

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE  
LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



Université KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie des procédés



Mémoire Master Académique

**Domaine** : Sciences et Techniques

**Filière** : Génie des Procédés

**Spécialité** : Génie Chimique

**Présenté par :**

**KEDDAM NABIHA.**

**KAOUJJA NADIA.**

**Thème :**

*Distillation solaire de l'eau en présence de  
plusieurs types de colorants*

Soutenu le : 13 /06/ 2022

Devant le jury composé de :

Mr Mennouche Djamel	MCA	(UKM Ouargla)	Président
M <sup>me</sup> Bouziane Khadidja	MCB	(UKM Ouargla)	Examinatrice
Mr Sellami Med Hassen	Professeur	(UKM Ouargla)	Encadreur

Année Universitaire : 2021/2022

## *REMERCIEMENT*

*Toute la gratitude et le merci à Dieu notre créateur qui nous a donné la force*

*Pour effectuer et achever ce travail.*

*Ainsi nos parents qui nous aident.*

*Nous exprimons nos gratitude, nos reconnaissances et nos sincères*

*Remerciements à*

***Pr. SELLAMI MOHAMED HASSEN***

*Pour nous à voir encadré tout le long de nos projets.*

*Nous sommes infiniment redevables aux Dr. Co-Encadreur*

***CHERRAYE RIDHA***

*Il y'a lieu de remercier également **Mr. MENNOUCHE DJAMEL**, pour avoir  
bien*

*Accepté de présider ce jury,*

*Et à **Mme. BOUZIANE KHADIDJA** pour examiner ce projet.*

*Nous remercions toutes personnes qui nous ont aidés de près ou de loin à la*

*Finalisation de ce travail, nous tenons à leur exprimer notre vive gratitude.*

*Enfin nos remerciements à tous les enseignants qui ont contribués à notre*

*Formation à l'Université **KASDI MERBAH OUARGLA***

# *DEDICACE*

*Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de master plus particulièrement :*

*A mes très chères parentes : mon père **MOHAMED** et ma mère **AICHA**, tout mon respect et affection en témoignage de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils et orientations dans ma vie.*

*A mes frères : **ABDERRAHMENE, YACINE et OMRANE***

*A mes sœurs : **INAKE et HAYAM ;***

*A mes grandes mères ; **HADDA et MESSAOUDA ;***

*A toute ma famille chacun du nom ;*

*A mes amis : **SARA, AMINA, SOURIA, CHAIMA, NAOUAL, KAOUTHAR, MANEL, HANANE, ZAHRA, IMENE, YOUCEF, ABDELHAFID, ABDELMANAA, BADIS ;***

*A mes collègues ;*

*A mon binôme **NADIA ;***

*A mon promo de génie chimique de 2022 ;*

*A tous ceux que j'aime.*

*NABIHA*

# *DEDICACE*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mon très cher père : MAHMMOUD qui m'a toujours*

*Soutenu, et a été toujours présent pour moi.*

*A la plus chère au monde, ma mère : KHADARA qui a toujours*

*M'encouragé durant mes études.*

*A mes sœurs : NACIRA et CHAMES EL HOUDA, CHAIMA.*

*A mes frères : Mefath, OTHMANE, MASSAOUD, KAOU DJA et mon*

*petits frères : ISLAM et ABD-EL RAHMAN.*

*Et les enfants de la famille : ISMAIL, SARA et ABDOU, MOUMAN.*

*Et à la Rose sous la forme d'un ami, qui a peint la joie de ma*

*vie, nous avons traversé ensemble les moments les plus*

*difficiles : NABIHA KEDDAM,*

*A mes amies : WIDAD, Fatima,*

*FATIHA, AICHA, HAIMA, NIHAD, WANIS, KAOUTHAR, ZAINEB,*

*ABD EL-DJALIL, RIDA, SERINE.*

*A toutes mes amies ;*

*A toute la famille*

*A mon marré : KHALID.Z*

*NADIA*

## **Résumé**

L'Algérie qui souffre de la disponibilité de l'eau potable depuis plusieurs années a été contraincte de recourir au dessalement de l'eau de mer pour combler les besoins en eau surtout pour les secteurs de l'agriculture et l'industrie. La distillation solaire est l'une des alternatives à entreprendre pour faire face à ce problème d'eau surtout que l'Algérie dispose d'un grand potentiel solaire. Plusieurs études ont été entreprises en Algérie sur les distillateurs solaires, ainsi, plusieurs conceptions ont été réalisées et testées dans les différentes régions du pays.

Ce travail vise à améliorer le rendement des distillateurs solaires en ajoutons des différents types de colorants pour la production de l'eau distillé.

Nous avons utilisé quatre colorants : Bleu, Jaune et Rouge qui sont des colorants alimentaire et l'encre noir de Chine.

Les expériences menées à l'Université de Ouargla montrent que généralement les colorants ajoutés augmentent la production des distillateurs solaires.

Le gain enregistré en eau distillée par rapport au témoin est de : 35840%, 270.94%, 183.76% et 128.73% pour les colorants : Bleu, Noir, Jaune et Rouge respectivement.

**Mots clés** : Distillation solaire, Energie soleil, Distillateur simple, Eau potable.

## SOMMAIRE

<b>Contenu</b>	<b>Page</b>
Remerciement .....	I
Dédicace .....	II
Dédicace .....	III
Résumé .....	IV
Liste des figures .....	X
Liste des tableaux .....	IX
Liste des nomenclatures .....	XII
Introduction générale .....	01
I -Généralité et recherche bibliographique .....	02
I-1 L'eau .....	02
I-1-1 Introduction .....	02
I-1-2 potentialité en eau .....	02
I-1-3 Algérie .....	02
I-1-4 Eaux conventionnelles .....	02
I-1-5 Eaux non conventionnelles .....	02
I-1-6 Problématique de l'eau en Algérie .....	04
I-1-7 les eaux marines .....	04
I-1-8 les eaux saumâtres .....	05
I-1-9 Les eaux à dessaler .....	05
I-1-10 Eau potable .....	05
I-1-11 Les besoins et les ressources d'eau .....	05
I-1-12 Classification des eaux .....	06
I-1-13 Ressources en eau dans la wilaya de Ouargla .....	07

I-1-14 Analyse physico-chimique de l'eau souterraine d'Ouargla	07
I-2 Dessalement des eaux	09
I-2-1 Introduction	09
I-2-2 Technique de dessalement d'eau	09
I-2-3 Les procédés à membranes	01
I-2-4 L'électrodialyse	01
I-2-5 L'osmose inverse	11
I-3 Distillation solaire de l'eau	12
I-3-1 Introduction	12
I-3-2 Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire	12
I-3-3 Types de distillateurs	13
I-3-4 Paramètre influent sur la distillation solaire	19
I-4 Les colorants	22
I-4-1 Introduction	22
I-4-2 Définition des couleurs primaires	22
I-4-2-1 La raison pour laquelle les couleurs primaires portent ce nom	22
I-4-2-2 Le premier à inventer le concept de couleurs primaires	22
I-4-3 Définition du spectre visible	23
I-4-3-1 Les sept couleurs du spectre dans l'ordre	23
I-4-4 Propriétés des couleurs	24
I-4-4-1 Chimiques	24
I-4-4-2 Physiques	25
I-4-5 Utilisation des colorants	26
I-4-6 Codification	26

I-4-7 Classification	27
I-4-8 Les inconvénients des colorants	29
II- Partie pratique (expérimental)	30
II-1 Introduction	30
II-2 Matériel et équipement	30
II-2-1 Conception du distillateur solaire	30
II-2-2 Bassin absorbant (plaque noir)	30
II-2-3 Couverture verrière (verre)	31
II-2-4 L'isolation thermique	31
II-2-5 Couverture extérieure	31
II-2-6 Tuyauterie	31
II-2-7 Cuve de récupération de distillat	31
II-3 Les appareils des mesures	31
II-4 L'emplacement de thermocouple	31
II-5 Grandeurs mesurées	32
II-6 Colorants utilisés dans l'expérience	32
II-7 Mode Opérateur	32
II-8 Résultats et discussions	33
II-8-1 Les graphes	33
II-8-1-1 Intensité solaire	33
II-8-1-2 Température ambiante	34
II-8-1-3 Vitesse de vent	34
II-8-1-4 Différentes températures pour les distillateurs	35
II-8-1-5 Production de l'eau distillée	38
II-8-1-6 Production cumulée	39
Conclusion générale	43



Référence bibliographique	.....	44
Annexe	.....	47
Abstract	.....	49

Liste des tableaux

<b>Tableau I-1</b> Eau de surface par bassin en Algérie	.....	<b>02</b>
<b>Tableau I-1-11</b> Distribution des ressources en eau dans le monde entier	.....	<b>06</b>
<b>Tableau I-1-12</b> classification des eaux selon la salinité	.....	<b>06</b>
<b>Tableau I-1-13</b> La qualité d'eau des nappes de la wilaya d'Ouargla	.....	<b>07</b>
<b>Tableau I-1-14</b> concentration des ions dans l'eau saumâtre	.....	<b>08</b>
<b>Tableau I-4-6</b> Code des quelques colorants Alimentaire	.....	<b>32</b>
<b>Tableau I-4-7</b> Classification des Colorants en fonction de leurs origines (Adeinate, 2018)	.....	<b>33</b>
<b>Tableau II-8-1-4</b> Température de l'eau colorée	.....	<b>35</b>
<b>Tableau II-8-1-4-1</b> Température de verre	.....	<b>36</b>
<b>36 Tableau II-8-1-4-2</b> Différentes les Température de l'eau distillat	.....	<b>37</b>
<b>Tableau II-9</b> les gains pourcentage de l'eau distillé	.....	<b>40</b>
<b>Tableau II-10</b> Analyse physico-chimique de l'eau distillé	.....	<b>42</b>

**Liste des figures**

<b>Figure I-1</b> Distribution des ressources hydriques en Algérie .....	<b>04</b>
<b>Figure I-2-2</b> Procédés de dessalement industrialise .....	<b>10</b>
<b>Figure I-2-4</b> Unité électrodialyse .....	<b>11</b>
<b>Figure I-2-5</b> Principe de l'osmose inverse .....	<b>11</b>
<b>Figure I-3-3-1</b> Principe de construction d'un distillateur solaire simple .....	<b>13</b>
<b>Figure I-3-3-2</b> Distillateur solaire simple à penteunique .....	<b>13</b>
<b>Figure I-3-3-3</b> Distillateur solaire simple à doublepentes .....	<b>14</b>
<b>Figure I-3-3-4</b> Distillateur solaire terre-eau .....	<b>15</b>
<b>Figure I-3-3-5</b> Distillateur solaire sphérique .....	<b>16</b>
<b>Figure I-3-3-6</b> Distillateur à cascade .....	<b>16</b>
<b>Figure I-3-3-7</b> Distillateur solaire à mèche .....	<b>17</b>
<b>Figure I-3-3-8</b> Distillateur solaire verticale .....	<b>17</b>
<b>Figure I-3-3-9</b> Distillateur solaire à film capillaire .....	<b>18</b>
<b>Figure I-3-3-10</b> La distillation à Multi stage flash (MSF) .....	<b>19</b>
<b>Figure I-3-3-11</b> Distillation par compression de lavapeur .....	<b>19</b>
<b>Figure II-2-1</b> Conception du distillateur solaire .....	<b>30</b>
<b>Figure II-4</b> Emplacement de thermocouples .....	<b>32</b>
<b>Figure II-8-1-1</b> Rayonnement solaire en fonction dutemps l .....	<b>33</b>
<b>Figure II-8-1-2</b> Température ambiante en fonction du temps .....	<b>34</b>
<b>Figure II-8-1-3</b> Vitesse de vent fonction du temps .....	<b>34</b>
<b>Figure II-8-1-4-2</b> Différentes températures pour ledistillateur témoin, et les couleurs .....	<b>35</b>

<b>Figure II-8-1-5</b> Débit volumique horaire d’eaudistillée produite en fonction du temps	.....	<b>38</b>
<b>Figure II-8-1-6</b> Le cumul horaire d’eau distillée produite en fonction du temps local	.....	<b>39</b>
<b>Figure II-8-1-6</b> Pourcentage le gain des couleurs	.....	<b>40</b>

## LSTE DES NOMENCLATURES

**dU** Energie interne (J)

**dQ** quantité de chaleur d'un système (J)

**dW** le travail (J)

**dS** Entropie

**T<sub>A</sub>** Température d'objet A (°C).

**T<sub>B</sub>** Température d'objet B (°C).

**m** la masse de l'objet (Kg)

**C<sub>p</sub>** chaleur calorifique (J/Kg.K)

**σ** Constante de Stefan-Boltzmann =  $5,6703 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4}$

**ε** coefficient qui vaut 1 pour un corps noir et qui est compris entre 0 et 1 selon l'état de surface du matériau.

**T** Température du corps en Kelvin.

**η<sub>g</sub>** Efficacité globale (%)

**q<sub>ev</sub>** Quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps ( $\text{W/m}^2.\text{h}$ ).

**A** Superficie du capteur (aire de la vitre) ( $\text{m}^2$ ).

**G** Energie solaire globale incidente par  $\text{m}^2$  sur une surface horizontale, pendant un jour ( $\text{W/m}^2$ ).

**L<sub>v</sub>** Chaleur latente de vaporisation (J/kg).

**md** Le débit de distillat (kg/s).

**η<sub>i</sub>** Efficacité interne (%).

**at** Le coefficient d'absorption thermique.

**FPB** La quantité d'eau produite / la quantité d'énergie entrée (au bout de 24h).

**FPH** La quantité d'eau produite / la quantité d'énergie entrée (au bout d'une heure)

### **Introduction générale**

La disponibilité de l'eau potable diminue de jour en jour. Alors que la plupart de la surface de la terre est constituée d'eau, mais l'eau douce est très limitée.

Par conséquent, obtenir de l'eau potable est l'un des grands problèmes auxquels l'humanité est confrontée. D'ici 2030.

Pour résoudre ces problèmes, et pour mieux préserver l'avenir en matière de dégagement et de mobilisation des ressources en eau, également l'utilisation des ressources en eau non conventionnelles notamment le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres, Ceux-ci incluent : la distillation thermique et la distillation membranaire.

L'énergie pour le dessalement peut être obtenue à partir de combustibles fossiles ou de sources d'énergie alternatives telles que : la biomasse, géothermique, l'énergie éolienne et l'énergie solaire.

L'une des solutions pour convertir l'eau saumâtre en eau potable est l'utilisation des distillateurs solaires.

Actuellement la distillation solaire est l'objet de plusieurs laboratoires de recherches dans le monde et chaque équipe de recherche essaye de faire des études pour améliorer le rendement des systèmes de distillations en jouant sur les paramètres géométriques et météorologiques.

Malgré la diversité de la recherche et les différentes techniques utilisées, les chercheurs ont le même objectif c'est l'amélioration de la productivité des distillateurs solaires.

L'objectif principal de ce travail expérimental est d'améliorer les techniques de la distillation solaire. C'est en ajoutant des colorants afin d'obtenir une augmentation importante de l'eau distillée qui pourra pallier les besoins en eau potable d'une communauté saharienne.

Pendant cette période d'expérimentation, différents paramètres ont été principalement une série de mesures, à savoir : rayonnement solaire, température ambiante, températures des différentes parties de l'installation (vitre, air intérieur, eau dans le bassin) et les débits horaires de production.

Dans ce contexte, ce manuscrit du mémoire comprend quatre chapitres, précédés d'une introduction générale.

Le premier chapitre présente la problématique de l'eau potable, étude bibliographique concernant les eaux de mer et les eaux saumâtres et la problématique de l'eau dans l'Algérie, les besoins et ressources de l'eau de notre région (Ouargla).

Une étude théorique à propos de l'énergie solaire, les différents modes de transfert de chaleur avec le transfert de masse, fera l'objet du deuxième chapitre.

Le troisième chapitre portera sur les différents procédés de dessalement mais également la connaissance générale sur la distillation solaire et les types des distillateurs et les paramètres influents sur la distillation solaire.

Le quatrième chapitre est consacré à la conception d'un prototype de distillateur solaire choisis ainsi que la description du matériel et les méthodes expérimentales qui ont permis la réalisation pratique de cette étude, puis l'exploitation des résultats expérimentaux sous forme des graphes avec leurs interprétations.

En conclusion, une synthèse des travaux sera présentée, en donnant les principaux résultats obtenus, puis, la présente mémoire est achevée par une liste des références bibliographiques.

## I. Généralités et recherche Bibliographique :

### I L'eau :

#### I.1-1 Introduction

L'eau est un composé chimique ubiquitaire sur terre, essentiel pour tous les organismes vivants. Le corps humain est composé de 70 % d'eau .

L'eau se trouve en général à l'état liquide, c'est notamment un solvant très efficace, la formule chimique de l'eau pure, constituant principal de l'eau, est H<sub>2</sub>O [1].

L'eau est la seule molécule qui existe sous forme à trois états ; liquide, solide, gazeux.

#### I.1-2 Potentialités en eau

Le potentiel en ressources en eau est constitué principalement par les eaux renouvelables ou non renouvelables, dites conventionnelles, et accessoirement par les eaux obtenues artificiellement, dites non conventionnelles.

#### I.1-3 Algérie :

L'Algérie s'étale sur une superficie de 2 381 741 km<sup>2</sup>, avec 1200 km de côtes et des frontières communes avec la Tunisie, la Libye, le Niger, le Mali, la Mauritanie et le Maroc.

L'Algérie figure au dixième rang des pays les plus vastes d'Afrique et du monde arabe, dont près de 80% du territoire représente une zone désertique<sup>2</sup>.

L'Algérie se situe, à l'instar des 17 pays Africains touchés par le stress hydrique, dans la catégorie des pays les plus pauvres en matière de potentialités hydrique.

#### I.1-4 Eaux conventionnelles

L'Algérie reçoit en moyenne annuelle 89 mm de pluies<sup>3</sup> ce qui permet un apport d'eau évalué à 211000 Mm<sup>3</sup>. Mais compte tenu de l'aridité de la majeure partie du pays, une faible proportion constitue les ressources en eau renouvelables. Les potentialités globales en eau sont évaluées à 19milliards de m<sup>3</sup>/an.

Les ressources en eau de surface sont évaluées à 12 Mm<sup>3</sup>/an, réparties selon 5 bassins comme précisé dans le **tableau I.1**

**Tableau I-1** Eau de surface par bassin en Algérie

Bassin hydrographique	Oranie Chott Chergui	Chélif Zahrez	Algérois Soummam Hodna	Constantinois Seybouse Mel lègue	Sud	Total
Ressources pot. (Mm <sup>3</sup> /an)	1025	1840	4380	4500	600	12345
Pourcentage (%)	8,7	15,7	37,3	38,3	0,48	100

**Source :** uniquement Ministère des Ressources en Eau (2004)

Les ressources en eau souterraine continues dans les nappes du Nord du pays (ressources renouvelables) sont estimées à près de 2Mm<sup>3</sup>. Ce potentiel est considéré exploité à 80%. Le potentiel exploitable dans les nappes du Sahara septentrional était estimé à 5000 Mm<sup>3</sup> mais seuls 800 Mm<sup>3</sup> sont considérés renouvelables.

Sur le plan de la qualité de l'eau le rapport national d'Algérie, sans faire de distinction entre les eaux de surface et l'eau souterraine, indique que « sur la globalité des eaux inventoriées, 44% seraient de bonne qualité, 44% de qualité satisfaisante et 12% de qualité médiocre.

Les ressources d'eau non renouvelables en Algérie sont principalement situées dans les nappes du Sahara. Elles sont liées à l'existence des nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal. Au Sahara, les réserves exploitables sans risque de déséquilibre hydrodynamique sont estimées à 5 milliards de m<sup>3</sup>/an. L'exploitation atteint actuellement 1.6 milliards de m<sup>3</sup> par forages et 85 millions de m<sup>3</sup> par foggaras. Ces ressources concernent les nappes du Sahara septentrional qui seraient exploitées comme un gisement, cette exploitation se traduit alors par un rabattement continu du niveau de l'eau. Le renouvellement de ces nappes fossiles ou semi fossiles n'est assuré qu'à hauteur de 800 millions de mètres cubes environ. Selon les dernières études, l'exploitation de ces nappes pourrait être portée à 5 milliards de m<sup>3</sup>/an dont 56 % pour le continental intercalaire et 44 % pour le complexe terminal. Le taux d'exploitation serait donc de 34 % en moyenne pour les deux nappes (complexe terminal et continental intercalaire). Toutefois dans les zones à faibles potentialités (Biskra) le taux d'exploitation est déjà très élevé, qui selon ANRH\*7 dépasse les 75%.

### **1.1-5 Eaux non conventionnelles**

En Algérie, depuis plus d'une décennie, le processus a commencé pour le dessalement de l'eau comme appoint pour la bande littorale du pays. Ce qui limite l'utilisation du dessalement de l'eau de mer, c'est son coût encore élevé : les différentes études, réalisées dans les années 1980 pour la réalisation d'une unité d'environ 10 millions / m<sup>3</sup> / an à Arzew<sup>8</sup>, ont montré que le coût était supérieur à 2 \$ US par m<sup>3</sup>. Selon la loi n° 05-12 du 4 août 2005 relative à l'eau, les ressources en eau non conventionnelles font partie du domaine public hydraulique naturel et sont constituées de :

- les eaux de mer dessalées et les eaux saumâtres déminéralisées dans un but d'utilité publique ;
- les eaux usées épurées et utilisées dans un but d'utilité publique ;
- les eaux de toute origine injectées dans les systèmes aquifères par la technique de recharge artificielle.

Le dessalement de l'eau de mer est pratiqué dans 30 stations<sup>9</sup> dont 21 monoblocs réalisés en 2001 et 09 grandes stations mises en service depuis 2005. Le volume total mobilisé est de 535, 55 hm<sup>3</sup>/an.

Quatre (04) autres grandes stations situées dans les grandes villes de : Oran, Chlef, Tipaza et El Tarf, sont en cours et en voie de lancement de travaux :



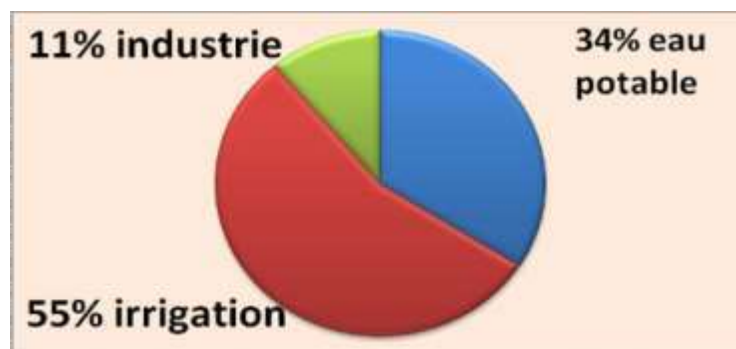
- Deux (02) projets sont en cours de réalisation : Ténès et Magtaa pour une capacité totale de 700 000 m<sup>3</sup>/j, soit en volume annuel de production estimé à 255,50 hm<sup>3</sup>/an.
  - ❖ Ténès (Chlef) d'une capacité de 200 000 m<sup>3</sup>/j.
  - ❖ Magtaa (Oran) d'une capacité de 500 000 m<sup>3</sup>/j.
- Deux (02) projets sont en cours de lancement en travaux : El Chatt (El Tarf) et Oued Sebt (Tipaza) pour une capacité totale de 200 000 m<sup>3</sup>/j, soit en volume annuel 73 hm<sup>3</sup>/an.

Afin de satisfaire les besoins en eau agricole, le plus grand consommateur de l'eau dans les régions déficitaires en ressources en eau conventionnelles, une nouvelle stratégie du ministère des ressources en eau, est celle de la réutilisation des eaux usées épurées<sup>10</sup>.

A l'état actuel, trois projets sont mis en exploitation depuis 2007, situés dans les wilayas de Boumerdes, Bordj Bou Arreridj et Tlemcen. Le volume d'eaux usées épurées est estimé à 9,81 hm<sup>3</sup>/an satisfaisant en irrigation une superficie de près de 1 285 ha. S'ajoutent à ces volumes 79 hm<sup>3</sup>/an d'eaux usées épurées à mobiliser pour l'irrigation de plus de 7570 ha, dans les wilayas de Constantine, Souk Ahras, Sétif et Oran [2].

### 1.1-6 Problématique de l'eau en Algérie

Il est important de prendre en considération la grande diversité du climat et son irrégularité dans l'espace et dans le temps. De par sa situation géographique particulière (région aride et semi-aride), l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydro climatiques défavorables, accentuées par des périodes de sécheresse chronique. Les changements climatiques observés et la sécheresse qui a régné pendant plusieurs décennies en Afrique du nord, et particulièrement en Algérie, ont eu un impact négatif sur les ressources d'eau du pays. En fait l'utilisation de l'eau dans l'irrigation représente plus de 55 % de toute l'eau douce consommée en Algérie et ne cesse toujours de s'amplifier (**figure I-1-6**),



**Figure I-1-6** Distribution des ressources hydriques en Algérie [3].

L'agriculture est la première victime de la sécheresse. Toutefois, environ 95 % des recherches dans le domaine du dessalement ont pour but d'améliorer les techniques de production d'eau potable.

**I.1-7 Les eaux marines**

L'eau de mer est une solution complexe qui contient tous les éléments indispensables à la vie (calcium, silicium, carbone, azote, phosphore, oligo-éléments), des matières organiques (teneur comprise entre 0.5 et 2mg) et, naturellement à l'état dissous, les gaz présents dans l'atmosphère. L'eau de mer est faiblement alcaline. Son pH étant compris entre 7.5 et 8.4 (RAPINAT, 1982). La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g/L. Cette salinité peut être différente dans le cas de mers fermées (HUOT, 2001), [4].

**I.1-8 Les eaux saumâtres**

On appelle eau saumâtre, une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels, en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le  $\text{CaCO}_3$ , le  $\text{CaSO}_4$ , le  $\text{MgCO}_3$  et le  $\text{Na Cl}$  (HUOT, 2001), [4].

**I.1-9 Les eaux à dessaler**

La terre est recouverte d'eau à 71%. Cependant 98% de ce volume à une concentration en sel trop élevée pour être potable ou même ne serait-ce que pour être utilisée dans l'irrigation ou dans l'industrie. Le problème est que des pays pauvres vont manquer d'eau potable dans les années à venir et cela risque d'engendrer des guerres [5].

**I.1-10 Eau potable**

L'eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Elle doit être inodore, incolore, insipide qui ne contient pas de produits toxiques, mais contient quelques sels minéraux avec des concentrations réglementées et qui doivent être respectées. Elle présente également certaines caractéristiques [6]:

- concentration en chlorures ;
- PH ;
- Température.

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), a édicté des normes internationales pour l'eau potable, qui comprennent un aperçu général des normes physiques, chimiques, bactériologiques, biologiques et radiologiques. Une eau destinée à des fins domestiques doit avoir une salinité inférieure ou égale à 0,5 g/L, avec une dureté (T.H) entre 1,5 et 3 degrés et elle ne doit pas contenir plus de 200 mg/L de chlore, ni plus de 75 mg/L de calcium, ni plus de 50 mg/L de magnésium, ni plus de 150 mg/L de sulfates [7].

**I.1-11 Les besoins et les Ressources d'eau**

Sur le plan mondial, la demande en eau potable de bonne qualité est plus en plus forte. En effet, la population augmente rapidement et les besoins en eau de l'industrie de l'agriculture sont de plus en plus élevés. Les besoins en eau sont principalement répartis 4 types de consommation :

- 55% de l'eau consommée sert à fournir de l'énergie (barrage hydroélectrique, refroidissement des centrales nucléaires, énergie géométrique, etc....) ;
- 18% est consommée par les particuliers ;
- 15% est utilisée par l'agriculture ;
- 12% est consacrée par un usage industriel. Les principales ressources en eau distribuées dans le monde entier représentent dans le tableau suivant [5] :

**Tableau I-1-11** Distribution des ressources en eau dans le monde entier [5].

<b>Ressources</b>	<b>Volume (m3)</b>	<b>Total pourcent De l'eau</b>	<b>Pourcent de l'eau douce</b>
Eau atmosphérique	12900	0.001	0.01
Glaciers	24064000	1.72	68.7
La glace de sol	300000	0.021	0.86
Rivières	2120	0.0002	0.006
Lacs	176400	0.013	0.026
Marais	11470	0.0008	0.03
l'humidité du sol	16500	0.0012	0.05
Aquifères	10530000	0.75	30.1
Lithosphère	23400000	1.68	
Océans	1338000000	95.81	
<b>Totale</b>	<b>1396513390</b>		

**I.1-12 Classification des eaux**

Lorsqu' on classe les eaux en fonction des quantités de matières dissoutes qu'elles contiennent, on obtient les données présentées au tableau

Les eaux saumâtres, qui proviennent habituellement des nappes souterraines, contiennent le plus souvent de 2000 à 10000 mg/L de matières dissoutes. Signalons au passage que l'effluent d'une usine d'épuration (traitement biologique) contient environ 750 mg/L de matières dissoutes.

**Tableau I.1-12** classification des eaux selon la salinité [8].

Type d'eau	Salinité (mg/L)
Eau douce	<500
Eau légèrement saumâtre	1000-5000
Eau modérément saumâtre	5000-15000
Eau très saumâtre	15000-35000
Eau de mer	35000-42000

### I.1-13 Ressources en eaux dans la wilaya d'Ouargla

La wilaya d'Ouargla est considérée comme l'une des wilayas du sud Algérien, qui souffre de la rareté des eaux potables, mais la disponibilité des eaux salées sous forme d'eau souterraine, est d'une superficie de 2,7 105 km<sup>2</sup>. Deux grands réservoirs sont exploités comme des sources en eaux, le continental intercalaire (C.I) et le complexe terminale (C.T). On note que la profondeur moyenne d'un forage exploité du continental intercalaire (nappe albienne) comprise entre 1000 et 1500 m, la température est élevée et la salinité est supérieure à 5g/L, par contre l'antisionisme et les forts débits constituent des avantages. L'exploitation du complexe terminal qui est un ensemble de formation allant du Sénonien supérieur au Moi-pliocène présente l'avantage d'être de faible profondeur, mais la salinité est élevée et le pompage est nécessaire [9]. Quant à l'eau de surface, elle n'est pas utilisée, elle s'accumule dans les vallées de la région, telles que : Wadi al-Nisa et Wadi Mia, donc la seule ressource c'est Les eaux souterraines qui sont exploitées dans la wilaya de Ouargla. Quant aux égouts de la wilaya, sont de grands sabkhas, tels que : Sabkhat Marawan et Sabkha Sofion, ces cours d'eau ont un effet sur les aquifères. La wilaya d'Ouargla ne contenant que des eaux souterraines et peu régénérée, et l'eau étant une ressource rare et précieuse, cela nécessite la mise en place d'une politique garantissant la pérennité de la ressource, en exploitant les eaux souterraines et en les protégeant de l'épuisement, et en assurant la gestion rationnelle de la ressource a travers un réseau de surveillance présent au niveau des plans d'eau de toute la région, une attention doit être portée à la préservation des ressources souterraines à travers la collecte et l'analyse des échantillons en vue de les préserver et de détecter les contaminations potentielles. Le **tableau (I-1-13)** suivant représente La qualité d'eau des nappes de la wilaya d'Ouargla.

**Tableau I.1-13** La qualité d'eau des nappes de la wilaya d'Ouargla.

Nappe	Faciès chimique (stable)	Dureté (TH) (°F)	Résidu sec (g /l)	Potabilité chimique
Albienne	Chloruré et sulfatée magnésienne	Dure	1,5 - 2,5	Mauvaise qualité
Sénonien	Chloruré sodique et magnésienne	Très dure	2 - 3	Très Mauvaise qualité
Moi-pliocène	Chloruré et sulfaté sodique	Très dure	2 – 4	Très Mauvaise qualité
Phréatique	Chloruré sodique	Très dure	10	Très Mauvaise qualité

**I.1-14 Analyse physico-chimique de l'eau souterraine d'Ouargla**

Le tableau (I-5) ci-dessous présente les valeurs moyennes des concentrations d'importants ions existant dans l'eau saumâtre d'Ouargla

**Tableau I.1-14** concentration des ions dans l'eau saumâtre.

Les ions	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sup>-2</sup> <sub>4</sub>	CO <sup>-2</sup> <sub>3</sub>	HCO <sup>-</sup> <sub>3</sub>	NO <sup>-</sup> <sub>3</sub>
Concentration Mg/l	155	112.6	365	28.3	580	819	00	170	0.4

## **I.2 Dessalement des eaux**

### **I.2-1 Introduction**

Les problèmes en relation avec l'eau sont nombreux et très divers. Il n'y a donc aucune solution simple permettant de répondre à sa demande dans n'importe quel pays. Le dessalement de l'eau marine ou saumâtre est un processus qui permet d'extraire le sel pour la rendre potable ou l'utiliser pour l'irrigation.

Le dessalement (désalinisation ou dessalage) consiste à produire de l'eau douce à partir d'une eau salée ou saumâtre, généralement par extraction de l'eau douce et plus rarement par extraction du sel. Les premières unités de dessalement d'eau de mer sont apparues avec les premiers bateaux à vapeur. L'usage du dessalement d'eau de mer pour la production d'eau douce (eau potable, usages domestiques et industriels, irrigation) s'est développé dans la seconde moitié du XXème, essentiellement depuis le premier choc pétrolier de 1973. Jusque dans les années 1960, la distillation à faisceaux noyés était le seul procédé industriel disponible. La température de chauffe très élevée, nécessaire à l'obtention d'un rendement acceptable, engendrait de fréquents arrêts pour détartrer le bouilleur. Des procédés de distillation plus performants sont apparus à partir des années 1960 : FLASH, compression de vapeur, etc. A la même époque sont apparues les premières unités utilisant des procédés membranaires. Les progrès accomplis par le procédé d'osmose inverse (qualité des membranes, récupération d'énergie, baisse des coûts, etc.) lui ont permis de s'imposer pour les petites et moyennes unités et de rivaliser avec les autres procédés de distillation pour les grosses unités [10].

### **I.2-2 Techniques de dessalement d'eau**

Il existe essentiellement deux familles de technologies de dessalements utilisés dans le monde d'aujourd'hui. Il s'agit notamment de technologies thermiques et de technologies à membrane [11].

- Les technologies thermiques sont celles que le chauffage de l'eau fait le recueil de la vapeur condensée (distillation) pour produire de l'eau pure. Elles sont rarement utilisées pour dessaler l'eau saumâtre (eau de moins de 10,000 milligrammes par l de matières en suspension), comme il n'est pas rentable pour cette application. Les technologies thermiques contiennent les éléments de processus de types.
  - Distillation à multi stage flash (**MSF**).
  - Distillation à effets multiples (**MED**).
  - Distillation par compression de la vapeur (**VC**).
- Les technologies à membranes minces, qui utilisent une membrane semi-perméable les alimentant en deux flux de divergents de concentration, un produit courant et de se concentrer. Dans les applications de dessalement, l'alimentation est soit l'eau de mer ou saumâtre :

Les technologies de membrane comportent des spécifiques processus suivants :

- Osmose inverse (**RO**).
- Electrolyse (**ED**).

Les différents procédés de dessalement que nous avons déjà cités sont présents dans **la figure** suivante :

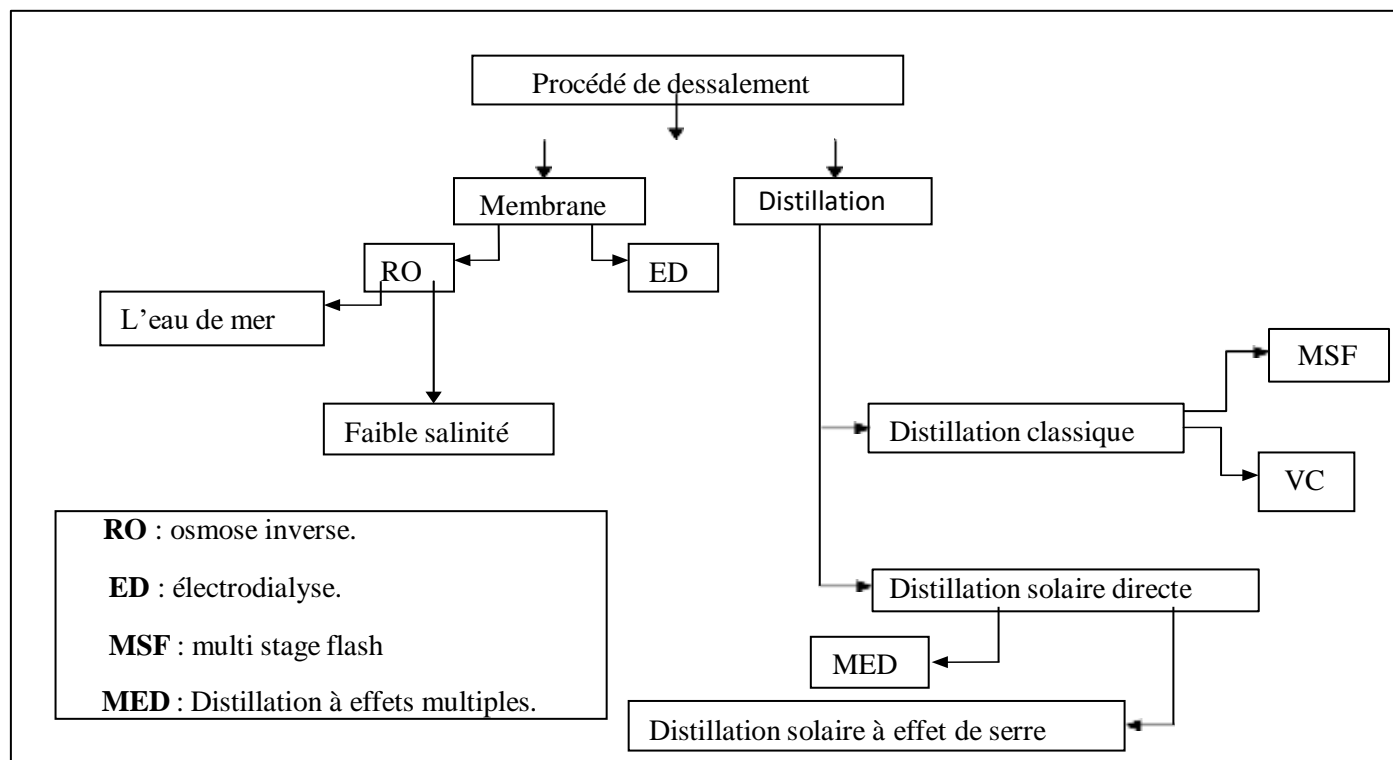


Figure I.2-2 Procédés de dessalement industrialise.

### I.2-3 Les procédés à membranes

Les principaux procédés à membrane utilisés dans le domaine de dessalements sont :

L'électrodialyse et l'osmose inverse.

### I.2-4 L'électrodialyse

L'électrodialyse repose sur la mise au point et l'utilisation de membranes semi-perméables à l'eau sélectives pour les ions. Ainsi. Seuls les anions peuvent traverser une membrane anionique. Et seuls les cations peuvent traverser une membrane cationique. Pour construire un électro dialyseur ; on place dans un bac des membranes anioniques en alternance avec des membranes cationiques. Lorsque le bacest rempli d'une solution ; on crée une différence de potentiel continue entre le premier et le dernier compartiment. Le fonctionnement d'un tel électro dialyseur est illustré dans la **figureI.2-4**. On remarque que les ions du sodium, Na de la cellule n°2, attirés vers l'électrode négative, traversent la membrane cationique C<sub>1</sub>. Tandis que les ions de chlorures, Cl<sup>-</sup>, attirés vers

L'électrode positive, traversant la membrane anionique  $A_1$ , les ions  $Na^+$  et  $Cl^-$  sont ainsi concentrés dans la cellule n°3. En effet dans cette dernière, les ions  $Na^+$  sont attirés vers l'électrode négative, mais ils ne peuvent pas traverser la membrane anionique  $A_1$ , et les ions  $Cl^-$ , attirés vers l'électrode positive, ne peuvent pas traverser la membrane cationique  $C_2$ . Après un certain temps, on retrouve donc une solution plus concentrée dans les cellules n° 2 et 4. En pratique, on multiplie le nombre de cellules. L'alimentation de ces cellules en eau salée peut avoir lieu en parallèle (figure 2) ou en série (figure 2).

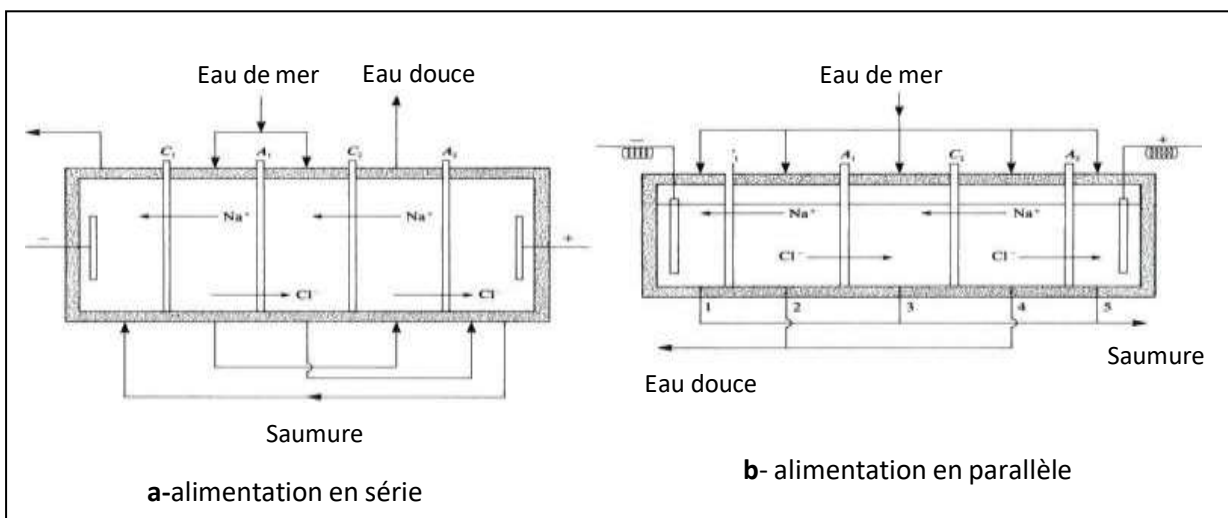


Figure I.2-4 Unité électrodialyse.

**I.2-5 L'osmose inverse**

L'eau salée est filtrée sous pression à travers une membrane semi-perméable (un matériau qui laisse passer le solvant l'eau dans notre cas, les sels et les micro-organismes sont retenus par ce dernier).

Elle consiste à appliquer à cette eau salée une pression importante, qui nécessite une consommation énergétique élevée, pour la faire passer à travers la membrane, seules les molécules d'eau traversent la membrane. Ce procédé nécessite toutefois un traitement de l'eau en amont [6].

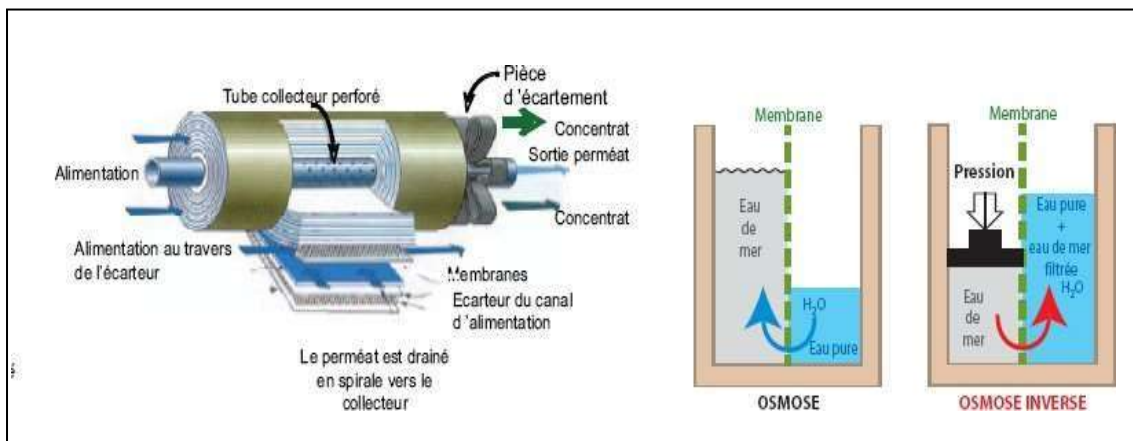


Figure I.2-5 Principe de l'osmose inverse.



### **I.3 Distillation solaire de l'eau**

#### **I.3-1 Introduction**

Un distillateur solaire simple est le procédé de dessalement le plus ancien et le plus simple. Il utilise l'énergie du soleil pour distiller l'eau, il est un bassin isolé dont le fond est noirci par une peinture spéciale, enfermant une quantité d'eau salée, à parois adiabatiques, couvert par un plat vitreux transparent. Sous l'action du flux solaire  $G$ , transmis par la couverture transparente, l'eau s'échauffe et une partie de celle-ci s'évapore. La vapeur produite se condense sur la face intérieure de la vitre et le condensât est récupéré par un gobelet. Un appoint d'eau compense le distillat. Afin de réduire les pertes de chaleur vers l'extérieur, les parois latérales et inférieures sont isolées.

#### **I.3-2 Principe de fonctionnement d'un distillateur solaire**

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, puis elle se transporte par l'intermédiaire du 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 en un modèle miniaturisé, le cycle naturel, ce modèle est appelé distillateur solaire. Le distillateur solaire simple est un bassin isolé dont le fond est noirci par une peinture spéciale, enfermant une quantité d'eau salée, à parois adiabatiques, couvert par du verre transparent.

L'énergie solaire entrant par la couverture verrière est absorbée par l'eau et le bassin, et élève leur température causant ainsi l'évaporation. La température de la couverture verrière qui baigne dans l'air atmosphérique étant inférieure à celle du mélange air-vapeur d'eau, il se produit une condensation de la vapeur d'eau sur la surface interne de la couverture inclinée. L'eau distillée produite s'écoule suivant un film mince pour être recueillie séparément.

Une grande partie des radiations solaires, directes et diffuses, est absorbée par le fond noir. De petites quantités d'énergie sont perdues par réflexion à la surface du verre et à la surface de l'eau. L'énergie absorbée par la base est presque totalement transférée à l'eau et seulement une petite fraction est perdue au sol par conduction à travers la structure de soutien. L'énergie qui est transférée de l'eau au couvercle de verre c'est essentiellement par la vapeur d'eau qui s'évapore de l'eau et qui perd sa chaleur de vaporisation en se condensant. De la chaleur est aussi transférée de l'eau au couvercle par convection libre de l'air pris sous le couvercle. Le verre du couvercle absorbe une partie de la chaleur émise par la surface de l'eau, et absorbe aussi une petite partie des rayons solaires incidents. Cette chaleur absorbée par le couvercle est perdue à l'atmosphère par convection et radiation. Le distillateur simple est réputé par sa faible efficacité, mais au point de vue expérience il est flexible vu la facilité de son montage, démontage et entretien. C'est la raison pour laquelle nous l'avons utilisé comme prototype d'essais.

**I.3-3 Types de distillateurs**

Il existe plusieurs types de distillateurs solaires utilisant le même principe de fonctionnement, mais ils peuvent être différents en termes de conception et en termes de matériaux utilisés. Par rapport à l'état physique de la saumure dans le bassin :

**I.3-3-1 Distillateurs à simple effet (SED)**

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 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 [12,13].

Dans ce type on peut citer :

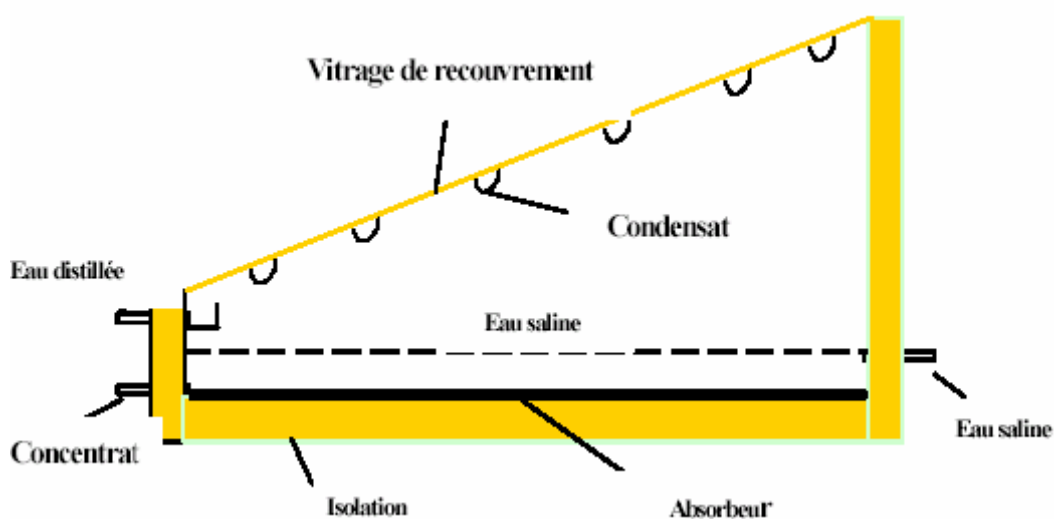


Figure I.3-3-1 Principe de construction d'un distillateur solaire simple.

**I.3-3-2 Distillateur à pente unique**

C'est un distillateur à capteur unique incliné d'un angle 30 °, il est appelé aussi distillateur simple. C'est le prototype utilisé durant nos expériences, généralement sa production est faible comparée avec les autres types de distillateurs à multiple effets, mais il est très souples vue son simple entretien et la facilité de son démontage et de son assemblage.

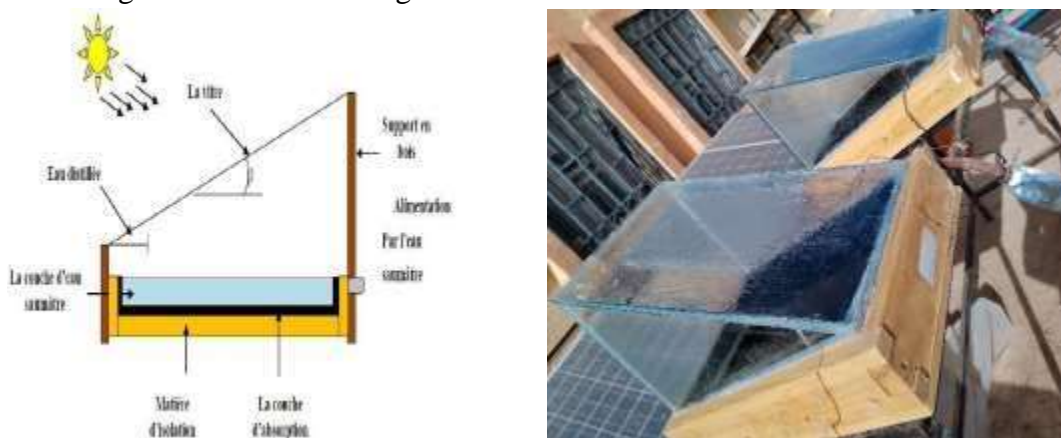


Figure I.3-3-2 Distillateur solaire simple à pente unique.

### I.3-3-3 Distillateur à double pentes

C'est un distillateur simple mais à double couvertures verrières où chacune d'elles est inclinée d'un angle  $10^\circ$ , son avantage est d'exposer l'un de ses cotés au soleil et l'autre à l'ombre pour accélérer la condensation [14], (Figure I.3-3-3).

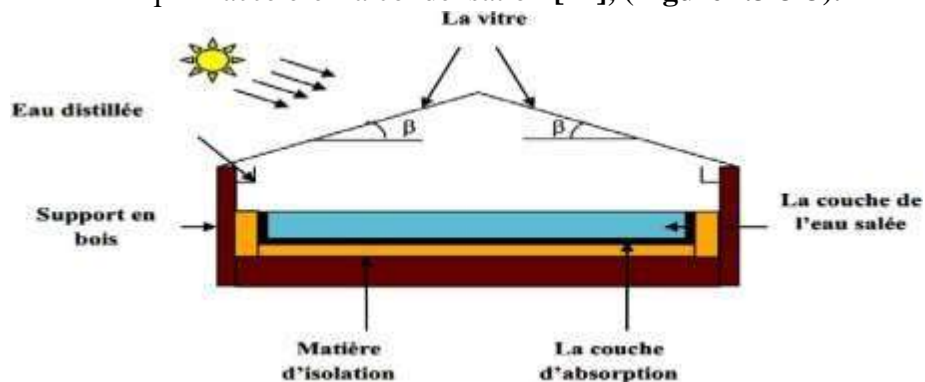


Figure I.3-3-3 Distillateur solaire simple à double pentes.

#### ❖ Caractéristiques de fonctionnement du distillateur solaire :

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

##### 1. Le rendement

C'est la quantité d'eau produite par unité de surface de plan noir et par jour. L'inconvénient majeur de ce critère est qu'il ne fait pas mention de l'énergie solaire qui arrive sur le distillateur [15].

##### 2. L'efficacité

###### • L'efficacité globale

L'efficacité globale est définie par le rapport:

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{G \cdot A} = \frac{m \cdot l_v}{G \cdot A} \quad 0-1$$

Avec:

**q**: Quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps.

**A**: Superficie du capteur (aire de la vitre).

**G**: Énergie solaire globale incidente par  $m^2$  sur une surface horizontale, pendant un jour.

**$l_v$** : Chaleur latente de vaporisation.

**$m$** : Le débit de distillat.

###### • 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.

$$\eta_i = \frac{Q_{ev}}{Q_{eau}} = \frac{m \cdot l_v}{a \cdot t \cdot G \cdot A} \quad 0-2$$

**$a \cdot t \cdot G$** : La quantité de chaleur absorbée par l'eau.

**$a$** : Le coefficient d'absorption thermique [16].

### 3. La performance

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière absolue a amené ainsi Satcunanathan et Hansen à définir le facteur de performance brut (F.P.B) et le facteur de performance horaire (F.P.H) :

- FPB = Quantité d'eau produite au bout de 24h / Quantité d'énergie entrée au bout de 24h
- FPH = Quantité d'eau produite au bout d'une heure / Quantité d'énergie entrée au bout d'une heure

A un instant donné de la journée, le facteur de performance "F.P" est donné par la relation [15] :

$$FP = md / \alpha t * I_g * A_g$$

0-3

#### I.3-3-4 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 (**Figure I.3-3-4**) Il est similaire à celui de l'effet de serre, sauf que le sol remplace le bassin noir [17].



Figure I.3-3-4 Distillateur solaire terre-eau.

#### I.3-3-5 Distillateur sphérique à balayage

C'est un distillateur en plexiglas transparent, à bac horizontal, et à surface de condensation demi - sphérique (**Figure I.3-3-5**). Le rayonnement incident transmis par la demi - sphère supérieure pénètre dans le bac et sert, à chauffer la masse d'eau contenue dans celui-ci. Une partie de l'eau s'évapore, et la vapeur dégagée vient se condenser sur la face intérieure de la vitre. Le distillat passe dans la demi-sphère inférieure à travers l'espace annulaire entre le bac et la sphère.

Le balayage de la surface de condensation est réalisé au moyen d'un essuie - glace entraîné par un moteur. L'avantage de ce système de balayage est de maintenir la surface de condensation, constamment transparente au rayonnement, et d'assurer un drainage rapide des gouttelettes [18].

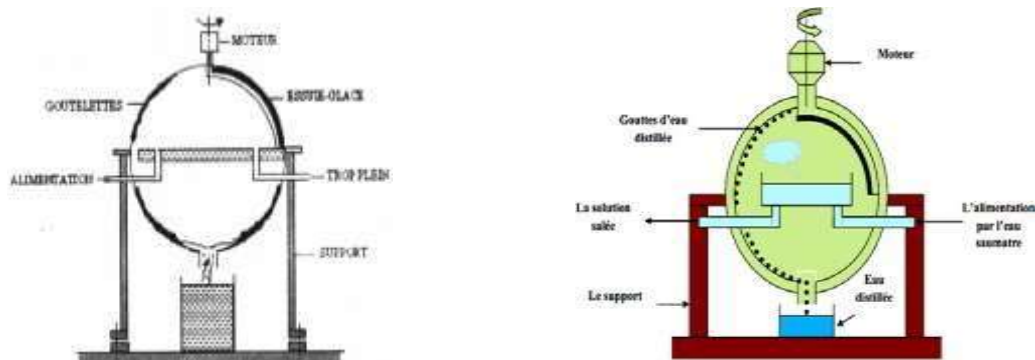


Figure I.3-3-5 Distillateur solaire sphérique [17,18].

### I.3-3-6 Distillateur solaire incliné à cascades

Un distillateur solaire à cascades est constitué d'une capacité étanche surmontée d'une vitre (Figure I.3-3-6). Le même principe appliqué dans un distillateur plan, sauf que l'absorbeur a une forme en cascade. L'eau salée versée dans le distillateur se répartie sur plusieurs petits bassins, on remarque que si la masse d'eau est faible, l'eau s'échauffe plus rapidement et s'évapore [19].

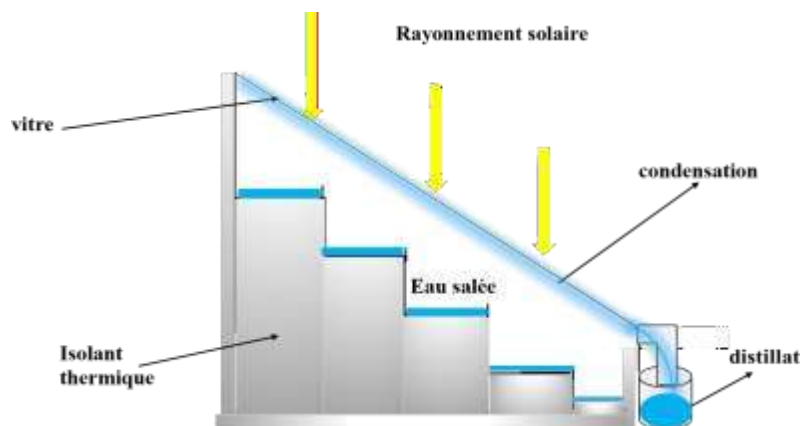


Figure I.3-3-6 Distillateur à cascade [16].

### I.3-3-7 Distillateur solaire incliné à mèche

Il se compose d'une très mince couche de textile à mailles fines, imbibée d'eau qui se maintient d'elle-même au contact de la plaque jouant le rôle d'évaporateur. Les forces de tension interfaciales, nettement supérieures à celles de la pesanteur, jouent un rôle très important dans la formation du film capillaire, de faible inertie thermique, en empêchant toute formation de bulles d'air.

Ce distillateur est composé d'un capteur – évaporateur, d'un condenseur et d'une alimentation. La première cellule capte le rayonnement solaire qui passe à travers la couverture. La vapeur se condense sur la paroi opposée et la chaleur dégagée par cette condensation permet l'évaporation du film qui ruisselle sur l'autre face de cette même paroi [17].

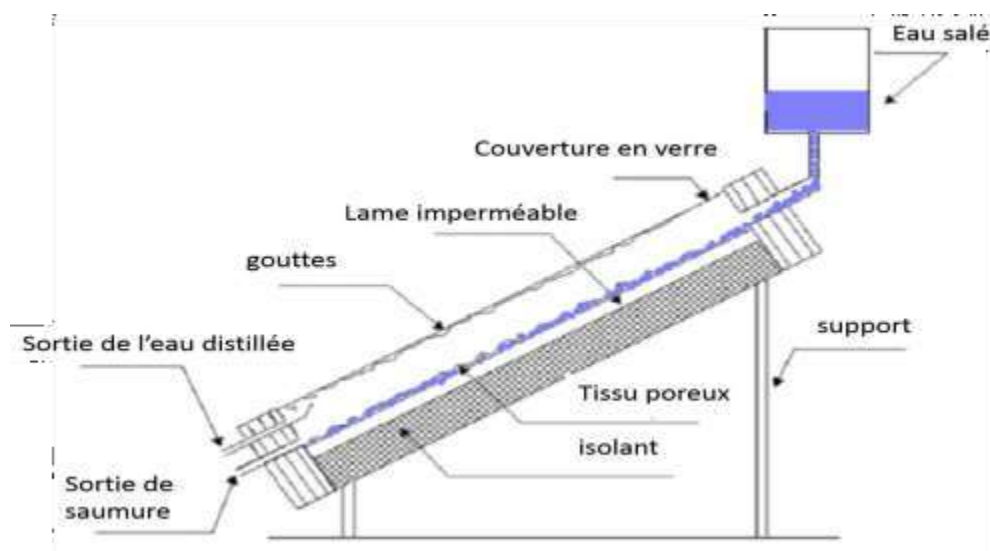


Figure I.3-3-7 Distillateur solaire à mèche [17].

### I.3-3-8 Distillateur solaire vertical

La figure I.3-3-8 présente le principe de fonctionnement du distillateur vertical. Le distillateur est alimenté par de l'eau saumâtre à partir d'un réservoir (1), le distillateur est connecté au réservoir à l'aide d'un tube en cuivre (2), le débit d'eau à l'entrée du distillateur est régulé à l'aide d'une vanne (3). La position du réservoir d'alimentation permet l'alimentation du distillateur par un débit constant. Un distributeur d'eau (4), muni de perforations sur la longueur, permet la distribution de l'eau en film sur le tissu spongieux (5), l'eau ruisselle sur le tissu, et la saumure est évacuée en bas (6). L'eau qui s'écoule derrière l'absorbeur (7) s'évapore dans le compartiment d'évaporation, le mélange d'eau et d'air à l'intérieur saturé en vapeur d'eau circule naturellement à travers des deux ouvertures (8) réalisées dans la cloison isolée vers le compartiment de condensation (9), et la vapeur se condense au contact de la plaque de condensation à l'arrière du distillateur. La collecte de l'eau se produit dans une gouttière (10, 11) fabriquée en dessous de la plaque de condensation [17].

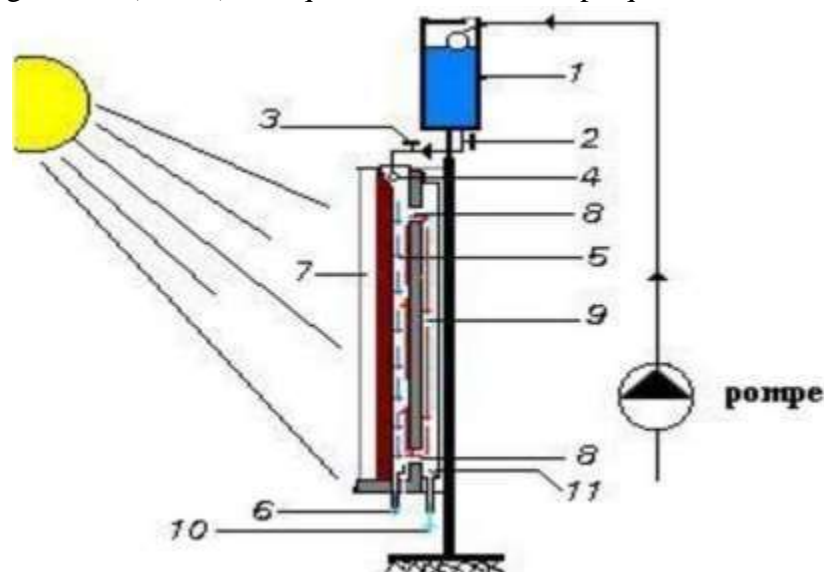


Figure I.3-3-8 Distillateur solaire verticale.

### I.3-3-9 Distillateur solaire à film capillaire

L'appareil est formé d'une vitre et de deux plaques métalliques disposées face à face et inclinées d'un certain angle. La face avant de la première plaque est peinte en noir. L'eau à distiller, s'écoule lentement à l'aide d'un tissu sur l'autre côté, ce tissu est convenable pour former un film capillaire d'eau. La vapeur d'eau produite quitte le tissu et va se condenser au contact de la seconde plaque. L'eau distillée et le résidu sont récupérés par des collecteurs [20].

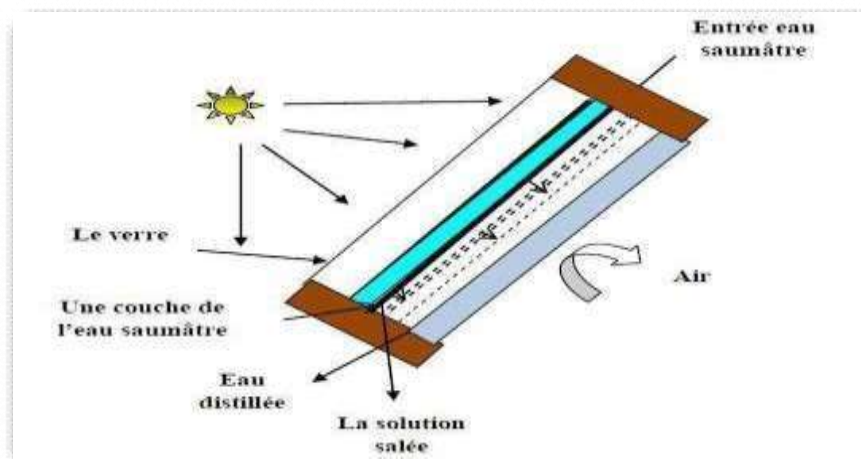


Figure I.3-3-9 Distillateur solaire à film capillaire.

### I.3-3-10 Distillation à effets multiples (MED)

Le principe de ce procédé est basé sur l'évaporation, Une partie de l'eau de mer préchauffée est utilisée sous basse pression, à une température comprise entre 70 et 80 ° C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange. La vapeur ainsi produite dans le premier effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le deuxième effet, Et en présence d'une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le deuxième effet et ainsi de suite. La multiplication du nombre d'effets est un paramètre de réduction de la consommation [21], (figure I.3-3-10).



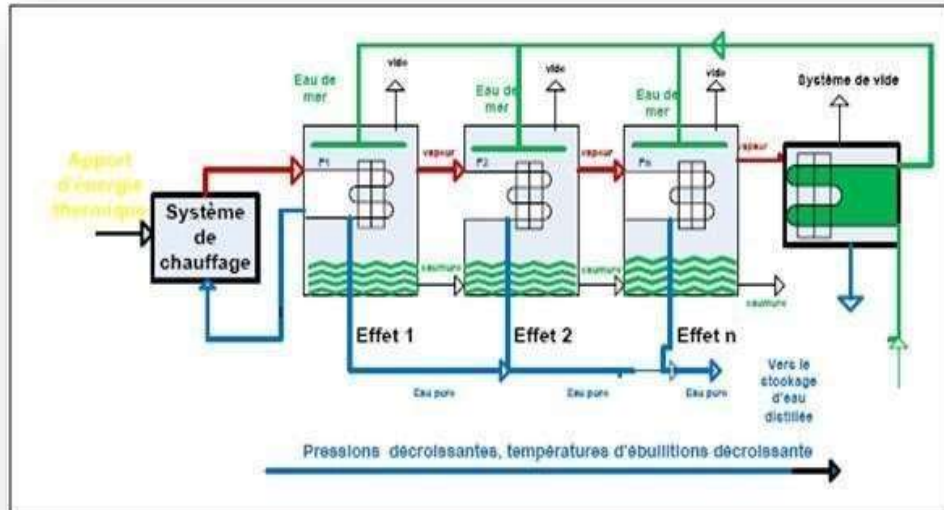


Figure I.3-3-10 La distillation à Multi stage flash (MSF)

### I.3-3-11 Distillation par compression de la vapeur (VC)

Son principe est celui d'une pompe à chaleur, l'eau de mer est évaporée après avoir été préchauffée dans un échangeur récupérateur de chaleur. La vapeur d'eau produite est compressée après avoir été débarrassée, par un séparateur, des gouttelettes entraînées. Sa pression ayant été élevée, la vapeur se condense alors à une température supérieure à celle qui règne dans l'évaporateur ; grâce à la chaleur latente de condensation qui est transférée et le cycle d'évaporation condensation de l'eau douce est extraite ainsi que la saumure [22], (voir figure I.3-3-11).

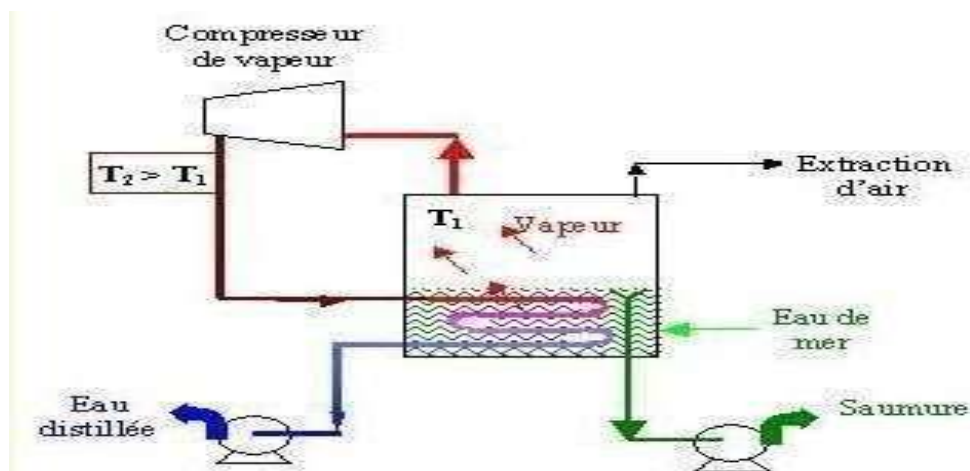


Figure I.3-3-11 Distillation par compression de la vapeur [21].

### I.3-4 Paramètres influents sur la distillation solaire

On peut diviser ces paramètres en deux grands groupes :

- ❖ Les paramètres atmosphériques (climatiques et locaux) ;
- ❖ Les paramètres de constructions (condenseur, absorbeur, profondeur de l'eau saline...etc.)



**I.3-4-1 Les paramètres atmosphériques****❖ La radiation solaire**

La production en eau du distillateur solaire dépend essentiellement de l'intensité de la radiation solaire.

**❖ La température ambiante**

La production en eau augmente légèrement quand la température de l'air augmente.

**❖ La Vitesse du vent**

La vitesse du vent est liée à la convection forcée qui se produit au niveau des vitres. Elle influe proportionnellement sur les températures des vitres, donc elle conduit à une augmentation de l'écart entre les températures de l'eau salée et celle de la vitre, ce qui contribue à l'élévation du taux d'évaporation de l'eau [23].

**I.3-4-2 Les paramètres de constructions****❖ La couverture**

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

**❖ L'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 [24].

**❖ L'absorbeur**

Il a pour rôle de transformer instantanément le rayonnement solaire qu'il reçoit en chaleur et de la transmettre par conduction à la solution salée. Un bon absorbeur doit avoir les propriétés et les qualités suivantes [25] :

- Un facteur d'absorption voisin de l'unité ;
- Une bonne conductivité thermique ;
- Une bonne résistance chimique vis-à-vis de la solution qui le baigne ;
- Imperméable ;
- Supporter de grandes températures sans qu'il y'ait des effets de détérioration.

**❖ La Profondeur de l'eau saumâtre dans le bassin**

Pour les distillateurs dont la base est thermiquement bien isolée, la différence entre ceux à faible et ceux à grande profondeur de l'eau saumâtre est notable. La faible profondeur de l'eau saumâtre (faible masse d'eau) entraîne l'évaporation rapide à cause de l'énergie importante qui sera absorbée par l'eau saumâtre. La production est d'autant plus importante que la profondeur est faible ; d'autre part, plus la profondeur de l'eau saumâtre est grande, plus longtemps dure la distillation après le coucher du soleil [26].

- **Autres paramètres**

L'humidité de l'air, la pluviométrie et l'intermittence des nuages doivent être prises en considération car la distillation en hiver n'est pas la même en été.

**I.4 Les colorants****I.4-1 Introduction**

Les couleurs sont la caractéristique que possède le corps, qui le distingue des autres corps du même type, et les couleurs sont définies physiquement comme ce que la rétine de nos yeux voit de la réflexion de la lumière de tout corps ou pigment coloré de ce corps.

La lumière elle-même est un mélange de plusieurs couleurs, mais avec des longueurs d'onde différentes, et pour que nous puissions percevoir n'importe quelle couleur, elle doit être dans une certaine longueur d'onde et fréquence afin que la rétine puisse l'absorber et la renvoyer au cerveau pour analyse. , car le cerveau dépend de la longueur d'onde émanant de la réflexion de la lumière sur le corps et de sa fréquence ou de ce qu'on appelle le rayonnement électromagnétique pour déterminer la couleur. Lorsque la lumière tombe sur un corps spécifique dont la couleur est jaune, par exemple, ce corps absorbe toutes les couleurs et inverse la couleur jaune qu'absorbent nos yeux, donc on voit la couleur jaune et ainsi de suite, sachant que la couleur blanche reflète toutes les couleurs et le noir absorbe toutes les couleurs, et une des conditions pour nous de voir une certaine couleur est que le rayonnement de cette couleur doit se situer dans le spectre visible, dont les longueurs d'onde vont de 400 nanomètres à 740 nanomètres.

**I.4-2 Définition des couleurs primaires**

Les couleurs primaires sont des couleurs primaires qui peuvent être mélangées pour produire d'autres couleurs, et les couleurs suivantes sont généralement considérées comme primaires : rouge, jaune, bleu et parfois vert [27].

**I.4-2-1 La raison pour laquelle les couleurs primaires portent son nom**

Est la raison pour laquelle les couleurs primaires portent ce nom ; Il n'est pas possible de l'obtenir en mélangeant d'autres couleurs, car d'autres couleurs sont faites en mélangeant uniquement des couleurs de base [28] et il est indiqué que la théorie des couleurs s'articule autour de 3 couleurs de base : rouge, bleu et jaune, et lorsque ces trois les couleurs sont mélangées D'une certaine manière, toutes les autres couleurs sont créées [29].

**I.4-2-2 Le premier à inventer le concept des couleurs primaires**

Isaac Newton a développé la première roue chromatique en 1704 lorsqu'il a élargi la théorie de la couleur dans son travail, alors que les érudits discutaient autrefois des meilleures nuances de couleurs pouvant décrire les sensations véhiculées par les couleurs primaires. couleurs à l'œil ; Thomas Young a recommandé le rouge, le vert et le violet comme couleurs primaires, tandis que James Clerk Maxwell a préféré changer le violet en bleu. Les artistes ont créé la première couleur il y a 4 000 ans, en mélangeant de la terre, de la graisse animale, du charbon de bois brûlé et de la

craie. Au fil du temps, cela a conduit à la création d'une palette de 5 couleurs primaires : rouge, jaune, marron, noir et blanc [30].

Les couleurs secondaires : Orange, violet, vert, noir, gris et blanc, qui sont les couleurs produites en mélangeant les couleurs primaires ensemble, [31] où le mélange des couleurs primaires produit ce qui suit : [32] Le violet est produit en mélangeant le rouge et le bleu...ensemble. L'orange est produite en mélangeant du jaune et du rouge ensemble. Le vert est produit en mélangeant du bleu et du jaune ensemble. Le noir est produit en mélangeant toutes les couleurs primaires ensemble.

Gris ou blanc, ces deux couleurs sont produites si les trois couleurs primaires sont mélangées dans des proportions égales, où le résultat est neutre. Il convient de noter que les couleurs secondaires sont obtenues en mélangeant des quantités égales de couleurs primaires ensemble, et lors du mélange couleurs secondaires les unes avec les autres, nous obtenons généralement des couleurs boueuses telles que le marron, le gris et le noir [33].

### **I.4-3 Définition du spectre visible**

La région du spectre visible est constituée de longueurs d'onde visibles [34]. La longueur d'onde représente la distance entre deux crêtes d'onde successives [35], qui va de la longueur d'onde la plus longue, qui est d'environ 700 nanomètres, et représente la couleur rouge, à la longueur d'onde la plus courte, qui est d'environ 400 nanomètres, et représente la couleur violette [36].

Isaac Newton a fait de nombreuses expériences dans le domaine de l'optique, y compris son expérience avec un prisme, où il a découvert l'apparition de la lumière en 7 couleurs sous la forme d'un arc-en-ciel, due à la diffusion de la lumière du soleil à travers un prisme de verre et sa séparation en différents longueurs d'onde [37], et cette gamme de couleurs est connue sous le nom de (ROYGBIV), qui se compose des premières lettres de toutes les couleurs du spectre dans la langue anglaise comme suit ; Rouge (R), orange (O), jaune (Y), vert (G), bleu (B), indigo (I), violet (V) et Isaac Newton, qui a expérimenté le cercle du spectre de couleurs.

#### **I.4-3-1 Les sept couleurs du spectre dans l'ordre**

Sont connues sous le nom de couleurs de l'arc-en-ciel ou de couleurs de l'arc-en-ciel, et les couleurs du spectre se forment généralement lorsque le soleil frappe les gouttes de pluie, et elles peuvent également être vues autour du brouillard ou autour des embruns. , ou aux chutes d'eau, et chaque couleur du spectre a une longueur d'onde, sa fréquence et son énergie diffèrent des autres couleurs, et leur ordre dépend de leurs longueurs d'onde, de la longueur d'onde supérieure du rouge à la longueur d'onde inférieure du violet[38],et le l'ordre des couleurs du spectre apparaît selon la fréquence (mesurée en térahertz (THZ) et la longueur d'onde (mesurée en nanomètres nm), et l'énergie (mesurée en électron volts eV) dans le tableau suivant [39] :

Tableau I.4-3-1 L'ordre des couleurs du spectre.

la couleur	Longueur d'onde (nm)	Fréquence (THZ)	Énergie (électronvolts)
Rouge	740 -625	480 -405	2.00 -1.65
Orange	625 -590	510 -480	2.10 -2.00
Jaune	590 -565	530 -510	2.17 -2.10
Vert	565 -500	600 -530	2.34 -2.25
Indigo	500 -485	620 -600	2.52 -2.48
Bleu	485 -450	680 -620	2.75 -2.64
Violet	450 -380	790 -680	3.10 -2.95

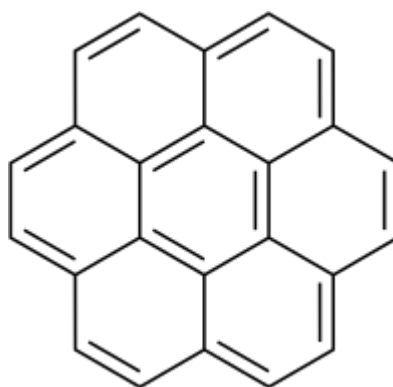
#### I.4-4 Propriétés des couleurs

##### I.4-4-1 Chimiques

- Coronine

Est un hydrocarbure aromatique polycyclique du groupe des cyclolines, de formule chimique  $C_{24}H_{12}$  ; Il se présente sous la forme d'une poudre jaune.

Le coronène est structurellement composé de six anneaux benzéniques fusionnés autour d'un anneau hexagonal central [40].



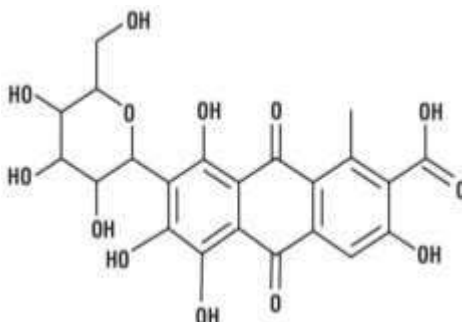
Coronène.

La coronine existe à l'état naturel sous forme de poudre jaune, insoluble dans l'eau, mais elle est soluble dans les solvants organiques non polaires tels que l'hexane, le toluène et le chloroforme.

Le composé présente une couleur bleue fluorescente lorsqu'il est exposé aux rayons ultraviolets. Le composé a des propriétés aromatiques et il existe 20 formules de résonance pour le composé.

- **Cochenille (E120)**

Ce colorant est la rouge cochenille. Ils l'obtiennent du bouclier sec des cochenilles femelles pollinisatrices. Il est stable à la lumière, à la chaleur et aux acides de fruits [41].

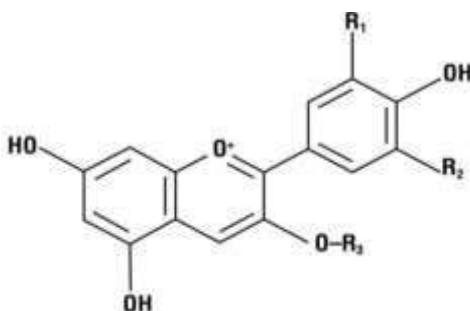


Acide Carminic.

Une livre de colorant rouge C<sub>22</sub>H<sub>20</sub>O<sub>13</sub> peut être obtenue en écrasant 70,000 de ces insectes.

- **Anthocyanine**

Il existe plus de 500 types différents d'anthocyanes extraites des plantes, et tous ces types ont une structure principale, qui est l'ion flavylium, composé de trois anneaux hexagonaux, en plus d'un certain nombre de groupes hydroxyle (-OH) qui font la molécule polaire (c'est-à-dire qu'elle a une charge positive partielle et une charge négative partielle) et soluble dans l'eau [43].



Anthocyanine.

#### I.4-4-2 Physiques

- **Coronine**

Se trouve naturellement dans le goudron de houille ; Il est produit par la combustion incomplète de la matière organique. Il peut être obtenu à partir des procédés de craquage dans les raffineries de pétrole, où il peut être dégradé pour obtenir de la décoroniline [42].

- **Anthocyanin**

C'est l'une des sources les plus importantes de la couleur violet foncé et bleu. C'est un composé organique, soluble dans l'eau, qui peut être utilisé pour colorer les produits contenant de l'eau [43].

La Food and Drug Administration des États-Unis n'a approuvé que sept des milliers de substances utilisées dans les colorants alimentaires. Les listes qui résument ces colorants alimentaires [43] :

FD&C Designation	Name	Color	Molecular Formula
Blue No. 1	Brilliant Blue FCF	Blue	$C_{37}H_{34}N_2Na_2O_9S_3$
Blue No. 2	Indigotine	Indigo	$C_{16}H_8N_2Na_2O_8S_2$
Green No. 3	Fast Green FCF	Turquoise	$C_{37}H_{34}N_2Na_2O_{10}S_3$
Red No. 3	Erythrosine	Pink	$C_{20}H_{64}Na_2O_5$
Red No. 40	Allura Red AC	Red	$C_{18}H_{14}N_2Na_2O_8S_2$
Yellow No. 5	Tartrazine	Yellow	$C_{16}H_9N_4Na_3O_9S_2$
Yellow No. 6	Sunset Yellow FCF	Orange	$C_{16}H_{10}N_2Na_2O_7S_2$

#### I.4-5 Utilisation des Colorants

Les grands domaines d'application des colorants sont les suivants :

- Dans l'industrie textile de la fourrure, du cuir (textile à usage vestimentaire, de décoration, de bâtiment, de transport, textile à usage médical...).
- Dans l'industrie de matières plastiques (pigments).
- Dans l'industrie du bâtiment : peintures (pigments).
- Dans l'industrie pharmaceutique (colorants)
- Dans l'industrie des cosmétiques.
- Dans l'industrie agroalimentaire (colorants alimentaires).
- Dans diverses industries utilisées pour des carburants et des huiles.
- Dans l'imprimerie (encre, papier), [43].

#### I.4-6 Codification

Les colorants alimentaires naturels ou synthétiques sont identifiés par des codes déterminés par la Communauté économique européenne (CEE), allant de E100 à E180 (E pour dire Europe), un autre système de numérotation, Système international de numérotation (SIN), est apparu ultérieurement ; il a été mis au point par la Codex Comité of Food Additive (CCFA) en vue de fournir un système numérique, internationalement reconnu, permettant l'identification des additifs alimentaires et, entre autres, les colorants alimentaires dans la liste d'ingrédients, au lieu de la déclaration du nom spécifique qui est généralement long et souvent associé à une structure chimique complexe. Ce système s'est inspiré du système restreint déjà introduit avec succès dans la CEE (Ben Mansour et Latrach Tlemcani, 2009). On

résume quelque colorant alimentaire utilisé dans les produits alimentaires dans le **tableau I.4-6** suivant [44] :

**Tableau I.4-6** Code des quelque colorants alimentaire.

Nom	Code
Curcumine	E 100
Riboflavine	E 101
Tartrazine	E 102
Jaune de quinoléine	E 104
Jaune orangé S, Jaune soleil	E 110
Cochenille, Carmin	E 120
Azorubine	E 122
Amarante	E 123
Rouge cochenille A, Ponceau 4R	E 124
Érythrosine	E 127
Rouge allura AC	E 129
Bleu patenté V	E 131
Bleu brillant FCF	E 133
Dioxyde de titane	E 171
Oxydes et hydroxydes de fer	E 172

#### I.4-7 Classification

On peut distinguer 3 catégories : Colorants de Synthèse, Colorants Artificiels, Colorants Naturels [44].



Tableau I.4-7 Classification des Colorants en fonction de leurs origines (Adeinate, 2018).

Synthétiques	Identiques au naturel	E 101, E 160a(i), E 160d(i), E160e
	Du sucre	E 150b, E 150c, E 150d
Artificiels	Dérivés azoïque	E 102, E 110, E 122, E 123, E 124, E 129, E 151, E 155, E 180
	Dérivés du triphénylméthane	E 131, E 133, E 142
	Dérivés indigoïdes	E 104, E 132
	Dérivés xanthéniques	E 127
Naturels	Des minéraux	E 171, E 173, E 174, E 170, E 175
	Du végétal	E 100, E 140, E141, E153, E160a(ii) à (iv), E 160b, E 160c, E 160d(ii) et(iii), E161b,E 161g E162, E163.
	De l'animal	E 120
	Du sucre	E 150 <sup>a</sup>

❖ **La Tartrazine SIN 102**

La tartrazine est un colorant alimentaire synthétique de nature azoïque très largement il se présente sous forme de poudre de couleur jaune ou orange hydrosoluble ou directement en solution employé dans le secteur agroalimentaire (boissons aromatisées sans alcool, chips, soupes instantanées, moutardes, les gâteaux ,sucreries (bonbons, pastillages,...), glaces et crèmes glacées) et dans la fabrication des produits cosmétiques et pharmaceutiques (La vitamine C et l'aspirine) (Gallen et Pla, 2013), Il est utilisé parfois en Afrique du nord dans le couscous.

La tartrazine est autorisée par l'Autorité Européenne de Sécurité des Aliments (AESA) et par le Comité Scientifique de l'Alimentation Humaine (CSAH), mais de nombreux pays interdisent ce colorant comme la Suisse et les Etats Unis. Cependant, ses effets nocifs sur la santé restent encore peu connus, ce qui laisse ouvert un champ d'investigation (Tanaka et al..., 2008).

❖ **Rouge Ponceau SIN124 ou Rouge Cochenille A**

Le rouge ponceau est un colorant synthétique pétrochimique de couleur rouge brillant, Il est connu sous différentes appellations, la rouge cochenille (A), E124, CI 16255 (pour les produits cosmétique) (Lemerini, 2016).

❖ **Dioxyde de Titane E171 :**

L'E171 est un colorant blanc principalement utilisé dans des produits de confiserie, de boulangerie et dans des sauces, mais on le retrouve également dans des cosmétiques et il a de nombreuses autres applications industrielles. Il se présente sous la forme d'un mélange de particules de TiO<sub>2</sub> à l'état dispersé, agrégé ou aggloméré dont la taille varie de quelques dizaines à plusieurs centaines de nanomètres. Les données de la littérature indiquent que la proportion de nanoparticules (i. e. dont les trois dimensions sont inférieures ou égales à 100 nm) au sein de l'additif alimentaire E171 peut varier de 0 à 39 % en nombre et de 0 à 3,2 % en masse (EFSA ANS Panel, 2016), [44].

❖ **Encre de Chine :**

L'encre de Chine est une encre noire utilisée pour l'écriture, le dessin et la peinture au lavis. Réputée venir d'Orient, Chine ou Inde, elle associe un pigment noir de carbone et un liant aqueux.

• **Les encres liquides**

Les encres au noir de carbone (Colour Index PBk7) à liant animal encrassent les plumes à écrire ou à dessiner qu'on utilise en Europe, mais non en Chine, obligeant à les nettoyer fréquemment. L'encre métallo gallique n'a pas cet inconvénient, et a dominé l'usage en Occident. Ceux qui recherchaient une encre plus noire utilisaient, souvent avec le pinceau ou le calame, l'encre dite « de Chine » importée depuis le Moyen Âge. Avec les instruments métalliques, comme le tire-ligne, cette encre « de Chine » offre encore l'avantage de ne pas être corrosive, alors que l'encre métallo-gallique oblige à nettoyer l'instrument. L'invention des pigments synthétiques à la fin du XIX<sup>e</sup> siècle a multiplié les possibilités, et mis une certaine confusion dans les dénominations commerciales des encres prêtes à l'emploi [45].

**I.4-8 Les inconvénients des colorants**➤ **Toxicité et impact environnemental**

Les colorants sont des composés difficilement biodégradables par les micro-organismes, ils sont toxiques ou nocifs pour l'homme et les animaux [46].

➤ **Toxicité sur la santé humaine**

Plusieurs travaux de recherche sur les effets toxiques des colorants sur la santé humaine ont été développés et ont montrés que les colorants sont :

- Génotoxiques ;
- Mutagènes ;
- Peuvent entraîner des cancers de la thyroïde ;
- Peuvent entraîner des tumeurs des glandes surrénales ;
- Contiennent des substances cancérigènes ;
- Peuvent avoir des actions sur le système nerveux central ;
- Inhibent certaines enzymes ;
- Augmentent la perméabilité intestinale [47].

## II. Partie Pratique (Expérimentales)

### II.1 Introduction

La distillation solaire est une opération très utilisée dans les régions arides, et une technique qui utilise le rayonnement solaire pour chauffer l'eau saumâtre.

Le but de notre étude est d'évaluer l'effet des colorants sur la distillation solaire de l'eau et la production de l'eau distillé. Ce travail a été effectué au laboratoire de génie des procédés de la faculté des sciences appliquées de l'Université de Ouargla.

#### ❖ Présentation de la zone expérimentale Ouargla

Les conditions climatiques font que la ville d'Ouargla (altitude 31,95 nord, longitude est 5,40 et altitude 141 m) en le sud d'Algérie, bénéficie d'un climat sec et aride, caractérisé par un ensoleillement exceptionnel, vu sa localisation géographique et son éloignement de la côte méditerranéenne. Le plus souvent, la ville d'Ouargla a un taux d'insolation très important et la moyenne annuelle de l'irradiation globale mesurée sur un plan horizontal d'environ 3500 h par an et génère environ 2 650 kWh/(m<sup>2</sup> / an) [48].

### II.2 Matériel et équipement

#### II.2-1 Conception du distillateur solaire

Les distillateurs utilisés dans nos expériences ont une conception très simple. Il s'agit de distillateurs solaires simples, qui présentent l'avantage d'être facile à construire, car ses composantes sont disponibles dans tous les marchés du monde. Donc toute personne désirant construire ce type de distillateur peut le faire facilement et avec le minimum de coût.



Figure II.2-1 Conception du distillateur solaire.

#### II.2-2 Bassin absorbant (plaque noire)

La plaque absorbante est l'élément le plus important du distillateur solaire simple à pente unique, sa rôle est d'absorber le maximum de rayonnement solaire global et transmettre la chaleur produite par cette absorption vers la saumure, c'est pour cette raison qu'il est peint en noir mat, il est obtenu par soudage et essentiellement en fer galvanisé. Elle est sous forme d'un plateau rectangulaire (0.24m<sup>2</sup>). L'absorbeur a un coefficient de conduction thermique faible.

**II.2-3 Couverture verrière (verre)**

Pour sa simplicité et son coût réduit, on a utilisé du verre ordinaire car ce type de distillateur ne nécessite pas des techniques avancées.

On a choisi un verre ordinaire pour son bonne conductivité thermique ; son bonne Transmission du rayonnement visible et sa mouillabilité.

Pour assurer une bonne étanchéité entre la vitre et les autres constituants du distillateur on a utilisé de la silicone.

**II.2-4 L'isolation thermique**

L'isolant choisi est du polystyrène couvrant l'absorbant pour diminuer les pertes de chaleur, Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement. Contenant un orifice de 2 cm de diamètre en bas du centre pour le drainage. Il est hermétique et démontable pour faciliter son changement et son nettoyage.

**II.2-5 Couverture extérieure**

Le coffre du distillateur renferme les différents éléments actifs, il devra donc assurer une protection efficace aux agents atmosphériques. Le coffre du distillateur est réalisé en bois.

**II.2-6 Tuyauterie**

Ce sont des tuyaux en plastique, de diamètre allant 15 à 21 mm pour lier les différentes parties du distillateur afin de transporter l'eau saumâtre et distillée.

**II.2-7 Cuve de récupération du distillat**

Pour la récupération du distillat on a utilisé une éprouvette graduée.

**II.3 Les appareils des mesures**

- Appareil de mesure le rayonnement solaire (Solari mètre) : figure 1-Annexe.
- Appareil de mesure la vitesse de vent (Anémomètre) : figure 2-Annexe.
- Appareil de mesure la température ambiante : figure 3-Annexe.
- Appareil de mesure la température de l'eau et de vitre (Thermocouples) : figure 4-Annexe.
- Eprouvette graduée pour mesurer le débit horaire de l'eau distillé chaque heure : figure 5-Annexe.

**II.4 L'emplacement des thermocouples**

La mesure des températures essentielles par des thermocouples sont de type (K), fixés soigneusement à l'aide de silicone, sur les parties du distillateur comme suit :

- Température de la face intérieure de la vitre (T1).
- Température de l'eau saumâtre à l'intérieur du bassin (T2).
- Température de fond du bac absorbant (plaque noire) (T3).

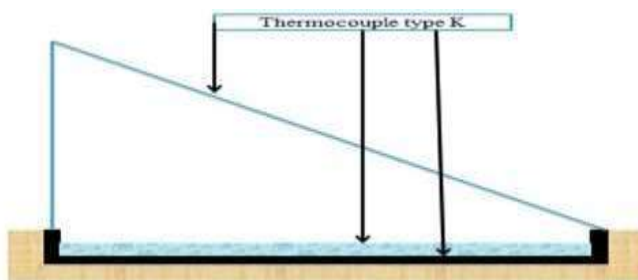


Figure II-4 Emplacement de thermocouples.

### II.5 Grandeurs mesurées

Dans ces expériences, pendant chaque heure durant un jour on va mesurer les grandeurs suivantes :

- + Le rayonnement solaire global en  $W/m^2$ .
- + la vitesse de vent en m/s.
- + Les différentes températures dans les distillateurs solaires (de l'eau et de couverture verrière à l'intérieure) en  $^{\circ}C$ , et aussi la température ambiante en  $^{\circ}C$ .
- + Le débit horaire du distillat en  $(ml/h.m^2)$ .

### II.6 Les colorants utilisés dans l'expérience

Bleu ( $TiO_2$ )



Jaune de Tartrazine (E 102),



Rouge cochenille A, Ponceau 4R (E 124),



l'encre noire de Chine

### II.7 Mode Opérateur

Cette étude est effectuée dans la période de Mars 2022, Dans notre travail nous avons trois distillateurs solaires ont été conçus pour réaliser les tests expérimentaux, ils ont les même dimensions orientés vers le sud avec angle d'inclinaison de  $30^{\circ}$  avec une profondeur de l'eau dans le bassin égale à 0,5cm et un volume égale à 2L400ml,

Chaque distillateur contient une couleur différente de l'autre, tandis-que l'autre reste comme distillateur témoin (sans couleur).

Pendant chaque heure on va mesurer les paramètres suivantes: a température ambiante, Le rayonnement solaire global, la vitesse de vent, Les différentes températures dans les distillateurs solaires et Le production horaire du distillat.

## II.8 Résultats et discussions

L'objectif principal de ce travail était de tester l'effet des colorants sur l'efficacité de la distillation solaire de l'eau et le pourcentage gagné en eau potable.

Les résultats sont présentés sous forme de graphes.

### II.8.1 Les graphes

#### II.8-1-1 Intensité solaire

La figure II.8-1-1 montre la variation du rayonnement solaire en fonction du temps

en 28 Mars 2022

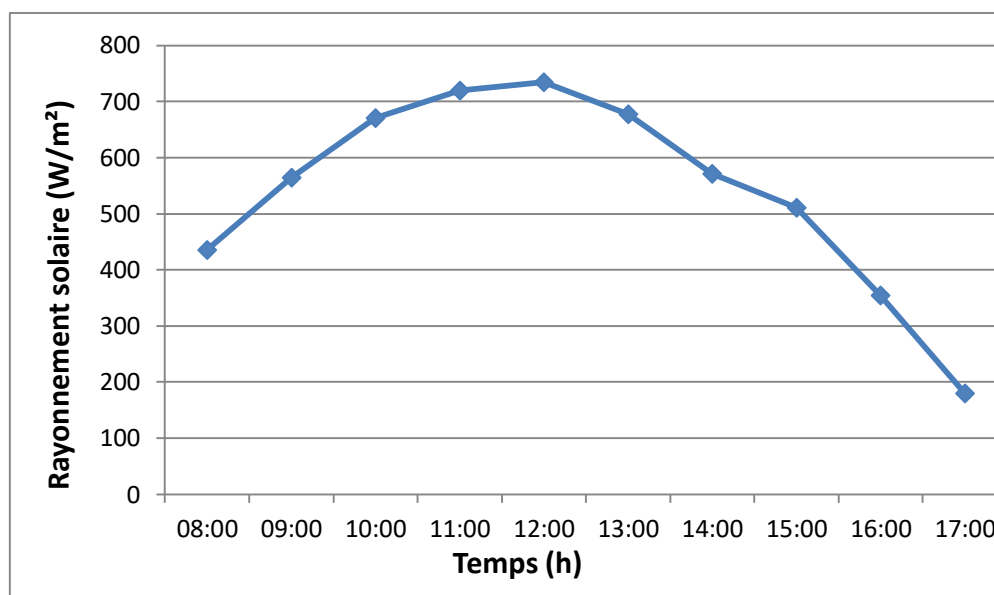


Figure II.8-1-1 Rayonnement solaire en fonction du temps.

On remarque en l'intensité du rayonnement solaire commence à augmenter la matinée et atteint sa valeur maximale ( $734\text{W/m}^2$ ) à 12h00, puis elle diminue de nouveau.

#### II.8-1-2 Température ambiante

La Figure II.8-1-2 Montre la variation de la température ambiante en fonction du temps en 28 Mars 2022.

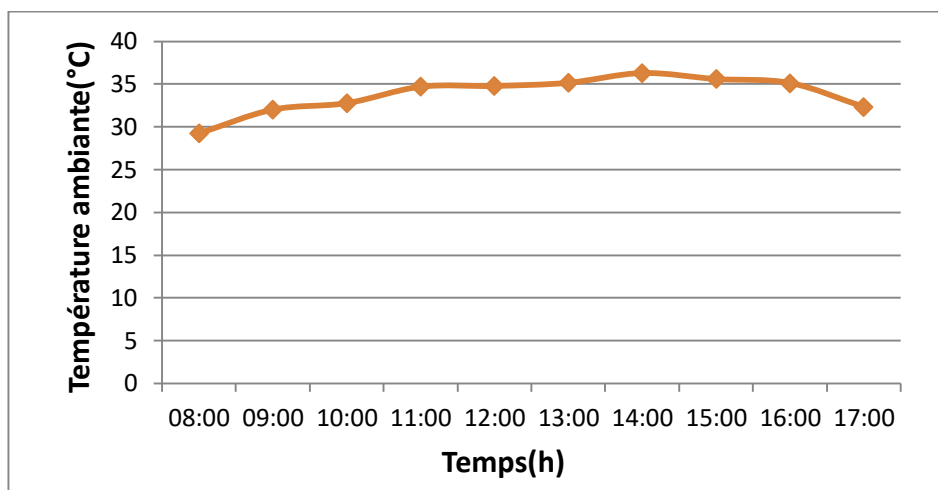


Figure II.8-1-2 Température ambiante en fonction du temps.

Généralement, le trajet de la courbe de la température ambiante est similaire à celui de l'intensité, mais au début du printemps son maximum n'est atteint qu'aux alentours de 14h00.

### II.8-1-3 Vitesse de vent

La figure II.8-1-3 Montre la variation de la vitesse de vent en fonction du temps le 28 mars 2022.

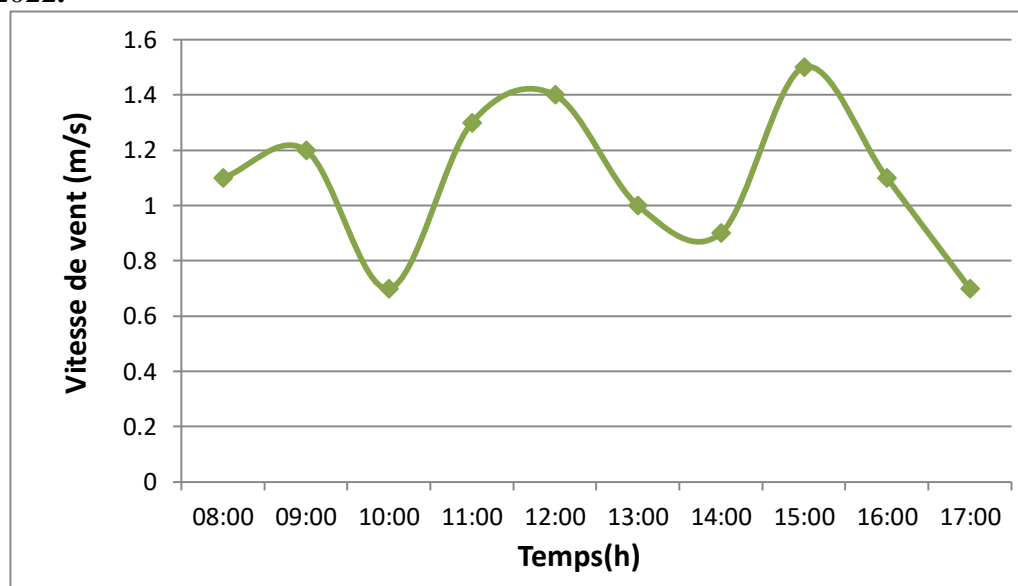


Figure II.8-1-3 Vitesse de vent fonction du temps.

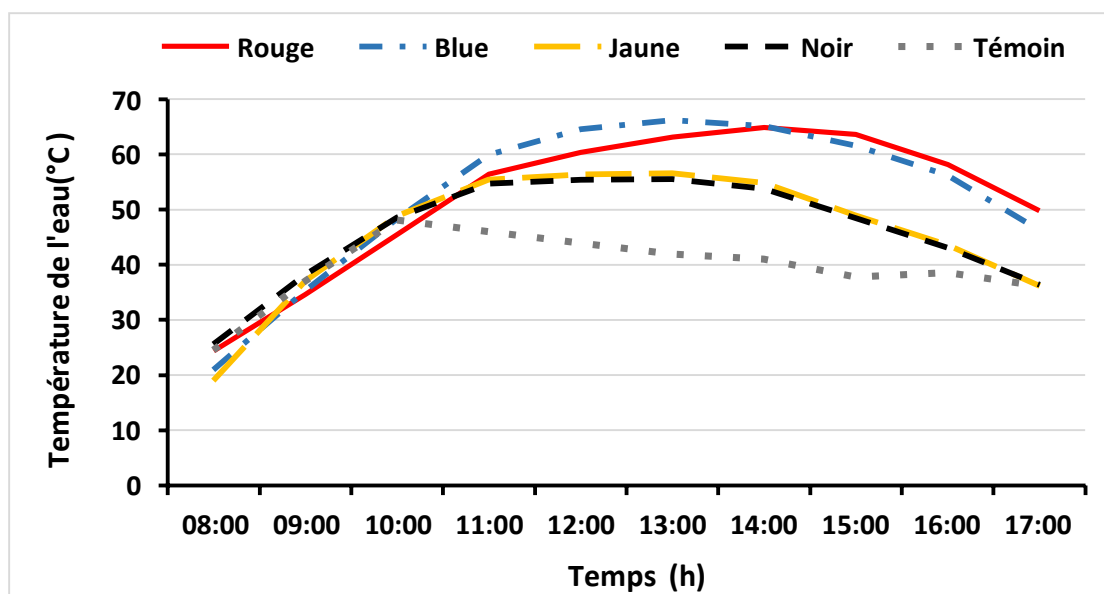
On remarque une fluctuation de la vitesse de vent, atteignant la valeur la plus élevée à 15:00h puis diminue, et cela est dû à l'état de la météo ce jour-là ;il affecte la distillation solaire de l'eau ,car il refroidit le verre lorsque le réchauffement climatique dans les distillateur.

**II.8-1-4 Les températures pour les distillateurs**

La Tableau et la **Figure II.8-1-4** Montre diverses températures de l'eau en fonction des heures de la journée.

**Tableau II.8-1-4** Les températures de l'eau du chaque un couleur (°C) et témoin.

Temps(h)	Les températures de l'eau du chaque un couleur (°C)				
	Rouge	Blue	Jaune	Noir	Témoin
08:00	24,4	20,9	19	25,6	24,6
09:00	34,6	35,3	37,1	38,2	37,1
10:00	45,5	48,3	48,8	48,6	48,1
11:00	56,4	59,9	55,4	54,7	46
12:00	60,4	64,6	56,3	55,4	43,9
13:00	63,1	66,2	56,6	55,5	41,9
14:00	64,9	65,2	54,8	53,8	41
15:00	63,6	61,6	48,9	48,4	37,8
16:00	58,1	56,2	43,6	43,1	38,6
17:00	49,8	46,2	36,2	36,4	36,1



**Figure II.8-1-4** température de l'eau colorée et témoin fonction du temps.

**Interprétation**

On remarque une élévation de température l'eau colorée et témoin à midi due à l'absorption du bassin noir pendant les premières heures et à l'intensité du rayonnement solaire.

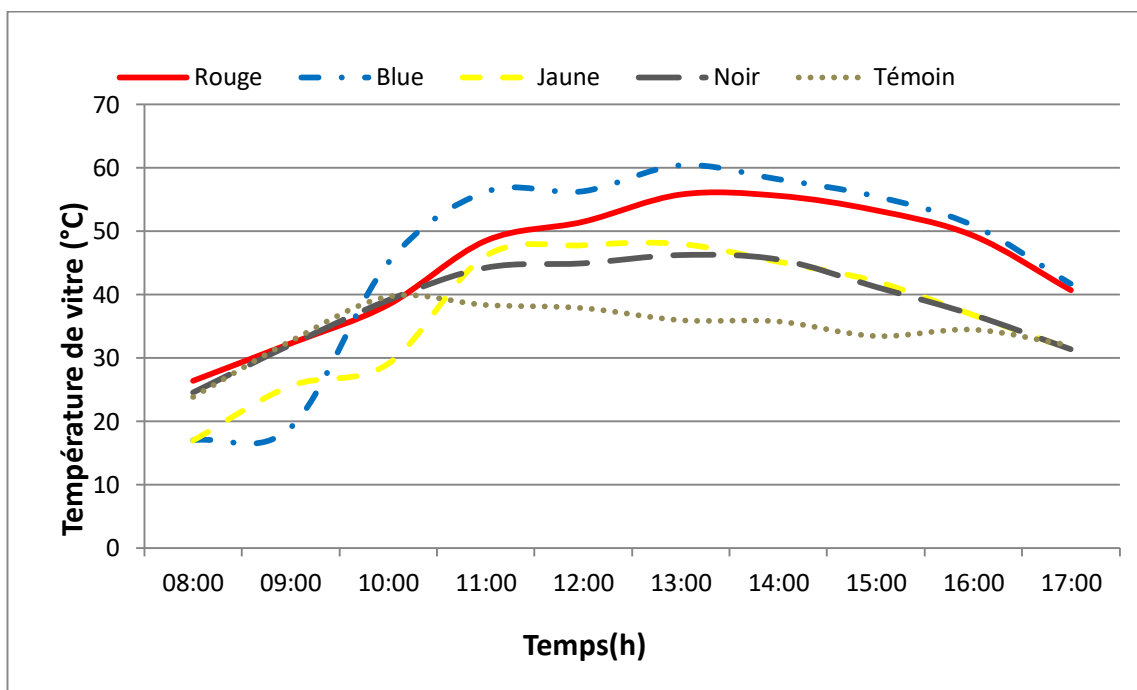
Comparaison avec le témoin on constate que l'eau colorée absorbe la chaleur en grande quantité.



La **Tableau** et la **Figure II.8-1-4-1** Montre températures du verre en fonction des heures de la journée avec le témoin.

**Tableau II.8-1-4-1** Les températures de vitre du chaque un couleur (°C) et témoin.

Temps(h)	Les températures de vitre du chaque un couleur (°C)+ Témoin				
	Rouge	Blue	Jaune	Noir	Témoin
08:00	26,4	17	17	24,6	23,9
09:00	32,3	19	25,6	32,1	32,7
10:00	38,4	45	29,1	39,1	39,7
11:00	48,5	56,2	46,1	44,2	38,4
12:00	51,5	56,3	47,8	44,9	37,9
13:00	55,8	60,4	48	46,2	36
14:00	55,6	58,2	45,2	45,5	35,8
15:00	53,3	55,5	42,1	41,2	33,5
16:00	49,3	50,9	36,8	36,8	34,5
17:00	40,7	41,7	31,4	31,4	32



**Figure II.8-1-4-1** Les températures de vitre du chaque un couleur et Témoin en fonction du temps

**Interprétation**

On remarque une élévation de température de vitre du chaque couleur et témoin à midi en raison de la rétention de chaleur résultant de l’eau bouillante à l’intérieur des distillateurs. Comparaison avec le témoin on constate que de température de vitre du chaque couleur absorbe la chaleur en grande quantité.

Tableau II.8-1-4-2 Différentes températures pour le distillateur témoin, et les couleurs.

La date (28/03/2022)	Temps(h)	$\Delta T$ (°C) =(T de l'eau -T de verre)				
		Rouge	Blue	Jaune	Noir	Témoin
	08:00	-2	3,9	2	1	0,7
	09:00	2,3	16,3	11,5	6,1	4,4
	10:00	7,1	3,3	19,7	9,5	8,4
	11:00	7,9	3,7	9,3	10,5	25,6
	12:00	8,9	8,3	8,5	10,5	7,6
	13:00	7,3	5,8	8,6	9,3	5,9
	14:00	9,3	7	9,6	8,3	5,2
	15:00	10,3	6,1	6,8	7,2	4,3
	16:00	8,8	5,3	6,8	6,3	4,1
	17:00	9,1	4,5	4,8	5	4,1

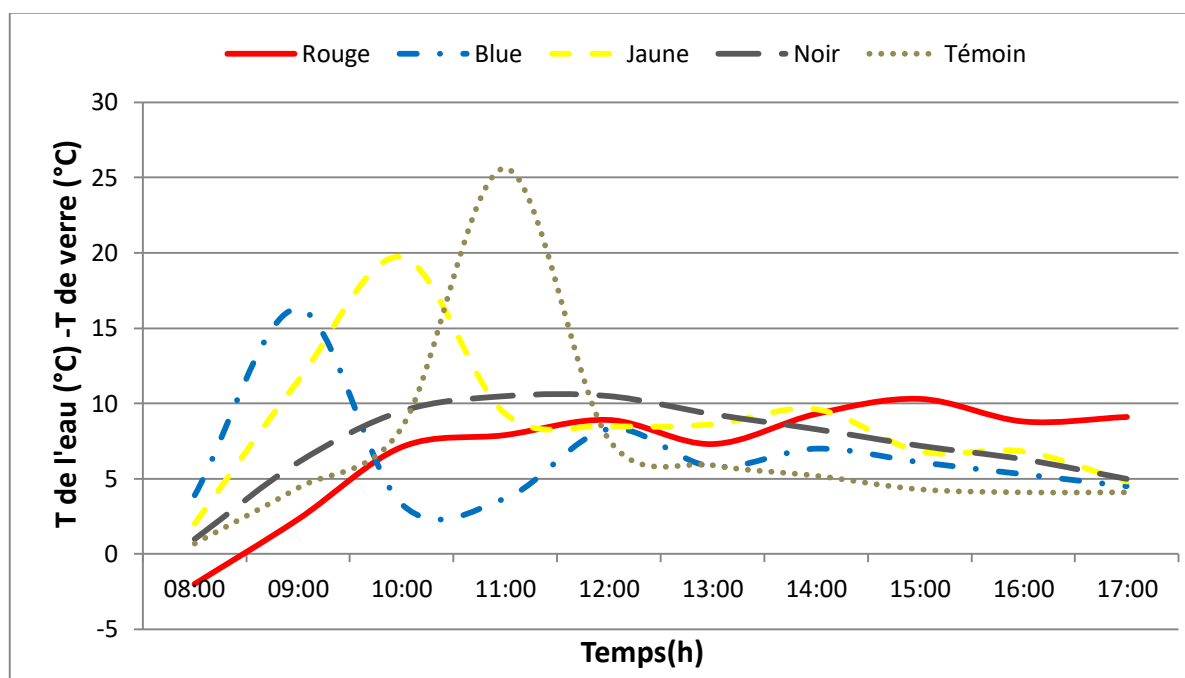


Figure II.8-1-4-2 La différence entre la température de l'eau et du verre en fonction de temps.

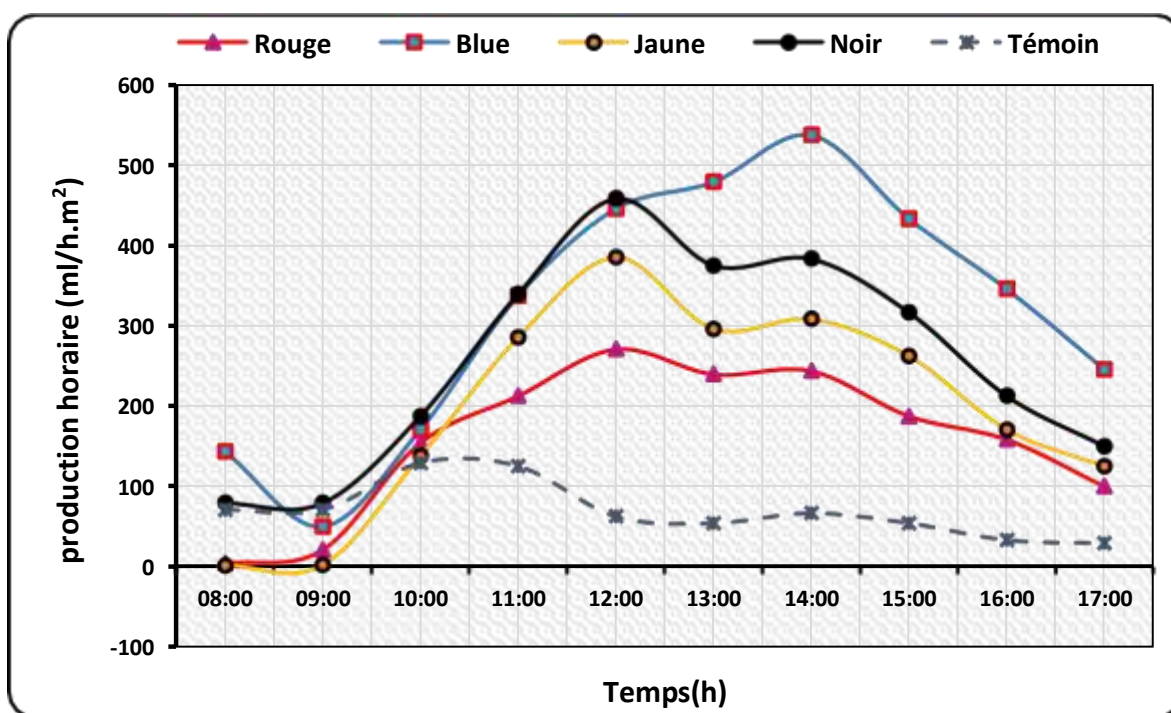
Les résultats préliminaires obtenus ont montré que les températures des couleurs et du témoin évoluent constamment au cours de la journée, puisque l'on constate que la température des couleurs bleu ,jaune et noir était élevée durant les premières heures de la journée atteignant son maximum à 9et 10h respectivement, alors que le témoin et la couleur le rouge étaient insignifiants pendant ces heures, et avec le temps on remarque une augmentation de la température du témoin de la couleur rouge pour atteindre la valeur la plus élevée à midi et dans l'après-midi, contrairement au d'autres couleurs qui étaient en cette diminution.

**Interprétation**

nous expliquons la montée des températures durant les premières heures, que la différence de températures de l'eau et des températures du verre était très élevée par rapport à la différence de températures dans la couleur rouge et le témoin durant les premières heures ,alors que l'inverse se produit dans l'après-midi et cela est causé par la forte augmentation des températures de l'eau de l'aquarium, sous l'effet du rayonnement solaire.

**II.8-1-5 Production de l'eau distillée**

La **Figure II.8-1-5** Montre les variations de la production horaire du distillat pendant un jour pour le distillateur témoin, et distillateurs les couleurs.



**Figure II.8-1-5** Débit volumique horaire d'eau distillée produite en fonction du temps .

À partir de la tendance des courbes selon laquelle la production horaire du distillat augmente au cours de la journée comme l'intensité solaire, la productivité augmente progressivement jusqu'à ce qu'elle atteigne la valeur maximale à midi, par contre l'après-midi, le taux de production diminue progressivement. En général, la productivité du distillat de tous les distillateurs varie proportionnellement à l'intensité solaire globale.

**Interprétation**

La production horaire des distillats est affectée par la valeur de la différence de température de l'eau et du verre, qui sont affectées par le rayonnement solaire.

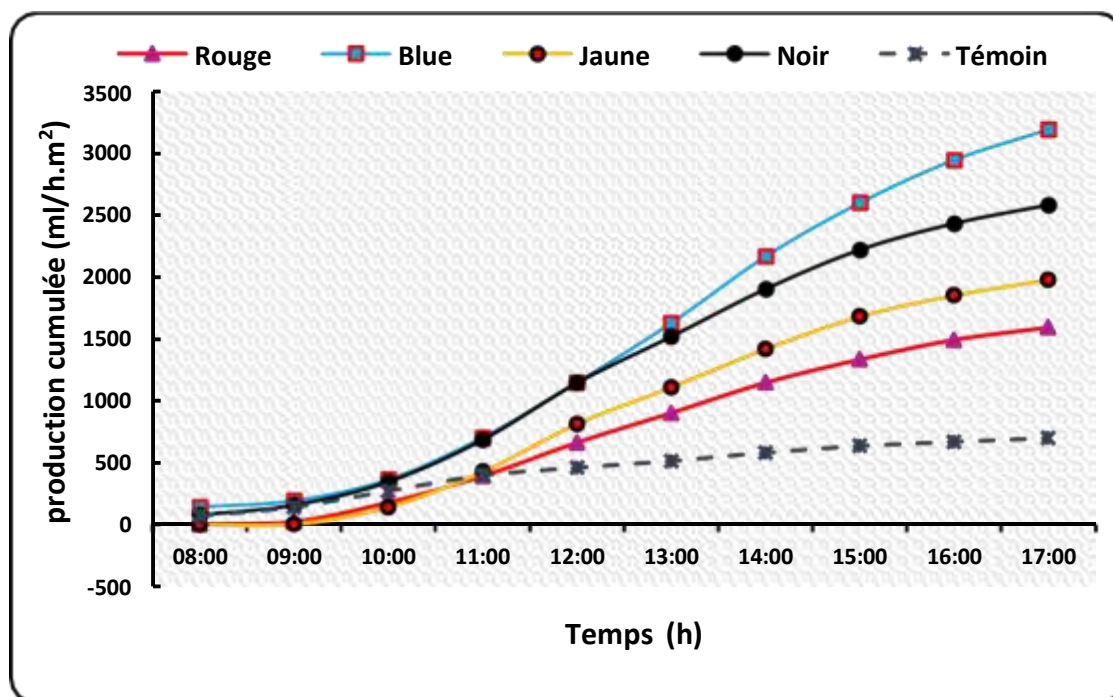
Nous expliquons également la valeur élevée de la production horaire de couleur noir et bleu par fait que la solution aqueuse noire et bleue la solution émet des ondes électromagnétiques (photons) ce rayonnement est réalisé en convertissant l'énergie

du mouvement le rayonnement thermique des molécules du corps se transforme en énergie rayonnante, ce qui signifie que la longueur d'onde du rayonnement thermique (le mouvement des particules à l'intérieur de la solution aqueuse) est longue, ce qui signifie qu'il contient la fréquence et l'énergie les plus basses.

Alors que la production de courrier d'un témoin est une solution propre (transparente) les molécules d'eau absorbent des parties du spectre électromagnétique lors de la transmission du rayonnement électromagnétique et la transmission d'équilibrage du spectre se produit avec le moins d'effet possible.

### II.8-1-6 Productivité cumulée

La **figure II.8-1-6** Montre les évolutions de la production d'eau cumulée par unité de surface d'absorbeur, pour le distillateur témoin et les couleurs.



**Figure II-8-1-6** Le cumul horaire d'eau distillée produite en fonction du temps.

On constate une remontée notable de la production cumulée à partir de 12 :00h où la courbe de la solution bleue est la plus élevée, suivie de la noire, puis de la jaune, enfin de la rouge et du témoin.

#### Interprétation

L'augmentation de la production cumulée à partir de 12 :00h pour les solutions est due à l'effet de la différence de température, où le rayonnement diffus est de forte intensité pendant le midi, ce qui explique l'augmentation de la température de l'ambiante.

Après midi, la solution bleue apparaît comme la plus élevée, suivie de la noire, ensuite ce jaune est dû à la longueur d'onde et à l'intensité du rayonnement solaire résultant du mouvement des particules dans le bassin après absorption de la chaleur

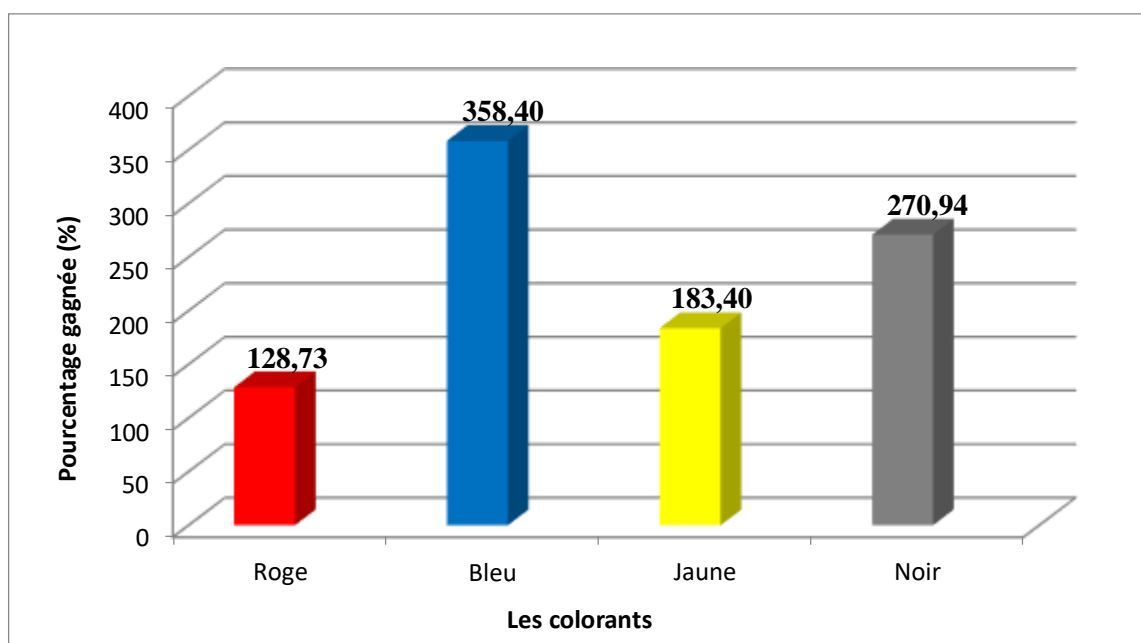
diffuse par rapport à la longueur d'onde du rouge solution et le témoin, qui est court et faible.

❖ **Les gains pourcentages de l'eau distillée**

Le pourcentage gagné qu'on ajoute les colorants dans le distillateur solaire simple est présenté dans le tableau suivant

**Tableau II-9** les gains pourcentage de l'eau distillé.

Gain%=(débit cumulée de distillateur -débit de témoin)/débit de témoin *100
Gain%(Roge)= ((1591.66 - 695.86) / 695.86)*100 = 128.73 %
Gain%(Bleu)= ((3189.58 - 695.86)/ 695.86)*100 = 358.40 %
Gain%(Jaune)= ((1974.58 - 695.86)/ 695.86)*100 = 183.76 %
Gain%(Noir)= ((2581.25 - 695.86) / 695.86)*100 = 270.94 %



**Figure II-9** Pourcentage gagnée pour les trois les couleurs primaires et la couleur noir.

**Interprétation :**

On remarque que les couleurs donnent la production d'eau distillé en grande quantité par rapport à l'eau saline seule, le gain dans la solution aqueuse bleue est 3 fois celui de la solution témoin, où la couleur bleue est considérée comme la couleur qui donne la meilleure production en raison de la présence de photo-catalyseur dans la structure moléculaire qui la compose.

**❖ Analyse physico-chimique de l'eau distillée**

L'analyse physico-chimique permet d'analyser les matériaux et leurs propriétés afin de confirmer leur composants ou d'identifier des défauts ; selon les normes réglementaires (ISO 685, NA ISO 6840, NA 11403,...etc).

La valeur du PH varie de 0 à 14 où la solution est acide lorsque la valeur du PH est comprise entre 0 et 7, tandis que la solution est basique lorsque la valeur du PH est comprise entre 7 et 14, l'eau distillée pure est supposée neutre avec un PH de 7, mais parcequ'il absorbe le dioxyde de carbone de l'atmosphère, il est en fait légèrement acide, de sorte que vous constatez que le PH de l'eau distillée immédiatement après la distillation est 7, mais quelques heures après la distillation, l'eau absorbe le dioxyde de carbone de l'atmosphère et devient acide et le PH devient 5,8. La PH n'est pas un polluant mais c'est une variable chimique majeure. Il affecte l'activité d'autres composants chimiques, y compris le degré auquel les dépôts de chlore affectent la contamination microbienne.

La quantité de solutés (TDS = Total Dissolved Solid) est mesurée en ppm ou milligrammes par litre. Il existe cinq classes de solutés :

Très faible 0-50 mg/L

Faible 50-250 mg/L

Moyen 250-800 mg/L

Elevé 800-1500 mg/L

Très élevé > 1500 mg/L

L'eau minérale doit contenir une TDS comprise entre 50 et 800 mg/L.

La Salinité est la teneur en sel dissous dans l'eau.

Sa conductivité électrique est inexistante, car il manque d'ions. L'eau distillée doit être dépourvue d'ions car elle est exempte d'impuretés, de substances dissoutes, de micro-organismes, Il se mesure en S.m-1.

A la fin de l'expérience, nous avons effectué des analyses physico-chimiques de l'eau distillée, nous obtenons les valeurs suivantes

Tableau II-10 Analyse physico-chimique de l'eau distillé

	<b>Blue</b>	<b>noir</b>	<b>jeune</b>	<b>rouge</b>	<b>témoin</b>	<b>L'eau salée</b>
<b>PH</b>	5.7	6.05	5.86	5.68	6.08	6.53
<b>C<sub>25</sub> (ms/cm)</b>	143	148	137	138	157	2108
<b>TDS (mg/l)</b>	76	74	69	69	79	1500
<b>Salinité (psu)</b>	0.07	0.07	0.06	0.06	0.07	1.07
<b>T<sub>O</sub></b>	26.31	26.31	26.34	26.25	26.28	25.23

On remarque que par rapport à l'eau salée, le PH et la salinité ainsi que le TDS et la conductivité sont plus faibles pour les solutions contenant des colorants, et cette dernière est plus faible et meilleure pour les solutions colorées par rapport au témoin.

## **Conclusion générale**

Notre travail expérimental étudie l'effet de colorants sur le rendement de l'eau distillé dans la distillation solaire.

L'expérience de la présente étude a été menée à l'université Kasdi Merbah Ouargla (sud-est Algérien).

On a conclu que les distillateurs solaires sont l'une des meilleures solutions aux problèmes d'obtention d'eau Potable dans de nombreuses zones arides à travers le monde. Les principales réalisations de cette étude sont répertoriées comme suit : Les distillateurs solaires sont la technique la plus disponible et la plus abordable pour la production de l'eau douce en particulier dans les régions désertiques.

- ✓ on a constaté que l'emplacement géographique peut avoir un effet positif sur l'augmentation de la productivité de l'eau, en particulier pour les endroits avec l'intensité solaire et les réserves en eaux souterraines saumâtres abondantes comme le sud de l'Algérie.
- ✓ L'intensité solaire reste le paramètre le plus influant sur la production d'eau distillée et sur les températures de tous les composants du distillateur, qui augmentent au fur et à mesure avec la hausse du rayonnement solaire.
- ✓ Les résultats obtenus indiquent que les distillateurs avec la couleur bleu et noir donnent une production journalière très élevée en eau distillée avec une amélioration égale à 358.40% et 270.94% respectivement par rapport aux autres colorants (jeune et rouge) et au témoin.

Tous les résultats expérimentaux obtenus sont encourageants pour l'utilisation de ces distillateurs dans les zones rurales et désertiques à fort ensoleillement afin de résoudre certains problèmes posés par le manque d'eau potable dans ces régions. Dans ce cas des analyses physicochimiques et biologiques sont toujours nécessaires avant la consommation de ces eaux mais si le but est de produire de l'eau distillée commerciale l'analyse biologique n'est pas nécessaire mais l'analyse physicochimique (conductivité, salinité, pH....) est nécessaire.



## **Références bibliographiques**

- [1]. Karout, Souad. Estimation des pertes thermiques dans des systèmes de dessalement par voie solaire. Diss. Université Mentouri de Constantine, 2009.
- [2]. Bensekri, Mokhtar. "-Données De Base Sur Les Ressources En Eau Dans La Région Maghrébine." *مجلة البترول الاقتصادي* 4.2 (2017): 269-288.
- [3]. Tahri, T., et al. "Dessalement de l'eau de mer par l'énergie solaire en vue de l'irrigation d'une serre agricole." *Faculté des sciences et des sciences de l'ingénieur, Université de Hassiba Ben Bouali, Chlef, Algérie* (2011).
- [4]. El-Dessouky, Hisham T., and Hisham Mohamed Ettouney. *Fundamentals of salt water desalination*. Elsevier, 2002.
- [5]. Halloufi, Ouahid. "Etude de la performance d'un distillateur solaire par un système de pré-chauffage solaire de l'eau saumâtre." (2010).
- [6]. Le Dirach, J., S. Nisan, and C. Poletiko. "Extraction of strategic materials from the concentrated brine rejected by integrated nuclear desalination systems." *Desalination* 182.1-3 (2005): 449-460.
- [7]. Sellami, M. H., et al. "Improvement of solar still performance by covering absorber with blackened layers of sponge." *Groundwater for Sustainable Development* 5 (2017): 111-117.
- [8]. Desjardins, Raymond. *Le traitement des eaux*. Presses inter Polytechnique, 1997.
- [9]. Remini, Boualem. *La problématique de l'eau en Algérie*. Office des publications universitaires, 2005.
- [10]. BOUGIS, Jean. "Revue des aspects maritimes du dessalement d'eau de mer." *Revue Paralia* 6 (2013): 1-1.
- [11]. ROSTEK ASSOCIATES, INC., TAMPA, FLORIDA « *Desalting Handbook for Alanners* » 3ème Edition, pp4-61
- [12]. Nafey, A. Safwat, et al. "Parameters affecting solar still productivity." *Energy conversion and management* 41.16 (2000): 1797-1809.
- [13]. N'Doye, Banda. *Modélisation informatique de distillateurs solaires à effet de serre*. Université de Perpignan, Laboratoire de Thermodynamique et énergétique, 1979.
- [14]. Bechki, Djamel. *Etude comparative et optimisation des procédés de distillation solaire en vue de la production d'eau potable dans les zones arides sahariennes*. Diss. Université de Batna 2, 2011.
- [15]. Deliou, A., et al. "Etude expérimentale des caractéristiques d'un distillateur solaire à effet de serre." *Revue des Energies Renouvelables CICME* 8 (2008): 109-118.
- [16]. Ismail, Tabet. "Etude d'un distillateur solaire à cascade." *Mémoire de magister Université Mentouri Constantine* (2010).

- [17]. Guitoubi, Fatiha, and Assia Bouras. "L'influence d'un capteur solaire sur le procédé de la distillation solaire à simple effet." (2017).
- [18]. Chaker, A., and G. Menguy. "Efficacité interne d'un distillateur solaire sphérique." *Rev. Energ. Ren. Journées de Thermique* (2001): 53-5853.
- [19]. Bellel, N., and I. Tabet. "Etude, réalisation et simulation numérique d'un distillateur solaire à cascade." *Revue des Energies Renouvelables SIENR* 12 (2012): 49-57.
- [20]. ZERROUKI, Moussa, et al. "Simulation et expérimentation d'un distillateur solaire à film capillaire dans le sud Algérien." *Annals of Science and Technology* 4.1 (2012): 12-12.
- [21]. Fatima, Boukabous, and Chelfi Rania. "Effet du refroidissement de la vitre par l'effet thermoélectrique Sur la Production d'un distillateur solaire simple: Approche expérimentale." (2021).
- [22]. Djamel-Eddine, Monsieur MOUDJEBER. *Utilisation des énergies renouvelables dans le dessalement: Cas de l'Algérie*. Diss. Université de Mostaganem, 2015.
- [23]. ISMAIL, TABET. *Etude d'un distillateur solaire à cascade*. Mémoire de magister, Université Mentouri Constantine, 2010.
- [24]. BENARIMA zine el abdine. *Amélioration de la capacité de l'absorbeur d'un distillateur solaire simple par l'ajout d'une Couche de sable*. Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla: Algérie, 2012.
- [25]. Boutebila, Hichem. "Etude et conception d'un distillateur solaire à usage agricole." (2012).
- [26]. Foutia, Yacine, and Mustapha Djelmami Hani. *AMELIORATION DES PERFORMANCES D'UN DISTILLATEUR SOLAIRE AVEC NANOPARTICULE «ÉTUDE EXPERIMENTALE*. Diss. 2222, جامعة غرداية, 2022.
- [27]. "Definition of 'primary colour'", collinsdictionary, Retrieved 14/10/2021.
- [28] Michelle Konstantinovsky (9/4/2021), "Primary Colors Are Red, Yellow and Blue, Right? Well, Not Exactly", howstuffworks, Retrieved 14/10/2021.
- [29] "Who invented the primary colors?", findanyanswer, 24/4/2020, Retrieved 14/10/2021.
- [30] "Secondary color", collinsdictionary, Retrieved 25/10/2021.
- [31] acrylgiessen (6/9/2021), "Mixing Colors – The Best 30 Tips on How to Mix Colors [Guide]", acrylgiessen, Retrieved 14/10/2021.
- [32] Ben Davis (17/8/2020), "What can be obtained in mixing two secondary colors?", mvorganizing, Retrieved 14/10/2021.
- [33] "Tour of the Electromagnetic Spectrum", NASA SCIENCE, Retrieved 16/8/2021.
- [34] "Wavelength", Britannica, Retrieved 16/8/2021.
- [35] "The Electromagnetic and Visible Spectra", the Physics Classroom, Retrieved 16/8/2021.

- [36] Barbara Bagwell (1/10/2019), "Understanding the Visible Light Spectrum and Color", SUNCO, Retrieved 16/8/2021.
- [37] Rainbow", NATIONALGEOGRAPHIC, Retrieved 16/8/2021.
- [38] Sudip Karn, "Which color of the visible light has the longest wavelength? Is it blue?", Quora, Retrieved 16/8/2021
- [39] Fetzer, J. C. (2000) 'The Chemistry and Analysis of the Large Polycyclic Aromatic Hydrocarbons 'New York: Wiley.
- [40] Molina R ، Vicente A ، Cristobal N ، نُؤدم ني الحناظ على النواكه والخضروات مع الطلاءات النشطة ، بيولوجيا .
- [41] [www.mindat.org](http://www.mindat.org) نسخة محفوظة 08 يونيو 2022 على موقع واي باك مشين .
- [42] Brian Rohrig, October 2015, ChemMattersOnline, Eating With your eyes :The chemistry of food coloring , Retrieved 7 October, 2015, from <http://www.acs.org/content/acs/en/education/resources/highschool/chemmatters/past-issues/2015-2016/october-2015/food-coloring.html>
- [43]. Zidani. L. Thèse magister. Etude de la dégradation de quatre colorants azoïques par photo-catalyse comparaison avec d'autres procédés d'oxydation avancés (POA), Université Batna, 2009.
- [44]. Boudjerda, Nozha, et al. Evaluation des risques toxiques des colorants alimentaires: étude bibliographique. Diss. Université de Jijel, 2020.
- [45]. « [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Encre\\_de\\_Chine&oldid=182866882](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Encre_de_Chine&oldid=182866882) ».
- [46]. Lachheb.M, Etude d'adsorption de violet de gentiane sur la sciure de bois, mémoire de master, Université A.M.Oulhadj-bouira, département de génie de procédés, 24p, (2018)
- [47]. Saidi, Fatima Zahra. "Elimination du Bleu de Méthylène par des Procédés d'Oxydation Avancée." Mémoire de magister, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen (2013).
- [48]. Sellami, M. H., et al. "Solar distillation using a blackened mixture of Portland cement and alluvial sand as a heat storage medium." Desalination 394 (2016): 155-161.

Annexes

**Instruments des mesures**

- **Instrument de mesure de rayonnement solaire global (Solari mètre) :**



**Figure1 :** Appareil de mesure de rayonnement solaire.

- **Instrument Mesure de la vitesse du vent :**



**Figure 2 :** Appareil Mesure de la vitesse du vent.

- **Instrument de mesure de la température ambiante :**



**Figure 3:** Appareil de mesure de la température ambiante.

- **Instrument de Mesure de la température (thermocouples):**



**Figure 4 :** Appareil de Mesure de la température (thermocouples).

➤ **Eprouvette Graduée :**



**Figure 5 :** Éprouvette graduée.

## ملخص

عانت الجزائر من توفر مياه الشرب منذ عدة سنوات، فاضطرت إلى اللجوء إلى تحلية مياه البحر لتلبية الاحتياجات المائية، خاصة للقطاعين الزراعي والصناعي. التقطير الشمسي هو أحد البدائل التي يجب اتخاذها للتعامل مع مشكلة هذه المياه، خاصة وأن الجزائر تمتاز بإشعاع شمسي كبير. تم إجراء العديد من الدراسات في الجزائر على المقطرات الشمسية، كما تم تصنيع واختبار العديد من التصميمات في مناطق مختلفة من البلاد. يهدف هذا العمل إلى تحسين مردود التقطير الشمسي من خلال إضافة أنواع مختلفة من الأصباغ لإنتاج الماء المقطر.

استخدامنا أربعة أصباغ: أزرق، أصفر وأحمر وهي أصباغ غذائية، والحبر الصيني الأسود. أظهرت التجارب التي أجريت في جامعة ورقلة أن الأصباغ المستخدمة بشكل عام تزيد في إنتاج المقطرات الشمسية.

المردود المسجل في الماء المقطر مقارنة بالشاهد هو: 358.40% ، 270.40% ، 183.76% ، 128.73% للأصباغ أزرق، أسود، أصفر، أحمر على الترتيب.

**الكلمات المفتاحية:** التقطير الشمسي، الطاقة الشمسية، المقطرات الشمسية البسيطة، مياه الشرب.

## Abstract

Algeria, which has suffered from the availability of drinking water for several years, has been forced to resort to the desalination of seawater to meet water needs, especially for the agricultural and industrial sectors. Solar distillation is one of the alternatives to be taken to deal with this water problem, especially since Algeria has great solar potential. Several studies have been under taken in Algeria on solar stills. Thus, several designs have been produced and tested in different regions of the country.

This work aims to improve the performance of solar stills by adding different types of dyes for the production of distilled water.

We used four dyes: Blue, Yellow and Red, which are food dyes and Chinese black ink.

Experiments carried out at the University of Ouargla show that generally added dyes increase the production of solar stills.

The gain recorded in distilled water compared to the control is: 358.40%, 270.94%, 183.76% and 128.73% for the dyes: Blue, Black, Yellow and Red respectively

**Keywords:** Solar distillation, Solar energy, Simple distiller, Drinking water.