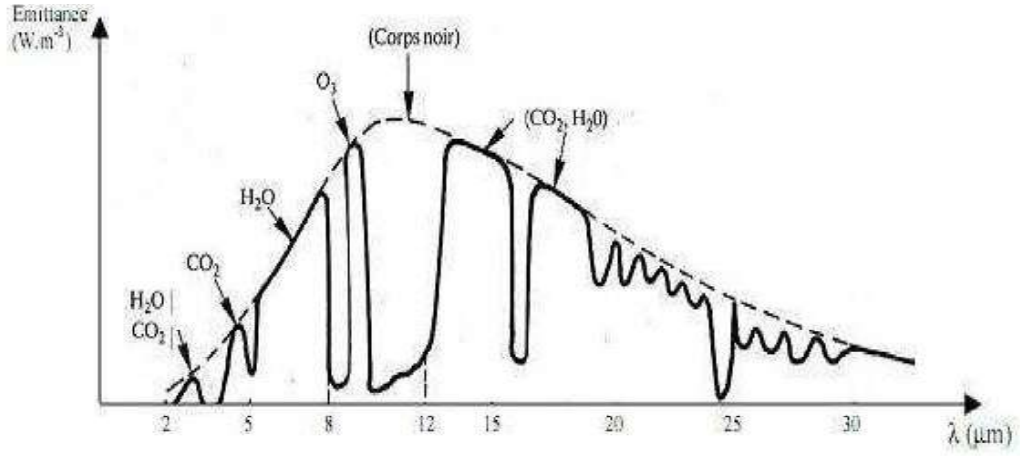


Figure I.9 : Spectre du rayonnement atmosphérique [8].

Les rayons	Gamme de longueur d'onde
Rayon X	0.01 à 1A
UV extrême	1 à 100 A
UV éloigné	10 à 100 nm
UV moyen	100 à 200 nm
UV proche	200 à 300 nm
Rayons Gamma	300 à 400 nm
Lumière Visible	400 à 770 nm
IR proche	770 à 2500 nm
IR moyen	2.5 à 30 um
IR éloigné	30 à 300 um
Micro – ondes	0.3 à 100 mm
Radio et télévision	0.1 à 1000m

Tableau I.2 : Spectre électromagnétique [8].

I - 5 - 3 - Rayonnement solaire au sol

Comme nous avons évoqué précédemment, l'atmosphère ne transmet pas au sol la totalité du rayonnement solaire qu'elle reçoit :

- Le rayonnement direct est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications.
- Le rayonnement diffus est la part du rayonnement solaire diffuse par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée.
- Le rayonnement global est la somme du rayonnement direct et diffus.

Nous exposons dans ce qui suit les expressions et les principales caractéristiques des deux composantes du rayonnement global [5].

I -5 -3 - 1 - Rayonnement direct

L'expression du rayonnement direct pour un plan oriente vers le sud est [2-7]

$$I_D = I_c \times \alpha \times \exp\left(\frac{b}{\sin h} \times \frac{p}{1000}\right) \times \cos(i) \qquad \text{(I.14)}$$

a et **b,** coefficients traduisant les troubles atmosphérique (tableau I.1).

p, la pression atmosphérique en fonction de l'altitude (tableau I.2).

	Ciel pur	Conditions normales	Zones industrielles
a	0.87	0.88	0.91
b	0.17	0.26	0.43

Tableau I.3 : Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique [5].

Altitude(m)	0	500	1000	1500	2000	5000
P(mbar)	1000	950	900	850	800	500

Tableau I.4 : Variation de la pression atmosphérique avec l'altitude [5]**.**

I -5 -3 - 2 - Rayonnement diffus

Le rayonnement diffus provient de tous les éléments irradies par le soleil. Le flux diffus reçu par la surface de captation se caractérise par deux composantes du flux à savoir :

-Le flux diffus émit par la voute céleste (f1), donnée par la relation :

$$\varphi_1 = \varphi_0 \times \frac{1+\cos b}{2} \qquad \text{(I.15)}$$

-Le flux émis par le sol (f_2), donne par la relation :

$$\varphi_2 = \rho \times \left(\frac{1-\cos b}{2}\right) \times (I_c \times \tau_{dr} \times \sin(h) + Q_0 \qquad \text{(I.16)}$$

Avec :

$$\varphi_0 = I_C \times \sin(h) \times (0.271 - 0.2939 \times \tau_{dr}) \qquad \text{(I.17)}$$

$\boldsymbol{\tau_{dr}}$: La transitivité totale de la couche atmosphérique dont l'expression est :

$$\tau_{dr} = a \times \exp\left(\frac{-b}{\sin(h)} \times \frac{\rho}{1000}\right) \qquad \text{(I.18)}$$

$\boldsymbol{\rho}$*:* L'albédo du sol, les valeurs de ce coefficient sont données par le **tableau I.3** :

Nature du sol	Neige fraiche	Neige ancienne	Sol rocheux	Sol cultivé	Foret	Etendue d'eau
Valeur de ρ	0.8 - 0.9	0.5 – 0.7	0.15 -0.25	0.07 -0.14	0.06 -0.20	0.05

Tableau I.5 : Valeurs de l'albédo du sol [7].

Le flux diffus s'écrit par conséquent de la manière suivante :

$$I_{d} = \varphi_1 + \varphi_2 \qquad \text{(I.19)}$$

I -5 -3 - 3 - Rayonnement global :

Le rayonnement global sur la surface horizontale est la somme du rayonnement direct (I_D) et du rayonnement diffus (Id), soit :

$$I_{G} = I_D + I_d \qquad \textbf{(}\text{I.20)}$$

I - 6 - L'albédo

En réalité la terre n'est pas un corps noir, une partie du rayonnement solaire incident est réfléchie par l'atmosphère (principalement par les nuages) et par le sol terrestre. Cette quantité est appelée le flux d'albédo**.** On définit généralement l'albédo comme étant le rapport de l'énergie solaire réfléchie par une surface sur l'énergie solaire incidente.

On utilise une échelle gradue de **0** a **1**, correspondant respectivement au noir, pour un corps avec aucune réflexion, et au miroir parfait, pour un corps qui diffuse dans toutes les directions et sans absorption de tout le rayonnement visible qu'il recuit dans le tableau (I.6) regroupe les valeurs d albédos pour différentes Surface

Nature du sol	Albédo
Surface de lac	0.02 à 0.04
Foret de conifères	0.05 à 0.15
Foret tropical	0.12
Herbe verte	0.25
Sable léger et sec	0.25 à 0.45
Sol sombre	0.05 à 0.15
Glace	0.30 à 0.40

Tableau I.6 :L'albédo des différentes soles [7].

II - Introduction

L'´évolution des conditions climatiques et l'augmentation de la population amènent de nombreuses régions du monde à se trouver en manque d'eau .Or au voisinage de plusieurs régions, manquantes d'eau potable, existe des sources d'eaux saumâtres contenant un certain pourcentage de sel, si ce n'est l'eau de mer. Le dessalement des eaux saumâtres ou des eaux de mer par distillation solaire est une opération très utilisée dans les régions arides, à l'échelle d'un petit village ou même d'une famille [9].

II - 1 - Définition

La distillation solaire est un phénomène naturel, elle a le même principe du phénomène réel qui se déroule dans la nature, où le rayonnement solaire incident sur la mer (l'océan, le lac, ou la rivière…..) échauffe l'eau, cette dernière s'évapore et s'élève en haut, transportée par le vent jusqu'à ce qu'elle arrive à un endroit plus froid elle se condense et donne de la pluie.

Cependant, l'homme a reproduit un modèle miniaturisé, le cycle naturel, ce modèle est appelé distillateur solaire [9].

II - 2 - Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'un distillateur solaire est le suivant **:**

1. Le rayonnement solaire chauffe l'eau salée qui se trouve dans le distillateur.
2. L'eau salée s'évapore.
3. Cette vapeur se transporte par convection naturelle vers le toit du distillateur (verre)

Elle se condense sur le verre et s'écoule suivant un film mince.



Figure II. 1 : Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire simple [9].

II - 3 - Types de distillation solaire

Tous les types de distillateurs solaires possèdent le même principe de fonctionnement, mais ils peuvent être différents en termes de performance, de conception et de matériaux utilisés. On distingue trois types de distillateurs solaires

II - 3 - 1 - Distillateurs à simple effet

Ce sont les distillateurs les plus utilisés dans le monde, le distillateur est constitué d'un bassin peint en noir pour capter le maximum de radiation solaire, rempli d'eau et couvert d'une vitre transparente aux rayons; cette dernière est inclinée pour que la vapeur condensée dans sa face intérieure coule vers une gouttière qui est placée en bas, généralement ce type est simple à construire et à maintenir mais son efficacité reste inférieure à celle d'un distillateur à multiple effets [10, 11].

Dans ce type on peut citer :

II -3 -1 - 1 - Distillateur à pente unique

C'est un distillateur à capteur unique incliné d'un angle (β), il est appelé aussi distillateur simple. généralement sa production est faible comparée avec les autres types de distillateurs à multiple effets, mais il est très souples vue son simple entretient et la facilité de son démontage et de son assemblage.

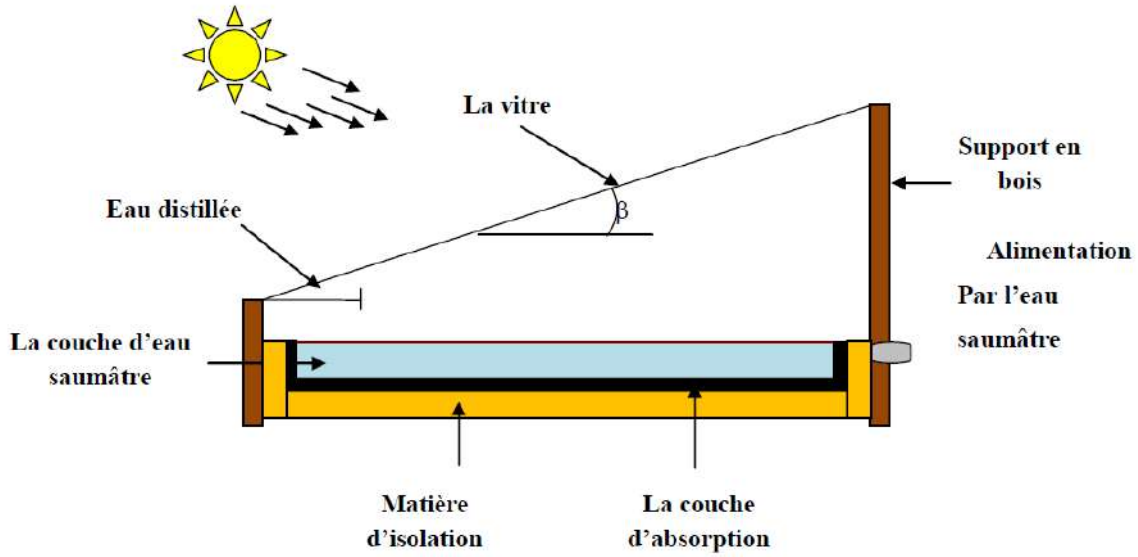


Figure II. 2 : Distillateur solaire simple à pente unique [10].

II -3 -1 - 2 - Distillateur à double pentes :

C'est un distillateur simple mais à double couvertures verrières où chacune d'elles est inclinée d'un angle (β), son avantage est d'exposer l'un de ses cotés au soleil et l'autre à l'ombre pour accélérer et augmenter le taux de condensation (fig. II.3).

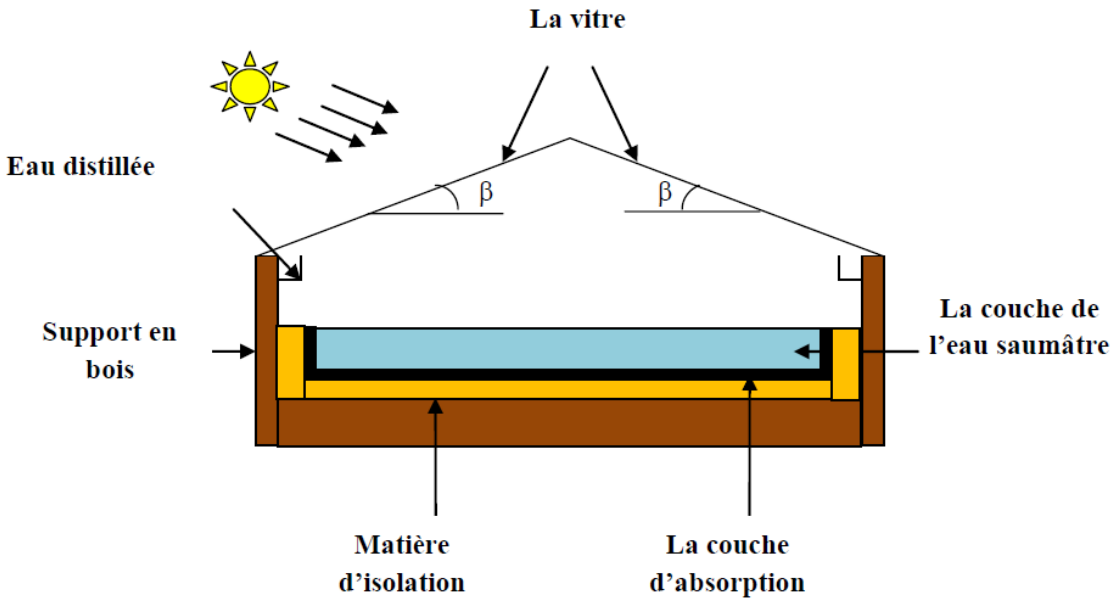


Figure II. 3 : Distillateur solaire simple à double pentes [10].

II - 3 - 1 - 2 - 1 - Caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire simple

Plusieurs grandeurs sont définies afin de caractériser la production en eau distillée de tel distillateur. On distingue constamment : le rendement, l'efficacité interne, l'efficacité globale et la performance.

A. **Le rendement** : C'est le cumul journalier d'eau distillée produite par jour et par unité de surface de l'absorbeur, il exprime la production journalière du distillateur par m^2de la surface de l'eau saline (L/j.m^2).

B. **L'efficacité globale** : Elle rapporte la quantité d'eau produite à l'énergie solaire incidente sur la surface horizontale, cette grandeur ne tient pas compte de l'inclinaison de la couverture verrière, sa relation est :

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{G_h} \qquad \text{(II.1)}$$

C.L'efficacité interne : Un changement de pente par un angle β fait varier la valeur de l'intensité incidente, ce terme d'efficacité tient compte de l'énergie réelle qui entre dans le distillateur, on la définit alors par :

$$\eta_i = \frac{q_{ev}}{G_{a\omega}} \qquad \text{(II.2)}$$

D.La performance : Le souci de caractériser un distillateur d'une manière plus absolue a amené Satcunanathan et Hansen [12] à définir le facteur de performance horaire (F.P.H) et le facteur de performance brut (F.P.B) par :

$$\text{F.P.H} = \frac{la quantité\ d'eau produite au bout d'une\ heure}{la quantité\ d'énergie rentrée au bout d'une\ heure} \qquad \text{(II.3)}$$

$$\text{F.P.B} = \frac{la quantité\ d'eau produite au bout d'une\ journée}{la quantité\ d'énergie rentrée au bout d'une\ journée} \qquad \text{(II.4)}$$

à un instant donné de la journée on peut calculer l'efficacité instantanée par l'équation suivante :

$$P = \frac{\text{quantité de au produite au bout du temps (t)}}{G_{\alpha\omega} s} \qquad \text{(II.5)}$$

II -3 -1 - 3 - Distillateur solaire terre-eau

De grandes quantités d'humidité sont accumulées dans la terre durant la saison froide, de même dans les zones arides. Pour exploiter cette hydrologie naturelle, on utilise le distillateur solaire terre-eau. Il est similaire à celui de l'effet de serre, sauf que le sol remplace le bassin noir. **(Fig. I.8).**

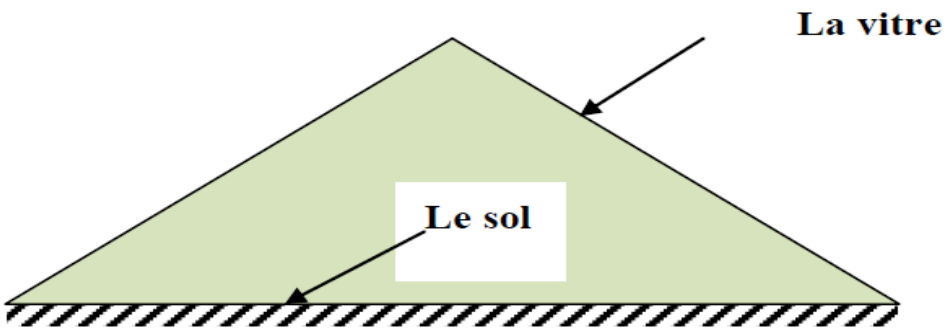


Figure II. 4 : Distillateur solaire terre-eau [12].

II -3 -1 - 4 - Distillateur sphérique à balayage

Ce type de distillateur mis au point par le Pr. MENGUY de l'Université de LYON **(Fig. II.5)** est constitué d'une sphère en plexiglas à l'intérieur de laquelle est placé un bac contenant l'eau saline. La condensation s'effectue sur la demi-sphère supérieure et le distillat est recueilli à la base de la demi-sphère inférieure. L'un des inconvénients de ce type de distillateur est que la surface horizontale de la solution intercepte moins de radiations solaires que les surfaces inclinées [12].

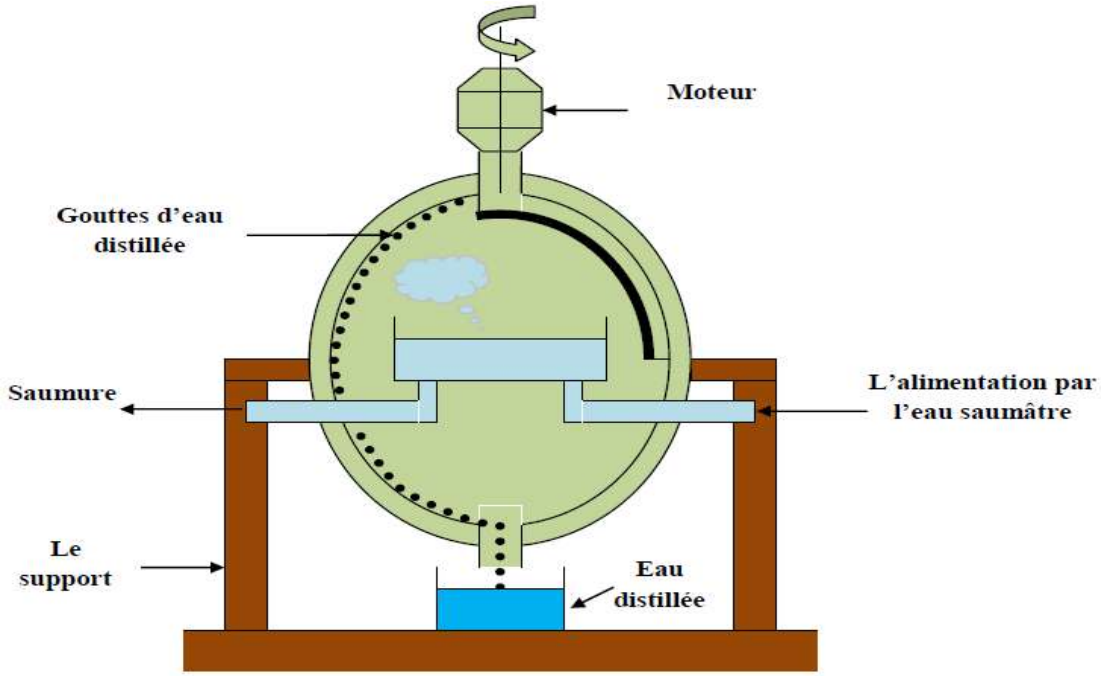


Figure II. 5 : Distillateur solaire sphérique à balayage [12].

II - 3 - 2 - Distillateurs à multiples effets

Le distillateur solaire à multiples effets est constitué de plusieurs évaporateurs, mais il contient plusieurs modèles qui sont les suivants :

- Distillateurs solaires à plusieurs bassins.
- Distillateurs solaires inclinés à cascades.

II - 3 - 3 - Distillateurs solaire à film capillaire

Le distillateur est incliné d'un angle (réglable), l'eau salée entre avec un débit très réduit en mouillant un tissu placé au verso d'une plaque métallique noircie et exposée aux rayonnements solaires.

L'eau chauffée à travers la plaque, s'évapore et se condense sur la plaque inférieure en libérant sa chaleur de condensation à l'étage inférieure et ainsi de suite. (Fig. III.6) [13].

Le distillateur solaire à film capillaire est généralement plus rentable de point de vue production que le distillateur conventionnel. On distingue deux types:

- Distillateur à film capillaire à un seul étage (simple);
- Distillateur à film capillaire à plusieurs étages.

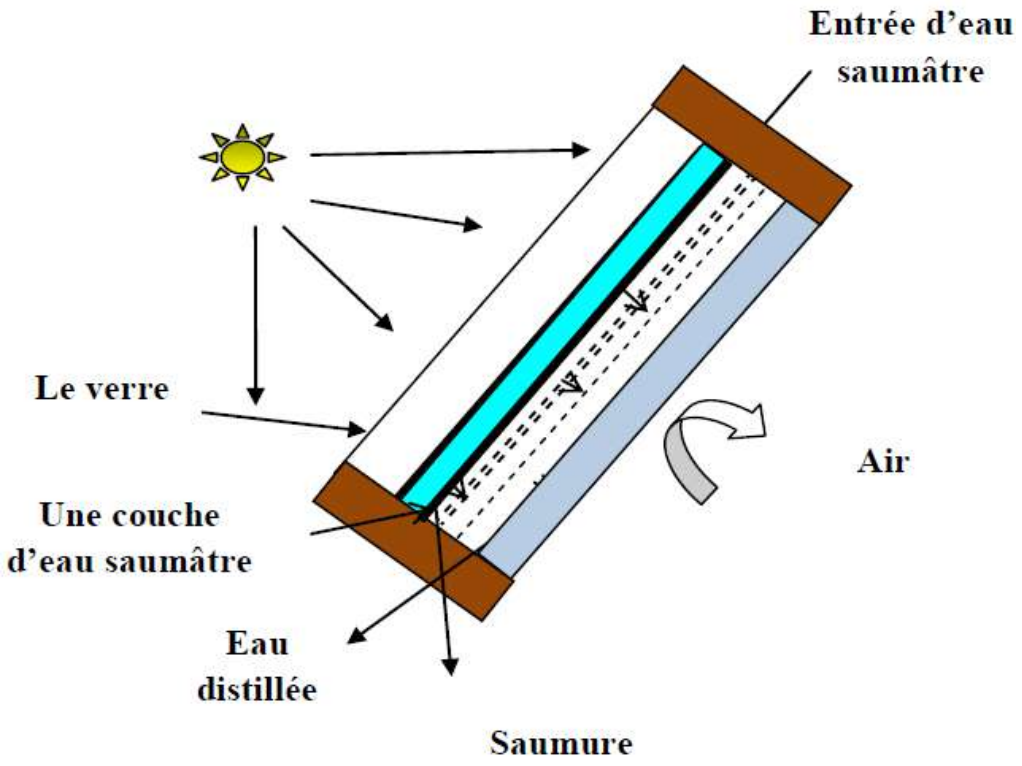


Figure II. 6 : Distillateur solaire à film capillaire [13].

II - 4 - Caractéristiques des distillateurs solaires à effet de serre

II - 4 - 1 - Paramètres influant sur le fonctionnement du distillateur

Le développement en détails des calculs du cumul horaire et journalier et de l'efficacité thermale du distillateur conventionnel affirme que le taux de distillation obtenu avec un distillateur conventionnel dépend de la différence entre la température de l'eau saline et la température du vitrage, pour une plus grande efficacité d'évaporation et de condensation. La température de l'eau saline et celle du vitrage (condenseur) sont affectées par plusieurs paramètres que ce soient internes ou externes.

Alors pour tester réellement un distillateur, il faut le placer dans les conditions réelles de fonctionnement. Pour en étudier le transfert de chaleur et de masse et le débit d'eau distillée, il suffit d'expérimenter au laboratoire et maitriser tous les paramètres clés qui jouent sur l'efficacité [13].

On peut diviser ces paramètres en deux grands groupes :

- Les paramètres externes (climatiques et locaux)
- Les paramètres internes de l'appareil (condenseur, absorbeur, profondeur de l'eau saline, différence de température entre l'eau saline et le condenseur…etc.)

II -4 -1 - 1 - Paramètres externes:

Ce sont des paramètres qui influent sur le bon fonctionnement et le rendement du distillateur, ces paramètres sont liés au site

II - 4 - 1 - 1 - 1 - Paramètres météorologiques:

L'humidité de l'air, la pluviométrie et l'intermittence des nuages doivent êtres prises en considération dans la mesure, où ces deux facteurs modifient le bilan thermique du distillateur

II - 4 - 1 - 1 - 2 - Intensité du rayonnement solaire:

C'est le facteur essentiel dans cette étude. C'est une énergie rayonnante de courte longueur d'onde (0.17 à 4 μm) [2].

Le maximum d'intensité est obtenu pour la longueur d'onde 0.47 μm dans le spectre visible. L'intensité globale du rayonnement solaire arrivant aux confins de l'atmosphère sur une surface perpendiculaire est constante, est égale à 1.35KW/m². Cependant, l'énergie arrivant au voisinage de la surface terrestre est affaiblie par l'absorption d'une partie du rayonnement par l'atmosphère [2].

Le coefficient de transmission est assez constant en cours d'année et se situe entre 0.7 et 0.9. Plusieurs études montrent que l'irradiation globale reste le paramètre le plus influent sur les caractéristiques de fonctionnement d'un distillateur solaire [5], [6], [14].

II - 4 - 1 - 1 - 3 - La vitesse du vent

L'effet convectif sur la face de la vitre joue un rôle important sur le fonctionnement du système. Un anémomètre placé au voisinage de la vitre permet de préciser cet aspect du problème. Or d'après Duffie et Beckman, la vitesse du vent est liée au coefficient de transfert convectif entre la couverture et l'extérieur par l'expression :

$$H_{cla} = a + b.v^{n} \qquad (II.6)$$

Cette expression est souvent utilisée pour des modélisations de capteurs. Elle est relative à des plaques horizontales ou inclinées.

II - 4 - 1 - 1 - 4 - Température ambiante de l'air

La valeur de cette température intervient pour la détermination des échanges thermiques entre la partie interne et le milieu extérieur.

II - 4 - 1 - 1 - 5 - Paramètres géographiques

Tels que la longitude et la hauteur du soleil.

II - 4 - 1 - 1 - 6 - Nature de l'eau à traiter

Choix du prétraitement, taux de conversion et rapport de performance, ainsi que la nature et la situation socio-économique du site: choix des matériaux, degré d'automatisation du système, infrastructure, main d'œuvre [14,15].

II -4 -1 - 2 - Paramètres internes

II - 4 - 1 - 2 - 1 - Paramètre de position

- L'emplacement du distillateur : où les distillateurs doivent être placés de façon à éviter les obstacles "l'effet de masque", qui empêche le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captation.

- L'**orientation;** elle dépend essentiellement du fonctionnement du distillateur pendant la journée où on distingue ;

- Fonctionnement pendant la matinée → orientation Est,
- Fonctionnement pendant l'après-midi → orientation Ouest,
- Fonctionnement durant toute la journée → orientation Sud.

- L'inclinaison : elle dépend du fonctionnement du distillateur pendant l'année:

- Fonctionnement estival → $\beta = \theta - 10°$
- Fonctionnement hivernal → $\beta = \theta + 20°$
- Fonctionnement annuel → $\beta = \theta + 10°$

II - 4 - 1 - 2 - 2 - Paramètre de construction

II - 4 - 1 - 2 - 2 - a -Couverture

La couverture intervient essentiellement par : [9], [16]

- Sa nature,
- Sa mouillabilité par l'eau,
- Sa transparence au rayonnement solaire,
- Son opacité au rayonnement infrarouge des grandes longueurs d'ondes,
- Sa résistance aux attaques du vent et des particules solides,
- Le nombre de vitres dans le cas où la couverture est vitrée,
- Son inclinaison par rapport à l'horizontal.

Une étude expérimentale de C.D.E.R. montre que le verre reste le plus adéquat malgré la production du distillateur en plexiglas (plexiglas = 2.63litre/jour, verre = 2.23litre /jour) vu que l'installation de ce dernier demande une maintenance plus fréquente (déformation de plexiglas, décollement des extrémités) [17].

II - 4 - 1 - 2 - 2 - b -Inclinaison

Son inclinaison par rapport à l'horizontale, pour déterminer la quantité d'énergie solaire introduite dans le distillateur et pour minimiser la distance entre saumure et vitre, l'angle d'inclinaison doit faire l'objet d'un choix judicieux. L'inclinaison influe d'autre part sur les équations des bilans énergétiques des différents constituants du distillateur. Les expressions seront données dans le chapitre suivant [9], [16].

II - 4 - 1 - 2 - 2 - c -L'absorbeur

Les testes menés par certains chercheur ont montre 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 [18].

II - 4 - 1 - 2 - 2 - d La distance entre la surface évaporation et la surface de condensation

Ce paramètre détermine l'intensité des pertes thermiques latérales par convection, et la grandeur de la couche tampon qui freine l'échange entre la surface d'évaporation et la surface de condensation. Une recherche a montré que la réduction de ce paramètre augmente le facteur de performance brut [9], [16].

II - 4 - 1 - 2 - 2 - e Paramètres de la saumure

L'épaisseur de la nappe d'eau, plus ce dernier est importante, moins sa température fluctue au cours de la production. L'inertie thermique augmente avec l'épaisseur, et la durée de fonctionnement nocturne croit également avec l'épaisseur, cependant la production moyenne 24 heurs diminue lorsque l'épaisseur augmente. Des expériences ont montré que cette production suit la loi : [9], [16]

$$Y = \frac{a}{X+b} \times c \qquad \text{(II.7)}$$

- Y: la production,
- X: l'épaisseur de la saumure,
- a, b, c paramètres dépendant de la forme de l'appareil et des conditions locales,

- Température de la saumure: l'expérience faite dans le Sahara algérien sur les distillateurs solaires à effet de serre ont montré que le débit instantané en fonction de la température suit une loi hyperbolique selon :

$$Y = \frac{51.607}{117-T} - 0.613 \qquad \text{(II.8)}$$

Avec :

- Y: le débit instantané, exprimé en litre par heure.
- T: la température, en degré centigrade de la saumure dans la couche supérieure.

Lorsque la température de la saumure augmente; un dépôt sur la surface libre de l'eau due à la formation de carbonates insolubles dans la saumure a été observé; le dépôt salin agit sur le pouvoir absorbant de la surface noire et fait chuter considérablement la production.

II -4 -1 - 3 - Paramètres optiques

Les paramètres sont l'émissivité, l'absorptivité, la réflectivité et la transitivité de la surface absorbante et de la couverture.

II -4 -1 - 4 - Paramètres thermo-physiques

Les paramètres thermo-physiques sont:

- La conductivité thermique, la chaleur spécifique et la diffusivité thermique de la couverture et la surface absorbante.
- La conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité cinématique, la chaleur latente de vaporisation, le coefficient de dilatation thermique et la diffusivité thermique de la saumure
- La conductivité thermique, la chaleur spécifique, la viscosité dynamique, la viscosité cinématique et le coefficient de dilatation thermique du mélange air vapeur.

II - 5 - Les caractéristiques de fonctionnement

Un distillateur solaire est essentiellement caractérisé par les grandeurs suivantes [9], [16]

II - 5 - 1 - La production (le débit du distillat)

Qui est la quantité d'eau distillée journalière produite par de surface d'évaporation

$$m_d = \frac{q_{ev}}{l_v} \qquad \text{(II.9)}$$

II - 5 - 2 - L'efficacité globale

Représentant le rapport de la quantité d'énergie évaporée par (m^2), à la quantité d'énergieglobale incidente par (m^2) sur une surface horizontale. Elle est définie par le rapport [9], [16] **.**

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{G.A} = \frac{m_d \times L_v}{G.A} \qquad \text{(II.10)}$$

$\boldsymbol{q_{ev}}$; Quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps

S: superficie du capteur (aire de vitre).

G: Energie solaire globale incidente par m2 sur une surface horizontale, pendant un jour.

$\boldsymbol{L_V}$: Chaleur latente de vaporisation

md : le débit de distillat

II - 5 - 3 - L'efficacité interne

Qui représente le rapport de la quantité d'énergie évaporée par (m^2) de surface, à la quantité effectivement absorbée par la saumure par (m^2) de surface [9], [16].

$$\eta_i = \frac{q_{ev}}{q_{eau}} = \frac{m_d \times L_v}{\alpha_t G.A} \qquad \text{(II.11)}$$

αtG. A: la quantité de chaleur absorbée par l'eau.

αt : le coefficient d'absorption thermique.

Pour une intensité globale G, l'expression de q_{eau} est:

$$Q_{eau} = (\tau_v \alpha_e + \tau_v \tau_e \alpha_f) \times G.A \qquad \text{(II.12)}$$

En posant :

$$\alpha_t = \tau_v \alpha_e + \tau_v \tau_e \alpha_f \qquad \text{(II.13)}$$

$$Q_{eau} = \alpha_t . G . A \quad \text{(II.14)}$$

Il en résulte

$$\eta_i = \frac{\eta_g}{\alpha_t} \qquad \text{(II.15)}$$

α_f : Coefficient d'absorption du fond du distillateur.

α_e: Coefficient d'absorption de l'eau.

τ_e: Coefficient de transmission de l'eau.

τ_v: Coefficient de transmission de la vitre.

Avec:

Le coefficient αt dépend de l'angle d'incidence du rayonnement incident par rapport à la vitre.

(Voir le tableau I.3 .pour l'angle d'incidence du rayonnement entre 0° et 30° αt =0.8)

Angle d'incidence du rayonnement en degrés		0-30	45	60
Vitre	Réflexion	5%	6%	10%
	Absorption	5%	5%	5%
	Transmission	90%	89%	85%
Nappe d'eau	Réflexion	2%	3%	6%
	Absorption	30%	30%	30%
	Transmission	68%	67%	64%
Fond distillateur	Réflexion	5%	5%	5%
	Absorption	95%	95%	95%
	Transmission	0 %	0%	0%

Tableau II. 1 : Réflexion; absorption, transmission vis à vis du rayonnement solaire pour les différentes parties d'un distillateur [16].

II - 5 - 4 - Performance

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière plus absolue a amené, ainsi à définir le facteur de performance brut (F.P.B) et le facteur de performance horaire (F.P.H) [9],[16].

F. P. B.: Le rapport de la quantité d'eau produite au bout de 24h sur la quantité d'énergie entrée au bout de 24h.

F. P. H: Le rapport de la quantité d'eau produite au bout d'une heure sur la quantité d'énergie entrée au bout d'une heure.

à un instant donné de la journée, le facteur de performance F.P. est donné par la relation:

$$FP = \frac{m_d}{\alpha_{t.G.A}} \qquad (II.16)$$

III - Introduction

Cette partie présente l'étude et l'analyse et les modélisations thermiques d'un distillateur solaire de type simple à effet de serre. Il est reconnu que la complexité de la simulation d'un distillateur solaire réside principalement dans les bilans des différentes parties du distillateur.

Le but de cette étude (distillateur solaire simple), est de prévoir le comportement de celui-ci, lorsqu'on fait varier les paramètres d'entrées. Les températures des différents éléments constituants le système changent instantanément, et échangent de ce fait entre eux de la chaleur par conduction, convection, rayonnement et évaporation. D'une façon générale, la densité de flux thermique échangé entre deux surfaces l'une portée à la température T1 et l'autre à la température T2 est régie par une équation simple de la forme [19] :

$$Q = h\,(T_1 - T_2) \qquad \text{(III.1)}$$

III - 1 - Description et principe de fonctionnement

Le distillateur utilisé dans cette étude est un simple bassin de 0.54m2 de surface (0.9m de long par 0.6m de largeur). Il est construit en fer galvanisé. Le fond et les cotés du bassin sont isolées par 4cm d'épaisseur du polystyrène pour réduire les pertes de chaleur. La couverture en verre ordinaire de 3mm d'épaisseur est inclinée d'un angle de 35.33° (Latitude de BATNA), soit un angle largement supérieur à l'inclinaison minimale (10° et 15°). La distillation solaire est une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer de l'eau saumâtre dans un bac couvert par une vitre inclinée. L'eau 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 [19].

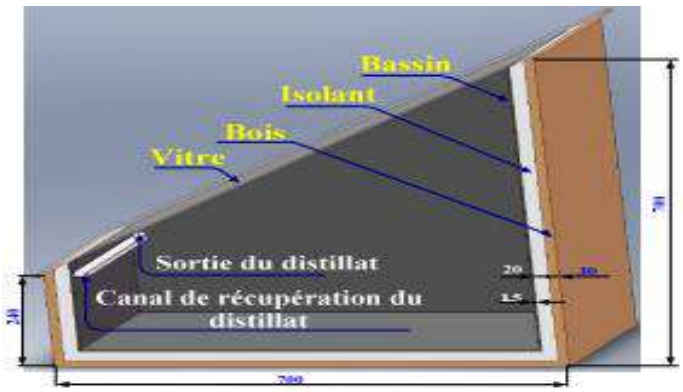


Figure III. 1 Coupe longitudinale du distillateur [19].

III - 2 - Hypothèses simplificatrices

Nous avons trouvé que la formulation de certaines hypothèses est nécessaire, pour une simulation approchée du système :

- Transferts de chaleur unidimensionnels.
- Flux de chaleur transitoire.
- Température de la vitre est constante.
- Pertes de vapeur d'eau négligée.
- Vitesse du vent constante.
- Propriétés thermo-physiques constantes avec la température.

III - 3 - Bilans énergétiques dans un distillateur simple

III - 3 - 1 - Echanges de chaleur à l'intérieur du distillateur

III -3 -1 - 1 - Echange de chaleur de l'eau entre l'absorbeur et la surface de condensation

L'eau reçoit de l'absorbeur un flux solaire ou de chaleur par convection naturelle et conduction. L'eau cède un flux de chaleur par rayonnement et par convection naturelle aux surfaces de condensation. Puisque il existe une évaporation, l'eau perd un flux de chaleur.

III -3 -1 - 2 - Echange de chaleur entre la vitre et la surface d'eau

Les flux solaires incidents cédés par la nappe d'eau ne sont pas reçus intégralement par la surface de condensation à cet égard au cours du transfert une partie est absorbée par l'atmosphère interne et les parois latérales. Les vitres reçoivent les flux incidents par convection naturelle, par rayonnement et par condensation de la vapeur d'eau.

III -3 -1 - 3 - Echange de chaleur entre la vitre et l'ambiant

Le milieu extérieur cède un flux de chaleur par rayonnement solaire à la vitre, dont une partie est réfléchie. La vitre cède au milieu extérieur un flux de chaleur par rayonnement est par convection naturelle.

III - 3 - 2 - Modélisation mathématique

La théorie d'un distillateur solaire simple en forme de serre, est présentée par Moussa Abu-Arabi et [20], [21] et Yousef H. [22]. La figure III.2 illustre les différents échanges de chaleur qui se produisent dans un distillateur solaire. Elle est fondée sur quatre bilans En nous plaçant

en régime transitoire, les équations régissant le bilan thermique au niveau de chaque partie du distillateur, s'écrivent comme suit :

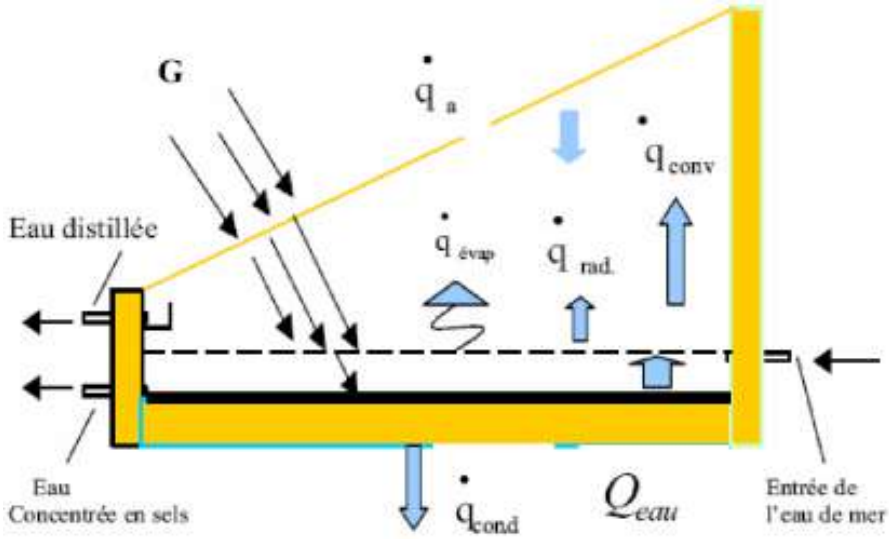


Figure III. 2: Bilans énergétiques d'un distillateur solaire simple [20].

.

III -3 -2 - 1 - Bilan du vitrage

La quantité de chaleur reçue par la vitre est évacuée par conductivité à travers celle-ci, soit :

$$M_V Cp_V \frac{dT_V}{dt} = (1-\rho_V)a_V G_h + Q_{R.E-V} + Q_{C.E-V} + Q_{EVap} - Q_{R.V-A} - Q_{C.V-A} \qquad \text{(III.2)}$$

$Q_{R.E-V}$: Flux thermique par rayonnement entre le film d'eau et le vitrage.

$Q_{C.E-V}$: Flux thermique par convection entre le film d'eau et le vitrage.

Q_{EVap}: Flux thermique par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage.

$Q_{C.V-A}$: Flux thermique perdu par convection par la vitre vers l'extérieur.

$Q_{R.V-A}$: Flux thermique perdu par la vitre par rayonnement vers l'extérieur.

III -3 -2 - 2 - Bilan de l'eau

$$M_E Cp_E \frac{dT_E}{dt} = (1-\rho_V)(1-a_V)a_E G_h + Q_{C.B-E} - Q_{C.E-V} - Q_{R.E-V} - Q_{EVAP} \qquad \text{(III.3)}$$

$Q_{C.B-E}$: Flux thermique par convection entre le fond du bac et le film d'eau.

$Q_{C.E-V}$: Flux thermique par convection entre le film d'eau et le vitrage.

$Q_{R.E-V}$: Flux thermique par rayonnement entre le film d'eau et le vitrage.

Q_{EVAP} : Flux thermique par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage.

III -3 -2 - 3 - Bilan du bassin

$$M_B Cp_B \frac{dT_B}{dt} = (1-\rho_V)(1-a_V)(1-a_E)a_B G_h - Q_{C.B-E} - Q_{Perte(B)} \qquad \text{(III.4)}$$

$Q_{C.B-E}$: Flux thermique par convection entre le fond du bac et le film d'eau.

$Q_{Perte(B)}$: Flux thermique perdu par le fond du bac.

III -3 -2 - 4 - Bilan de l'isolant

Pour réduire les pertes de chaleur à travers la base, nous utilisons un isolant thermique. Le coté intérieur du distillateur reçoit la chaleur perdu de l'absorbeur et le coté extérieur cède de la chaleur vers l'extérieur par rayonnement et par convection, d'où l'équation :

$$M_I Cp_I \frac{dT_I}{dt} = Q_{Cond,I-B} - Q_{Perte(I)} \qquad \text{(III.5)}$$

$Q_{Cond,I-B}$: Flux thermique par conduction entre le bac et l'isolant thermique.

$Q_{Perte(I)}$: Flux thermique perdu par l'isolant.

III -3 -2 - 5 - Débit du condensat

$$\frac{dM_C}{dt} = h_{Evap} \frac{(T_E - T_V)}{h_{fg}} \qquad \text{(III.6)}$$

M_C : Masse du condensat.

h_{fg} : Chaleur latente de vaporisation.

T_E : Température de l'eau.

T_V : Température de la vitre.

III - 3 - 3 - Expression des différents coefficients de transfert de chaleur :

Les expressions pour les divers termes des équations données ci-dessus sont:

III -3 -3 - 1 - Par rayonnement eau-vitre

$$Q_{R.E-V} = h_{R.E-V}\,(T_E - T_V) \qquad \text{(III.7)}$$

$h_{R.E-V}$: Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement entre le film d'eau et la vitre.

$$h_{R.E-V} = \frac{\varepsilon_{eff}\,\sigma\left[(T_E+273.15)^4-(T_V+273.15)^4\right]}{T_E - T_V} \qquad \text{(III.8)}$$

ε_{eff} : Emissivité effectif.

σ : Constante de Steaffan-Boltzman

$$\varepsilon_{eff} = \left[\frac{1}{\varepsilon_E} + \frac{1}{\varepsilon_V} - 1\right]^{-1} \qquad \text{(III.9)}$$

ε_E : Emissivité de l'eau.

ε_V : Emissivité de la vitre.

III -3 -3 - 2 - Par convection eau-vitre

$$Q_{C.E-V} = h_{C.E-V}\,(T_E - T_V) \qquad \text{(III.10)}$$

$h_{C.E-V}$:: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le film d'eau et le vitrage, [22].

$$h_{C.E-V} = 0.884\left[T_E - T_V + \frac{(P_E - P_V)(T_E + 273.15)}{268.9.10^3 - P_E}\right]^{1/3} \text{(III.11)}$$

PE : Pression de vaporisation à TE.

PV : Pression de vaporisation à TV.

III -3 -3 - 3 - Par évaporation

$$Q_{Evap} = h_{Evap}\,(T_E - T_V) \qquad \text{(III.12)}$$

h_{Evap} : Coefficient de transfert de chaleur par évaporation-condensation entre le film d'eau et le vitrage.

$$h_{Evap} = 16.273.10^{-3} h_{C.E-V} \frac{(P_E - P_V)}{(T_E - T_V)} \qquad \text{(III.13)}$$

La pression de la vapeur d'eau et la chaleur latente d'évaporation sont estimées par les relations suivantes [23]:

$$P = exp\left(25.317 - \frac{5144}{T + 273.15}\right) \qquad \text{(III.14)}$$

$$h_{fg} = 3.1615 \times 10^6 - 2.40714 \times 10^3 \mathrm{T} \qquad \text{(III.15)}$$

D'autre part, [24] a donné une relation linéaire entre la pression de saturation et la température (T en °C) comme suit :

$$P = 014862\,T - 0.36526 \times 10^{-2} T^2 + 0.11242 \times 10^{-3} T^3 \quad \text{(III.16)}$$

III -3 -3 - 4 - Par rayonnement vitre-ambiant

$$Q_{R.V-A} = h_{R.V-Ciel}\,(T_V - T_A) \quad \text{(III.17)}$$

$h_{R.V-Ciel}$: Coefficient de transfert de chaleur par rayonnement par la vitre vers l'extérieur.

$$h_{R.V-Ciel} = \frac{\varepsilon_V\,\sigma\left[(T_V+273.15)^4-(T_{Ciel}+273.15)^4\right]}{T_V-T_A} \quad \text{(III.18)}$$

T_{Ciel} : Température du ciel.

La température du ciel est donnée par deux relations approximatives, l'une par [22], et l'autre par [23] respectivement :

$$T_{Ciel} = T_A - 6 \quad \text{(III.19)}$$

$$T_{Ciel} = T_A - 12 \quad \text{(III.20)}$$

T_A: Température ambiante.

III -3 -3 - 5 - Par convection vitre-ambiant

$$Q_{C.V-A} = h_{C.V-A}\,(T_V - T_A) \quad \text{(III.21)}$$

$h_{C.V-A}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre la vitre et l'extérieur.

Le coefficient d'échange par convection entre la face externe de la vitre et l'air est donné par la relation suivante [23] et [24]:

$$h_{C.V-A} = 5.7 + 3.8V \quad \text{(III.22)}$$

La deuxième corrélation est donnée par [21] comme suit :

$$h_{C.V-A} = 2.8 + 3.0V \quad \text{(III.23)}$$

[25] a calculé $h_{C.V-A}$ par la corrélation suivante :

$h_{C.V-A} = 2.8 + 3.0V$ Lorsque $V \leq 5\ m/s$

$h_{C.V-A} = 6.15V^{0.8}$ Lorsque $V > 5\ m/s$

Où V est la vitesse du vent.

III -3 -3 - 6 - Par convection bassin-eau

$$Q_{C.B-E} = h_{C.B-E}\,(T_B - T_E) \qquad \text{(III.24)}$$

$h_{C.B-E}$: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre le fond du bac et le film d'eau.

$$h_{C.B-E} = \frac{N_u K_f}{L} \qquad \text{(III.25)}$$

K_f: Conductivité thermique du fluide (eau).

Les pertes thermiques du bassin par conduction thermique à travers l'isolation et de l'isolation vers l'air ambiant sont données par [26] comme suit :

$$Q_{Perte(B)} = U_B\,(T_B - T_I) \qquad \text{(III.26)}$$

TB : Température du bac.

TI : Température de l'isolant.

Avec :

$$U_B = \frac{K_B}{\delta_B}$$

K_B : Conductivité thermique du bac.

δ_B: Epaisseur du bac.

III -3 -3 - 7 - Par conduction Isolant-bassin

$$Q_{Cond,I-B} = Q_{Perte(B)} = \frac{K_B}{L_B}\,(T_B - T_I) \qquad \text{(III.27)}$$

$$Q_{Perte(I)} = U_I\,(T_I - T_A) \qquad \text{(III.28)}$$

avec :

$$U_I = \left(\frac{\delta_I}{K_I} + \frac{1}{h_I}\right)^{-1}$$

K_I: Conductivité de l'isolant.

δ_I: Epaisseur de l'isolant.

h_I: Coefficient de transfert de chaleur par convection entre l'isolant et l'air extérieur.

III - 4 - Analogie électrique

Par analogie entre les grandeurs thermiques et les grandeurs électriques tableau (III.1) , on représente les échanges de chaleur par un schéma électrique figure(III.2)sur lesquelles on peut appliquer la loi d'Ohm et la loi de Kirchhoff. Lorsque le transfert de chaleur qui s'opère entre deux éléments suit plusieurs modes simultanées (par exemple convection et rayonnement), le circuit électrique « modèle » comportera des résistances en parallèles. Lorsqu'il s'effectue suivant plusieurs modes successifs (ex : par conduction et convection), le circuit électrique « modèle » comportera des résistances en séries.

D'une manière générale et par analogie de la loi d'Ohm, on considère un flux de chaleur échangé entre deux points l'un à une température T_1 et l'autre à une température T_2 soit :

$$Q_{1,2} = h.s\,(T_1 - T_2)$$

La densité du flux de chaleur échangé entre un point de température et un autre point à une température similaire à la loi d'Ohm, qui autorise les analogies entre les grandeurs thermiques et électriques, peut s'écrire sous la forme suivante :

$$Q_{1,2} = h_{1,2}.(T_1 - T_2) \qquad \text{(III.29)}$$

Telle que La résistance thermique :

$$R_{th} = \frac{1}{h_{1-2}} \qquad \text{(III.30)}$$

En équivalence cette équation peut être interprétée par la loi d'Ohm comme suit :

$$E_{1,2} = E2 - E1 = Req\ .I$$

E1 et ***E2*** : représentent les potentielles électriques aux points 1 et 2 du circuit. [V]

Req: La résistance aux transferts de charge électrique entre les points 1 et 2. [Ω]

I : L'intensité du courant. [A]

Grandeur thermique	Grandeur électrique
Température	Potentiel électrique
Flux thermique	Courant électrique
Résistance thermique	Résistance électrique
Capacité thermique	Capacité électrique

Tableau III1 : Analogie entre le système thermique et le système électrique.

III - 5 - Calcul les pertes du distillateur simple

On a : $\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R^r_{v_ex}} + \frac{1}{R^c_{v_ex}}$ (III.31)

Et : $\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R^r_{e_v}} + \frac{1}{R^c_{e_v}} + \frac{1}{R^{ev}_{e_v}}$ (III.32)

$\frac{1}{R_1} = h^r_{v_ex} + h^c_{v_ex} \rightarrow R_1 = \frac{1}{h^r_{v_ex}+h^c_{v_ex}}$ (III.33)

$\frac{1}{R_2} = h^r_{e_v} + h^{ev}_{e_v} + h^c_{e_v} \rightarrow R_2 = \frac{1}{h^r_{e_v}+h^c_{e_v}+h^{ev}_{e_v}}$ (III.34)

$R_{eq} = R_1 + R_2 \rightarrow \frac{1}{h^r_{e_v}+h^c_{v_ex}} + \frac{1}{h^r_{e_v}+h^c_{e_v}+h^{ev}_{e_v}}$ (III.35)

$K_{av} = \frac{1}{R_{eq}}$ (III.32)

Donc : $K_{av} = \frac{1}{\frac{1}{h^r_{e_v}+h^c_{v_ex}} + \frac{1}{h^r_{e_v}+h^c_{e_v}+h^{ev}_{e_v}}}$ (III.36)

$K_p = K_{av} + K_{ar}$ avec $K_{ar} = 10\% K_{av}$ (III.37)

$Q_P = K_P(T_{eau} - T_a)$ (III.38)

Q_P: Les pertes d'un distillateur simple.

K_P: Le coeff des pertes du distillateur.

K_{av}: Le coeff des pertes du distillateur vers l'avant.

K_{ar} : Le coeff des pertes du distillateur vers l'arrière.

Schéma électrique

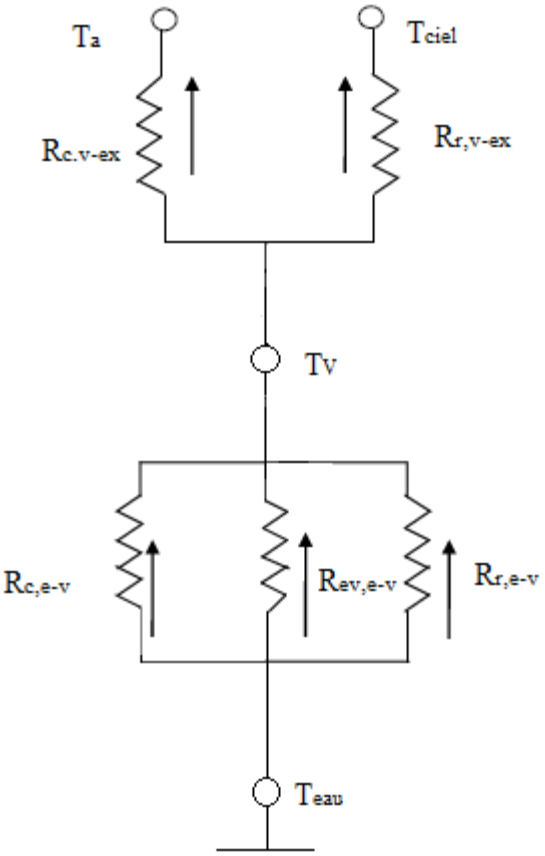


Figure III. 3 : Représentation de l'analogie électrique du distillateur solaire simple.

IV - Introduction

Louange à dieu qui nous a donné le cerceau, ce membre avec lequel on pense, on réfléchit, on raisonne et j'en passe des termes qualifiant ces fonctionnalités, mais que bon nombre, même les spécialistes ne savent pas avec précision comment le cerveau fait tout ça.

Le cerveau est sans doute le membre de l'être humain le moins maîtrisé par les spécialistes du point de vue de son fonctionnement et de ces fonctionnalités.

Les réseaux de neurones biologiques réalisent facilement un certain nombre d'application telles que la reconnaissance de formes, le traitement du signal, l'apprentissage la mémorisation et surtout la généralisation. Ces applications sont pourtant, malgré tous les efforts déployés en algorithmique et en intelligence artificielle, à la limite des possibilités actuelles [28].

Les réseaux de neurones n'ont pas eu la diffusion attendue dans l'industrie. Ils ont été souvent confinés à des domaines informatiques et économiques. Cependant les réseaux de neurones appartiennent à l'intelligence artificielle, et comme tels, ils sont théoriquement capables de s'adapter et d'apprendre à réaliser 'presque n'importe quelle tâche. Notre but est d'exploiter cette possibilité pour étudier les possibilités qu'offrent les réseaux de neurones par rapport aux systèmes d'identification traditionnels [28].

IV - 1 - Historique [29]

Une première vague d'intérêt aux réseaux de neurones a vu le jour après l'introduction par McCulloch et Pitts en 1943 la notion des neurones simplifiés (perceptron). Ces neurones ont été présentés comme un modèle du neurone biologique et comme un élément de base pour des circuits (réseaux) capables de réaliser des fonctions logiques, arithmétiques et symboliques complexes. En 1949 Hebb, physiologiste américain, propose une loi de modification des propriétés des connexions entre les neurones, qui explique en partie le conditionnement pavlovien chez l'animal. Les premiers succès de cette méthode fut présentés par Rosenblatt en 1957 qui a construit le premier neuro-ordinateur basé sur le modèle du Perceptron et la appliqué au domaine de la reconnaissance des formes. En 1960 Widrow un automaticien, a développé le modèle Adaline qui a amélioré la loi d'apprentissage. Quand Minsky et Papert publièrent en 1969 leur ouvrage qui met en exergue les limitations théoriques du perceptron, il y a abandon financier des recherches dans le domaine, les chercheurs se tournèrent principalement vers l'IA et les systèmes à bases de règles. Seul quelques chercheurs on continué leurs efforts parmi lesquels on note TeuvoKohonen, Stephen Grossberg, James Anderson et Kunihiko Fukushima.

En 1982 Hopfield un physicien reconnu à qui l'on doit le renouveau d'intérêt pour les réseaux de neurones artificiels. Au travers d'un article court, clair et bien écrit, il présente une théorie du fonctionnement et des possibilités des réseaux de neurones. Hopfield fixe préalablement le comportement à atteindre pour son modèle et construit à partir de là, la structure et la loi d'apprentissage correspondant au résultat escompté. Ce modèle est aujourd'hui encore très utilisé pour des problèmes d'optimisation. Notons qu'à cette date, l'IA est l'objet d'une certaine désillusion, elle n'a pas répondu à toutes les attentes et s'est même heurtée à de sérieuses limitations. Aussi, bien que les limitations du Perceptron mises en avant par Minskyne soient pas levées par le modèle d'Hopfield, les recherches sont relancées. La machine de Boltzmann (1983) est le premier modèle connu apte à traiter de manière satisfaisante les limitations recensées dans le cas du perceptron. Mais l'utilisation pratique s'avère difficile, la convergence de l'algorithme étant extrêmement longue (les temps de calcul sont considérables).

En 1985 la rétro propagation de gradient apparaît. C'est un algorithme d'apprentissage adapté aux réseaux de neurones multicouches. Dès cette découverte, nous avons la possibilité de réaliser une fonction non linéaire d'entrée/sortie sur un réseau en décomposant cette fonction en une suite d'étapes linéairement séparables. De nos jours, les réseaux multicouches et la rétro propagation de gradient reste le modèle le plus étudié et le plus productif au niveau des applications.

Et depuis les réseaux neuronaux ont connu un grand essor vu les applications potentielles et la disponibilité de grand calculateur. En fait les réseaux de neurone sont utilisés dans de nombreux domaines à cause de leurs propriétés et en particulier, leur capacité d'apprentissage et de généralisation.

Néanmoins les réseaux de neurones artificiels ont besoin de cas réels servant d'exemples pour leur apprentissage. Ces cas doivent être d'autant plus nombreux que le problème est complexe et que sa topologie est peu structurée. Sur un plan pratique, cela n'est pas toujours facile car les exemples peuvent être soit en quantité absolument limitée ou trop onéreux à collecter en nombre suffisants.

IV - 2 - Les réseaux de neurone

IV - 2 - 1 - Le neurone

Avant de commencer à énumérer les types de neurones, nous allons expliquer très brièvement les bases biologiques dont ils sont originaires.

IV -2 -1 - 1 - Bases biologiques

Le neurone est le processeur élémentaire du cerveau. Chaque neurone traite l'information qui lui parvient localement, puis transmet aux autres neurones qui lui sont connecté l'information qu'il a traitée. Ces cellules peuvent apprendre en changeant l'intensité de leurs connexions avec d'autres cellules ou détruire ou même créer de nouvelles connexions. Elles peuvent aussi changer leur(s) règle(s) de traitement de l'information. Ce processus de changement est appelé apprentissage et joue un rôle fondamental dans le comportement du neurone [30].

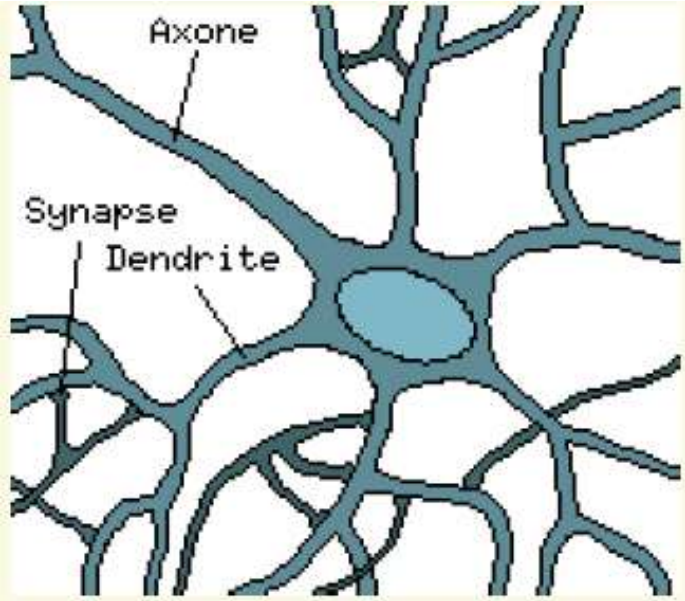


Figure IV 1 : Représentation d'un neurone réel [30].

La figure montre la représentation graphique d'un neurone. D'après la figure, vous pouvez constater que le neurone est composé des parties suivantes :

- **Corps cellulaire**: Noyau du neurone.
- **Dendrites:** Récepteurs principaux du neurone.
- **Axone:** Fibre nerveuse de transport pour les signaux émis par le neurone.
- **Synapse**: Connexion entre la dendrite et l'axone de deux neurones.

IV -2 -1 - 2 - Les réseaux neurone artificiels

Les réseaux de neurones artificiels constituent une technique d'apprentissage et de traitement automatique qui s'inspire du fonctionnement du cerveau humain. Les réseaux de neurones artificiels peuvent être définis comme une structure de traitement parallèle massif constituée de plusieurs unités très simples (que l'on appelle des neurones), qui sont capables de stocker des connaissances expérimentales et de les rendre utilisables. Les réseaux de neurones artificiels sont similaires aux réseaux de neurones biologiques sur plusieurs points [31].

1. Les neurones sont des éléments simples et fortement connectés (même si les neurones artificiels sont beaucoup plus simples).
2. Les connexions entre les neurones permettent de déterminer la fonction du réseau. Ces connexions, connues sous le nom de « poids » (poids synaptiques), servent à stocker les connaissances acquises.
3. Les connaissances sont extraites de leur environnement via un processus d'apprentissage.

IV - 2 - 2 - Comparaison

Comparaison entre neurone biologique et neurone artificiel :

Neurone biologique Neurone artificiel

• Corps cellulaire ----------→ neurone

• Dendrites ----------→ entrée

• Axone----------→sortie

• Synapse----------→ poid

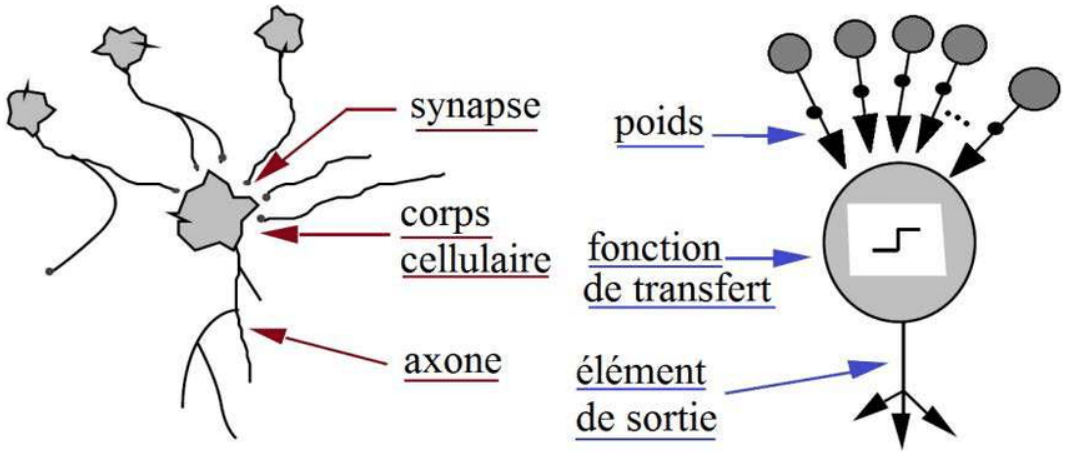


Figure IV 2 : Comparaison entre neurone biologique et neurone artificiel [32].

IV - 3 - Architecture

L'architecture (également appelée topologie) du réseau désigne la disposition des neurones dans ce réseau. Les neurones sont organisés en couches, le réseau de neurones peut donc être constitué d'une ou plusieurs couches de neurones.

Chaque neurone reçoit un ensemble d'entrées multipliées par leur interconnexion (poids), qui sont ensuite additionnées et calculées par une fonction de transfert (ou fonction d'activation), avant d'être transmises à la couche suivante ou de former la sortie du réseau [31].

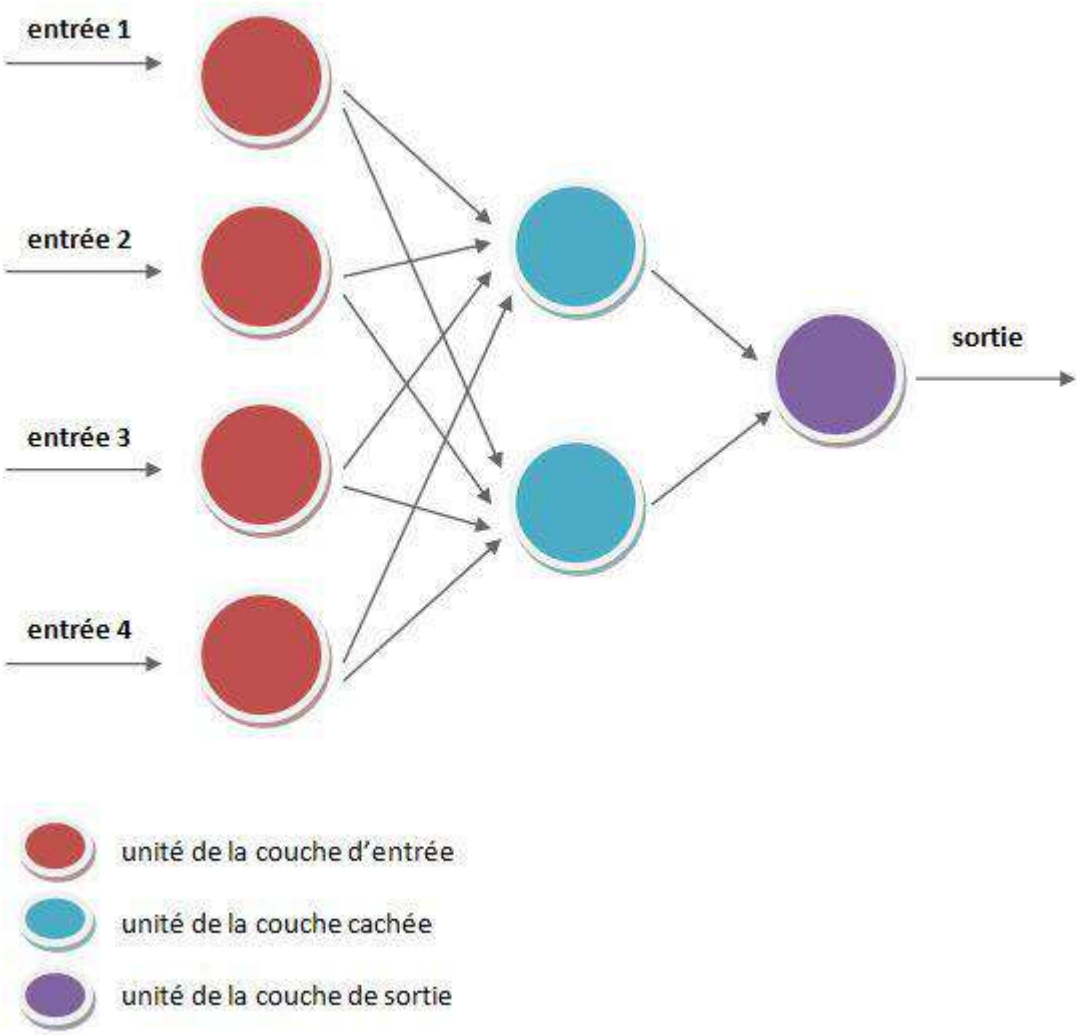


Figure IV 3 : Définition des couches d'un réseau multicouche.

La couche qui contient les sorties du réseau est connue sous le nom de couche de sortie et les couches restantes sont appelées couches cachées.

On distingue deux types d'architecture de neurone artificiels :

IV - 3 - 1 - Les réseaux non bouclés

Ce sont des réseaux unidirectionnels sans retour arrière (feedforward). Le signal de sortie est directement obtenu après l'application du signal d'entrée. Si tous les neurones ne sont pas des organes de sortie, on parle de neurones cachés.

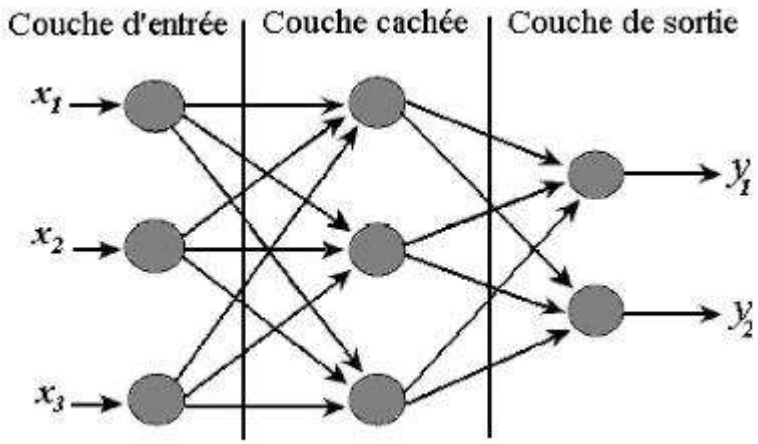


Figure IV 4 : Réseau non bouclé **[**31].

IV - 3 - 2 - Les réseaux bouclés

Il s'agit de réseaux de neurones avec retour en arrière (feedback network ou récurrent Network)

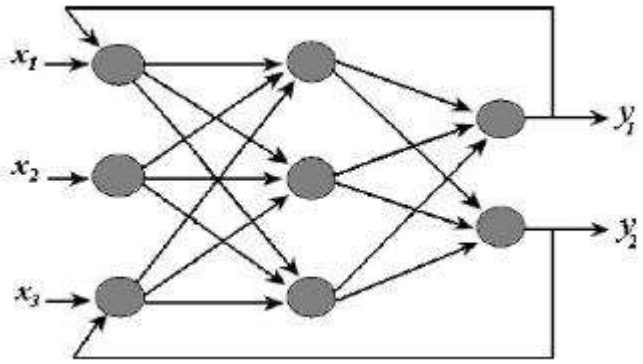


Figure IV 5 : Réseau bouclé [31].

IV - 4 - Apprentissage

Dans de nombreux cas, elles sont également classées en fonction du type d'apprentissage qu'elles réalisent. Ainsi, nous pouvons distinguer différents types d'apprentissages :

- L'apprentissage supervisé, où l'on utilise un ensemble déterminé de données d'entrée et de sortie pour ajuster les poids du réseau de manière itérative.
- L'apprentissage non supervisé, où l'on trouve uniquement des données d'entrée et une fonction de coût à réduire.
- L'apprentissage renforcé, qui se trouve à mi-chemin entre l'apprentissage supervisé et non supervisé. Dans cet apprentissage, l'information transmise au réseau est réduite au minimum : elle indique uniquement si la réponse du réseau est correcte ou non.

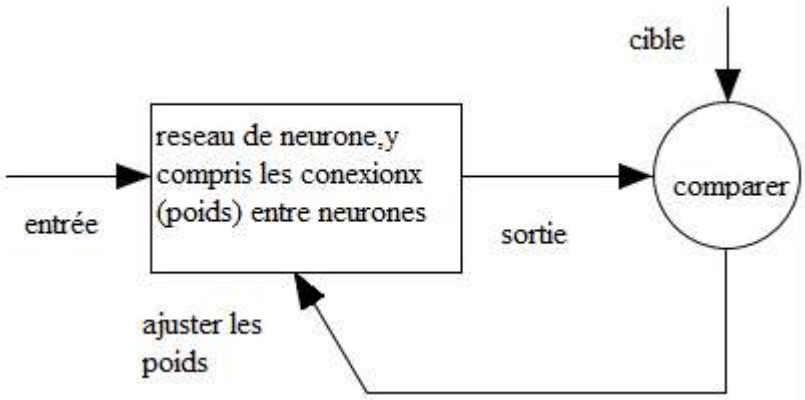


Figure IV 6 : processus d'ajustement des poids au cours de l'apprentissage supervisé [30].

IV - 5 - Structure du réseau

Un réseau de neurones est en général composé d'une succession de couches dont chacune prend ses entrées sur les sorties de la précédente. Chaque couche (i) est composée de N_i neurones, prenant leurs entrées sur les N_{i-1} neurones de la couche précédente. À chaque synapse est associé un poids synaptique, de sorte que les N_{i-1} sont multipliés par ce poids, puis additionnés par les neurones de niveau i, ce qui est équivalent à multiplier le vecteur d'entrée par une matrice de transformation. Mettre l'une derrière l'autre les différentes couches d'un réseau de neurones reviendrait à mettre en cascade plusieurs matrices de transformation et pourrait se ramener à une seule matrice, produit des autres, s'il n'y avait à chaque couche, la fonction de sortie qui introduit une non linéarité à chaque étape. Ceci montre l'importance du choix judicieux d'une bonne fonction de sortie : un réseau de neurones dont les sorties seraient linéaires n'aurait aucun intérêt [27].

Au-delà de cette structure simple, le réseau de neurones peut également contenir des boucles qui en changent radicalement les possibilités mais aussi la complexité. De la même façon que des boucles peuvent transformer une logique combinatoire en logique séquentielle, les boucles dans un réseau de neurones transforment un simple dispositif de reconnaissance d'entrées en une machine complexe capable de toutes sortes de comportements [27].

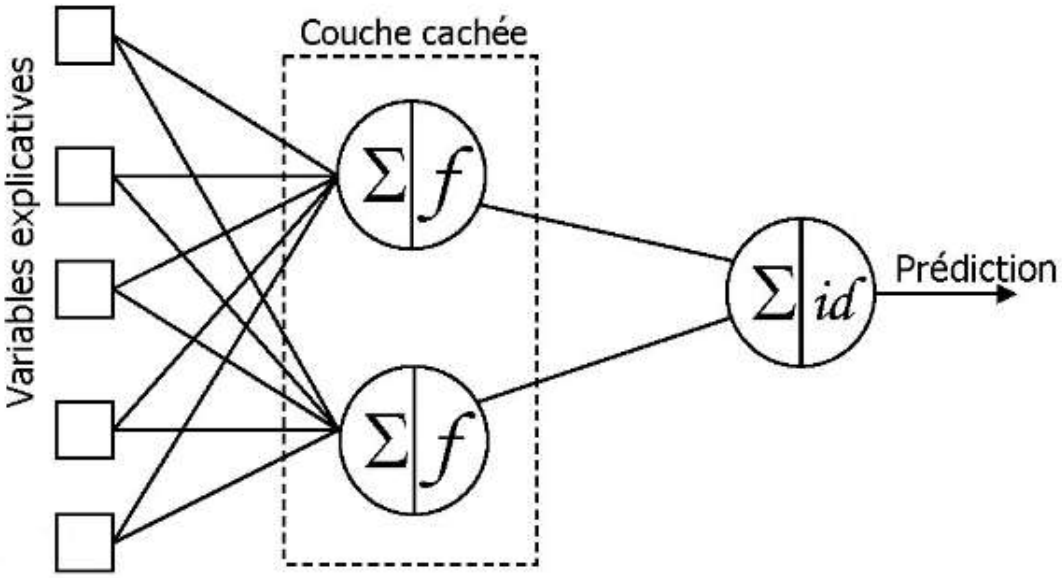


Figure IV 7 : structure du réseau [27].

IV - 5 - 1 - Fonction de combinaison

Considérons un neurone quelconque.

Il reçoit des neurones en amont un certain nombre de valeurs via ses connexions synaptiques, et il produit une certaine valeur en utilisant une fonction de combinaison. Cette fonction peut donc être formalisée comme étant une fonction vecteur-à-scalaire, notamment :

- Les réseaux de type MLP (*multi-layer perceptron*) calculent une combinaison linéaire des entrées, c'est-à-dire que la fonction de combinaison renvoie le produit scalaire entre le vecteur des entrées et le vecteur des poids synaptiques.
- Les réseaux de type RBF (*radial basis function*) calculent la distance entre les entrées, c'est-à-dire que la fonction de combinaison renvoie la norme euclidienne du vecteur issu de la différence vectorielle entre les vecteurs d'entrées [27].

IV - 6 - Domaine d'utilisation

L'utilisation des réseaux de neurone Aujourd'hui, les réseaux de neurones ont de nombreuses applications dans des domaines très variés

- Traitement d'image : compression d'images, reconnaissance de caractères et de signatures, reconnaissance de formes et de motifs, cryptage, classification, ...
- Traitement du signal : traitement de la parole, identification de sources, filtrage, classification, •contrôle : diagnostic de pannes, commande de processus, contrôle qualité, robotique, ... •optimisation : allocation de ressources, planification, régulation de trafic, gestion, finance, ... •simulation : simulation boîte noire, prévisions météorologiques
- Classification d'espèces animales étant donnée une analyse ADN
- Modélisation de l'apprentissage et perfectionnement des méthodes de l'enseignement
- Approximation d'une fonction inconnue ou modélisation d'une fonction connue mais complexe à calculer avec précision [32].

V - Introduction

Le réseau de neurone multicouche a été choisi dans cette étude en raison de sa popularité et de sa capacité de réussite en termes de classification, de prédiction et d'optimisation des modèles. L'emploi de l'apprentissage supervisé exige la connaissance d'une sortie désirée pour tout élément de l'ensemble des données d'entrée. Le modèle multicouche à se compose de trois types de couches, la couche d'entrée, une ou plusieurs couches cachées et une couche de sortie.

Dans notre cas on a pris des données expérimentales de deux distillateurs solaires :(Fedali Saida, Tabet Ismail) [31-32].

V - 1 - Langage de programmation utilisé

Différents programmes de simulation par réseaux de neurones sont disponibles et commercialisés (Neurone Solution, Brain Maker, MatlabToolBoxes, Statistica Neural Network, etc.). Le choix du simulateur se fait sur la base des avantages et des inconvénients de chacun d'eux. Le coût, la flexibilité d'utilisation, le type de plate-forme et l'ergonomie de l'interface sont les principaux critères pour évaluer chaque simulateur. Pour des raisons économiques, nous avons choisi le logiciel MATLAB2015.

Ce logiciel (MATLAB 2015) a été développé pour être utilisé dans un environnement efficace et flexible de simulation pour la recherche, soit généralement par le développement d'un programme ou l'utilisation de l'application NEURAL NETWORK DATA. Cette dernière est développée pour fonctionner sous Windows avec une interface utilisateur graphique facile à utiliser. Elle est aussi employée pour créer, manœuvrer, et visualiser les réseaux de neurones d'une part et importer, exporter les données et les résultats via ces réseaux d'autres part. Pour illustration, le panneau principal de NETWORK DATA MANAGER DATA est présenté dans Figure (V.1)

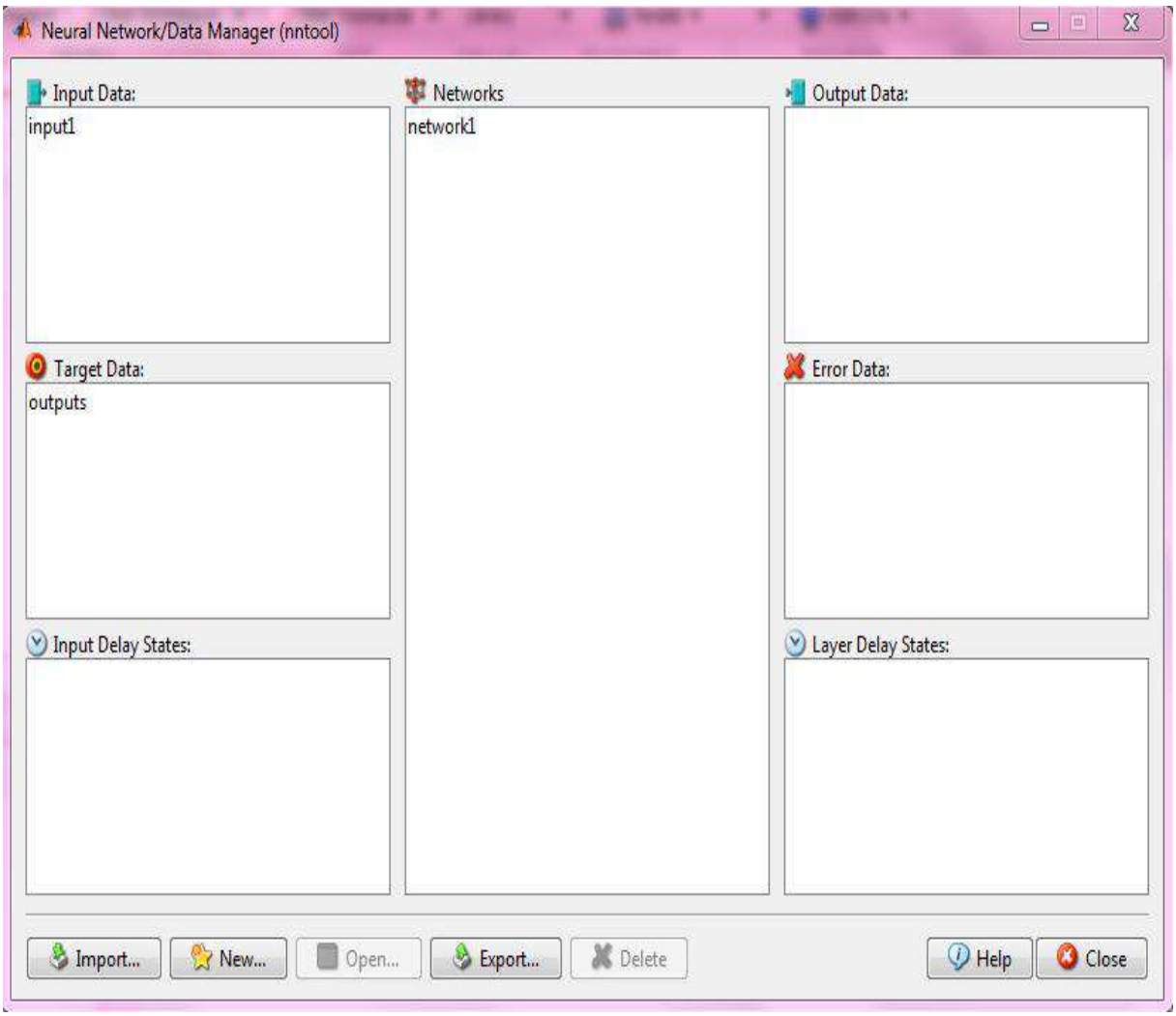


Figure V1:Panneau principal de l'application des réseaux de neurones.

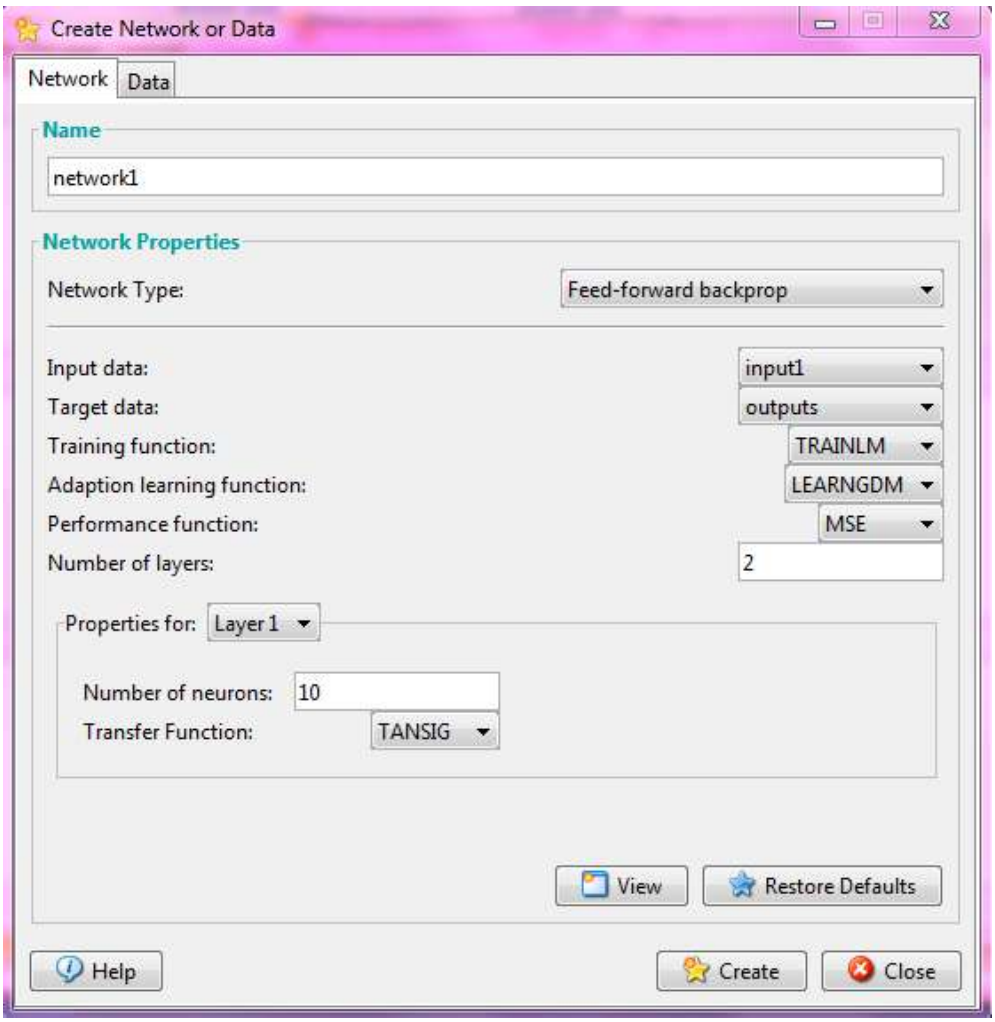


Figure V 2 : Création d'un réseau de neurone.

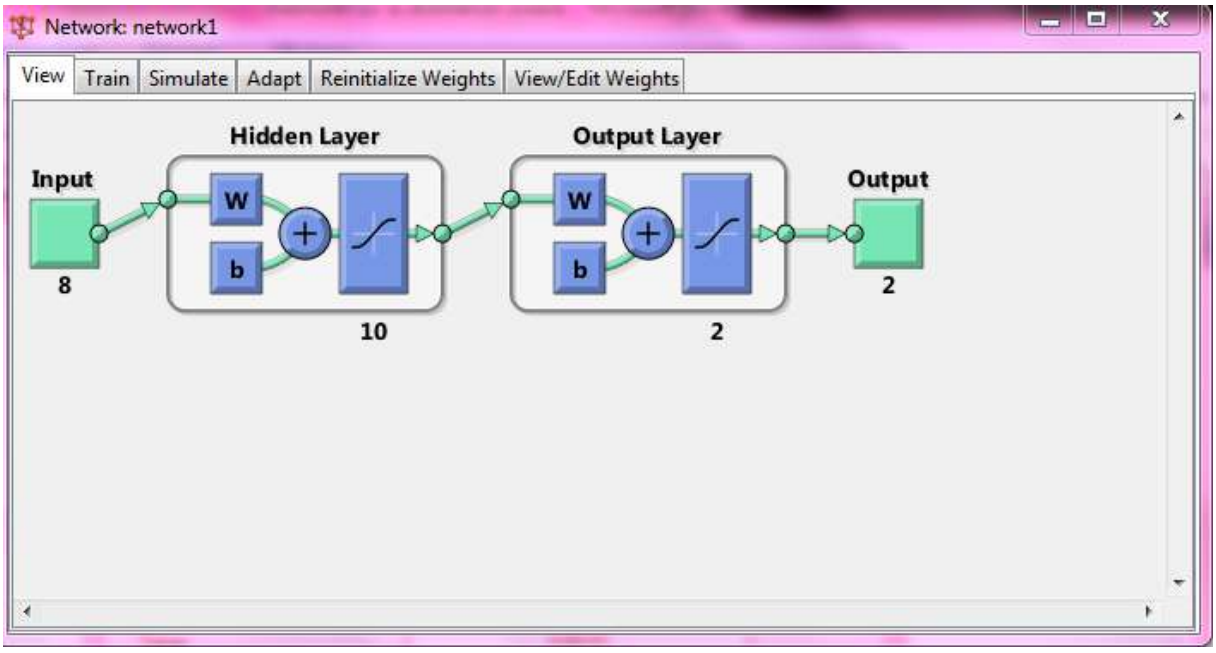


Figure V 3 : Architecture du réseau.

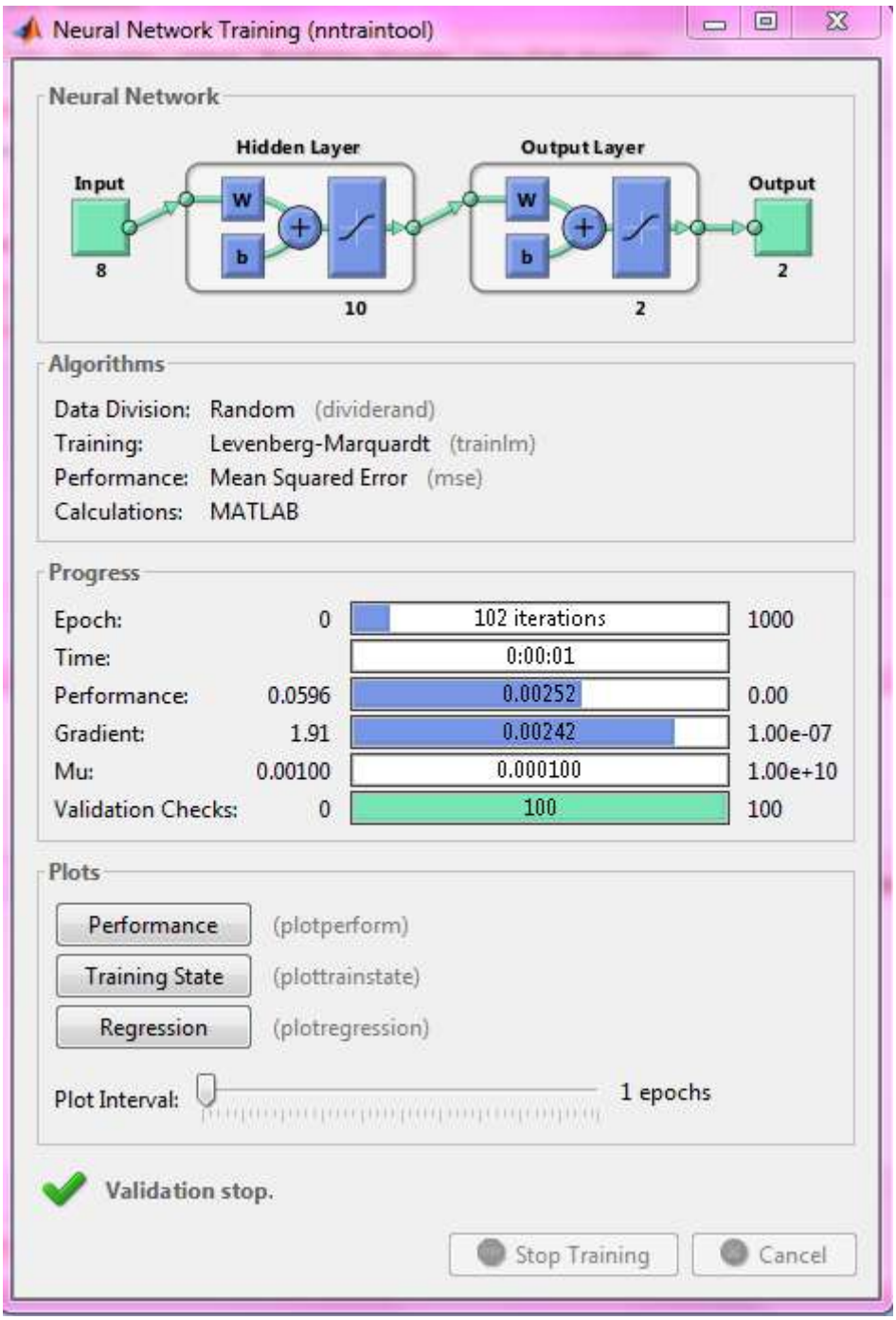


Figure v 4 : Entrainement de réseau de neurones.

V - 2 - Modélisation des réseaux de neurones artificiels du distillateur simple

La collection de base de données utilisée pour le développement de modèles de réseaux neuronaux artificiels pour la production journalière. Le détail général d'une architecture utilisée pour un L'erreur carrée (MSE) générée pendant l'apprentissage peut être calculée en utilisant la relation:

$$MSE = \sum_{k=1}^{n} \frac{(D_{exp} - D_{prd})^2}{n} \qquad (V.1)$$

Où, n est le nombre total de donnée, D_{exp} est les données expérimentales et D_{prd} est les données prédites pour le coefficient de performance e. Les valeurs d'erreur entre les données expérimentales et les données prédites Artificiel Neural Networks peuvent être exprimées par équation :

$$erreur\ (\%) = \left| \frac{(D_{exp} - D_{prd}}{D_{exp}} \right| \times 100 \qquad (V.2)$$

Distillateur solaire simple

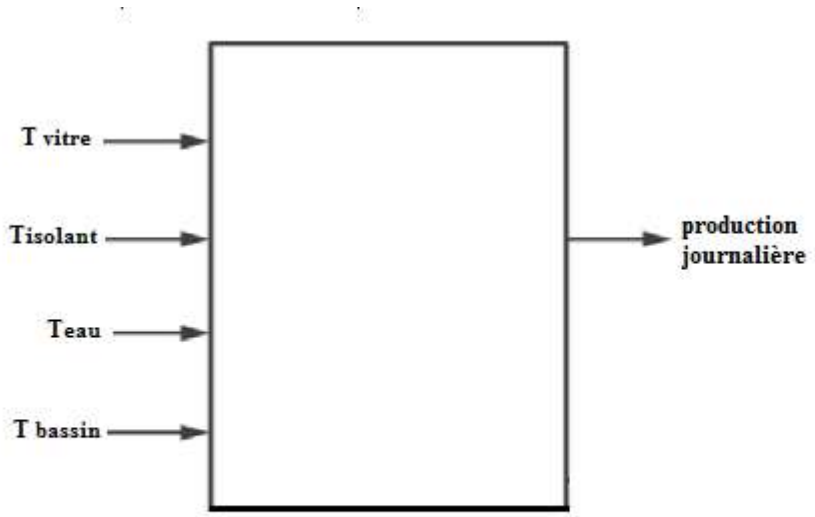


Figure V5 : Architecture de réseaux de neurones utilisée pour distillateur Solaire simple.

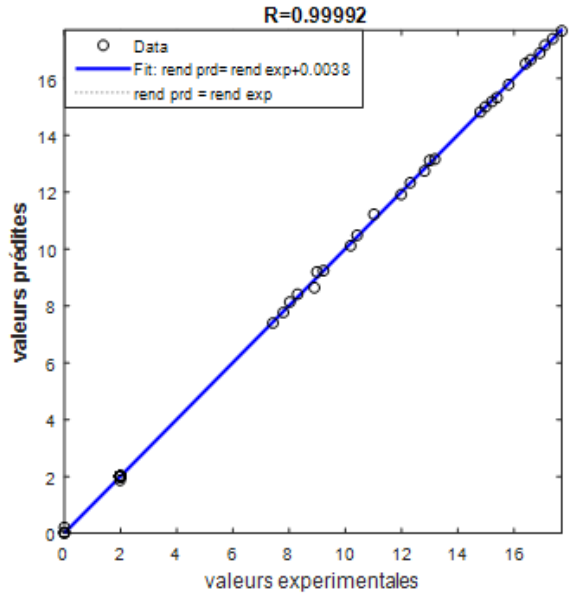


Figure V 6: Corrélation entre données expérimentales et prédites de production journalière du distillateur simple.

Neural Networks parameters	Values and nomination in matlab
Number of input layer	01
Number of output layer	01
Train function	TRAINLM
Transfer function	TANSIG
Performance function	MSE
Error after learning	0.001
Train epochs	1000

Tableau V 1: Valeurs des paramètres d'entraînement utilisées dans le modèle Réseau neurone de production journalière.

Un coefficient de corrélation de R = 0,99992 illustré sur la figure V6 a été obtenu entre les valeurs prédites et expérimentales selon les données présentées dans le tableau V 1, qui agit pour étudier l'effet de la température du vitre sur la production journalière stabilisée au cours du temps. La valeur d'erreur moyenne totale obtenue entre les résultats expérimentaux et prédits de la prod/jr est égale à 0,97%. La valeur de cette erreur est très faible et indique que la capacité du modèle proposé est très bonne pour la prédiction de prod/jr pour divers paramètres de fonctionnement du distillateur solaire simple.

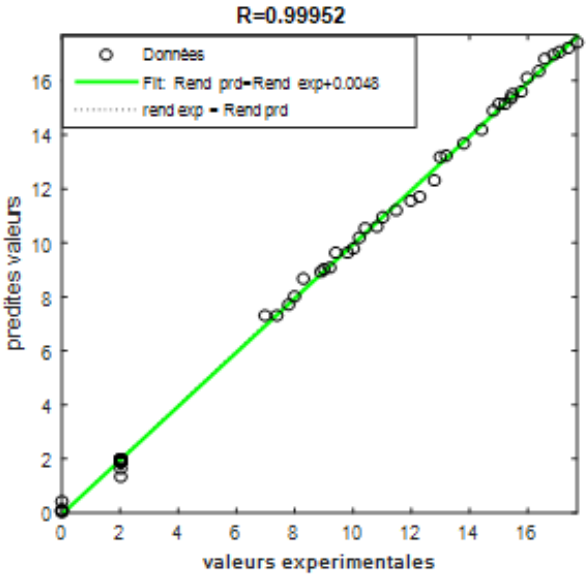


Figure V 7: Corrélation entre données expérimentales et prédites de production journalière du distillateur simple.

Neural Networks parameters	Values and nomination in matlab
Number of input layer	01
Number of output layer	01
Train function	TRAINLM
Transfer function	TANSIG
Performance function	MSE
Error after learning	0.001
Train epochs	1000

Tableau V 2: Valeurs des paramètres d'entraînement utilisées dans le modèle Réseau neurone de production journalière.

Un coefficient de corrélation de R = 0,99952 illustré sur la figure V 7 a été obtenu entre les valeurs prédites et expérimentales selon les données présentées dans le tableau V2, qui agit pour étudier l'effet de la température du isolant sur la production journalière stabilisée au cours du temps. La valeur d'erreur moyenne totale obtenue entre les résultats expérimentaux et prédits de la prod/jr est égale à 0,95%. La valeur de cette erreur est très faible et indique que la capacité du modèle proposé est très bonne pour la prédiction de prod/jr pour divers paramètres de fonctionnement du distillateur solaire simple

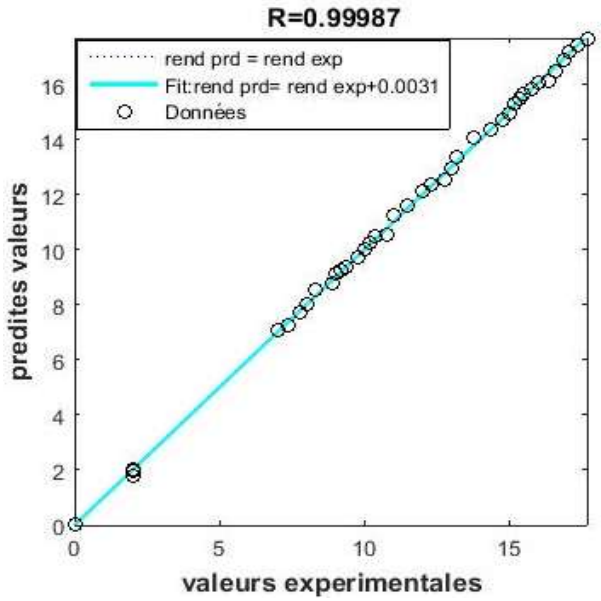


Figure V 8: Corrélation entre données expérimentales et prédites de production journalière du distillateur simple.

Neural Networks parameters	Values and nomination in matlab
Number of input layer	01
Number of output layer	01
Train function	TRAINLM
Transfer function	TANSIG
Performance function	MSE
Error after learning	0.001
Train epochs	1000

Tableau V 3: Valeurs des paramètres d'entraînement utilisées dans le modèle Réseau neurone de production journalière.

Un coefficient de corrélation de R = 0,99987 illustré sur la figure V 8 a été obtenu entre les valeurs prédites et expérimentales selon les données présentées dans le tableau V 3, qui agit pour étudier l'effet de la température de l'eau sur la production journalière stabilisée au cours du temps. La valeur d'erreur moyenne totale obtenue entre les résultats expérimentaux et prédits de la prod/jr est égale à 0,96%. La valeur de cette erreur est très faible et indique que la capacité du modèle proposé est très bonne pour la prédiction de prod/jr pour divers paramètres de fonctionnement du distillateur solaire simple.

Distillateur solaire à cascade

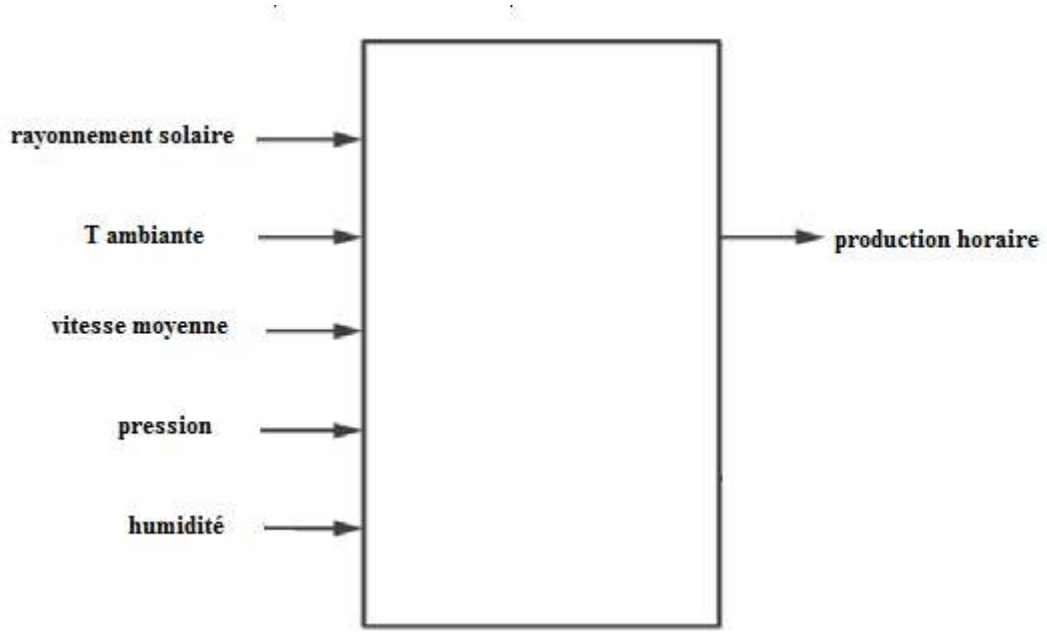


Figure V9 : Architecture de réseaux de neurones utilisée pour distillateur a cascade.

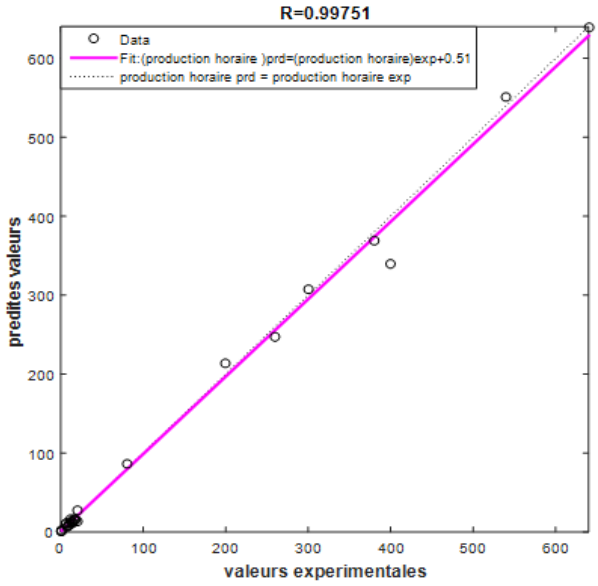


Figure V10: Corrélation entre données expérimentales et prédites de production journalière du distillateur solaire à cascade.

Neural Networks parameters	Values and nomination in matlab
Number of input layer	01
Number of output layer	01
Train function	TRAINLM
Transfer function	TANSIG
Performance function	MSE
Error after learning	0.001
Train epochs	1000

Tableau V 4: Valeurs des paramètres d'entraînement utilisées dans le modèle Réseau neurone de production horaire.

Un coefficient de corrélation de R = 0,99751illustré sur la figure V 10 a été obtenu entre les valeurs prédites et expérimentales selon les données présentées dans le tableau V4, qui agit pour étudier l'effet de la température ambiante sur la production horaire stabilisée au cours du temps. La valeur d'erreur moyenne totale obtenue entre les résultats expérimentaux et prédits de la prod/h est égale à 0,98%. La valeur de cette erreur est très faible et indique que la capacité du modèle proposé est très bonne pour la prédiction de prod/h pour divers paramètres de fonctionnement du distillateur solaire à cascade.

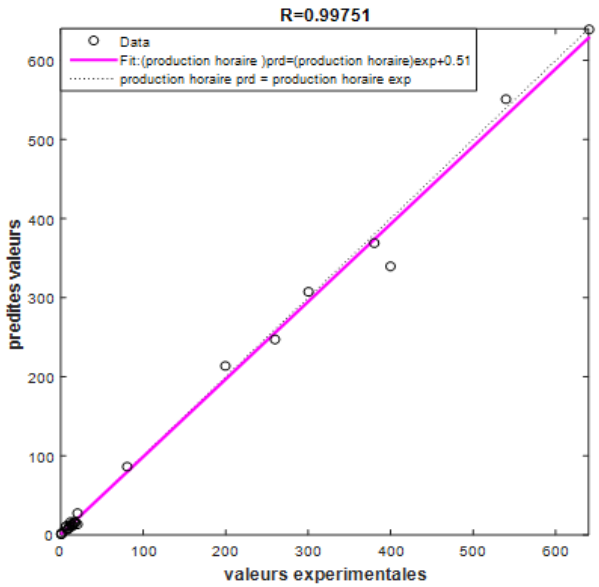


Figure V11: Corrélation entre données expérimentales et prédites de production journalière du distillateur solaire à cascade.

Neural Networks parameters	Values and nomination in matlab
Number of input layer	01
Number of output layer	01
Train function	TRAINLM
Transfer function	TANSIG
Performance function	MSE
Error after learning	0.001
Train epochs	1000

Tableau V 5: Valeurs des paramètres d'entraînement utilisées dans le modèle Réseau neurone de production horaire.

Un coefficient de corrélation de R = 0,99154illustré sur la figure V 11 a été obtenu entre les valeurs prédites et expérimentales selon les données présentées dans le tableau V5, qui agit pour étudier l'effet de l'humidité sur la production horaire stabilisée au cours du temps. La valeur d'erreur moyenne totale obtenue entre les résultats expérimentaux et prédits de la prod/h est égale à 0,99%. La valeur de cette erreur est très faible et indique que la capacité du modèle proposé est très bonne pour la prédiction de prod/h pour divers paramètres de fonctionnement du distillateur solaire à cascade.

D’autre part nous avons utilisé un autre programme pour calculer les pertes thermiques et le coefficient des pertes thermique vers l’avant du distillateur simple (Microsoft développer studio) (FORTON).

(FORTRAN), est un langage de programmation conçu pour le calcul numérique et l'informatique scientifique, il est le plus ancien langage de programmation et est encore largement utilisé. Ses applications se trouvent dans les domaines scientifiques, en particulier la prévision numérique du temps, la dynamique des fluides computationnelle et la physique computationnelle. il est également très populaire dans l'informatique de haute performance et est utilisé dans l'analyse comparative des programmes et le classement des supercalculateurs les plus rapides au monde.

Certaines des caractéristiques de Fortran qui conviennent aux scientifiques comprennent:

- Prise en charge intégrée des arguments dans les sous-programmes
- Riche ensemble de fonctions intrinsèques
- Prise en charge intégrée des nombres complexes
- Prise en charge de la notation de tableau permettant des opérations sur des sections de tableau
- Règles d'alias puissantes pour les pointeurs de mémoire, résultant en un code plus efficace après la compilation

Aujourd'hui, malgré la concurrence de langages tels que C et C ++, Fortran est encore largement utilisé pour effectuer des tests de référence à virgule flottante sur de nouveaux processeurs informatiques. Au fil des ans, une vaste collection de codes a été écrite avec Fortran dans de nombreuses machines scientifiques et d'ingénierie, permettant à la langue de persister.

Fortran a évolué avec le temps. Commençant comme un langage de programmation purement procédural, il prend désormais en charge des fonctionnalités orientées objet telles que l'extension de type et l'héritage, le polymorphisme et l'allocation de type dynamique.

Dans ce cas on a fixé la température ambiante et on a varié la température de l'eau du distillateur solaire simple :

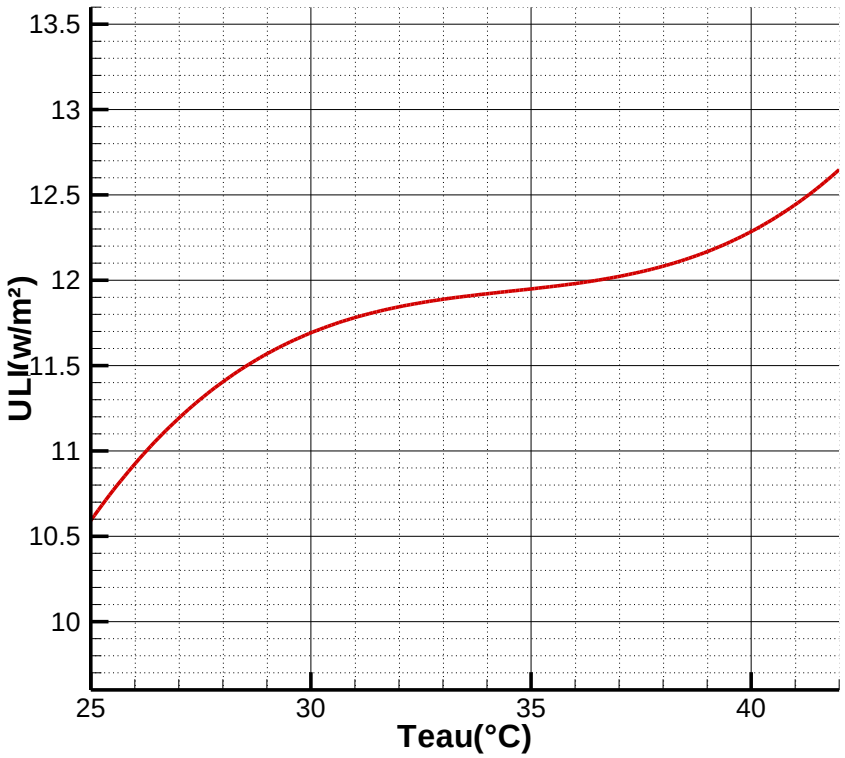


Figure V 12 : variation de coefficient de pertes thermique vers l'avant en fonction de la température de l'eau du distillateur solaire simple.

On constate d'après la courbe de figure V12 que le coefficient de pertes augmente avec l'augmentation de la température de l'eau, dans la température 25 °C le coefficient de pertes thermique vers l'avant UL prend la valeur 10.6 w/m², après un intervalle de[25°C- 43°C] sa valeur arrive à 12.7w/m².

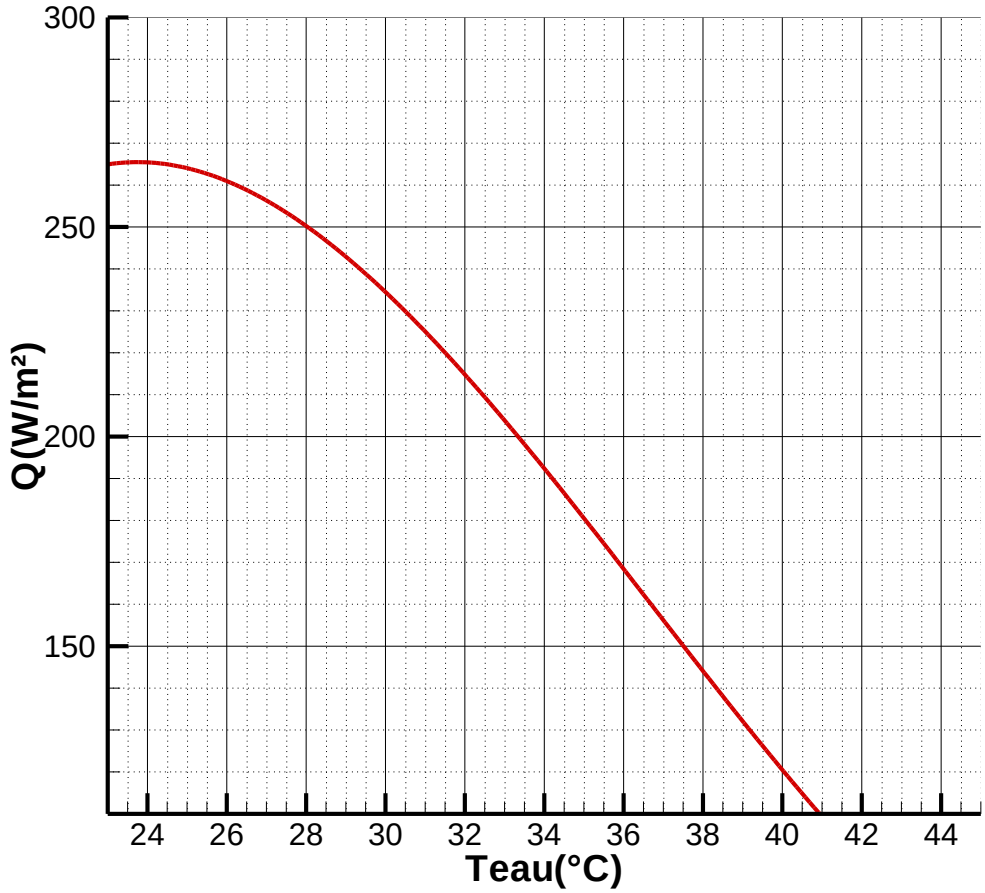


Figure V 13 : la variation des pertes thermiques en fonction de la température de l'eau du distillateur solaire simple.

On constate d'après la courbe de figure V13 que les pertes thermiques diminuent avec l'augmentation de la température de l'eau , dans la température 25 °C les pertes thermiques Qp prend la valeur 270 w/m², après un intervalle de[24°C- 43°C]
sa valeur arrive à 67w/m².Dans ce cas On a fixé la température l'eau et on a varié la température ambiante :

Dans ce cas On a fixé la température l'eau et on a varié la température ambiante :

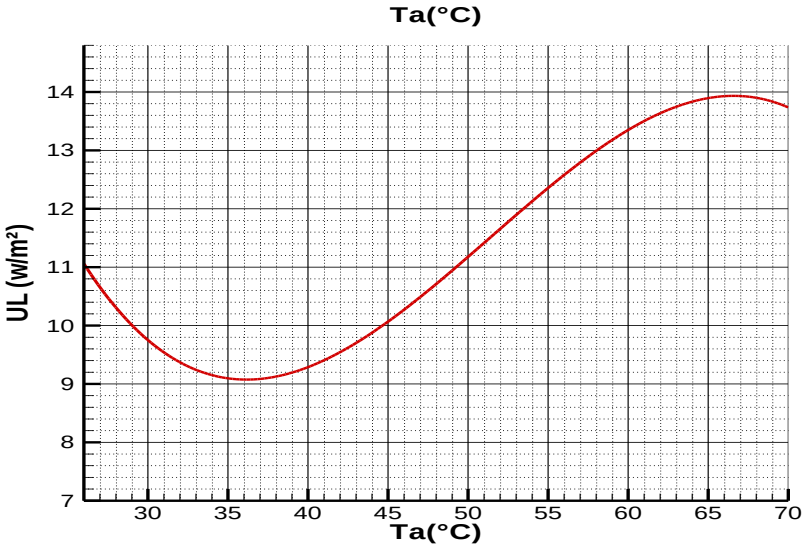


Figure V 14 : variation de coefficient de pertes thermique vers l'avant en fonction de la température ambiante

Observation : on remarque la décroissance de courbe [0 à 35] a cause de l'influence des paramètre externe ou interne sur le distillateur

On a constaté d'après la courbe de figure V14 que le coefficient de pertes thermiques diminue avec l'augmentation de la température ambiante, entre [25 °C- 40 °C], au-delà de cette intervalle le coefficient de pertes thermiques augmente jusqu'à 14w/m².

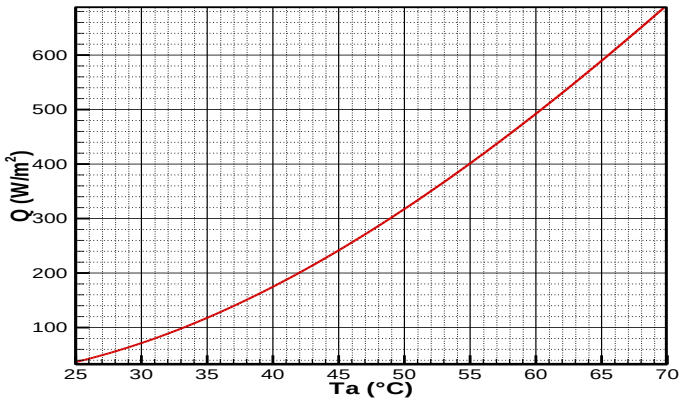


Figure V 15 : la variation des pertes thermiques en fonction de la température ambiante.

Observation : une relation de croissance entre la température ambiante et les pertes thermique

On constate d'après la courbe de figure V15 que les pertes thermiques augmentent avec l'augmentation de la température de l'eau, dans la température 70°C la valeur arrive à 600w/m².

Conclusion

En Algérie, comme dans les pays en voie de développement, le problème d'approvisionnement en eau potable devient de plus en plus crucial, du fait des aléas climatiques persistants, de la croissance démographique et de l'élévation du niveau de vie. Les enjeux du monde d'aujourd'hui qui se dirige vers ces deux ressources critiques qui sont inextricablement liés l'eau et l'énergie solaire Le travail effectués dans le cadre de cette mémoire, rapporte une contribution enchainée aux travaux précédant dans ce domaine.

L'étude a été réalisée afin de développer des modèles de réseaux de neurones artificiels utilisés pour prédire la production journalière d'un distillateur solaire. La conclusion suivante peut être notée est la bonne performance du modèle de réseaux de neurones artificiels pour la prédiction de la production journalière et horaire avec un coefficient de corrélation d'environ 0,999 et 0,988 correspondant respectivement aux valeurs expérimentales de régression

Après notre étude thermique des différents aspects nécessaire pour mettre en évidence de l'efficacité de distillateur solaire et après prendre tous les modalités idéal à partir de tous les échanges énergétiques ainsi les pertes thermiques. On a obtenu des résultats prédites identique avec les résultats expérimentaux, finalement nous avons confirmé l'efficacité de ce modèle.

Perspectives :

Suite aux travaux effectués au cours de cette mémoire et afin de concrétiser ces résultats très intéressantes , j'espère que les étudiants qui travailleront sur ce sujet intègrent notre travaille par une réalisation réel et prennent des valeurs très précises pour obtenir des meilleurs résultats cela va bénéficier de ce potentiel important qui va sans doute contribuer à solutionner le problème de manque d'eau potable.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

[1] Frohlichm C. World radiometric reference. World Meteorological Organization, Commission for instruments and methods of observation, report WMO 490, p 108-112. (1978)

[2] M. Daguenet. Les séchoirs solaires : théorie et pratique, Unesco, paris (1985).

[3] Y. Jannot .Thermique solaire. Paris (2007).

[4] Berger A. d'ozone et prix Nobel de chimie. La Météorologie 8eme série, 13, p 63-73. (1995).

[5] K.Skeiker .Correlation of global solar radiation with common geographical and meteorological parameters for Damascus province, Syria. Energy Conversion and Management 47 p 331–345 (2006)

[6] Mehmet Yorukoglu et Ali Naci Celik.A critical review on the estimation of daily global solarradiation from sunshine duration. Energy Conversion and Management (2006).

[7] Kaplanis .S et Kaplani ,E. model to predict expected mean and stochastic hourly global Solar radiation I(h;nj) values. Renewable Energy 32. P1414–1425(2007)

[8] R. P Energie solaire photovoltaïque ,volume1, unisco,1993

[9] Fedali .s modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres à bas coût pour les communautés rurales: thèse magister université Batna 2008.

[10] A. Safwat Nafey, M. Abd el kader, A. Abd el motalib, A.A. Mabrouk; Parameters affecting solar still productivity. Energy Conversion & Management Vol.41 (2000) pp 1797-1809.

[11] B. N'doye; Modélisation informatique des distillateurs solaires à effet de serre. These de 3ieme cycle, Perpignan. (1979).

[12] S.satcunanathan, HP Hansen , An investigation of some of parameters involved in solar distillation .solar energy vol14 (1973) pp 353-363

[13] M. Malik , G.N. Tiwari , A. Kumar , M.S. Sodha ; Solar distillation. Oxford, UK Pergamon Press; Vol.2 (1982) pp 8–17.

[14] Dossier thématique –la cité de la mer –Technopole Cherbourg-Normandie /Mars 2005

[15] A. Khedim, Mesure et Caractérisation Thermodynamique d'un Nouveau Système Solaire de Dessalement de l'Eau de Mer avec Récupération de Chaleur; Institut Solaire de Revue Energie Renouvlable. 11èmes Journées Internationales de Thermique 1-12, 2003

[16] Tchinda.R.et Kaptoum,E. simulation numérique des performances d'un distillateur solaire fonctionnant en mode indirect .Afreican journal of science and technology (AJST) science and engéneering series vol.5, no, 1, pp.79-91,2004

[17] L.Cherrared et hamid, Influence de la nature du vitrage sur la production journalière d'un distillateur solaire, revue énergie renouvelable : physique énergétique pp 69-71,1998

[18] Zaidi .H, étude et optimisation des paramètres thermo-physique en vue l'amélioration de la performance d'un distillateur solaire, thèse magister, université mentouri 2006

[19] F. Golestench, Thermal performance of a low thermal inertia solar still, Thesis Master of Sciences, University of Texas El Paso. 1980.

[20]. A. Khedim, Klemens Schwarzer, Christian Faber, Christoph Müller" Production Décentralise de l'Eau Potable à l'Energie Solaire", Desalination, 168, 13-20, 2004.

[21] Mousa Abu-Arabie, Yousef Zurigat, Hilal Al-Hinai, Saif Al-Hiddabi "Modelling and Preformance Analysis of a Solar Unit With Double Glass Cover Cooling", Desalination, 143,173-182, 2002.

[22] Yousef H. Zurigat, Mousa K. abu-Arabi "Modelling And Performance Analysis of a Regenerative Solar Desalination Unit", Applied Thermal Engineering, 24, 1061-1072, 2004.

[23] M. Benhammou, B. Omari, M. Gahgah, L. Amer, A. Boubghal " Réalisation et Expérimentation d'un Distillateur Solaire Couple à un Condenseur ", Station d'Expérimentation des Equipement Solaires en Milieu Saharien, B.P. 478, Route de Reggane-Adrar, 2003.

[24] W. A. Kamal "A Theoretical and Experimental Study of the Basin Type Solar Still Under The Arabian Gulf Climatic Conditions", Solar and Wind Technology, 5, 147-157, 1988.

[25] A. El-Sebaii " Effect of Wind Speed on Active and Passive Solar Stills", Energy Consversion and Management, 2004

[26] Hilal Al-Hinai, M. S. Al-Nassri, B. A. Jubran " Parametric Investigation of a Double-Effect Solar Still in Comparison With a Single-Effect Solar Still ", Desalination, 150, 75-83, 2002

[27] https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9seau_de_neurones_artificiels 28/05/2018.

[28] BOUTALEB Ali**,** saha ouafi1 *applications des réseaux de neurones aux matériaux dans legenie civil etat de l'art * école normale supérieure de l'enseignement technique d'Oran

[29] efiaut muxika olasagasti**application des réseaux de neurones a l'identification d'un axe de machine-outil*obtenir le grade de docteur de l'inpg *institut national polytechnique de grenoble 2002.*

[30]https://fr.mathworks.com/discovery/les-reseaux-de-neurones.html 28/05/2018.

[31]https://fr.slideshare.net/NourElHoudaMegherbi/rseaux-de-neurones 28/05/2018.

[32]FEDALI S, Modélisation et conception d'un distillateur solaire des eaux saumâtres a bas coût pour les communautés rurales, mémoire Magister. Université de Batna 2008.

[33]TABET I, Etude d'un distillateur solaire a cascade, mémoire Magister. Université Constantine, 2010.

ANNEXES

ANNEXE (1)

Propriétés physiques de certains matériaux pouvant être utilisées comme absorbeur ou isolant

Nature du corps	Masse Volumique ρ (kg/m^3)	Chaleur massique Cp (J/kg. °C)	Conductivité λ (w/m. °C)
Cuivre	8954	383	386
Aluminium	2707	896	204
Acier pure	7897	452	73
Acier inox	7864	460	20
Zinc pure	7144	384	112.2
Laiton	8522	385	111
Béton plein	2300	878	1.75
Bois léger	525	3143	0.15
PVC	1459	930	0.21
Polyéthylène	929	1830	0.46
Polystyrène expansé	25	1380	0.033
Laine de verre	40	880	0.041
Polyuréthane	85	1300	0.045
Liège expansé	120	2100	0.044
Verre	2700	840	0.93
Plexiglas	1190	1465	0.19

ANNEXE (2)

Distillateur a cascade

Tableau 1 :Résultats obtenus au cours des essais effectués

(La production journalière de L'eau distillée)

Heure	Production de l'eau distillée pendant chaque jour (ml/M^2)					
	12/07/2009	02/08/2009	18/08/2009	17/09/2009	18/09/2009	03/10/09
6	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	6	0
9	100	180	20	60	180	50
10	200	220	200	240	200	300
11	250	400	300	300	220	410
12	500	500	640	320	440	300
13	520	480	540	140	300	450
14	600	230	400	100	110	280
15	502	200	380	10	100	210
16	460	160	260	6	60	80
17	400	0	80	2	16	60
18	200	0	20	0	20	8

Tableau III. 3 Résultats obtenus de la température ambiante (°C)

Heure	Température ambiante				
	02/08/2009	**18/08/2009**	**16/09/2009**	**17/09/2009**	**05/10/2009**
6	26	28	17	16	15
7	29	30	22	17	18
8	33	31.5	25	22	22
9	37	39	24	30	27
10	38	41	28	35	32
11	40	42	34	36	35
12	41.2	43	39	41	38
13	43	45	35	42	40
14	39	43	34	38	380
15	35.5	38	28	30	34
16	35	35	22	29	28
17	30	33	20	26	26
18	28	29	19	22	22

Tableau 2 : Données météorologiques pendant les jours des essais

Nous avons recueillis ces données au niveau de l'Agence météorologique de wilaya de Constantine

Heure	Température ambiante				
	02/08/2009	18/08/2009	16/09/2009	17/09/2009	05/10/2009
6	26	28	17	16	15
7	29	30	22	17	18
8	33	31.5	25	22	22
9	37	39	24	30	27
10	38	41	28	35	32
11	40	42	34	36	35
12	41.2	43	39	41	38
13	43	45	35	42	40
14	39	43	34	38	380
15	35.5	38	28	30	34
16	35	35	22	29	28
17	30	33	20	26	26
18	28	29	19	22	22