



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ECOLE

NATIONALE SUPERIEURE DE TECHNOLOGIE ET D'INGENIERIE -ANNABA -

(EX : ESTI)

DEPARTEMENT SECOND CYCLE

MEMOIRE

PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE

INGENIEUR D'ETAT

FILIERE

GENIE MECANIQUE

SPECIALITE

ENERGETIQUE ET DEVELOPPEMENT DURABLE

Thème :

Etude de la performance d'un distillateur solaire
à cascade

Spécialité

Energétique et développement durable

Réalisé Par :

LEMOUCHI Zineb&GUEDRI Amel

Encadrants	GRADE	Etablissement d'affiliation
NEDJAH Nawel	MCA	ENSTI Annaba
NIOU Slimane	MCA	ENSTI Annaba
Président	GRADE	Etablissement d'affiliation
AZZOUZ Salah Eddine	Pr	ENSTI Annaba
Examineur	GRADE	Etablissement d'affiliation
MALLAM Nassima	MCB	ENSTI Annaba
KAHELERAS Mohamed Said	MAB	ENSTI Annaba

Année/2023

Dédicace

Nous dédions ce modeste travail à...

Nos très chères mères

Affable, honorable, aimable : Vous représentez pour nous le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de nous encourager et de prier pour nous. Vous avez fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

Nos très chers pères

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'amour, l'estime, le dévouement et le respect que nous avons toujours eu pour vous. Rien au monde ne vaut les efforts fournis jour et nuit pour notre éducation et notre bien-être. Ce travail est le fruit de vos sacrifices que vous avez consentis pour notre éducation et notre formation. Puisse Dieu, le tout puissant, vous préserver et vous accorder santé, longue vie et bonheur.

Ma très chère sœur « Asma »

Mon très cher frère « Mohamed »

Mon très cher frère « Salah Eddine »

Nous vous souhaitons un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité.

Remerciements

En tout premier nous remercions Allah le tout puissant qui nous a aidé et nous a donné la patience, le courage durant ces longues années d'études et la volonté pour terminer ce travail ; merci mon Dieu.

*Nous tenons à remercier chaleureusement nos encadrants **Dr. Nawel NEDJAH** et **Dr. Slimane NIOU** pour leurs patience, leurs conseils et leurs grande disponibilité à tout moment au cours de la réalisation de ce travail. Nous remercions aussi monsieur **OTMANI** qui nous aide beaucoup dans la partie de simulation.*

*Nous tenons à remercier également le président de jury le **Pr Salah Eddine Azzouz** d'avoir accepté de faire partie du jury de soutenance. Nous exprimons aussi nos vifs remerciements aux membres du jury, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail et de l'enrichir par leurs remarques.*

Nous remercions également nos professeurs qui nous ont préparé et soutenu pendant toutes les années d'études, ainsi que tous les étudiants de la Promotion de génie Mécanique «2023». Enfin, nous remercions tous ceux qui ont participé de près ou de loin, à la réalisation de ce travail et que nous n'avons pas pu les citer.

الملخص:

أحد الاحتياجات الأساسية للشخص هو الحصول على المياه النظيفة. بسبب محدودية إمدادات مياه الشرب على الأرض، من الصعب ضمان توافر المياه للمجتمع. يمكن تقليل النقص في المياه المحلاة في المناطق المعزولة حيث يوجد ضوء الشمس بكثرة من خلال استخدام معدات تحلية المياه بالطاقة الشمسية، والتبخير والتكثيف هي المبادئ الأساسية لتشغيلها. يمكن تصنيع هذه الأنظمة بمواد متاحة بسهولة في السوق المحلية ولا تتطلب أي صيانة أو تكلفة دائمة على الإطلاق. تُستخدم النماذج المختلفة لمقطرات الطاقة الشمسية لزيادة كفاءة وإنتاجية نواتج التقطير. في الدراسة تتكون من إدراك وتصميم رقمي لمقطر شلال شمسي، وجدت النتائج مرضية وأفضل مقارنة بمقطر واحد، لاحظنا زيادة أكبر في درجة حرارة الماء، من 25 درجة مئوية إلى 46 درجة مئوية خلال نفس الفترة. بالإضافة إلى ذلك، وجدنا رطوبة نسبية للهواء داخل مقطر ، مما يسלט الضوء على تأثير تغير x و z التسلسل الخاص بنا من الاختلافات الكبيرة في الرطوبة النسبية وفقاً لمحاور. مرحلة تكثيف التبخر.

وتوفر النتائج التي تم الحصول عليها معلومات قيمة لتصميم أجهزة تقطير الطاقة الشمسية وتحسينها وتنفيذها، مما يساهم في تطوير تكنولوجيات مستدامة لإنتاج مياه الشرب.

الكلمات المفتاحية: جهاز التقطير الشمسي، طاقة شمسية، محاكاة رقمية.

Résumé :

L'un des besoins fondamentaux d'une personne est l'accès à l'eau potable. En raison de l'offre limitée d'eau potable sur Terre, il est difficile de garantir la disponibilité de l'eau pour la société. Les pénuries d'eau dessalée peuvent être réduites dans les endroits isolés où la lumière du soleil est abondante grâce à l'utilisation d'équipements de dessalement solaire, l'évaporation et la condensation sont les principes de base de son fonctionnement. Ces systèmes peuvent être fabriqués avec des matériaux que l'on trouve facilement sur le marché local et ne nécessitent absolument aucun entretien ni aucun coût permanent. Les différents modèles des distillateurs solaires sont utilisés pour augmenter l'efficacité et la productivité du distillat. Dans étude consiste à une réalisation et une conception numérique d'un distillateur solaire à cascade, les résultats trouvés sont satisfaisants et meilleurs par rapport à un distillateur simple, nous avons observé une augmentation plus importante de la température de l'eau, passant de 25°C à 46°C sur la même période. De plus, nous avons constaté une humidité relative de l'air à l'intérieur de notre distillateur à cascade des variations significatives de l'humidité relative selon les axes x et z , mettant en évidence l'influence du changement de phase évaporation-condensation.

Les résultats obtenus fournissent des informations précieuses pour la conception, l'optimisation et la mise en œuvre de distillateurs solaires, contribuant ainsi au développement de technologies durables de production d'eau potable.

Mot clé : Distillateur solaire, énergie solaire, simulation numérique

Abstract:

One of a person's basic needs is access to drinking water. Because of the limited supply of drinking water on Earth, it is difficult to guarantee its availability to society. Desalinated water shortages can be reduced in isolated locations where sunlight is abundant by using solar desalination equipment, evaporation and condensation being the basic principles of its operation. These systems can be made from materials readily available on the local market, and require absolutely no maintenance or on-going costs. Different models of solar distillers are used to increase distillate efficiency and productivity. In our study, which consists of the realization and digital design of a cascade solar distiller, we found satisfactory and better results than with a simple distiller. We observed a greater increase in water temperature, rising from 25°C to 46°C over the same period. In addition, we observed significant variations in relative humidity along the x and z axes inside our cascade distiller, highlighting the influence of the evaporation-condensation phase change.

The results obtained provide valuable information for the design, optimization and implementation of solar distillers, thus contributing to the development of sustainable technologies for drinking water production.

Key words: solar still, solar energy, simulation

Table des matières:

Dédicace	ii
Remerciements	iii
:الملخص	iv
Résumé :.....	iv
Abstract:	v
Introduction générale :.....	1
Chapitre I :Etude bibliographique sur les distillateurs solaire.....	3
I.1- Généralité sur l'eau :.....	4
I.1.1-Définition :.....	4
I.1.2-Répartition de l'eau dans la planète :.....	4
I.1.3-Les types d'eau :.....	5
I.1.4- Consommation de l'eau :.....	6
I.2-Le distillateur solaire :.....	7
I.2.1-Définition de distillateur solaire:	7
I.2.2-Historique :	7
I.2.3- Principe de fonctionnement :.....	8
I.2.4-Types de distillateur solaire :.....	9
I.3-Les paramètres influant sur le fonctionnement d'un distillateur :.....	19
Conclusion.....	23
Chapitre II : Théorie de fonctionnement d'un distillateur solaire à cascade.....	23
II.1- Le gisement solaire :.....	24
II.1.1-Le soleil :.....	24
II.1.2-L'énergie solaire :.....	24
II.1.3-Le rayonnement solaire :.....	25
II.1.4-Types de rayonnement solaire	25
II.1.5- Le mouvement de la terre.....	27
II.1.6- Les coordonnées célestes	27
II.2- Le fonctionnement d'un distillateur solaire à cascade :	31
II.3-Echanges de chaleur à l'intérieur du distillateur:.....	32
II.3.1-Echange de chaleur de l'eau entre l'absorbeur et la surface de condensation:	32

II.3.2-Echange de chaleur entre la vitre et la surface d'eau:.....	32
II.3.3-Echange de chaleur entre la vitre et le milieu ambiant:	32
II.3.4-Mise en équation des échanges thermiques:	32
II.3.5-Bilan thermique pour un régime transitoire :	33
II.3.6-Coefficients d'échanges thermiques :	35
II.4-Caractéristiques de fonctionnement :	38
II.4.1-Production (débit du distillat) :.....	38
II.4.2-Efficacité globale :.....	38
II.4.3-Efficacité interne :.....	38
II.4.4-Performance :.....	39
Conclusion.....	39
Chapitre III: Conception numérique d'un distillateur solaire à cascade	40
III.1 Présentation du logiciel SOLIDWORKS	41
III.2- Conception d'un distillateur	42
.....	43
III.3- Réalisation du distillateur solaire à cascade	43
III.3.1- Un bac absorbant et les couvertures extérieures	44
III.3.2- Le bac couvrant	45
III.3.3- L'isolation thermique.....	45
III.3.4- couverture verrière.....	46
Conclusion.....	47
Chapitre IV : Résultats et discussion	46
IV.1- Présentation de COMSOL multi-physiques :.....	47
IV.2- Présentation du modèle numérique :.....	47
IV.3 Propriétés thermo _ physiques :.....	49
IV.4 Distillateur solaire simple :.....	49
IV.4.1 Domaine d'étude :	49
IV.4.2 Le maillage :.....	50
IV.5 Distillateur solaire à cascade	56
IV.5.1 Domaine d'étude :	56
VI.5.2 Le maillage :.....	57
IV.5.3 Résultat et discussion :.....	58
IV.6- Comparaison entre distillateur solaire simple et distillateur solaire à cascade :	65

Conclusion générale :	65
Perspective :	68
Références bibliographiques	70
Annex	73

Liste des figures :

Chapitre I : étude bibliographique.....	3
Figure I -1: Le principe de fonctionnement des distillateur solaires	9
Figure I -2: Classification des distillateurs solaires	10
Figure I -3 : Distillateur à simple pente	11
Figure I -4 : Distillateur à double pente	11
Figure I-5: Distillateur incliné à cascade	12
Figure I-6 : Schéma de principe d'un distillateur solaire sphérique	12
Figure I -7 : Distillateur solaire verticale	13
Figure I-8 : Distillateur solaire incliné à méche	14
Figure I-9 : Distillateur solaire d'urgence	15
Figure I-10 : Distillateur solaire à film capillaire.....	15
Figure I-11 : Principe de construction d'un distillateur à multiple effets	16
Figure I-12 : Concentrateur cylindro-parabolique	17
Figure I -13: Concentrateur sphérique	17
Figure I -14 : Concentrateur parabolique	18
Figure I-15 : Le four solaire.....	18
Figure I-16 : La distillation multi étage (MSF)	19
Figure I-17 : La distillation par compression de vapeur	19
Chapitre II: étude théorique.....	23
Figure II -1 : L'axe des pôles écliptiques	27
Figure II-2 : Coordonnées horizontales	28
Figure II-3 : Coordonnées équatoriales	29
Figure II-4 : Coordonnées écliptiques (géométriques).....	31
Figure II -5 : Principe de fonctionnement de distillateur solaire à cascade.....	31
Chapitre III: réalisation numérique d'un distillateur solaire à cascade.....	40
Figure III-1 : Présentation de l'interface du SOLIDWORKS	42
Figure III-2: conception du distillateur solaire à cascade par SOLIDWORKS.....	42
Figure III-1 : Le bac absorbant	43
Figure III-2 : Bac en bois.....	44
Figure III-5 : La couche verrière.....	45
Chapitre IV : résultats et discussion	48
Figure IV-1 : Domaine d'étude.....	49

Figure IV-2 : Génération du maillage.....	50
Figure IV.3 : Distribution de température de l'eau	51
Figure 0-4 : Distribution de température de l'air.....	53
Figure 0-5 : l'évolution de l'humidité relative suivant l'axe des x.....	55
FigureIV-6 : l'évolution de l'humidité relative suivant l'axe des z.....	55
Figure IV-7 : Le domaine d'étude.....	57
FigureIV-8 : génération du maillage.....	58
Figure IV-9 : : Distribution de température de l'eau.....	59
FigureIV-10 : Distribution de température de l'air à l'intérieur du distillateur.....	60
Figure IV-11 : Evolution de la vitesse de l'eau.....	61
Figure 0-12 : Evolution de la pression de l'eau.....	62
Figure 0-13 : La variation de l'humidité relative de l'air dans l'axe des x.....	63
Figure 0-14: La variation de l'humidité relative de l'air dans l'axe des z.....	64
Figure 0-15 : L'évolution de La température de l'eau pour les distillateurs.....	65
Figure IV-16 : L'évolution de la température de l'air pour les deux distillateurs.....	66

Liste des tables :

Chapitre I : étude bibliographique.....	3
Tableau I-1 Répartition de l'eau dans le monde	5
Chapitre II: étude théorique.....	23
Tableau II-1: Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique	26
Chapitre IV : Résultats et discussion.....	48
Table IV-1: Propriété thermo-physique des fluides.....	49

Nomenclature :

	Désignation	unité
A_i	Surface du corps i	m^2
C_{pi}	Chaleur massique à pression constante du corps indice i	$J/Kg. °C$
e_i	Épaisseur du corps indice i	m
h_{i-j}^c	Coefficient d'échange thermique par convection entre les surfaces matérielles indices i et j	$W/m^2. °C$
h_{i-j}^r	Coefficient d'échange thermique par rayonnement entre les surfaces matérielles indices i et j	$W/m^2. °C$
h_{i-j}^{ev}	Coefficient d'échange thermique par évaporation entre les surfaces matérielles indices i et j	$W/m^2. °C$
U	Coefficient d'échange	$W/m^2. °C$
I_g	Rayonnement globale incident	W/m^2
L_v	Chaleur latente de vaporisation	KJ/Kg
M_i	Masse du corps d'indice i	Kg/s
P_v^g	Pression de la vapeur d'eau à la température du vitrage	Pa
P_v^w	Pression de la vapeur d'eau à la température de la saumure	Pa
P_i	Puissance solaire absorbé par le corps d'indice i	W/m^2
q_{i-j}^c	Flux de chaleur échangé par convection entre la surface matérielle indices i et j	W
q_{i-j}^r	Flux de chaleur échangé par rayonnement entre les surfaces matérielle indices i et j	W
q_{i-j}^{ev}	Flux de chaleur échangé par évaporation entre les surfaces matérielles indices i et j	W
T_i	Température du corps d'indice i	$°C$
\dot{m}	Débit de masse	Kg/s

Lettres grecques

	Désignation	Unité
α	Coefficient d'absorption	/
β	Inclinaison de la vitre	/
ε	Emissivité	/
η	Efficacité	%
λ	Conductivité thermique	$W/m. °C$
μ	Viscosité dynamique	$Kg/m. s$
ν	Viscosité cinématique	m^2/s
ρ	Masse volumique	Kg/m^3
τ	Coefficient de transmission	/
σ	Constante de steaffan-boltzman	$W/m^2. K^4$

Symbole

Nu
Gr
Pr
Re
Pe
Ra

Désignation

Nombre de NUSSELT
Nombre de GRASHOFF
Nombre de Prandtl
Nombre de Reynolds
Nombre de PECLET
Nombre de Rayleigh

Indices

a
b
c
g
w

Désignation

Air ambiant
Bac absorbant
Ciel
Vitrage (glass)
Eau (water)

Introduction générale :

La raréfaction de l'eau est l'un des problèmes majeurs du monde d'aujourd'hui. À cause notamment de la pollution, du changement climatique, de la surpopulation et de la mauvaise utilisation des ressources, une grande partie de la planète manque d'eau, un bien pourtant indispensable à la vie. L'Institut des Ressources Mondiales estime que 33 pays vont devoir affronter des crises d'approvisionnement en eau d'ici à 2040. Ces pays à risque sont principalement situés en Afrique et au Moyen-Orient. Toutefois, le manque d'eau n'est pas qu'un problème des pays en voie de développement. De nombreuses régions des États-Unis, au premier rang la Californie, qui connaît des épisodes de feux de forêts et de pénuries d'eau. Les principales raisons de ces événements sont notamment la sécheresse du climat local et le changement climatique.[1]

L'Algérie est l'une des pays les plus déficitaires en eau, de part son appartenance à la zone géographique du "Middle-East and North Africa (MENA)" et la quasi-totalité de son territoire est (87%) classé en zone désertique, la moyenne pluviométrie annuelle varie de 1600 mm dans l'extrême nord-est à 12 mm à l'extrême sud-ouest. Néanmoins, la pluviométrie moyenne du territoire, toutes zones confondues n'est que de l'ordre de 89 mm, [2] la charte indique que lors de l'année hydrologique 2019/2020, le déficit pluviométrique a atteint 30% par rapport à l'année précédente[3]. De ce fait, l'Algérie est classée parmi les 13 pays africains qui souffrent le plus du manque d'eau. (Office national de la météorologie)[2] et aussi classée parmi les pays pauvres en eau et très proche d'une situation de crise. [3]

Le plus grand gisement solaire du bassin méditerranéen se trouve localement en Algérie. Le bassin méditerranéen est affligé de caractéristiques physiques et hydro-climatiques médiocres qui rendent difficile l'utilisation de l'énergie solaire pour des usages tels que le dessalement. La distillation solaire de l'eau saumâtre et de l'eau de mer peut fournir de l'eau potable, en particulier dans les régions sèches ou semi-arides, à l'échelle d'une famille ou même d'une petite ville.

L'objectif de ce travail est la réalisation numérique d'un distillateur solaire à cascade pour voir ses performances thermiques. Il est composé de quatre chapitres avec une introduction générale et une conclusion générale.

Introduction générale

Le premier chapitre est consacré à une recherche bibliographique de l'eau et de la distillation solaire et ses différents types.

Le deuxième chapitre contient le principe de fonction d'un distillateur solaire à cascade, les différents bilans thermiques et les expressions des différents coefficients d'échanges intervenant dans le système d'équation.

Dans le troisième chapitre nous avons présenté la conception et la réalisation d'un distillateur solaire à cascade et les étapes de réalisation.

Le quatrième chapitre présente les résultats et l'interprétation des observations déduites des différents essais réalisés sur le prototype étudié.

Chapitre I :

**Etude bibliographique sur les
distillateurs solaire**

Ce chapitre ouvre notre étude en fournissant une revue approfondie de la littérature existante sur les distillateurs solaires à cascade. Nous explorerons les recherches antérieures, les publications spécialisées et les avancées récentes dans ce domaine. Cette étude bibliographique nous permettra de nous familiariser avec les principes de fonctionnement, les différentes configurations et les défis actuels des distillateurs solaires à cascade. En comprenant les travaux existants, nous pourrions identifier les opportunités de recherche et de développement pour notre propre conception.

I.1- Généralité sur l'eau :

I.1.1-Définition :

L'eau est un composant chimique ubiquitaire sur la Terre, elle constitue de deux molécules d'hydrogène et une molécule d'oxygène. Son formule chimique est « H₂O ». D'après son étymologie, le mot « eau » est dérivé du latin « aqua », elle a joué et continue à jouer un rôle dans l'apparition et le maintien de la vie. L'eau est essentielle pour tous les organismes vivants connus, on peut le trouver sous trois formes principales :

- Solide : par exemple la neige ou le glace
- liquide : dans les rivières, les lacs, et les océans
- gazeuse : la vapeur d'eau

Aussi l'eau est quelque fois désignée sous le nom de « solvant universel ». Cette expression « solvant universel » est sujette à maintes précautions, les cailloux (les roches) étant, par exemple, non solubles dans l'eau dans la plupart des cas (ou de manière infime). [4],[5]

I.1.2-Répartition de l'eau dans la planète :

L'eau recouvre 72 % des 509 millions de km² de la surface du globe. C'est ainsi qu'on surnomme la Terre la planète bleue. On estime son volume à environ 1400 millions de km³. Ce qui représente un cube de plus de 1000 km de côté. L'eau de la planète bleue est à 97,2 % salée. Cette eau salée se retrouve dans les océans, les mers intérieures, mais aussi dans certaines nappes souterraines. L'eau douce représente 2,8 % de l'eau totale du globe. Dans ce faible pourcentage, les glaces polaires représentent 2,1 % et l'eau douce disponible 0,7 %.

S'il apparaît bien que l'eau est présente à la surface de la planète, il faut rappeler qu'elle est également contenue à diverses profondeurs de la Terre et à toutes températures. Là aussi, elle joue un rôle majeur (modèle les reliefs, mouvement des plaques, transformation des magmas et des roches, géothermie).[6]

Il y a aussi ce tableau qui présente différents pourcentages d'eau :

Tableau I-1 Répartition de l'eau dans le monde[7]

	Volume (10^3Km^3)	Pourcentage de l'eau totale (%)	Pourcentage de l'eau douce (%)
Eau totale	1,386 millions	100	-
Eau douce totale	35 000	2,53	100
Océans mondiaux	1,340 millions	96,5	-
Eau salée souterraine	13 000	1	-
Eau douce souterraine	10 500	0,76	30
Glaciers antarctiques	21 600	1,56	61,7
Glaciers du Groenland	2 340	0,17	6,7
Iles arctiques	84	0,006	0,24
Glaciers montagneux	40,6	0,003	0,12
Pergélisol et glace souterraine	300	0,022	0,86
Lacs salins	854	0,006	-
Lacs d'eau douce	91	0,007	0,26
Humidité du sol	16,5	0,0012	0,047
Tourbières	11,5	0,0008	0,03
Rivières (flux moyen)	2,12	0,0002	0,006
Dans la matière biologique	1,12	0,0001	0,0003
Dans l'atmosphère (en moyen)	12,9	0,0001	0,04

I.1.3-Les types d'eau :

- **Eau potable** : L'eau potable (par opposition à eau pure), eau qui se boit et qui, pour être bonne, doit être limpide, inodore et d'une saveur agréable, tenir en dissolution une proportion convenable d'air atmosphérique et d'acide carbonique, dissoudre facilement le savon et être propre à la cuisson des légumes secs.
- **Eau salin** : chargée de sels et principalement de sel de cuisine, et remplissant le vaste bassin des mers.

- **Eau marécageuse** : eau des marais, des mares, des étangs, qui est toujours chargée de matières végétales et animales en putréfaction.
- **eau distillée** : celle qu'on obtient en distillant l'eau de pluie ou de rivière, et qui ne contient plus ni matières solides ni oxygène.[8]

I.1.4- Consommation de l'eau :

- Dans le monde :

La consommation d'eau douce ne cesse d'augmenter à travers le monde. Selon les estimations des Nations Unies, la demande excédera l'offre de 40% d'ici 2030. La croissance démographique dans le monde, les changements climatiques et la pollution de l'environnement ne sont que quelques-uns des facteurs responsables de l'augmentation constante de la pression qui s'exerce sur les réserves hydriques. La pénurie croissante de l'eau peut en outre réactiver ou exacerber des conflits. Dans le même temps, des milliards de personnes n'ont toujours pas accès à l'eau potable et à l'assainissement. [9]

- En Algérie :

Depuis quatre ans, l'Algérie fait face à l'un des pires épisodes de sécheresse de son histoire récente. Aux effets de ce manque prolongé de pluie et de neige sur la végétation et l'agriculture, s'ajoute la baisse du niveau des nappes phréatiques et des barrages. Le barrage de Koudiat Asserdoun, sur l'Isser, dans l'Algérois, l'un des plus importants du pays, n'est plus qu'à 3 % de ses capacités de remplissage. Autant dire qu'il est complètement sec.

Pour Malek Abdesselam, docteur en hydrogéologie et directeur du Laboratoire des eaux de l'université de Tizi Ouzou, cette situation n'a rien d'exceptionnel et fait partie intégrante du régime de la pluviométrie en Algérie. Le problème tient plus à la gestion des eaux apportées par les pluies qu'à la rareté et l'irrégularité de celles-ci.[10]

- À Annaba :

La wilaya est alimentée principalement à partir de deux systèmes de transfert d'eau des barrages Cheffia et Mexa dans la wilaya d'El Tarf assurant les besoins de 84 % de la

population. Les 16 % restants sont ravitaillés par des systèmes indépendants. Mais la baisse de niveau du barrage Cheffia a affecté sensiblement l'alimentation d'une partie de la population d'Annaba. Le barrage de Cheffia d'une capacité de 155 millions de m³ est actuellement à 10 % de remplissage et est destiné à l'alimentation du grand Annaba via la station de traitement de Chaiba (Sidi Amar), les barrages de Mexa et Bougous sont respectivement à un taux de remplissage de 76 % et 55 %. [11]

I.2-Le distillateur solaire :

I.2.1-Définition de distillateur solaire:

L'alambic solaire est un dispositif qui fonctionne selon le principe de la distillation solaire et fournit de l'eau potable pour la consommation humaine directe. Il n'est pas possible d'installer les méthodes commerciales de distillation de l'eau dans les zones reculées, car les combustibles fossiles ou l'électricité y sont rares dans ces régions. Pour fournir de l'eau propre dans les villages isolés, l'alambic solaire s'est donc imposé comme l'alternative la plus efficace. Comme son nom l'indique, il s'agit d'un dispositif immobile qui utilise l'énergie thermique de la lumière du soleil pour la distillation de l'eau. L'énergie solaire est inépuisable, disponible en abondance et non polluante. Ces caractéristiques en font la meilleure parmi toutes les sources d'énergie renouvelables. Un alambic solaire typique fonctionne sur la base des phénomènes d'évaporation et de condensation. L'énergie solaire est utilisée pour chauffer l'eau liquide afin de l'évaporer et de produire de la vapeur. puis on laisse la vapeur se condenser sur un couvercle en verre incliné. Le condensat est ensuite recueilli comme eau potable.[12]

I.2.2-Historique :

La distillation solaire a été utilisée depuis l'antiquité. Elle remonte au 15^{em} siècle, où elle était appliquée par les alchimistes arabes, comme il a été rapporté par Mouchot. Des descriptions plus précises se trouvent dans l'ouvrage « *Magiae naturalis sive de miraculis rerum naturalium* » de l'alchimiste italien Giovanni Battista Della Porta, paru en 1558. Cet ouvrage contient des détails sur la distillation solaire avec de larges pots de terre exposés à la chaleur intense des rayons solaires pour la récupération de l'eau distillée. Les américain, Wheeler et Evans, rapportent la première expérience pratique de la distillation solaire en 1870.

Ils ont étudié les principes de base et les défis de la distillation solaire afin de breveter la technologie. Leurs travaux ont permis d'étudier l'influence des facteurs environnementaux sur l'efficacité des processus de distillation, ainsi que sur les problèmes de construction (par exemple, la corrosion). En 1872, c'est la première mise en œuvre à grande échelle de la distillation avec la réalisation d'un distillateur solaire dans une mine de salpêtre au Chili. Ce distillateur est destiné à fournir l'eau douce aux ouvriers et au bétail. En 1872, l'ingénieur suédois Charles Wilson a fabriqué un distillateur solaire de près de 5000 m² de surface pour la ville minière de Las-Salinas dans le nord de Chili. Ce distillateur produit 23000 litres d'eau pure soit 23 m³ par jour. A cause du problème d'accumulation des sels dans le bassin du distillateur, la nécessité d'un nettoyage régulier a donné une fin au fonctionnement de distillateur en 1910. Depuis lors, étant donné l'importance évidente de la distillation solaire, plusieurs installations de distillateur solaire ont été inventées pour répondre aux besoins en eau douce.[13]

I.2.3- Principe de fonctionnement :

Dans sa forme la plus simple, un distillateur solaire est un bassin isolé et étanche à l'air, contenant de l'eau impure et recouvert d'un matériau transparent. Le bassin est généralement fabriqué en tôle de fer galvanisée (tôle GI) et le couvercle supérieur est généralement en verre transparent ou en plastique. Le couvercle en verre est incliné et un bac de récupération est placé à la base du couvercle en verre incliné pour recueillir le distillat. Le principe de fonctionnement de distillateur solaire est exactement le même que le cycle hydrologique que l'on trouve dans la nature. Les rayons solaires qui tombent sur le couvercle en verre transparent le traversent et frappent la surface intérieure du bassin. La surface intérieure du bassin est noircie de manière à absorber la majeure partie du rayonnement. L'eau salée contenue dans le bassin se réchauffe et commence à s'évaporer. Les vapeurs commencent à s'élever, laissant derrière elles le sel et les impuretés. Lorsque la vapeur atteint le couvercle en verre incliné, elle se condense sur la surface intérieure du verre et l'eau condensée s'écoule par gravité dans le canal collecteur. L'eau distillée est alors extraite du système pour une utilisation directe. [12]

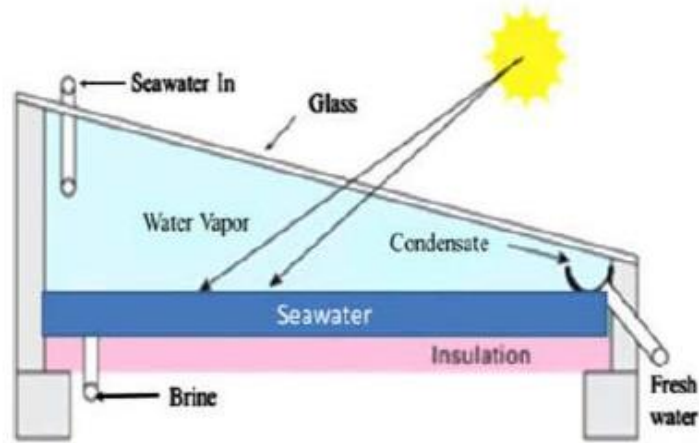


Figure I-0-1: Le principe de fonctionnement des distillateur solaires[12]

I.2.4-Types de distillateur solaire :

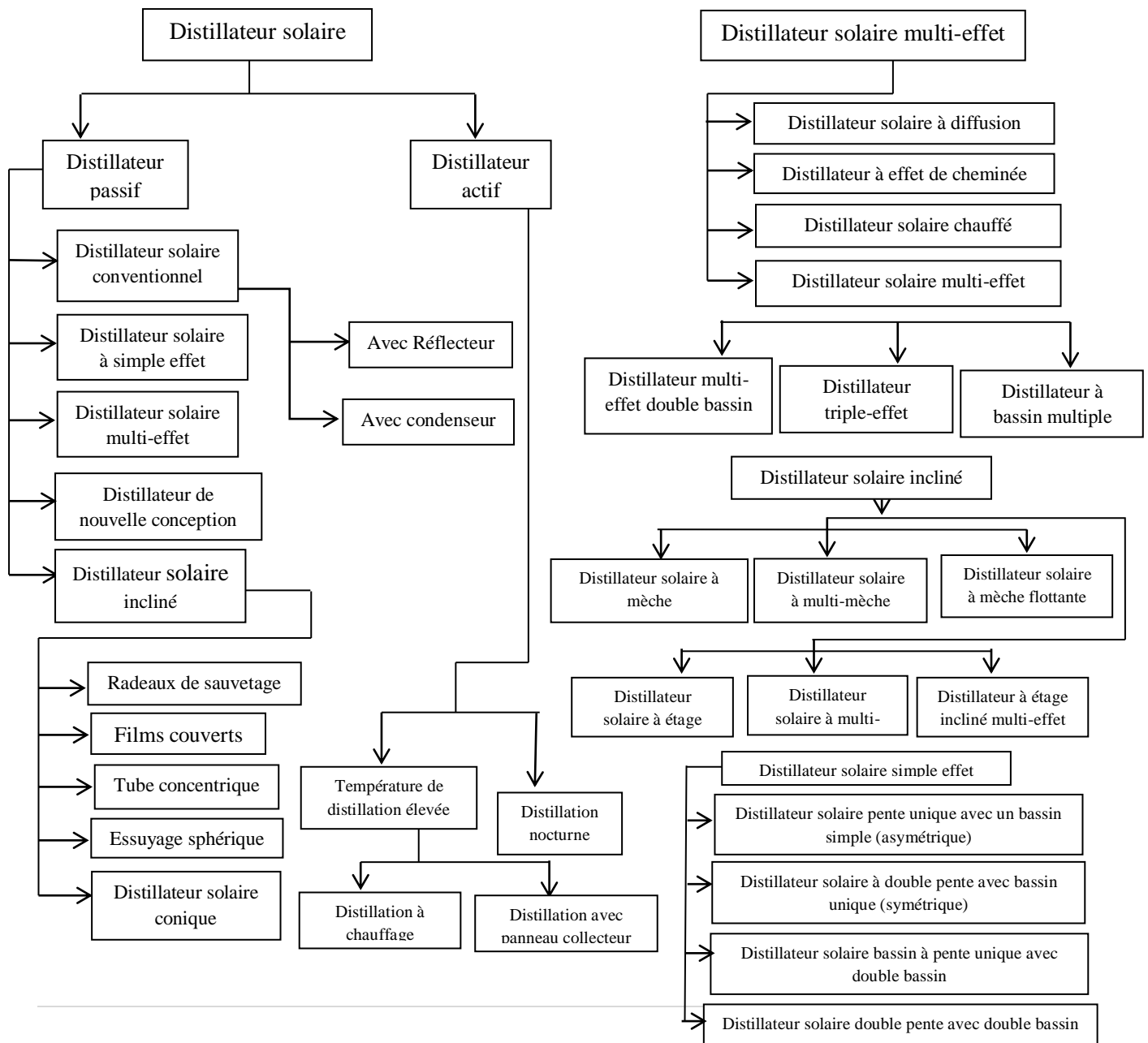


Figure I-2: Classification des distillateurs solaires[13]

I.2.4.1-Distillateur à effet de serre :

Soit un locale fermée et exposée au soleil à l'intérieur de laquelle se trouve une lame d'eau de mer de quelques centimètres d'épaisseur. Une partie de rayonnement solaire qui tombe sur le couvercle en verre sera réfléchi, une partie sera absorbée puis réémise et le reste sera transmise.

Ce rayonnement direct transmis à l'intérieure des locaux et partiellement absorbée par les parois qui s'échauffent et par la suite le rayonnement infrarouge est réémis dans toutes les directions. Le vitrage étant pratiquement opaque au rayonnement réémis, celui-ci reste piégé à l'intérieur du local entraînant une augmentation de la température.[14],[15]

On distingue deux types de distillateurs à effet de serre :

a) Distillateur statique :

Ce sont des distillateurs dont la nappe d'eau à distiller est immobile. Les principales géométries rencontrées sont représentées ci-dessous :[16]

- distillateur à simple pente :

Le distillateur à pente unique a un capteur unique incliné d'un angle (β). Le rayonnement solaire traversant la vitre supérieure de la boîte va chauffer l'eau jusqu'à son point de d'évaporation. La vapeur d'eau produite se condense sur la vitre relativement plus froide. Celle-ci en pente légère conduit l'eau distillée vers un récipient de stockage. (Mémoire V)

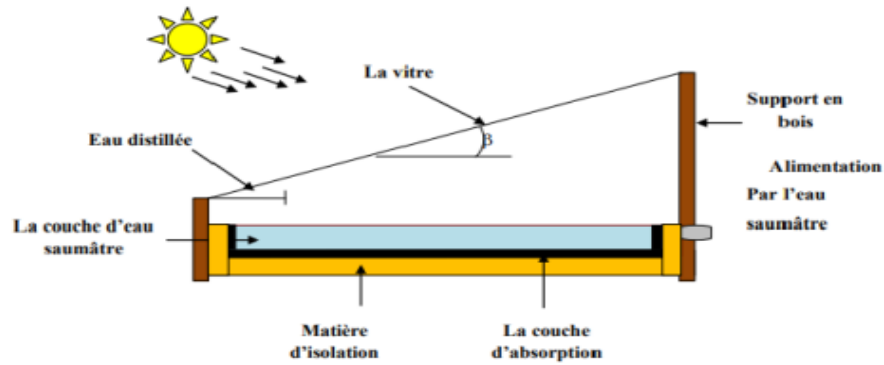


Figure I-3 : Distillateur à simple pente[16]

- distillateur à double pente :

C'est un distillateur à double capteurs où chacun d'eux est incliné d'angle (β); son avantage est qu'il expose un capteur au soleil et un autre à l'ombre pour accélérer la condensation.[15]

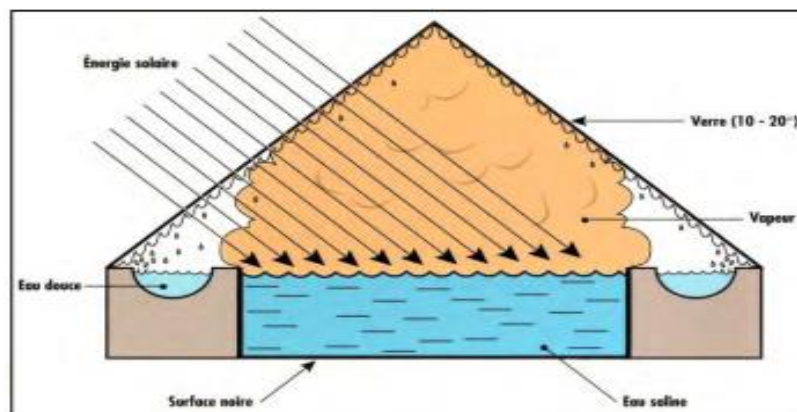


Figure I-4 : Distillateur à double pente [15]

- distillateur incliné à cascade :

Cet appareil présente deux avantages : la lame d'eau est très faible et l'orientation par rapport au rayonnement incident se rapproche davantage de l'optimum, un modèle de ce type n'a été exécuté qu'en petites tailles, ces appareils fonctionnent bien mais leur construction et leur entretien sont coûteux

Ce type de distillateur a un absorbeur sous forme d'escaliers ; une géométrie qui permet d'avoir:

- Une surface d'échange de chaleur plus grande.
- Un ralentissement du mouvement de la masse d'eau sur l'absorbeur ; ce qui donne à la masse d'eau suffisamment de temps pour qu'elle se charge en calories.
- Une réduction de la distance entre la vitre et la saumure ; ce qui améliore les performances du distillateur.[16]

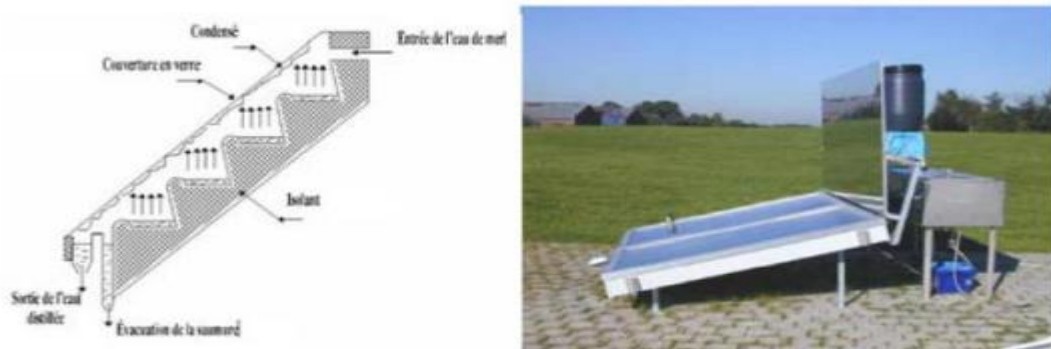


Figure 0-5: Distillateur incliné à cascade [16]

- distillateur sphérique à balayage :

Ce distillateur est constitué d'une sphère en plexiglas ou autres matériaux plastiques transparents reposants sur des supports, et d'un système mécanique de récupération de l'eau distillée par l'intermédiaire d'un essuie-glace entraîné par moteur électrique. [15]

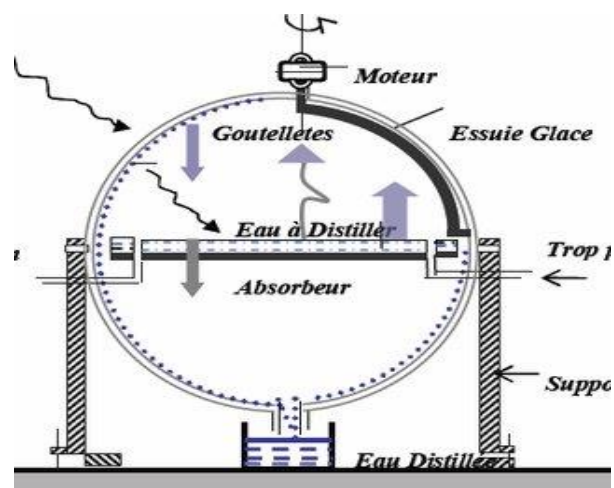


Figure 0-6 : Schéma de principe d'un distillateur solaire sphérique[15]

b) Les distillateurs à ruissellement :

Ce sont des distillateurs dont la nappe d'eau à distiller est en mouvement. Les principales géométries rencontrées sont représentées ci-dessous :[16]

- distillateur solaire verticale :

Le distillateur est alimenté par 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 les deux ouvertures (8) réalisées dans une 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 la gouttière fabriquée en dessous de la plaque de condensation.[16]

Le distillateur solaire vertical est composé:

- D'un capteur solaire permettant la captation du rayonnement solaire.
- D'un compartiment d'évaporation.
- D'un compartiment de condensation.[16]

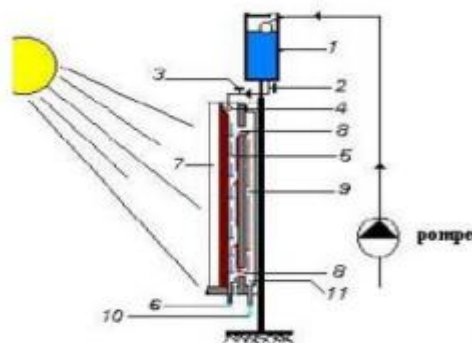


Figure I-7 : Distillateur solaire verticale[16]

- distillateur solaire inclinée à mèche :

Dans un distillateur à mèche, l'eau d'alimentation coule lentement à travers une garniture poreuse, absorbant les rayonnements (mèche). Deux avantages sont revendiqués sur les distillateurs de bassin. D'abord, la mèche peut être inclinée de sorte que l'eau d'alimentation présente un meilleur angle avec le soleil (réduisant la réflexion et présentant une grande surface efficace). En second lieu, moins d'eau d'alimentation est dans le distillateur à tout moment donc l'eau est chauffée plus rapidement et à une température élevée. Les distillateurs simples à mèche sont plus efficaces que les distillateurs à bassin et quelques conceptions sont prétendues pour coûter moins qu'un distillateur à bassin du même rendement. L'appareil incliné à mèche permet de maintenir à peu près constante l'épaisseur de la lame d'eau. Le modèle représenté sur la figure 1.16 a été essayé pendant quelque temps d'une façon satisfaisante, mais il a été très difficile de maintenir une humidité sur les mèches sans points secs.[15]

Le distillateur à ruissellement présentent des inconvénients tels que :

- Un réglage difficile de débit de l'eau à distiller.
- Une perte de chaleur sensible emportée par l'excédent d'eau nom évaporée.[15]

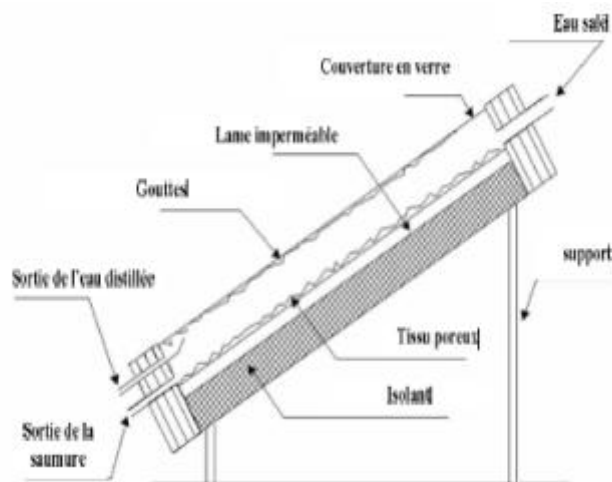


Figure I-8 : Distillateur solaire inclinée à mèche[15]

- Distillateur de cas d'urgence :

Pour fournir l'eau potable de secours sur la terre, un distillateur très simple peut être fait.

Il se sert d'une couverture en plastique, une cuvette ou un seau, et un caillou. [15]



Figure I-9 : Distillateur solaire d'urgence[15]

- Distillateur solaire à film capillaire:

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 inter-faciale, 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 des éléments suivants : le capteur – évaporateur, le condenseur et l'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.[15]

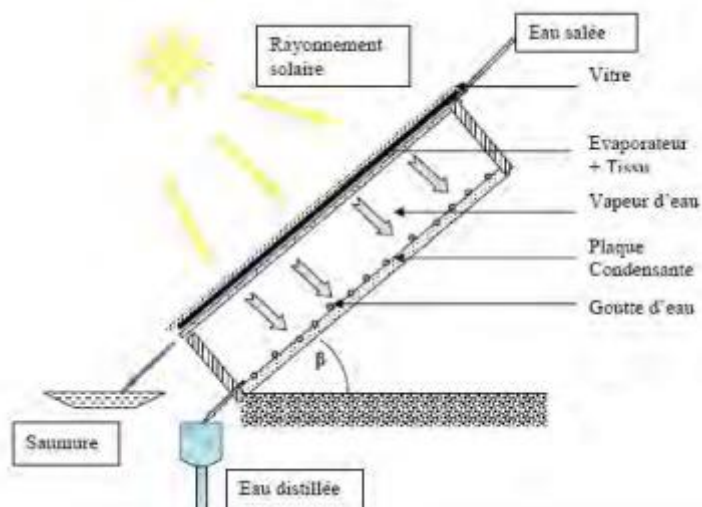


Figure 0-10 : Distillateur solaire à film capillaire[15]

I.2.4.2-Distillateur à multiple effet :

Il est donc apparu absolument nécessaire d'améliorer la consommation spécifique de l'évaporateur à simple effet. Ceci a été obtenu grâce à la distillation à multiples effets. On sait en effet, que la température d'ébullition de l'eau varie avec la pression. On peut donc utiliser la chaleur de condensation de la vapeur produite dans une première chambre d'évaporation pour faire fonctionner le faisceau de chauffe d'une seconde chambre à pression et température plus faibles, et ainsi de suite. Le nom de multiples effets a été donné à ce type d'appareils parce que la vapeur initiale (Vapeur de chaudière) accomplit plusieurs fois son effet.[15]

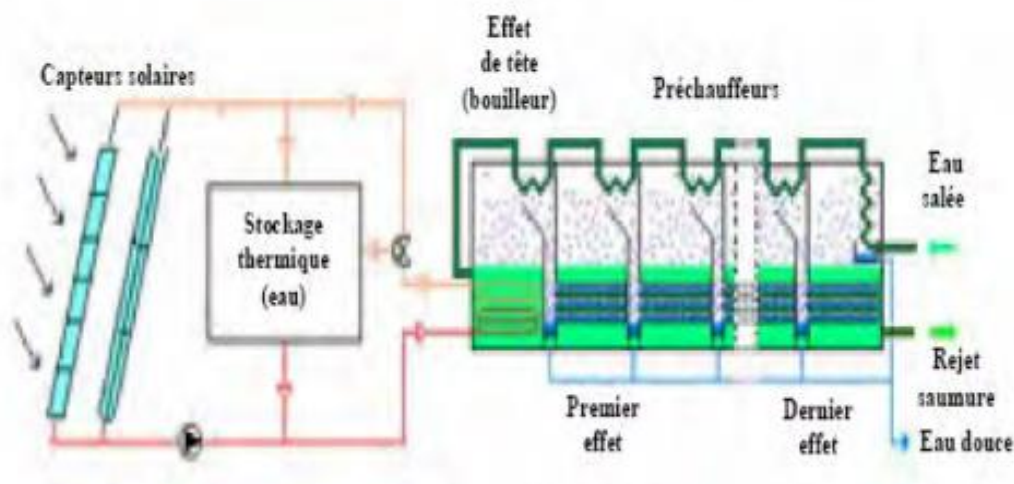


Figure I-11 : Principe de construction d'un distillateur à multiple effets[15]

I.2.4.3-Distillateur solaire à concentration :

Les distillateurs solaires à concentration fonctionnent selon le principe de la concentration et de la réflexion des rayons solaire. Ils utilisent une surface réfléchissante dont la forme permet de concentrer en un même point la réflexion de l'énergie. De nombreux modèles de réflecteurs existent :[16]

a) Cylindro-parabolique:

Cette géométrie permet une focalisation linéaire, elle est utilisée dans le cas des collecteurs à tubes sous vides ou les centrales solaires thermiques de type Luz.



Figure I-12 : Concentrateur cylindro-parabolique[16]

b)Sphérique:

Le réflecteur sphérique concentre le rayonnement solaire sur un foyer linéaire mobile porté par un rayon de la sphère orienté en direction du Soleil.



Figure I-13: Concentrateur sphérique[16]

c) Parabolique:

C'est le type de géométrie le plus utilisé. Il permet de concentrer les rayons lumineux en un point pour obtenir de très hautes températures. Il est souvent utilisé dans le cas des cuiseurs solaires ou couplé à un moteur Stirling.



Figure I-14 : Concentrateur parabolique[16]

d) Plan:

Le réflecteur plan est en général mobile afin de suivre le Soleil, on parle alors d'héliostat plan. Ce système est utilisé dans le cas des centrales solaires thermiques à tour ou couplé à un miroir parabolique comme dans le cas des fours solaires de type Odeillo.



Figure I-15 : Le four solaire[16]

I.2.4.4-Autre méthodes de distillation :

a) Distillateur à multiple étage :

L'eau saline à traiter est chauffée sous pression sans évaporation puis introduit dans les cellules sous vide partiel ou elle circule successivement, à chaque étage la vapeur produit par détente et va se condenser à la partie supérieure au contact d'un faisceau tubulaire dans lequel l'eau d'alimentation circule. L'installation comprend certain nombre d'enceintes ou cellules, thermiquement isolée disposée en séries dans lesquelles se produit la vaporisation instantanée par détente. [17]

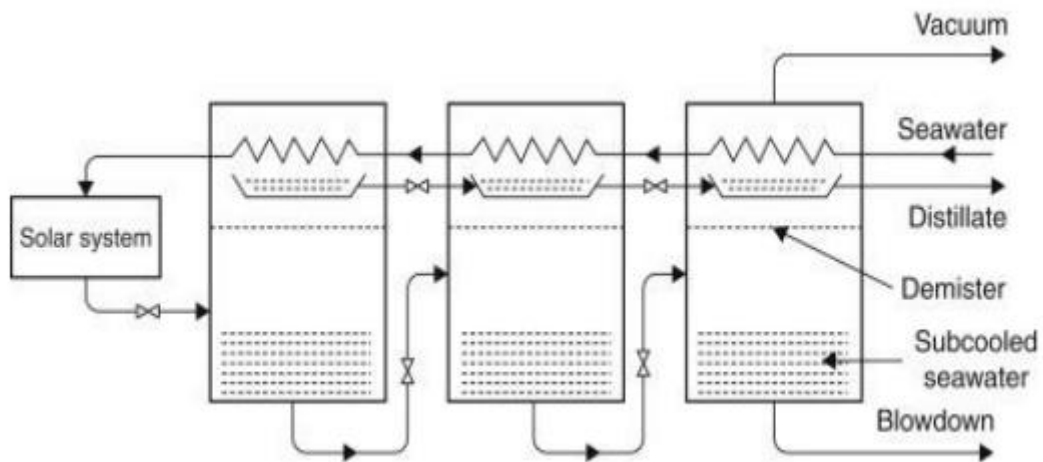


Figure I-16 : La distillation multi étage (MSF)[17]

b) Distillateur par compression de vapeur :

L'eau salée arrive dans un évaporateur, où elle se vaporise aux environs de 100°C grâce à un serpentin auxiliaire de vapeur qui est ensuite mis hors circuit. La vapeur d'eau à ma pression atmosphérique et vers 100°C est alors aspirée par un compresseur qui la porte à une pression relative de l'ordre de 0.2 bar, avec un surchauffe de l'ordre de 68°C . La vapeur surchauffée passe ensuite dans le serpentin principale de l'évaporateur où elle se condense. [17]

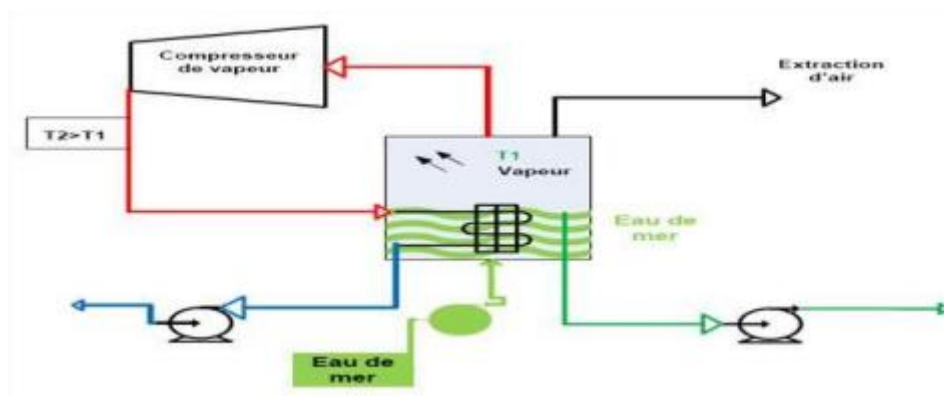


Figure 0-17 : La distillation par compression de vapeur[17]

I.3-Les paramètres influant sur le fonctionnement d'un distillateur :

Il y a deux types de paramètres influant sur le distillateur solaire ;

- Les paramètres externes

- Les paramètres internes

a) Les paramètres externes :

- Les paramètres géographiques :
 - La longitude
 - La latitude
 - La hauteur du soleil
- Les paramètres météorologiques :
 - La vitesse du vent :

L'effet convectif sur la face de la vitre joue un rôle important tel que la vitesse intervient dans l'échange convectif entre la face externe et le milieu extérieur.

- L'intensité du rayonnement solaire :

C'est le facteur essentiel dans cette étude. C'est une énergie rayonnante de courte longueur d'onde (0.17 à 4 μm). [15]

- Température ambiante :

La valeur de cette température nous aide à déterminer les échanges thermiques entre la face externe et le milieu externe.

- Intermittence du nuage :

La quantité d'énergie solaire reçue par une surface dépend dans la nature du ciel, c'est-à-dire le passage des nuages diminue l'absorption effective moyenne.

b) Les paramètres interne :

- Les paramètres de construction :
 - La couverture :

La couverture verrière doit : transmettre le maximum de rayonnement solaire, opaque à l'infrarouge, non hydrophobe, et elle doit résister aux attaques du vent et des particules solides.[17]

- La distance entre la surface d'évaporation et la surface de la condensation :

Les études ont montré quand la distance entre la saumure et le verre diminue, la performance du distillateur augmente. [17]

- Isolation du distillateur :

L'isolation est importante pour éliminer les pertes thermiques (Transfert de chaleur avec le milieu extérieur).

- Hauteur de niveau de la masse d'eau :

L'épaisseur de l'eau est très importante dans la procédure de la distillation solaire, plus que l'épaisseur est faible, plus que la production est élevée. [17]

- Les paramètres de position :

- L'orientation du distillateur :

L'orientation du distillateur dépend de son fonctionnement pendant la journée. On peut déterminer trois modes de fonctionnement suivant le moment de la journée :

- Fonctionnement durant toute la journée : Orientation sud.

- Fonctionnement pendant la matinée : Orientation est.

- Fonctionnement pendant l'après-midi : Orientation ouest. [17]

- L'emplacement du distillateur :

L'emplacement aussi est reliée avec les paramètres géométriques et on prend en considération l'endroit, il ne doit pas contenir n'importe quelle type d'obstacles qui empêcherait le rayonnement solaire d'atteindre la surface de captation.[17]

- L'inclinaison :

Elle dépend du fonctionnement du distillateur pendant l'année :

- Fonctionnement estival $\rightarrow \beta = \theta - 10^\circ$
- Fonctionnement hivernale $\rightarrow \beta = \theta + 20^\circ$
- Fonctionnement annuel $\rightarrow \beta = \theta + 10^\circ$ (tab5738)

c) Paramètres de la saumure :

- L'épaisseur de la saumure à distiller :

Ce paramètre joue un rôle important dans la production, quand l'épaisseur est faible la production est élevée, si l'épaisseur est grand la distillation être dure. [17]

- Température de la saumure :

Lorsque la température de la saumure augmente, on observe un dépôt blanc sur la surface libre de l'eau dû à la formation de carbonates insolubles dans la saumure. [17]

- La qualité d'eau qui alimente le distillateur :

Les recherches ont montré lorsque la concentration augmente, la production du distillateur diminué. [17]

d) Paramètres optiques :

- L'émissivité
- L'absorptivité
- La réflectivité
- La transmittivité

e) Paramètre thermo physique :

- La conductivité thermique
- La chaleur spécifique

- La viscosité cinématique
- La viscosité dynamique

Conclusion

Ce premier chapitre porte sur les différents procédés de la distillation solaire et les différents types des distillateurs qui existent, comme il recapitule le principe de fonctionnement de chaque dispositif.

Chapitre II : Théorie de fonctionnement d'un distillateur solaire à cascade

Dans ce chapitre, nous plongeons dans la théorie de fonctionnement des distillateurs solaires à cascade. Nous explorerons les principes physiques de la distillation solaire, en mettant l'accent sur les modes de transfert de chaleur et de masse impliqués dans le processus. Comprendre les mécanismes fondamentaux de la distillation solaire est essentiel pour concevoir un distillateur efficace. Nous examinerons également les composantes clés d'un distillateur solaire à cascade et leur rôle dans la séparation et la purification de l'eau. Cette analyse approfondie jettera les bases nécessaires pour notre conception numérique.

II.1- Le gisement solaire :

II.1.1-Le soleil :

Le Soleil est l'étoile centrale du système solaire. Dans la classification astronomique, c'est une étoile de type naine jaune, et composée d'hydrogène (74% de la masse ou 92,1% du volume) et d'hélium (24 % de la masse ou 7,8 % du volume). Le Soleil est l'étoile la plus proche de la Terre, dont elle est distante d'environ 150 millions de kilomètres. [4]

L'énergie solaire transmise par rayonnement, rend possible la vie sur Terre par apport de chaleur et de lumière, permettant la présence d'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. La polarisation naturelle de la lumière solaire, après diffusion ou réflexion, par la Lune ou par des matériaux tels que l'eau ou les cuticules végétales est utilisée par de nombreuses espèces pour s'orienter dans l'espace.[4]

La densité thermique à la surface de la Terre est en moyenne à 99,97 % ou 99,98 % d'origine solaire. Comme pour tous les autres corps, ces flux thermiques sont continuellement émis dans l'espace, sous forme de rayonnement infrarouge ; la Terre restant ainsi en « équilibre dynamique ».[4]

II.1.2-L'énergie solaire :

L'énergie solaire est l'énergie que dispense le soleil par son rayonnement, directement ou de manière diffuse à travers l'atmosphère. Sur Terre, l'énergie solaire est à l'origine du cycle de l'eau et du vent. Cela signifie que la matière première est le soleil. Elle se place dans la catégorie des énergies renouvelables puisqu'on la considère comme inépuisable. On dit aussi

que c'est une énergie 100% verte car sa production n'émet que peu de CO₂. Elle est aussi l'origine de toutes les énergies sur Terre.[4],[18]

II.1.3-Le rayonnement solaire :

C'est l'énergie que le Soleil émet dans l'espace interplanétaire.

Lorsque nous parlons de la quantité d'énergie solaire atteignant la surface terrestre, nous utilisons des concepts d'irradiance et d'irradiation. L'irradiation solaire est l'énergie reçue par unité de surface au cours du temps (J/m²), la puissance reçue en un temps donné. De même, l'irradiance solaire est la puissance reçue en un instant - elle est exprimée en watts par mètre carré (W/m²). [18]

Les réactions de fusion nucléaire ont lieu dans le noyau solaire et sont la source d'énergie du Soleil. Le rayonnement nucléaire produit une perte de masse et un rayonnement électromagnétique à diverses fréquences ou longueurs d'onde. Ce rayonnement thermique se propage dans l'espace à la vitesse de la lumière (299 792 km/s).[18]

Une valeur singulière est la constante solaire ; la constante solaire est la quantité de rayonnement reçue instantanément par unité de surface dans la partie externe de l'atmosphère terrestre dans un plan perpendiculaire aux rayons solaires. En moyenne, la valeur de la constante solaire est de 1,366 W/m². [18]

Le rayonnement solaire est aussi responsable des climats et de la plupart des phénomènes météorologiques observés sur notre planète.

II.1.4-Types de rayonnement solaire :

Le rayonnement émis par le Soleil est composé des types de rayonnement suivants :

- Rayons infrarouges (IR) : Le rayonnement infrarouge fournit de la chaleur et représente 49 % du rayonnement solaire.
- Rayons visibles (VI) : représentent 43 % du rayonnement et fournissent de la lumière.
- Rayons ultraviolets (rayonnement UV) : représentent 7%.

Autres types de rayons : représentent environ 1% du total.[19]

- Le rayonnement direct :

Les rayons du soleil suivent leur trajectoire initiale lorsqu'ils atteignent la surface de la planète.

Les rayons restent parallèles.

$$I_d = I_c A e^{\left(\frac{-B}{\sin(h)} + \frac{P}{1000}\right)} \times \cos(i) \quad (1)$$

I_c : constant solaire

i : angle incidence tel que:

$$\cos(i) = \sin(h) \cos(\beta) + \cos(h) \cos(\varphi - 2\alpha) \sin(\beta), \text{ avec : } \beta = 90 - 2\alpha \quad (2)$$

h : la hauteur du soleil

A et B : coefficient traduisant les troubles atmosphériques.

P : la pression atmosphérique

Tableau II-1: Valeurs des coefficients de trouble atmosphérique[17]

	Zone industriel	Ciel pure	Condition normale
A	0.91	0.87	0.88
B	0.43	0.17	0.26

- **Le rayonnement diffus**

Les rayons du soleil se heurtent à la poussière, aux nuages et à d'autres obstacles lorsqu'ils traversent l'atmosphère. Ces obstacles ont pour effet de diviser les rayons parallèles du soleil (à l'origine) en plusieurs faisceaux qui rayonnent dans toutes les directions.

- **Le rayonnement réfléchi**

Ce phénomène se produit lorsque les ondes lumineuses frappent une substance réfléchissante, comme la neige dans les montagnes, et qu'elles rebondissent. L'albédo, ou "pouvoir réfléchissant", est une mesure de la capacité d'une surface à réfléchir la lumière.

II.1.5- Le mouvement de la terre :

La terre tourne sur elle-même dans une période de 24 Heures, l'axe des pole n'est pas perpendiculaire à l'écliptique en fait l'équateur, ces deux-là forment un angle appelé angle d'inclinaison de $\pm 23,45$ degrés en solstices et de zéro degrés aux équinoxes. La terre aussi tourne avec une vitesse moyenne de 29,77 km/s (vitesse maximal en hiver 30,27km/set minimal 29,77km/s en été) Ce mouvement s'effectue en sens trigonométrique et provoque le cycle des saisons.

La terre tourne autour du soleil en une année et précisément 365 jours 6 heures et 9 minutes et 4 secondes. La trajectoire de la terre autour du soleil est elliptique, l'excentricité de cet ellipse est faible ce qui fait que la distance terre-soleil ne varie que de $\pm 1.7\%$ par rapport à la distance moyenne qui est de 149 597 870,700 Km.Elle tourne avec une vitesse moyenne de 106.000 Km/h, mais cette vitesse n'est pas constante car selon la troisième loi de Kepler la terre va plus vite quand elle près du soleil. [17], [20]

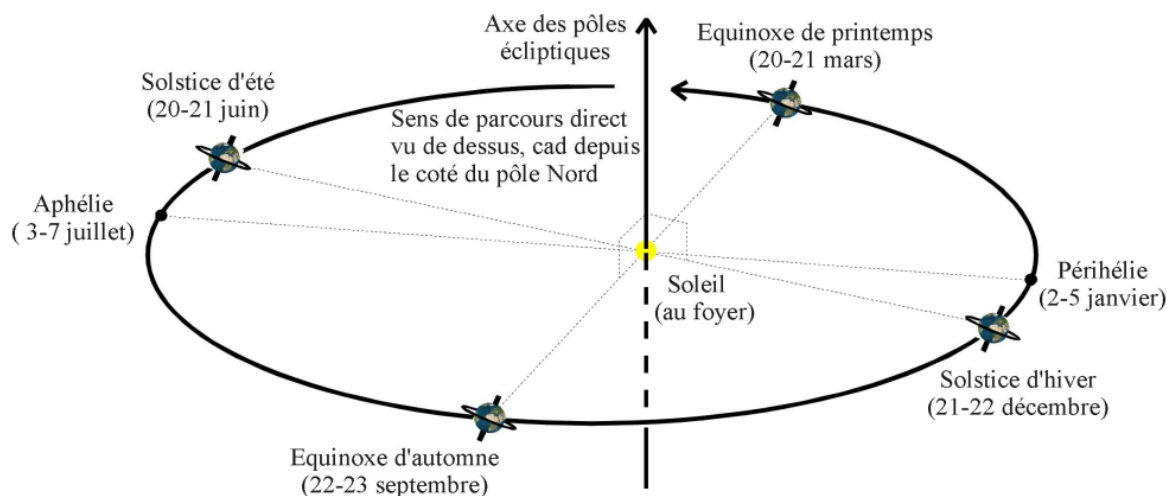


Figure II-1 : L'axe des pôles écliptiques[21]

II.1.6- Les coordonnées célestes :

II.1.6.1-Coordonnées horizontales :

Base : plan horizontal et direction du sud

Ces deux coordonnées simples mais variables pendant le jour.[17], [21]

- Azimut « a » : angle compté autour de l'axe vertical, à partir du méridien Sud, de 0° à 360° dans le sens rétrograde. Compté à partir du Nord par les marins et certains astronomes.

- Hauteur « h » : angle compté dans le plan vertical passant par l'astre, à partir du plan horizontal, positif vers le haut, de -90° pour le Nadir à +90° pour le zénith, h = 0 au lever et au coucher.

$$\sin(h) = \sin(\varphi) \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(\varpi) \quad (3)$$

ϖ : L'angle horaire , φ : La latitude

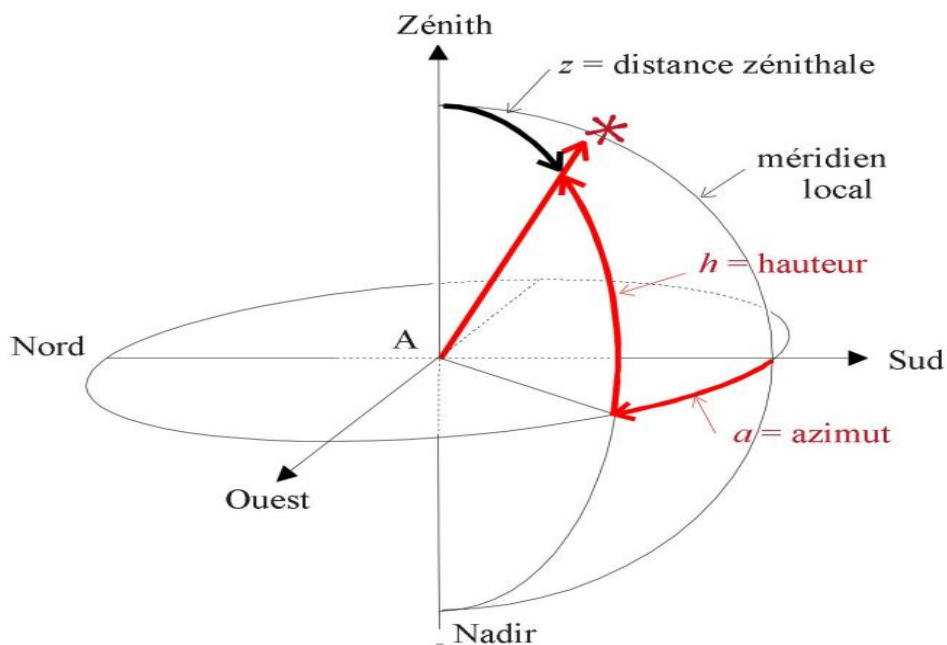


Figure II-2 : Coordonnées horizontales[21]

II.1.6.2-Coordonnées équatoriales :

Base : plan équatorial et point vernal.

- L'angle horaire « ϖ » : C'est l'angle compris entre le méridien céleste et le méridien soleil, il varie entre -180 et + 180.

$$\varpi = 15(T_{sv} - 12) \quad (4)$$

- Déclinaison « δ » : C'est l'angle formé entre le plan de l'équateur et celui de l'écliptique (figure II-3), elle varie entre $- 23.458$ (solstice d'hiver) à $+ 23.458$ (solstice d'été) en passant par 08 aux équinoxes de printemps et d'automne.

$$\delta = 23.458 \sin \left(\frac{(284+j)}{365} 360 \right) \quad (5)$$

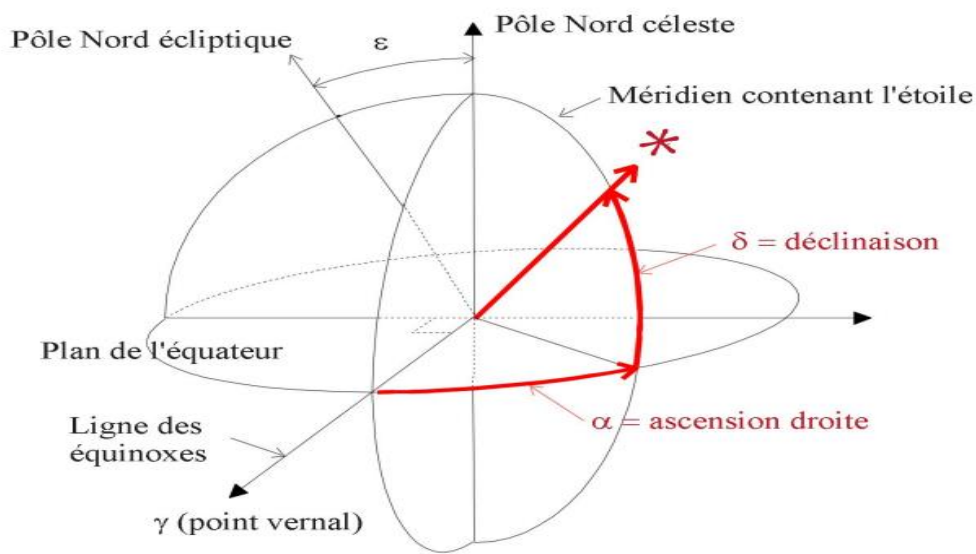


Figure II-4 : Coordonnées équatoriales[21]

II.1.6.3-Coordonnées horaires :

Base : plan équatorial et direction sud.

- Le temps universel T_u : C'est le temps civil de Greenwich, est le temps basé sur la rotation irrégulière de la Terre et la course fictive du Soleil moyen équatorial.

- Le temps solaire locale T_{SL} : Ce temps est défini en considération que la terre fait un tour de 3608 en 24 H.

$$T_{SL} = T_u + \frac{L}{15} \quad [H] \quad (6)$$

L : La longitude

- Le temps solaire vrai TSV : Ce temps est compte de fait que la durée du jour n'est exactement égale à 24 H en raison de l'inclinaison de l'axe de rotation de la terre par rapport au soleil et de la forme elliptique du mouvement de la terre autour u soleil et de la variation de sa vitesse selon la loi de Kepler.

$$\text{TSV} = \text{TSL} + \Delta\text{T} \quad [\text{H}] \quad (7)$$

$$\Delta\text{T} = 7.53 \text{ Cos}(\beta) + 1.5 \text{ Sin}(\beta) - 0.81 \text{ Sin}(2\beta) \quad [\text{minute}] \quad (8)$$

$$\text{Avec: } \beta = (j - 81) \frac{2\pi}{365} \quad (9)$$

- L'heure légale HL : Ce définit par rapport à Tu en adoptant un certain horaire ΔH

$$\text{HL} = \text{Tu} + \Delta\text{H} \quad (10)$$

ΔH : le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré par exemple $\Delta\text{H} = 1$ pour l'Algérie.

II.1.6.4-Coordonnées écliptiques (géographiques) :

Base : plan écliptique et point vernal

- Longitude écliptique « L » : c'est l'angle entre le méridien de Greenwich et le méridien du lieu. C'est compte positivement vers l'est (0 → 180) de Greenwich et négativement vers l'ouest (0 → -180)

-La Latitude écliptique « φ » : représente l'angle formé entre le plan de l'équateur et la direction (centre de la terre-position), φ est positive vers le nord + 90 et négative vers le sud -90 (figure II-5).

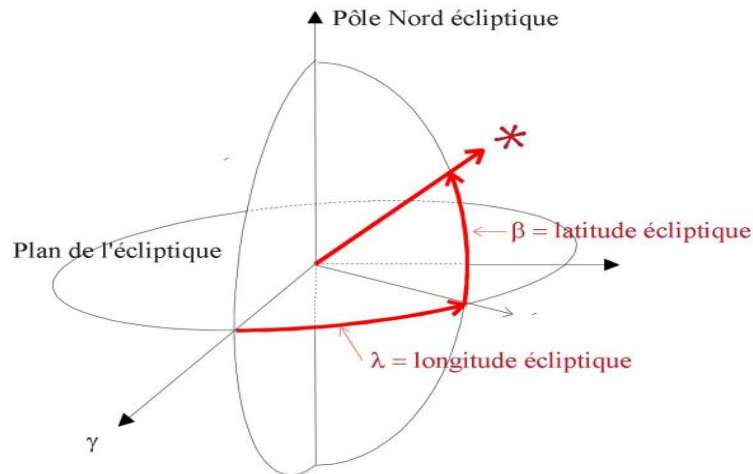


Figure II-6 : Coordonnées écliptiques (géométriques)[21]

II.2- Le fonctionnement d'un distillateur solaire à cascade :

Le principe de distillation est le même dans toutes les distillateurs mais la forme de chaque distillateur joue un rôle très important. Le système de distillation est fonctionné sur deux principes scientifiques : évaporation et condensation. L'absorbeur dans ce système (figure II-7) est en cascade, le récipient à fond noir, remplis d'eau de mer et surmontés de verre transparent. La quantité de chaleur qui provient de rayonnement solaire a absorbée par le matériau noir qui va accélérer le taux d'évaporation et à cause de la forme cascade de l'absorbeur l'eau s'échauffe plus rapidement. La production est élevée lorsque la masse d'eau évaporé est faible. La vapeur condense se forme des gouttelettes d'eau.

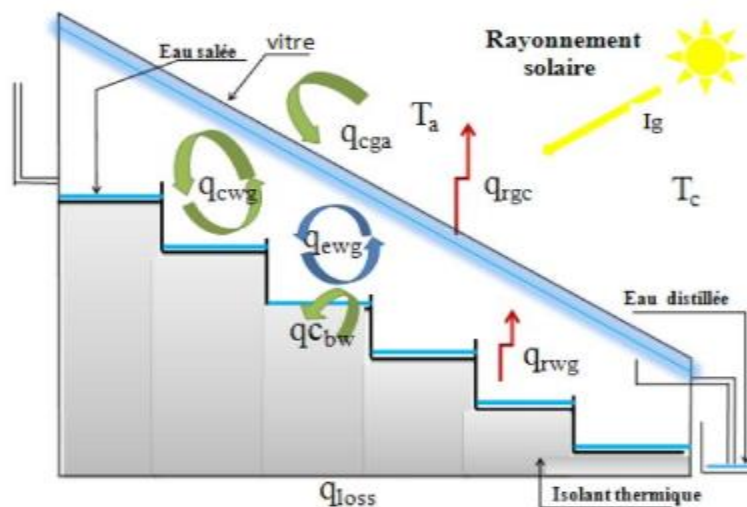


Figure II-8 : Principe de fonctionnement de distillateur solaire à cascade[15]

II.3-Echanges de chaleur à l'intérieur du distillateur:

II.3.1-Echange de chaleur de l'eau entre l'absorbeur et la surface de condensation:

L'eau reçoit de l'absorbeur un flux solaire ou de chaleur par convection naturelle. L'eau cède un flux de chaleur par rayonnement et par convection naturelle aux surfaces de condensation. Puisque il existe une évaporation, l'eau perd un flux de chaleur. [15]

II.3.2-Echange de chaleur entre la vitre et la surface d'eau:

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

La vitre reçoit les flux incidents par convection naturelle, par rayonnement et par condensation de la vapeur d'eau.[15]

II.3.3-Echange de chaleur entre la vitre et le milieu ambiant:

Le milieu extérieur cède un flux de chaleur par rayonnement solaire à la vitre, dont une partie est réfléchi. La vitre cède au milieu extérieur un flux de chaleur par rayonnement par convection naturelle.[15]

II.3.4-Mise en équation des échanges thermiques:

On tenant compte des hypothèses suivantes :[15]

- La couverture est propre
- La température de chaque composant est uniforme
- Le soleil est assimilé à un corps noir
- La chaleur perdue par addition de l'eau d'appoint et celle emportée par le distillat sont supposées négligeables,
- Les parois latérales sont supposées adiabatiques
- Les propriétés physiques des matériaux sont considérées constantes

Chapitre II : Théorie de fonctionnement d'un distillateur solaire à cascade

- La condensation se fait uniquement sur la couverture (il n'y a pas de condensation sur les parois latérales)
- La concentration de la saumure n'intervient pas dans les transferts de chaleur et de masse, - La condensation de l'eau sur la couverture est homogène et continue (le verre possède une bonne mouillabilité)
- Vitesse du vent constante.
- Le bassin est étanche.

II.3.5-Bilan thermique pour un régime transitoire :

Bilan thermique pour un régime transitoire: Considérons une section quelconque du système à l'instant " t " soit i l'un des milieux représentés dans cette section M_i , sa masse en [Kg], C_{pi} sa chaleur spécifique en [j/Kg °C], sa température en [°C]. [15]

Le bilan au nœud « i » donne:

$$M_i C_{pi} \frac{dT_i}{dt} = \sum_{j=1}^n Q_{ij} + P_i \quad (11)$$

P_i : Terme de source ou de puits.

$$M_i C_{pi} \frac{dT_i}{dt} = 0 \quad (12)$$

Dans les cas suivants :

- Un distillateur à inertie thermique négligeable (faible masse de ses éléments ou faible chaleur spécifique)
- Pour un régime permanent.

Remarque:

Parmi plusieurs modèles trouvés qui traduisent le principe de fonctionnement du distillateur à cascades, nous avons choisi d'utiliser le modèle de Mr V. VEIMRUGAN qui est simple et donnant des résultats probants.[15]

Couverture:

$$M_g C_{pg} \frac{dT_g}{dt} = P_g + q_{wg}^r + q_{wg}^{ev} + q_{wg}^c - q_{ga}^c - q_{ga}^r - q_{g-mir}^r \quad (13)$$

q_{wg}^c : Flux de chaleur échangé par convection entre la vitre intérieur et la masse d'eau [W]

q_{wg}^r : Flux de chaleur échangé par rayonnement entre la vitre et la masse d'eau [W]

q_{wg}^{ev} : Flux de chaleur échangé par évaporation entre la vitre et la masse d'eau [W]

q_{ga}^r : Flux de chaleur échangé par rayonnement entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre [W]

q_{ga}^c : Flux de chaleur échangé par convection entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre [W]

P_g : Puissance solaire de la surface absorbée par la masse d'eau [W]

$$P_g = \alpha_g 3I_g \quad (14)$$

$$q_{wg}^c = h_{wg}^c (T_w - T_g) A_w \quad (15)$$

$$q_{wg}^r = h_{wg}^r (T_w - T_g) A_w \quad (16)$$

$$q_{wg}^{ev} = h_{wg}^{ev} (T_w - T_g) A_w \quad (17)$$

$$q_{ga}^r = h_{ga}^r (T_g - T_c) A_g \quad (18)$$

$$q_{ga}^c = h_{ga}^c (T_g - T_a) A_g \quad (19)$$

Saumure :

$$M_w C_{pw} \frac{dT_w}{dt} = P_w 2q_{wg}^r 2q_{wg}^{ev} 2q_{wg}^c + q_{bw}^c \quad (20)$$

q_{bw}^c : Flux de chaleur échangé par convection entre le l'absorbeur et la masse d'eau [W].

P_w : Puissance solaire de la surface absorbée par la masse d'eau [W]

$$P_w = \alpha_w 3I_g 3A_w \quad (21)$$

$$q_{bw}^c = h_{bw}^c (T_b - T_w) A_b \quad (22)$$

Absorbeur:

$$M_b C_{pb} \frac{dT_b}{dt} = P_b 2q_{pertes} 2q_{bw}^c \quad (23)$$

P_b : Puissance solaire absorbée par l'absorbeur [W]

q_{bw}^c : Flux de chaleur échangé par convection entre l'absorbeur et la masse d'eau [W]

q_{pertes} : Pertes thermiques entre le bassin et le milieu ambiant

$$P_b = \alpha_b 3I_b 3A_b \quad (24)$$

$$q_{pertes} = U_b (T_b - T_a) A_b \quad (25)$$

U_b : Coefficient des pertes thermiques entre le bassin et le milieu ambiant

D'après V. .VEIMRUGAN: $U_b = 14 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$

II.3.6-Coefficients d'échanges thermiques :

II.3.6.1-Coefficient d'échange par convection entre la vitre intérieure et la masse d'eau :

$$h_{wg}^c = 0.884 3 \left[\left\{ (T_w 2T_g) + \frac{(P_v^w 2P_v^g)}{268.9310^3 2P_v^w} \right\} 3^{\frac{1+\cos(\beta)}{2}} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (26)$$

P_v^w et P_v^g Représentent respectivement la pression de vapeur au niveau de la saumure et la surface intérieure de la vitre.

II.3.6.2-Coefficient d'échange par rayonnement entre la vitre et la masse d'eau :

Par approximation, la couverture à faible pente ($\beta=30^\circ$) est considérée horizontale, d'après P. I. Cooper et W. R. W. pour deux surfaces planes, infinies en parallèle, le coefficient radiatif est donné sous la forme :[15]

$$h_{wg}^r = \varepsilon_{eff} 3\sigma(T_w^2 2T_g^2) 3(T_w + T_g) \quad (27)$$

$$\varepsilon_{eff} = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_w} 21} \quad (28)$$

ε_w : Coefficient d'émissivité de l'eau

ε_g : Coefficient d'émissivité de la vitre

σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($= 5.6697 \times 10^{-8} \text{ m}^{-2}\text{K}^{-4}$)

II.3.6.3-Coefficient d'échange par évaporation entre la vitre et la masse d'eau :

$$h_{wg}^{ev} = 16.276310^{-3} 3h_{wg}^c 3 \frac{(P_v^w 2P_v^g)}{(T_w 2T_g)} \quad (29)$$

P_v^w et P_v^g Représentent respectivement la pression de vapeur au niveau de la saumure et la surface intérieure de la vitre, ils sont estimés par les expressions suivantes :

$$P_g = e^{(25.3172 \frac{5144}{T_g+273})} \quad (30)$$

$$P_w = e^{(25.3172 \frac{5144}{T_w+273})} \quad (31)$$

II.3.6.4-Coefficient d'échange par rayonnement entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre :

$$h_{ga}^r = \varepsilon_g 3\sigma(T_c^2 + T_g^2) 3(T_c + T_g) \quad (32)$$

T_c Est la température du ciel. Cette température est donnée en fonction de la température ambiante.

$$T_c = T_a - 2.6 \text{ En général, on utilise l'expression : } T_c = 0.0552(T_a)^{1.5} - T_a \quad \text{En [K]}$$

II.3.6.5-Coefficient d'échange par convection entre le milieu ambiant et la surface extérieure de la vitre :

L'échange thermique entre la vitre et l'extérieur dépend de la vitesse du vent, est donné par la corrélation MACADAMS :

$$h_{ga}^c = 5.7 + 3.8 V \quad (33)$$

Avec, V la vitesse du vent en m/s

II.3.6.6-Coefficient d'échange par convection entre l'absorbeur et la masse d'eau :

$$h_{bw}^c = \frac{Nu \ 3\lambda_w}{L} \quad (34)$$

$$Nu = C \ 3(G_r \ 3P_r)^n \quad (35)$$

Ou C et n sont des constantes dépendant de la géométrie du système et de la nature de l'écoulement, laminaire ou turbulent.

$$\text{Gr: nombre de GRASHOF} \quad G_r = \frac{\beta_w \times L^2 \times g \times (T_b - T_w)}{\nu_w^2} \quad (36)$$

β_w : Coefficient d'expansion volumétrique de l'eau [K^{-1}]

L : Longueur du bac absorbant

$$\text{Avec: Pr : Nombre de Prandtl} \quad P_r = \frac{\mu_w \times C_{pw}}{\lambda_w} \quad (37)$$

Si $Gr < 105$; $Nu = 1$ L'échange thermique entre la saumure et le bac absorbant se fait uniquement par conduction.

$$\text{Si } Gr > 2 \times 10^7 \quad Nu = 0.14 \ 3(G_r \ 3P_r)^{0.33} \quad (38)$$

$$\text{Si } 10^5 > Gr > 2 \times 10^7 \quad Nu = \frac{\lambda_w}{L} \ 3 \ 0.54 \ 3(G_r \ 3P_r)^{0.25} \quad (39)$$

II.4- Caractéristiques de fonctionnement :

II.4.1- Production (débit du distillat) :

La production est la quantité d'eau distillée journalière produite par de surface d'évaporation.

$$m_d = \frac{q_{ev}}{L_v} \quad (40)$$

II.4.2- Efficacité globale :

Elle représente le rapport de la quantité d'énergie évaporée par m^2 , à la quantité d'énergie globale incidente par m^2 sur une surface horizontale. Elle est définie par le rapport

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{I_g \times A} = \frac{m_d \times L_v}{I_g \times A} \quad (41)$$

q_{ev} : Est la quantité de chaleur utilisée pour l'évaporation par unité de temps.

A : est la superficie du capteur (aire de la vitre).

I_g : Est l'énergie solaire globale incidente par m^2 sur une surface horizontale, pendant un jour.

L_v : Est la chaleur latente de vaporisation et m_d , le débit de distillat.

II.4.3- Efficacité interne :

Elle est représentée par 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.

$$\eta_g = \frac{q_{ev}}{q_{eau}} = \frac{m_d \times L_v}{\alpha_t \times I_g \times A} \quad (42)$$

$\alpha_t \times I_g$: Est la quantité de chaleur absorbée par l'eau

α_t : Est le coefficient d'absorption thermique.

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

$$q_{eau} = (\alpha_w \times \tau_w + \tau_w \times \tau_g \times \alpha_b) \times I_g \times A \quad (43)$$

$$\alpha_t = \alpha_w \times \tau_w + \tau_w \times \tau_g \times \alpha_b \quad (44)$$

II.4.4-Performance :

Le souci de caractériser un distillateur d'une manière plus absolue a amené, ainsi à définir le Facteur de Performance Brut 'F.P.B' et le Facteur de Performance Horaire 'F.P.H'.

$$\text{F.P.B} = \frac{\text{la quantité d'eau produite about de 24h}}{\text{la quantité d'énergie entrée about de 24h}} \quad (45)$$

$$\text{F.P.H} = \frac{\text{la quantité d'eau produite about d'une heure}}{\text{la quantité d'énergie entrée about d'une heure}} \quad (46)$$

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

$$\text{FB} = \frac{m_d}{\alpha_t \times I_g \times A} \quad (47)$$

Conclusion

Nous avons vu dans ce chapitre une brève étude générale sur le gisement solaire, dans cette partie théorique nous avons écrit les équations qui régissent le fonctionnement du distillateur et qui et qui conduisent à l'évaluation numérique du rendement et des différents flux qui interviennent dans le distillateur.

Chapitre III: Conception numérique d'un distillateur solaire à cascade

Ce chapitre est consacré à la conception numérique d'un distillateur solaire à cascade en utilisant le logiciel SolidWorks. Nous décrirons les étapes clés de la conception, en commençant par la création d'un modèle 3D précis du distillateur. Nous explorerons les fonctionnalités de SolidWorks utilisées pour intégrer les paramètres spécifiques, simuler les performances thermiques et optimiser la conception. La modélisation numérique nous permettra de visualiser et d'évaluer différentes configurations du distillateur solaire à cascade, fournissant ainsi un guide précieux pour la réalisation d'un prototype physique.

III.1 Présentation du logiciel SOLIDWORKS

Le logiciel SOLIDWORKS permet de réaliser de la modélisation 2D et 3D, ce logiciel de CAO est réputé pour sa simplicité d'utilisation et se veut intuitif. Le logiciel SolidWorks permet de :

- concevoir des objets en 3D de manière très précise.
- développer des produits
- vérifier la conception de votre fichier
- détenir une bibliothèque de vos fichiers 3D
- mettre en place des mises en plan 2D
- créer des images et animations des objets 3D
- estimer le coût de la fabrication des objets 3D

Le logiciel SOLIDWORKS est un modéleur volumique permettant de créer des pièces complexes en 3 dimensions. Ces pièces peuvent être ensuite utilisées pour créer des mises en plan en 2D et des assemblages de plusieurs pièces entre elles.

SOLIDWORKS est un système à cotation piloté. On peut spécifier des côtes et rapports géométriques entre les éléments. Un changement de cote entraîne un changement de taille de la pièce, tout en préservant l'intention de conception. Un modèle SOLIDWORKS est constitué de pièces, d'assemblages et de mise en plan. Les pièces, les assemblages et les mises en plan affichent le même modèle dans des documents différents. Les changements opérés sur le modèle dans l'un des documents se propagent aux autres documents contenant ce modèle. [22]

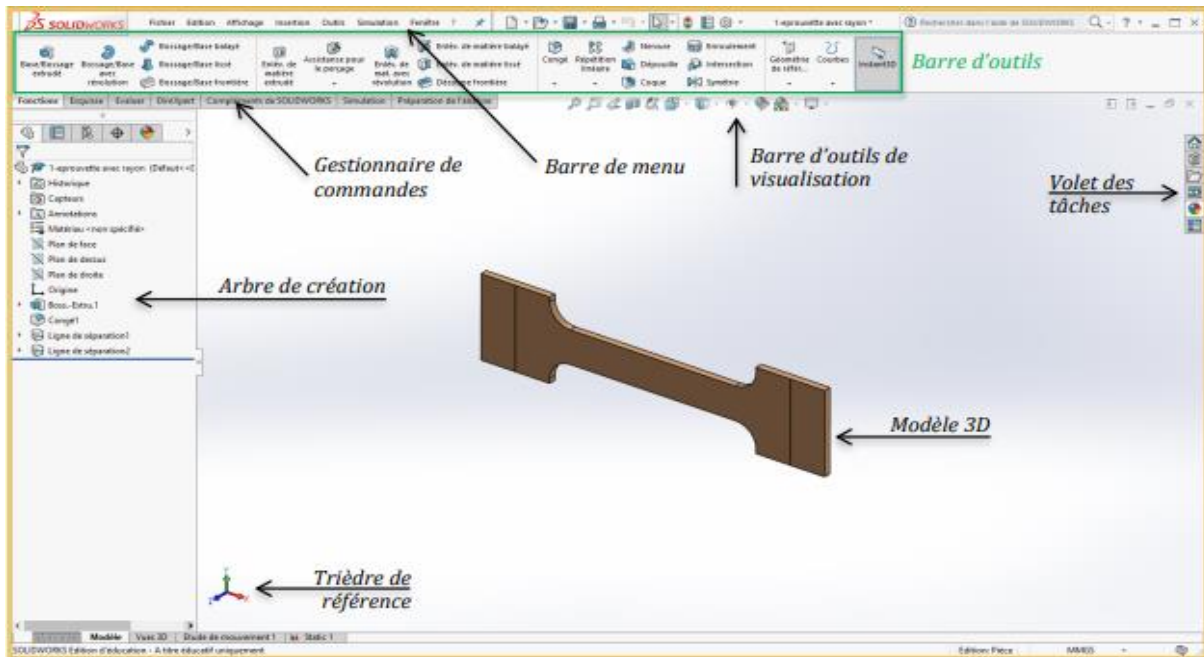


Figure III-1 : Présentation de l'interface du SOLIDWORKS [22].

III.2- Conception d'un distillateur

Les systèmes de distillation solaire peuvent être fabriqués avec des matériaux que l'on trouve facilement sur le marché local et ne nécessitent absolument aucun entretien ni aucun coût permanent. Les différents modèles des distillateurs solaires sont utilisés pour augmenter l'efficacité et la productivité du distillat. La conception simple du distillateur solaire à cascade consiste en une configuration de base qui permet la séparation et la purification de l'eau à l'aide de principes de distillation solaire.

Pour la conception optimisée à cascade (figure 0-2), nous avons cherché à améliorer les performances du distillateur en introduisant des éléments supplémentaires et en optimisant la géométrie et les paramètres de fonctionnement. Ces améliorations peuvent inclure l'ajout de dispositifs de récupération de chaleur, l'optimisation des surfaces d'échange thermique et l'utilisation de matériaux spécifiques pour améliorer l'efficacité de la distillation solaire.

En comparant ces deux conceptions, nous pourrions évaluer les avantages et les limitations de chaque approche et déterminer laquelle offre les meilleures performances en termes d'efficacité de distillation et de production d'eau pure.

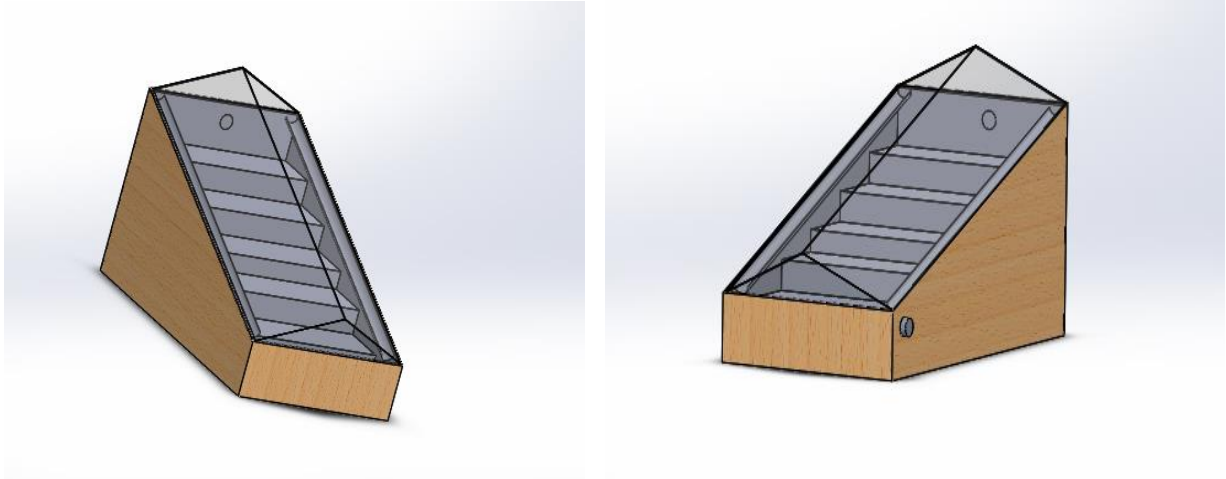


Figure 0-3: conception du distillateur solaire à cascade par SOLIDWORKS

Le distillateur est constitué de :

- Un bac absorbant.
- Les couvertures extérieures.
- Deux bouteilles d'eau (une pour l'eau de mer et l'autre de l'eau distillé).
- Une isolation thermique.
- Couverture verrière (verre).

III.3- Réalisation du distillateur solaire à cascade

Le principe de distillation est le même dans tous les distillateurs mais la forme de chaque distillateur joue un rôle très important. Le système de distillation fonctionne sur deux principes scientifiques : évaporation et condensation. L'absorbant en cascade conçu en acier est revêtu avec une peinture noire et isolation extérieur en polystyrène.

La façade extérieure est en bois est considéré comme une deuxième isolation. Le dispositif est rempli d'eau saumâtre, surmonté de verre transparent de géométrie innovante. Le vitrage est de forme pyramidale à base rectangulaire, cette forme augmente l'absorption des rayonnements solaire. La quantité de chaleur qui provient de rayonnement solaire est totalement absorbée par le matériau noir qui va accélérer le taux d'évaporation. Notre dispositif offre des améliorations significatives, en jouant sur la géométrie du vitrage et sur l'isolation à l'intérieur de distillateur.

Le distillateur a l'avantage d'être facile à construire et à maintenir avec des matériaux locaux. Les étapes de la réalisation faite par le SOLIDWORKS. Ces différents composants sont :

III.3.1- Un bac absorbant et les couvertures extérieures

Le but du bac d'absorption (figure III-4) est d'absorber autant que possible le rayonnement solaire incident. La chaleur produite par cette absorption peut être transférée à la saumure par convection. Le bac a été revêtu d'un noir mat pour obtenir une surface sélective. Il est obtenu par soudage, et est construit essentiellement en tôle galvanisée.

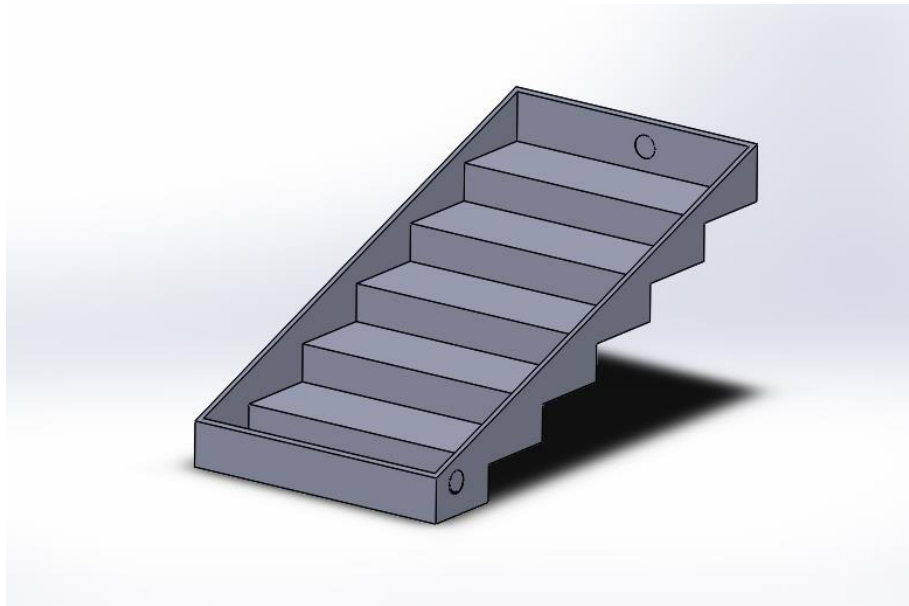


Figure III-5 : Le bac absorbant

III.3.1.1- Les dimensions de l'absorbeur

Nous avons six plateaux chaque plateau a les dimensions suivantes :

- Longueur 0.50 m
- Largeur 0.150 m
- La hauteur 0.066 m
- La surface totale d'un plateau est de 0.075 m²

III.3.1.2- Les couvertures extérieures

- Les parois

Nous avons faire la réalisation de chaque parois, les dimensions de chaque parois sont :

- Paroi en haut : - longueur : 0.1 m
- Largeur : 0.494 m

- épaisseur : 0.003 m
- Parois en bas : - Longueur : 0.08 m
 - Largeur : 0.494 m
 - épaisseur : 0.3 m
- Les deux parois en coté : ils ont les même dimensions que les escaliers.

III.3.2- Le bac couvrant

C'est un bois qui complète la forme du distillateur et protège l'isolant il a été conçu sous forme trapézoïdal, les dimensions sont :

- Grande hauteur : 0.50 m
- Petite hauteur : 0.15 m
- Largeur : 0.50 m
- Longueur : 0.90 m

La façade extérieure est en bois (figure III.4) est considéré comme une deuxième isolation. Le dispositif est rempli d'eau saumâtre.

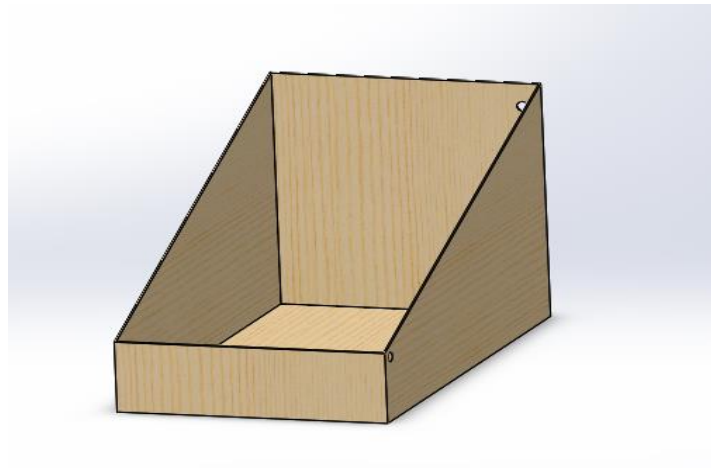


Figure 0-4 : Bac en bois

III.3.3- L'isolation thermique

Dans la plupart des cas, le polystyrène ou la laine de verre sont utilisés pour l'isolation thermique du distillateur. Il faut que les produits utilisés résistent aux températures de fonctionnement.

Leur épaisseur varie successivement :

- Polystyrène : varie de 0.03 à 0.06m
- Laine de verre : 2 en 100 mm : de $R = 2.5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ à $R = 3.30 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$

2En 240 mm : de $R = 6.85 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ et $\lambda = 0.035 \text{ W/ (m.K)}$

2En 300 mm : de $R = 7.5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ et $\lambda = 0.040 \text{ W/ (m.K)}$

Dans notre cas nous avons utilisée :

Le polystyrène

- Longueur : 0.956 m (déplacer sous les escaliers donc il a les même dimensions que les escaliers)
- Epaisseur : 0.03 m

III.3.4- couverture verrière

Dans cette réalisation on utilise un verre ordinaire pour sa bonne transmission du rayonnement visible et leur mouillabilité. Il est également simple et moins coûteux. Ce type de distillateur ne nécessite pas des techniques avancées.

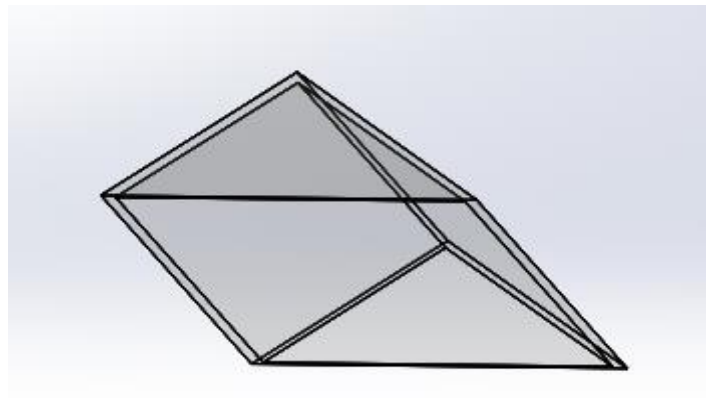


Figure III-5 : La verrière

Le vitrage est de forme pyramidale à base rectangulaire (figure III-5), cette forme augmente l'absorption des rayonnements solaires. La quantité de chaleur qui provient de rayonnement solaire est totalement absorbée par le matériau noir qui va accélérer le taux d'évaporation. Notre dispositif offre des améliorations significatives, en jouant sur la géométrie du vitrage et sur l'isolation à l'intérieur du distillateur.

Les dimensions de la vitre sont

- Longueur : 0.956 m
- Largeur : 0.25 m
- Epaisseur : 0.005 m

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit les étapes clés de la conception ainsi que le dimensionnement de chaque dispositif. La modélisation SOLIDWORKS nous a permis de visualiser et de simuler l'assemblage de ces différents composants, en tenant compte des dimensions, des formes et des propriétés thermiques de chaque élément. Cette approche de conception numérique nous a permis d'optimiser la géométrie et les performances du distillateur solaire à cascade avant de passer à sa réalisation concrète.

Chapitre IV : Résultats et discussion

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats obtenus à partir de notre conception numérique du distillateur solaire à cascade en utilisant le logiciel Comsol Multiphysics. Nous avons utilisé cette puissante plateforme de simulation pour étudier les phénomènes thermo-fluidiques à l'intérieur du distillateur. Les simulations ont permis d'analyser les flux de chaleur, les profils de température, les mouvements des fluides et d'autres paramètres essentiels à la performance du distillateur solaire à cascade. Les résultats obtenus nous fourniront une compréhension approfondie des processus de distillation solaire et serviront de base à nos discussions quant aux performances, à l'efficacité et à l'optimisation du système.

IV.1- Présentation de COMSOL multi-physiques :

La société "Comsol", spécialisée dans le développement de logiciels, le support technique, la formation spécialisée et le conseil, a créé le programme "COMSOL MuTiphysics" au Royal Institute of Technology (Suède), qui est un outil de simulation numérique. Ce logiciel est largement utilisé dans le monde entier pour modéliser et simuler tout système à base physique, y compris la mécanique des fluides, le transfert thermique, l'électricité, l'électromagnétisme, la chimie et la mécanique des structures. L'un des points forts de ce logiciel est sa capacité à combiner plusieurs phénomènes physiques au cours d'une seule simulation numérique.

Le logiciel COMSOL basé principalement sur la méthode des éléments finis permet de traiter de nombreux problèmes grâce à sa banque intégrée d'équations physiques très variées. Il possède de plus un environnement graphique permettant de réaliser rapidement des figures relativement complexes (en 1D, 1D-axisymétrique, 2D, 2D-axisymétrique ou 3D). Par ailleurs, COMSOL Multiphysics possède un environnement de programmation dans lequel il est possible de modifier le maillage et les équations du problème. Par défaut le maillage est automatique et se compose de triangle en 2D et de tétraèdre en 3D. Ce logiciel possède de nombreux systèmes de résolution dits « solvers », pouvant être linéaires ou non, paramétriques ou encore dépendant du temps. [23]

IV.2- Présentation du modèle numérique :

Nous avons entrepris une étude pour déterminer les performances thermiques d'un distillateur solaire à cascade en utilisant une approche numérique avec le logiciel COMSOL Multiphysics. Pour ce faire, nous avons suivi les étapes suivantes

- Après avoir ouvert le logiciel COMSOL Multiphysics, nous avons accédé à l'assistant de modélisation. Dans cet assistant, nous avons sélectionné la dimension appropriée pour notre étude, à savoir la dimension 3D.

- Une fois que l'assistant de modélisation est ouvert, une autre fenêtre s'affiche, répertoriant tous les phénomènes physiques que le logiciel peut traiter. Nous avons donc sélectionné le phénomène physique approprié à notre problème d'étude.
- Le régime d'étude de notre modèle dépend de le phénomène physique à étudier ainsi au moyen matériel à notre disposition;
- Après avoir sélectionné le phénomène physique pertinent, nous avons procédé au choix de la géométrie. Le logiciel COMSOL Multiphysics propose des fonctionnalités de création et d'édition géométriques assez complètes. Dans notre cas, nous avons réalisé la géométrie dans SOLIDWORKS, puis nous l'avons importée dans COMSOL Multiphysics pour une utilisation ultérieure.
- Nous choisissons les matériaux appropriés dans le référentiel Matériaux pour créer le composite, ou nous les insérons s'ils n'existent pas déjà. Ensuite, nous localisons chaque matériau dans la géométrie et déterminons les conditions aux limites sur chaque frontière de la géométrie.
- Une fois la géométrie importée, nous avons procédé au choix des matériaux appropriés à partir du référentiel Matériaux. Si nécessaire, nous avons créé un composite en combinant différents matériaux, ou nous les avons insérés individuellement s'ils n'étaient pas déjà disponibles. Par la suite, nous avons localisé chaque matériau dans la géométrie et défini les conditions aux limites appropriées sur chaque frontière de la géométrie.
- Après avoir défini les matériaux et les conditions aux limites, nous avons procédé à l'étape de maillage. Le logiciel COMSOL Multiphysics propose des outils automatiques et partiellement automatiques pour la création de maillages en 1D, 2D et 3D. Les paramètres du maillage peuvent être contrôlés par l'utilisateur pour obtenir la résolution souhaitée. Dans notre cas, nous avons choisi une géométrie triangulaire, car elle offre de meilleurs résultats de calculs en termes de maillage. Cette étape de maillage permet de diviser le milieu continu en un nombre fini d'éléments, facilitant ainsi les calculs ultérieurs.

IV.3 Propriétés thermo_ physiques :

L'eau pénètre dans le distillateur avec une température initiale de 25°C. Les propriétés thermo-physiques de l'eau et de l'air sont présentées dans le tableau VI 1 suivant :

• Table 0-1: Propriété thermo-physique des fluides

Fluide	Eau à 25 °C	Air à 24°C	Unité
Conductivité thermique	0.65	0.0234	$W/m.K$
Masse volumique	995	1,2	Kg/m^3
Capacité spécifique	4184.5	1005.5	$J/Kg.K$
Viscosité dynamique	9.13×10^{-4}	1.8×10^{-5}	$Pa.s$

IV.4 Distillateur solaire simple :

IV.4.1 Domaine d'étude :

Le domaine d'étude a le même principe du distillateur solaire à cascade, il est présenté dans les figures suivantes. Le premier domaine correspond l'écoulement de l'eau, il contient l'entrée et la sortie de l'eau. Le deuxième domaine contient l'air.

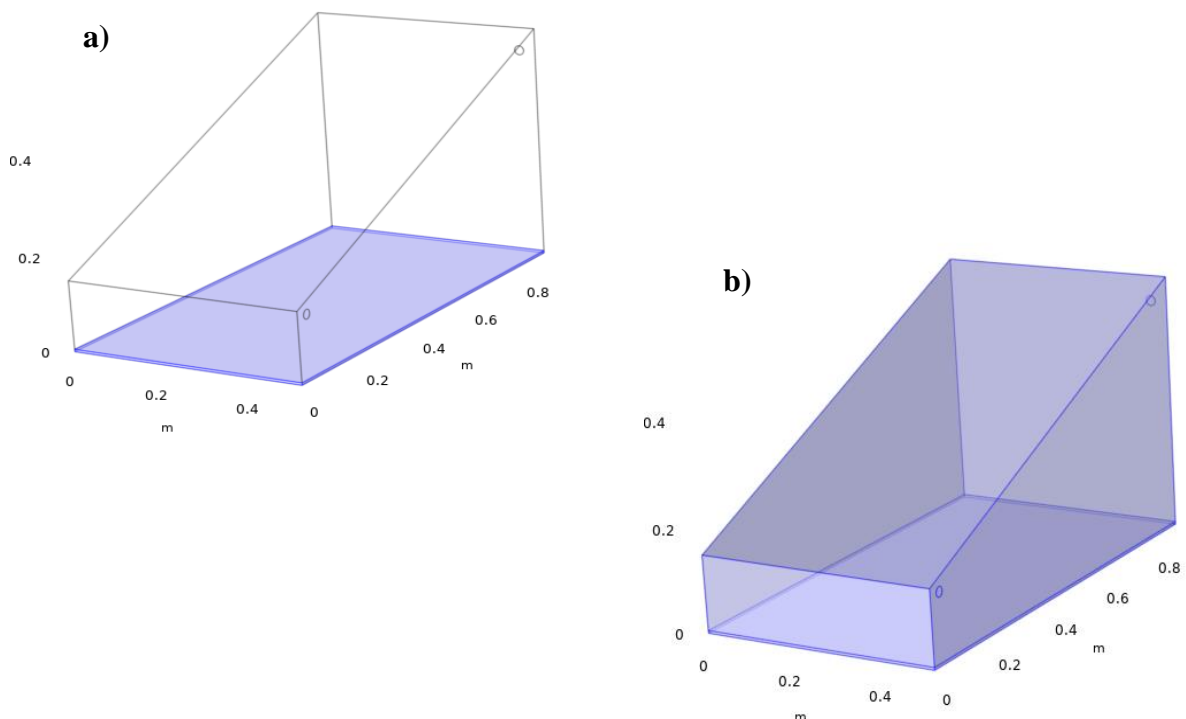
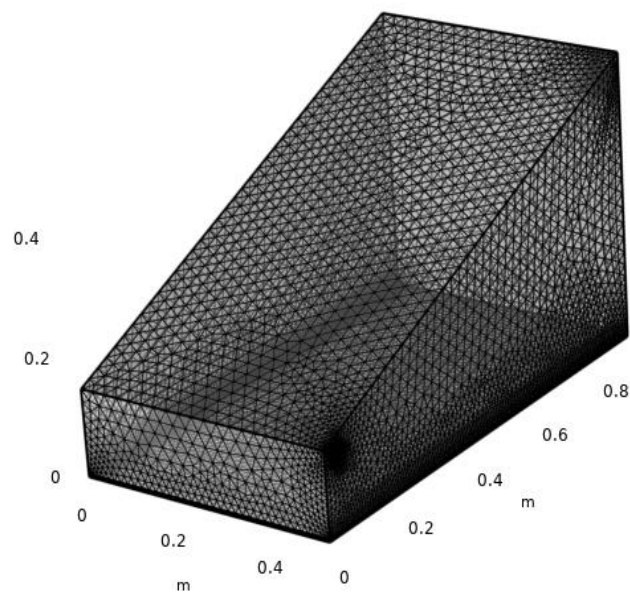


Figure IV-1 : Domaine d'étude

a) Domaine 1 : Ecoulement d'eau, b) Domaine 2 : Ecoulement d'air

IV.4.2 Le maillage :

Le distillateur utilisé dans cette 1^{ère} étude ayant une géométrie relativement simple, mais sa composition comprenant différents matériaux peut compliquer le calcul. Afin de simplifier l'analyse, nous avons choisi de ne prendre en compte que les zones d'étude qui nous intéressent. Pour ce faire, nous avons utilisé un maillage tétraédrique libre, avec le nombre optimal de mailles déterminé automatiquement par Comsol. Nous avons sélectionné une taille d'élément de maillage normale, également appelée "Normal", qui permet d'obtenir un bon compromis entre la rapidité de calcul et le coût computationnel.



FigureIV-2 : Génération du maillage

Résultats et discussion

Dans cette étude, nous avons utilisé le logiciel COMSOL pour simuler et analyser les phénomènes physiques clés du distillateur solaire à cascade. Plus précisément, nous avons étudié le comportement du fluide en régime laminaire stationnaire, le transfert de chaleur dans les fluides et le changement de phase en régime instationnaire. Les simulations ont permis de capturer les interactions complexes entre le fluide, la géométrie du distillateur et les échanges thermiques. À l'intérieur d'un distillateur solaire, on trouve généralement un mélange d'eau et d'air. Cependant, la proportion relative de ces deux composants peut varier en fonction de la conception spécifique du distillateur, dans la présente étude. On a examiné chaque domaine séparément à l'autre à cause des problèmes rencontrés lors des simulation ;

IV.4.2.1 Distribution de température :

Le distillateur solaire à géométrie simple étudié fonctionne en régime d'écoulement laminaire avec une vitesse d'eau relativement faible, de l'ordre de 0.05 m/s. Cette vitesse de circulation est maintenue constante tout au long du parcours du fluide à travers le distillateur. La géométrie du distillateur à géométrie simple favorise un écoulement régulier et prévisible du fluide, contribuant ainsi à une distillation efficace. En ce qui concerne la pression de l'eau, elle demeure constante tout au long du processus de distillation dans le distillateur à géométrie simple.

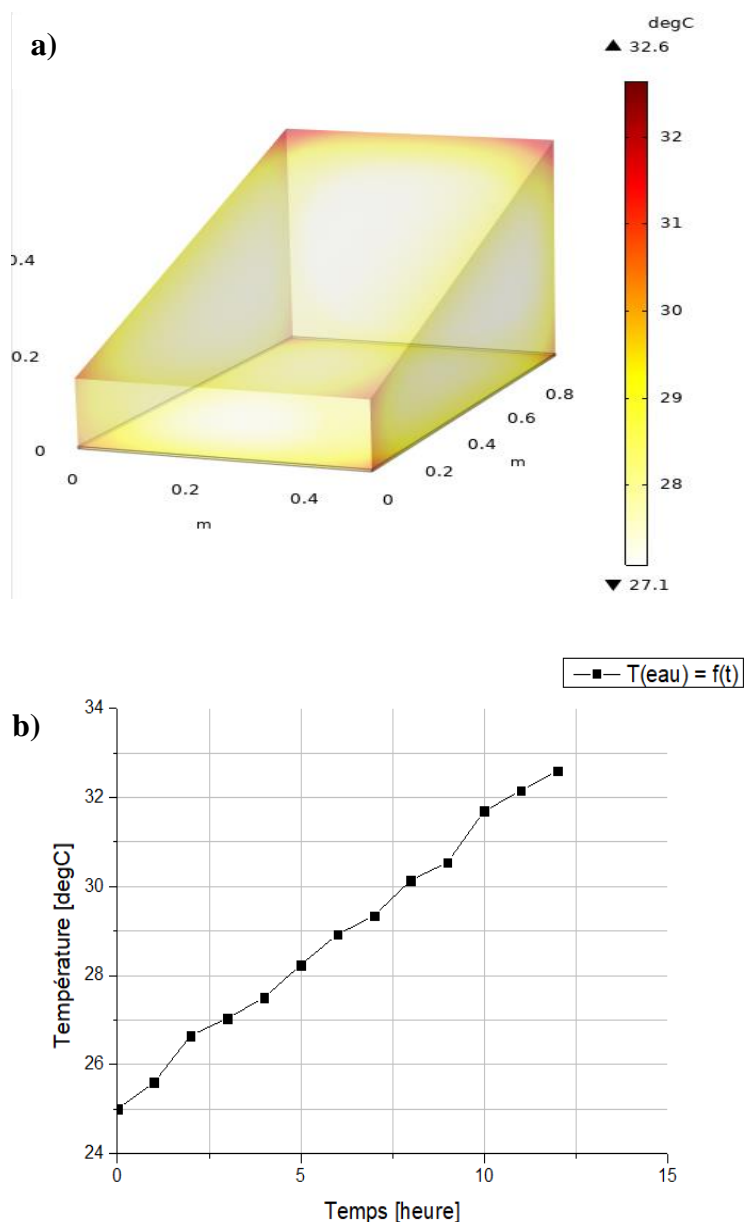


Figure IV.3 : Distribution de température de l'eau :
a) Contours en 3D, b) Evolution de température en fonction du temps

Étant donné qu'il n'y a pas de dispositifs de pompage actifs ou de contraintes externes imposées au système, la pression de l'eau reste à un niveau atmosphérique standard. Dans les figures VI 3.a, 3 b, nous pouvons observer l'évolution de la température de l'eau à l'intérieur du distillateur solaire simple sur une période de 12 heures. Une augmentation de la température de l'eau de 7,5 degrés Celsius est clairement visible. Le graphique présente une tendance monotone et croissante, indiquant une élévation constante de la température de l'eau, passant de 25°C à 32,5°C. Cette élévation progressive de la température de l'eau est due à l'absorption continue de l'énergie solaire par les composants du distillateur. L'énergie solaire est captée par les évaporateurs, ce qui entraîne une évaporation graduelle de l'eau et, par conséquent, une augmentation de sa température. La conception du distillateur solaire simple permet une meilleure exposition de l'eau aux rayons solaires, favorisant ainsi l'efficacité de la conversion d'énergie solaire en chaleur. Il est important de noter que cette augmentation de la température est cruciale pour le processus de distillation. À mesure que la température de l'eau s'élève, la vapeur d'eau se forme et se condense dans la partie supérieure du distillateur, permettant ainsi la séparation des impuretés et la production d'eau pure. La variation de température observée dans cette étude démontre le bon fonctionnement du distillateur solaire simple et sa capacité à générer des conditions thermiques optimales pour une distillation efficace.

Parallèlement à l'évaporation de l'eau, il peut y avoir une présence d'air à l'intérieur du distillateur. L'air peut être présent initialement ou être entraîné par l'écoulement de l'eau. L'air peut jouer plusieurs rôles dans le fonctionnement du distillateur solaire. Il peut servir de source d'oxygène pour l'évaporation de l'eau, faciliter la circulation de la vapeur d'eau à travers le distillateur et agir comme un milieu de transfert de chaleur. En termes d'échange de chaleur, le mélange eau-air à l'intérieur du distillateur permet plusieurs mécanismes d'échange thermique. Tout d'abord, l'énergie solaire absorbée par l'eau entraîne son évaporation, ce qui nécessite une quantité considérable de chaleur latente. Ce processus d'évaporation transfère la chaleur de l'eau vers la vapeur d'eau. De plus, la chaleur peut également être transférée de l'eau vers l'air par convection, car l'air en contact avec la surface de l'eau peut être réchauffé. Dans notre distillateur solaire à géométrie simple, la distribution de la température de l'air à l'intérieur joue un rôle important dans le processus de distillation. La température de l'air varie de 24 °C à 32 °C sur une période de 12 heures, avec la valeur maximale observée dans la zone du vitrage et sur la base du distillateur.

La distribution de la température de l'air est principalement influencée par les échanges thermiques avec les composants du distillateur et l'exposition à l'énergie solaire. Le vitrage, en particulier, est une zone où l'absorption directe des rayons solaires peut conduire à une augmentation significative de la température de l'air. Cette augmentation est due à l'effet de serre créé par le vitrage, qui permet le passage des rayons solaires tout en réduisant la dissipation de chaleur.

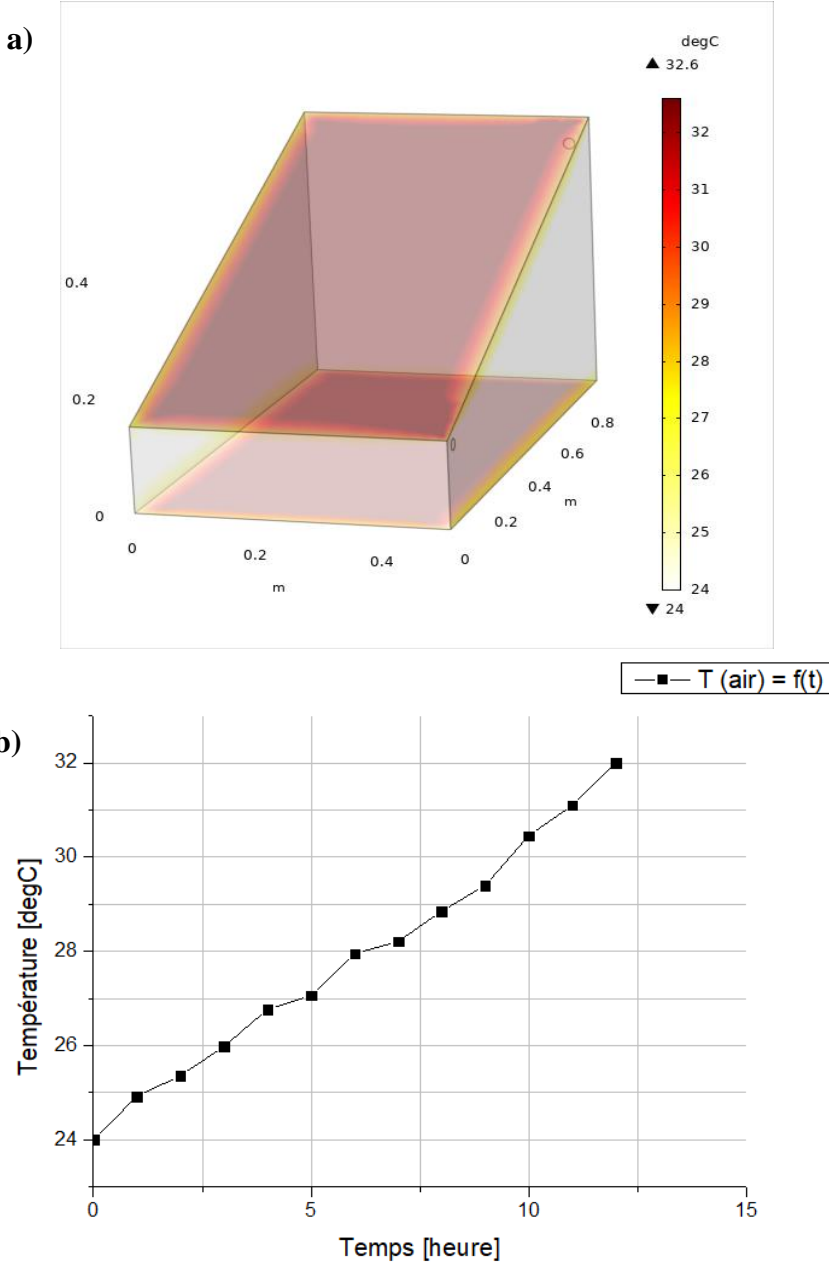


Figure 0-4 : : Distribution de température de l'air : a) Contours en 3D, b) Evolution de température en fonction du temps

La base du distillateur est une autre zone où la température de l'air peut atteindre sa valeur maximale. Cela peut être dû à plusieurs facteurs, tels que l'exposition directe aux rayons solaires réfléchis par la surface du bac absorbant ou la proximité des éléments chauffants du distillateur. La base du distillateur peut également retenir la chaleur, contribuant ainsi à une augmentation de la température de l'air.

Il est important de noter que la distribution de la température de l'air à l'intérieur du distillateur peut avoir un impact sur l'efficacité du processus de distillation. Une augmentation de la température de l'air peut favoriser une évaporation plus rapide de l'eau et une production accrue de vapeur d'eau. Cependant, il est essentiel de maintenir un équilibre thermique optimal pour éviter une surchauffe excessive ou des pertes thermiques excessives.

Ces résultats nous offrent un aperçu précieux du comportement thermique à l'intérieur du distillateur solaire simple et nous permettent d'évaluer l'efficacité de la conversion de l'énergie solaire en chaleur.

IV.4.2.2 Changement de phase :

Dans un distillateur, il existe une relation étroite entre le transfert de chaleur, l'humidité relative et les changements de phase. Cette relation est essentielle pour comprendre le processus de distillation et l'évolution de l'eau à travers ses différentes phases. Le transfert de chaleur joue un rôle fondamental dans le distillateur, car il permet de fournir l'énergie nécessaire pour provoquer les changements de phase de l'eau. Lorsque de la chaleur est ajoutée au système, l'eau passe de l'état liquide à l'état gazeux (vapeur) par évaporation. Ce processus nécessite une quantité importante de chaleur latente pour surmonter les forces d'attraction entre les molécules d'eau. L'humidité relative est une mesure de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air par rapport à la quantité maximale qu'il peut contenir à une certaine température. Dans un distillateur, l'humidité relative peut varier en fonction des conditions thermiques et de la quantité d'eau évaporée. À mesure que l'eau s'évapore, l'humidité relative augmente, car la quantité de vapeur d'eau dans l'air augmente. Une humidité relative élevée favorise la condensation de la vapeur d'eau en liquide lorsque les conditions sont favorables. Lorsque l'eau s'évapore, elle passe de l'état liquide à l'état gazeux, absorbant de la chaleur dans le processus. Cette vapeur d'eau, qui est riche en énergie thermique, peut se déplacer vers des zones plus froides du distillateur où elle se condense, passant de l'état gazeux à l'état liquide. Ce processus de condensation libère de la chaleur.

La condensation de la vapeur d'eau est un aspect crucial de la distillation, car elle permet la séparation des impuretés et la production d'eau pure. Lorsque la vapeur d'eau se condense, elle se transforme en liquide pur, tandis que les impuretés restent dans la phase gazeuse. Ce processus de changement de phase est rendu possible grâce aux variations de température et de pression à l'intérieur du distillateur. Les évolutions de l'humidité relative de l'air selon les axes x et z sont illustrées respectivement dans les figures VI-5 et VI-6 pour un temps de 0 h et 12 h.

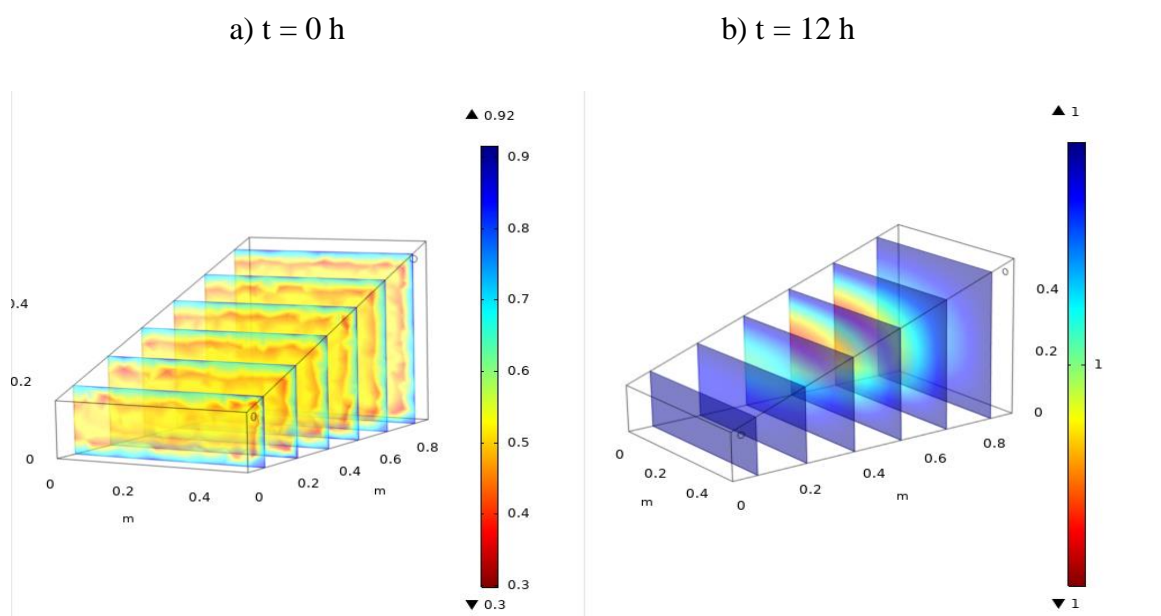


Figure 0-5 : L'évolution de l'humidité relative de l'air dans l'axe des x

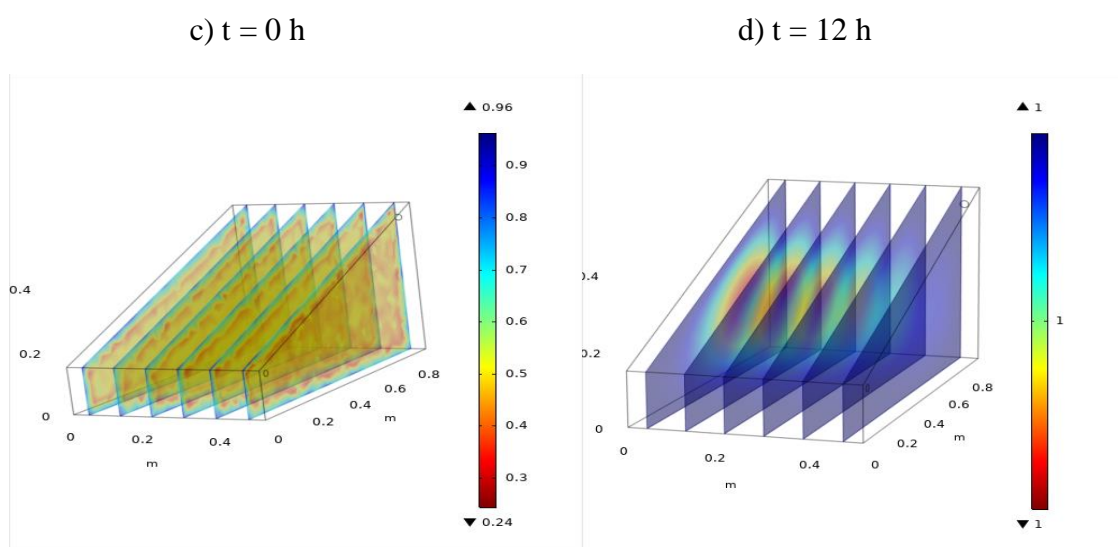


Figure 0-6 : L'évolution de l'humidité relative de l'air dans l'axe des z

Dans la figure VI-4, qui représente l'humidité relative de l'air le long de l'axe x à deux moments différents (0 h et 12 h), nous observons une augmentation de l'humidité relative à mesure que l'eau s'évapore à partir du bac absorbant. Au début (0 h), l'humidité relative est relativement faible car l'évaporation n'a pas encore commencé ou est en cours de démarrage. Cependant, à mesure que le temps avance et que l'eau s'évapore sous l'effet du rayonnement solaire, l'humidité relative augmente progressivement, indiquant une augmentation de la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air. Dans la figure IV-5, qui représente l'humidité relative de l'air le long de l'axe z à deux moments différents (0 h et 12 h), nous pouvons observer une variation de l'humidité relative dans la direction verticale à l'intérieur du distillateur. Au départ (0 h), l'humidité relative peut être plus élevée près de la surface du bac absorbant, où l'évaporation a déjà commencé. Cependant, à mesure que nous nous éloignons du bac absorbant vers le haut du distillateur, l'humidité relative peut diminuer car la vapeur d'eau s'élève dans l'air et peut se condenser à des altitudes plus élevées où les températures sont plus fraîches. À 12 h, l'humidité relative peut avoir augmenté à des altitudes plus élevées en raison de la montée de la vapeur d'eau dans l'air chaud à l'intérieur du distillateur. Ces évolutions de l'humidité relative le long des axes x et z sont importantes car elles permettent de comprendre le comportement du processus de distillation à l'intérieur du distillateur solaire. Elles indiquent comment la quantité de vapeur d'eau dans l'air varie en fonction du temps et de la position à l'intérieur du distillateur....

IV.5 Distillateur solaire à cascade

IV.5.1 Domaine d'étude :

Le domaine d'étude a été subdivisé en deux sous-domaines distincts : a) l'étude de l'écoulement de l'eau et b) l'étude de l'écoulement de l'air. Cette subdivision est représentée dans la figure IV.7. Dans le sous-domaine (a) nous nous concentrons sur l'écoulement de l'eau à travers les escaliers, en prenant en compte les points d'entrée et de sortie du flux d'eau. Le deuxième sous-domaine (b) est dédié à l'analyse de l'écoulement de l'air. En divisant le domaine d'étude de cette manière, nous pouvons étudier séparément les caractéristiques spécifiques de chaque fluide et analyser leur comportement dans le système global.

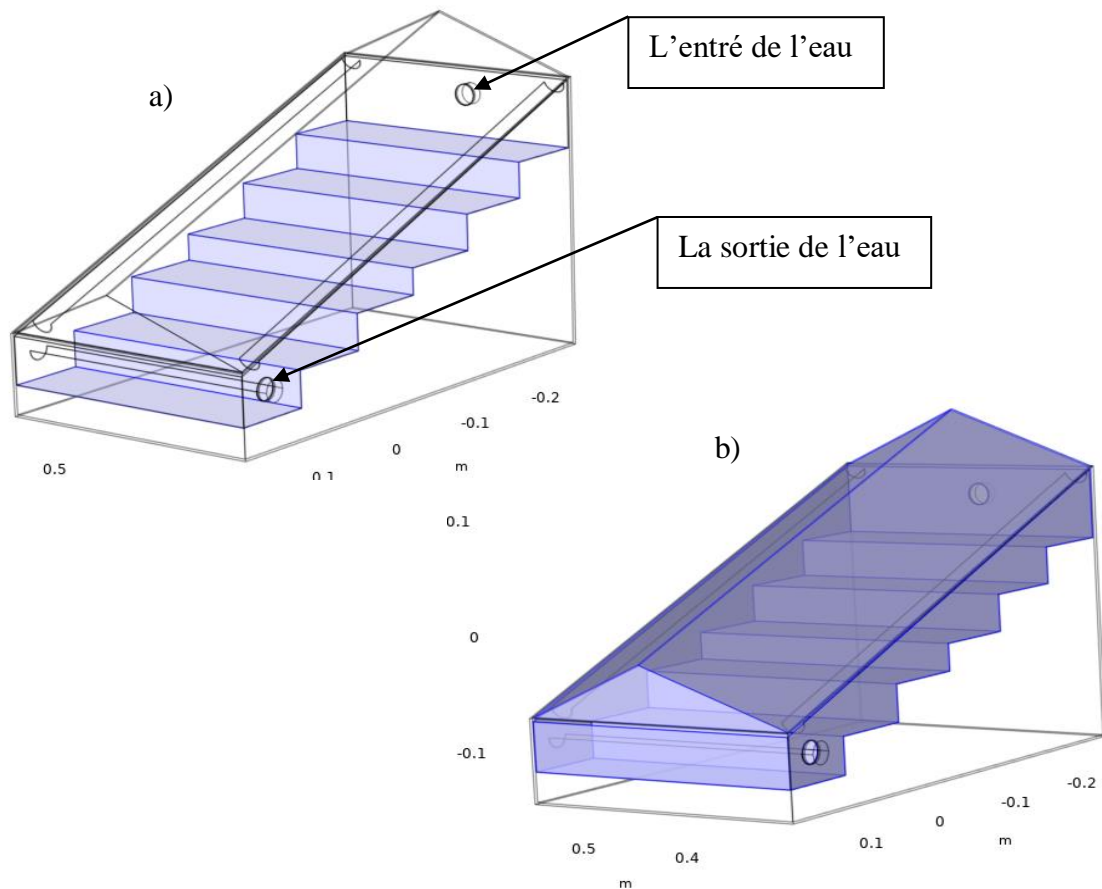


Figure 0-7 : Le domaine d'étude

a) Domaine 1 : Ecoulement d'eau, b) Domaine 2 : Ecoulement d'air

VI.5.2 Le maillage :

Pour le maillage du distillateur solaire à cascade (figureIV-8), nous avons suivi des étapes similaires à celles du distillateur solaire simple. Nous avons utilisé un maillage tétraédrique libre de type grossier. Le maillage utilisé comportait un total de 53236 éléments. La qualité minimale des éléments était de 0.0057, ce qui indique que même les éléments de moindre qualité étaient relativement proches de la forme idéale. Le volume de chaque élément de maillage était d'environ 0.003 m^3 , ce qui correspond à la taille moyenne d'une portion de l'espace à l'intérieur du distillateur représentée par un élément. La qualité moyenne de l'ensemble du maillage était d'environ 0.42, ce qui suggère que la majorité des éléments étaient de forme adéquate et appropriée pour l'analyse.

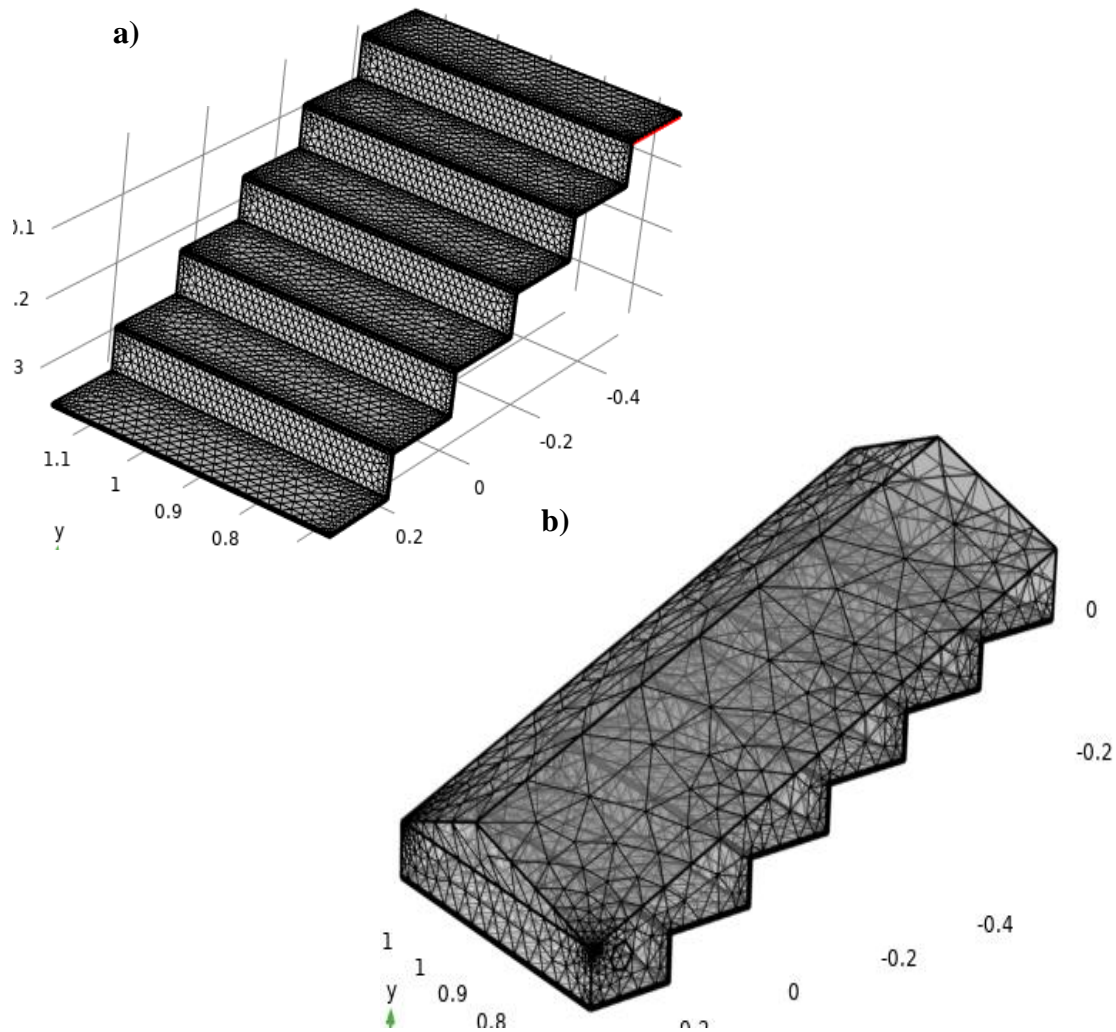


Figure IV-8 : Génération du maillage :
a) Domaine 1 : Ecoulement d'eau, b) Domaine 2 : Ecoulement d'air

IV.5.3 Résultat et discussion :

Dans cette étude, nous avons également utilisé les mêmes phénomènes physiques que ceux examinés précédemment dans le cas du distillateur solaire simple. Nous avons étudié le comportement du fluide en régime laminaire et stationnaire, ainsi que le transfert de chaleur dans les fluides en régime temporel avec changement de phase. Cependant, nous nous sommes concentrés sur la partie géométrique du distillateur qui était spécifiquement liée à l'eau.

IV.5.3.1 Distribution de température :

Dans le cas du distillateur solaire à cascade, les simulations ont révélé une variation de température de l'eau et de l'air à l'intérieur du système sur une durée de 12 heures. Au cours de cette période, la température de l'eau a augmenté progressivement, passant de 25°C à 46°C.

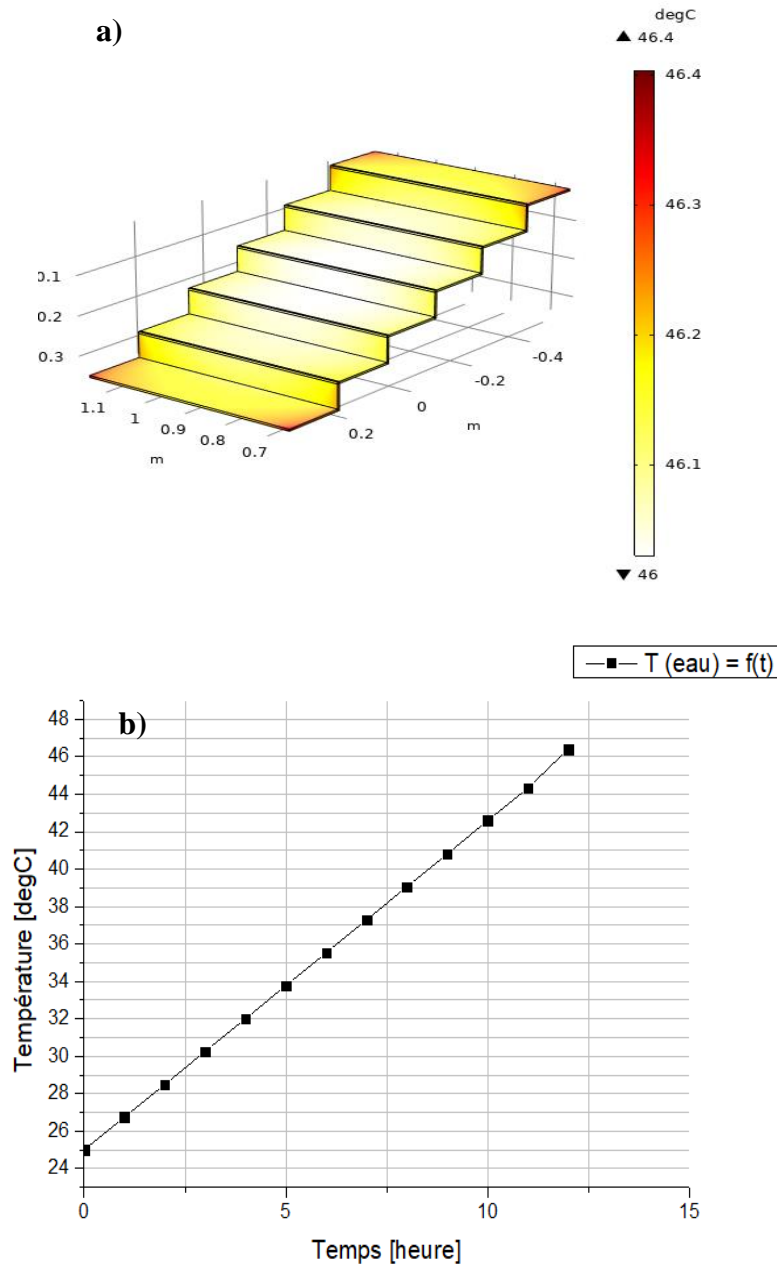


Figure IV-9 : : Distribution de température de l'eau :
a) Contours en 3D, b) Evolution de température en fonction du temps

L'élévation de la température de l'eau est le résultat de l'exposition successive aux différentes zones de capture de chaleur du distillateur à cascade. Chaque étage du distillateur contribue à augmenter la température de l'eau à mesure qu'elle circule à travers le système. Cette

augmentation progressive de la température favorise l'évaporation de l'eau et la production de vapeur d'eau à des températures plus élevées, ce qui est essentiel pour la distillation.

Concernant l'air à l'intérieur du distillateur, nous avons également observé une variation de température significative (figure 0-10 a, b et c). La température de l'air varie également de 24°C à 47°C au cours des 12 heures de simulation.

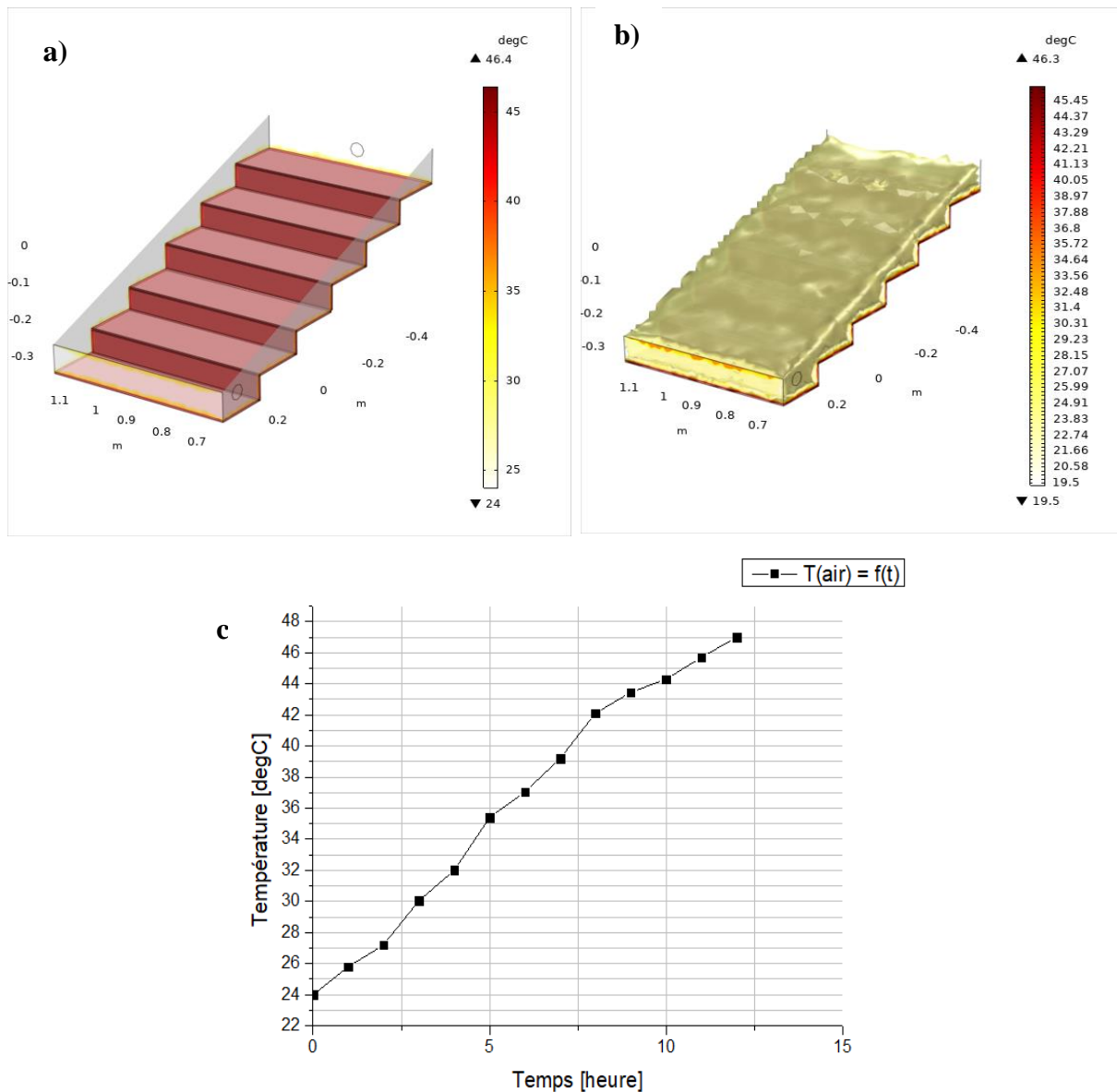


Figure 0-10 : Distribution de température de l'air à l'intérieur du distillateur
a) Contours de température en 3D , b) ligne isotherme et c) $T = f(t)$

Cependant, il est important de noter que la distribution de la température de l'air peut varier selon les différentes parties du distillateur à cascade comme indique la figure 0-10b. Des températures plus élevées peuvent être observées dans les zones exposées directement à la chaleur solaire, telles que la zone du vitrage et la base du distillateur.

IV.5.3.2 Le comportement de l'eau

Les contours de vitesse nous donnent des informations sur la manière dont l'eau circule à l'intérieur du distillateur à cascade. Ces résultats ont mis en évidence la manière dont le fluide circule à travers les différentes sections du distillateur et comment il est influencé par la conception en cascade. Nous pouvons observer les différentes zones de vitesse élevée et faible à travers le système. Les zones de vitesse élevée indiquent les endroits où l'eau se déplace plus rapidement, ce qui peut favoriser une évaporation plus rapide. Dans le cas d'un écoulement laminaire et avec une vitesse d'eau à l'entrée de 0.05 m/s, nous avons observé que la vitesse de l'eau à l'intérieur du distillateur à cascade reste pratiquement constante. Cependant, une légère variation de vitesse peut être observée lorsque l'eau passe d'un escalier à l'autre. En examinant les contours de vitesse, nous pouvons donc évaluer le mouvement global de l'eau à l'intérieur du distillateur à cascade et identifier les zones critiques pour une éventuelle optimisation dans la conception.

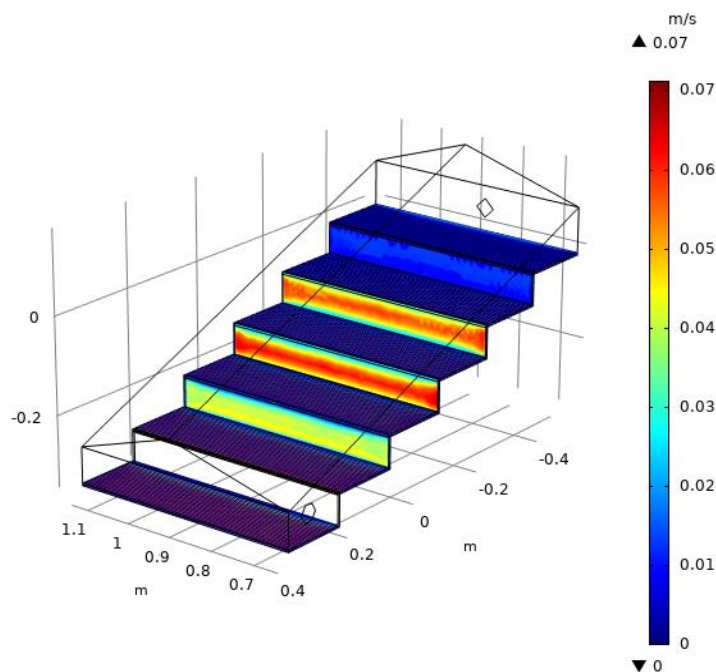


Figure 0-11 : Evolution de la vitesse de l'eau

Ensuite, nous avons étudié la variation de la pression de l'eau à l'intérieur du distillateur. Ces résultats nous ont permis de comprendre les variations de pression induites par la circulation du fluide et les différences de pression entre les différents étages du distillateur à cascade. Cette analyse de la pression est essentielle pour évaluer l'efficacité du système de circulation et son impact sur les performances globales du distillateur.

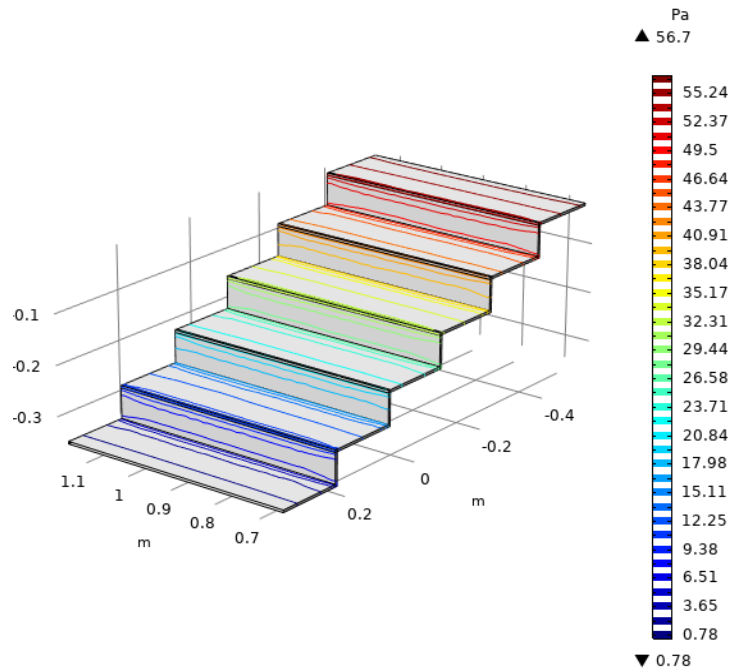


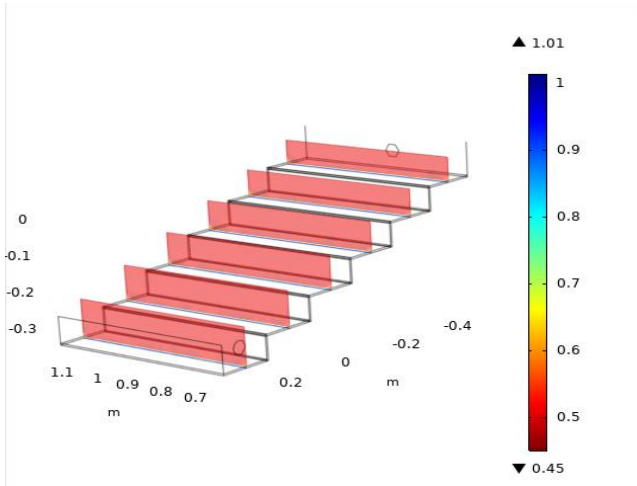
Figure 0-12 : Evolution de la pression de l'eau

IV.5.3.3 Changement de phase :

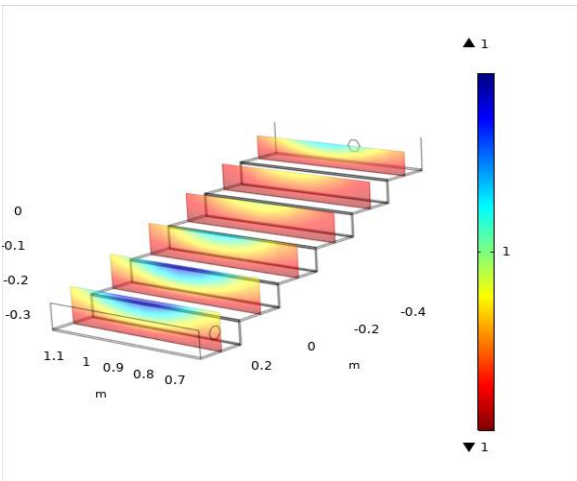
Dans cette étude sur le distillateur à cascade, nous avons également examiné les évolutions de l'humidité relative de l'air le long des axes x et z, à la fois au temps initial 0 h et après 2, 6, 9 et 12 heures. Nous avons utilisé deux phénomènes physiques pour modéliser ces changements, à savoir le transport de l'humidité dans l'air et la prise en compte de l'air humide. Ces phénomènes fonctionnent dans un régime temporel, car nous sommes intéressés par les variations de l'humidité relative au fil du temps.

L'humidité relative de l'air est un paramètre essentiel dans le processus de distillation solaire à cascade, car elle est directement liée aux phénomènes d'évaporation et de condensation qui se produisent à l'intérieur du distillateur. En observant les variations de l'humidité relative à différents moments, nous pouvons mieux comprendre comment elle évolue au fil du temps et son influence sur l'efficacité du processus de distillation.

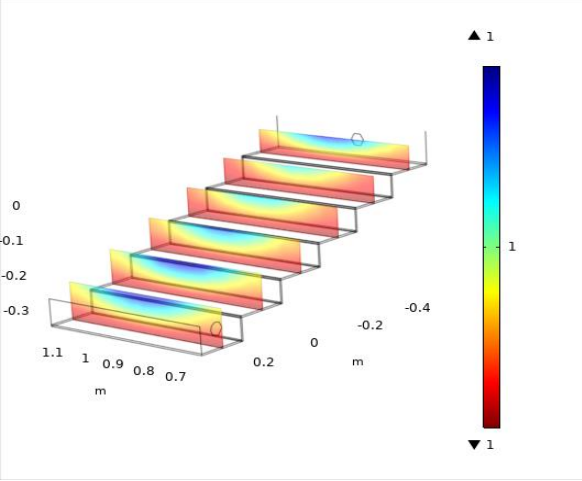
a) $t = 0$ h



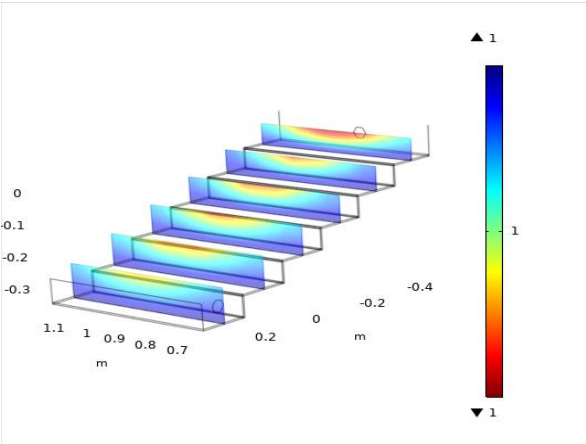
b) $t = 2$ h



c) $t = 6$ h



d) $t = 9$ h



e) $t = 12$ h

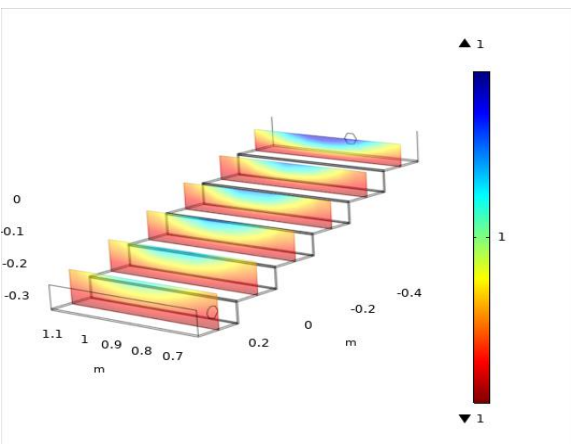


Figure 0-13 : Variation de l'humidité relative suivant l'axe des x

Chapitre IV : Résultats et discussions

En analysant les résultats obtenus, nous avons observé les variations de l'humidité relative de l'air au cours du temps. Ces variations peuvent être influencées par des facteurs tels que la température de l'air, le taux d'évaporation, la surface d'échange et les propriétés thermiques du système. En comprenant ces variations temporelles de l'humidité relative, nous sommes en mesure d'évaluer la performance du distillateur à cascade et de prendre des mesures pour optimiser son fonctionnement.

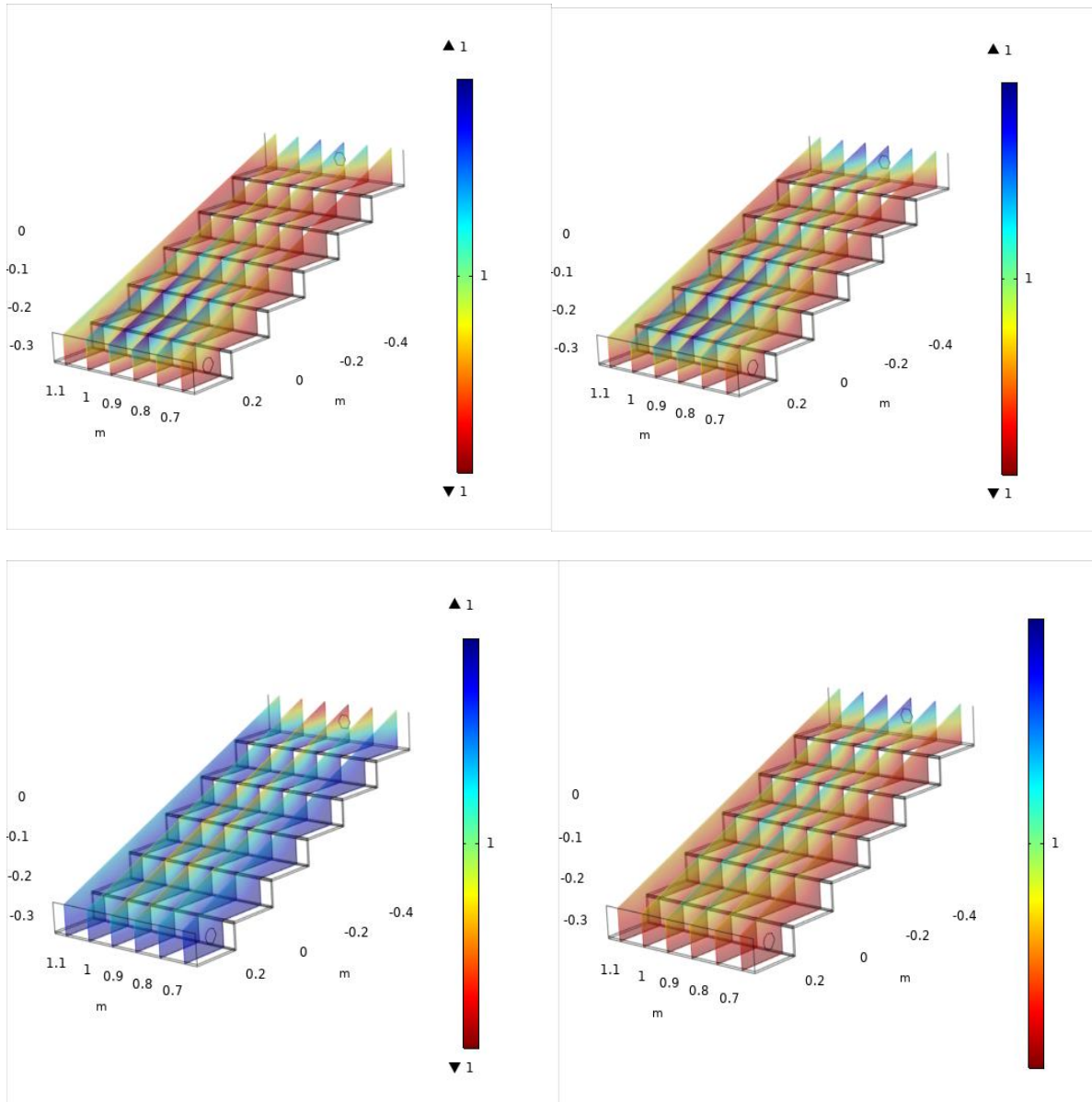


Figure 0-14 : la variation de l'humidité relative suivant l'axe des z

IV.6- Comparaison entre distillateur solaire simple et distillateur solaire à cascade :

La comparaison entre les deux types de distillateurs solaires, à savoir le distillateur solaire simple et le distillateur solaire à cascade, en termes d'évolution de la température de l'eau et de l'air (figure 0-15) pendant une période de 12 heures, révèle des différences significatives.

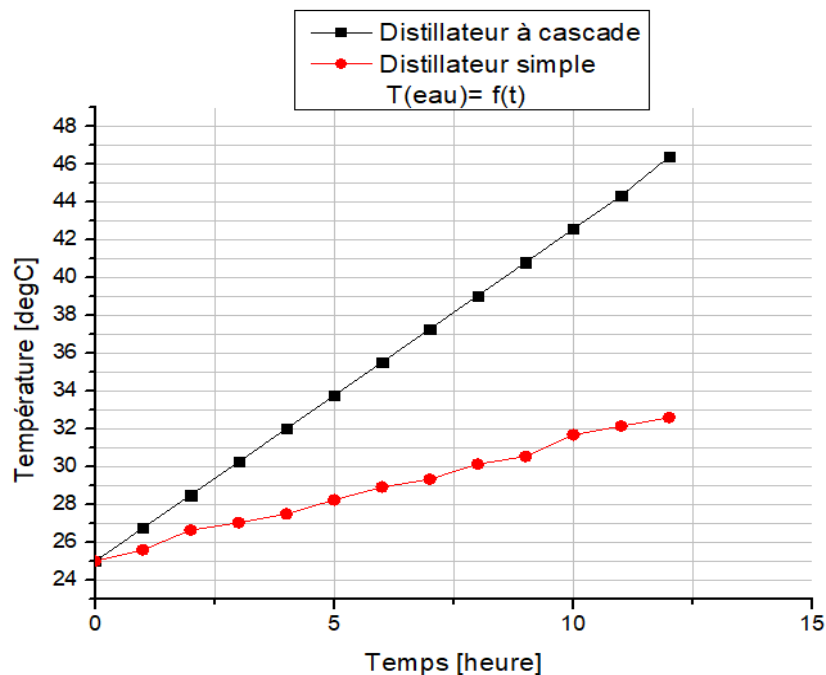


Figure 0-15 : L'évolution de La température de l'eau pour les distillateurs

Dans le cas du distillateur solaire simple, nous avons observé une élévation de température de l'eau de 7,5°C sur une plage de 25°C à 32,5°C. Cette augmentation de température est progressive et monotone, ce qui indique un processus de chauffage continu à l'intérieur du distillateur. La courbe de température présente une tendance croissante constante sans fluctuations importantes.

En revanche, pour le distillateur solaire à cascade, nous avons constaté une plage de variation de température plus importante. La température de l'eau varie de 25°C à 46°C sur une période de 12 heures. Cette augmentation de température est plus significative par rapport au distillateur solaire simple. La courbe de température présente une tendance croissante plus prononcée, avec une augmentation plus rapide de la température de l'eau.

Ces différences dans l'évolution de la température de l'eau entre les deux types de distillateurs peuvent s'expliquer par les différences de conception et de fonctionnement. Le distillateur solaire à cascade présente une configuration en cascades qui permet une plus grande absorption de chaleur et une augmentation plus rapide de la température de l'eau. En revanche, le distillateur solaire simple peut avoir une évolution de température plus lente en raison de sa conception plus simple et moins efficace sur le plan thermique.

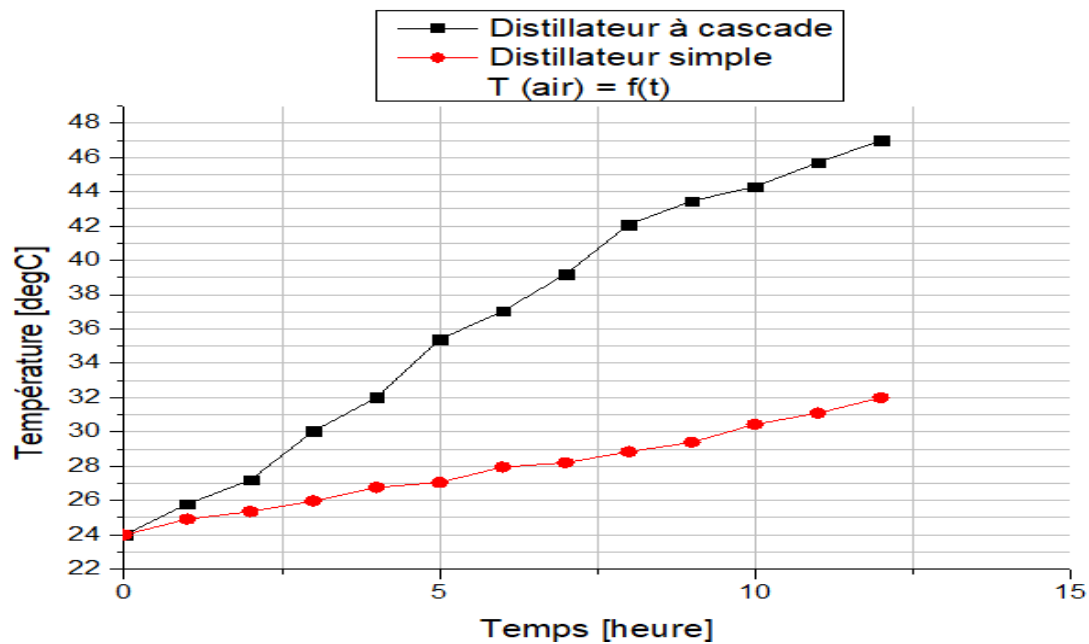


Figure 0-16 : L'évolution de la température de l'air pour les deux distillateurs

La figure 0-16 illustre l'évolution de la température de l'air en fonction du temps pour les deux configurations du distillateur. Dans le cas du distillateur solaire simple, l'air à l'intérieur du distillateur présente une distribution de température allant de 24°C à 32°C pendant une durée de 12 heures. Cette distribution de température est généralement uniforme. En revanche, pour le distillateur solaire à cascade, la distribution de la température de l'air peut être plus étendue. La température de l'air varie de 24°C à 46°C pendant une durée de 12 heures. On observe également une distribution de température uniforme, avec des variations plus importantes à mesure que la température augmente. Comme pour le distillateur solaire simple, la température maximale est généralement atteinte au niveau du vitrage et à la base du distillateur en raison de l'exposition directe à la radiation solaire.

Ces différences dans la distribution de la température de l'air entre les deux types de distillateurs peuvent être attribuées aux différences de conception et de configuration. Le

distillateur solaire à cascade, en raison de sa conception en cascades, permet une plus grande absorption de chaleur et une augmentation plus rapide de la température de l'air. Cela conduit à une distribution de température plus étendue par rapport au distillateur solaire simple.

Conclusion générale :

Conclusion générale

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'arrêté 1275 qui régit l'élaboration d'un projet de fin d'étude sous forme d'un brevet d'invention. L'objectif est de proposer une solution novatrice et pratique dans le domaine des distillateurs solaires. En développant et en optimisant un distillateur solaire à cascade, nous avons cherché à améliorer l'efficacité de la production d'eau distillée en exploitant les principes de transfert de chaleur et de changement de phase.

L'approche adoptée dans ce travail se distingue par sa focalisation sur la conception numérique du distillateur à l'aide du logiciel SolidWorks et la simulation des phénomènes thermofluidiques à l'intérieur du distillateur grâce au logiciel COMSOL Multiphysics. Cette méthodologie combinée nous a permis d'analyser en détail les performances du distillateur, d'interpréter les résultats obtenus et de comparer les performances du distillateur solaire simple et à cascade.

Dans le distillateur solaire simple, nous avons observé une élévation de la température de l'eau allant de 25°C à 32.5°C pendant les 12 heures de simulation. Cette augmentation de température est cohérente avec le processus de chauffage de l'eau par l'énergie solaire absorbée par le matériau du distillateur.

Quant au distillateur solaire à cascade, nous avons constaté une augmentation plus importante de la température de l'eau, passant de 25°C à 46°C sur la même période. Cette augmentation accrue peut être attribuée à l'effet de cascade, qui améliore l'absorption de chaleur et favorise une augmentation plus rapide de la température de l'eau.

De plus, nous avons analysé l'évolution de l'humidité relative de l'air à l'intérieur des distillateurs. Les résultats ont montré des variations significatives de l'humidité relative selon les axes x et z, mettant en évidence l'influence du changement de phase évaporation-condensation.

En comparant les deux types de distillateurs solaires, nous avons constaté que le distillateur solaire à cascade présente une élévation de température de l'eau plus importante que le distillateur solaire simple. Cela souligne l'efficacité supérieure du distillateur solaire à cascade en termes de production d'eau distillée.

Cependant, il convient de noter que d'autres facteurs, tels que les coûts de construction, la disponibilité des matériaux et les conditions environnementales, doivent être pris en compte lors du choix du type de distillateur solaire.

Conclusion générale

Cette étude a permis d'approfondir notre compréhension des distillateurs solaires, en particulier des distillateurs solaires simples et à cascade. Cette étude est une approche numérique représentant une base de données pour une conception, et une réalisation des distillateurs solaires, contribuant ainsi au développement de technologies durables de production d'eau potable.

Perspective :

Perspective :

- Afin de mieux saisir la nature idéale de la géométrie CFD et de réduire l'impact des problèmes réels tels que les variations de température à l'entrée et les pertes de chaleur dans l'environnement qui affectent la précision des résultats, la géométrie du distillateur en cascade peut être améliorée.
- Le modèle CFD peut être amélioré en apportant des améliorations spécifiques au maillage, en ajustant la configuration en augmentant la durée de simulation.
- On a proposé comme une solution d'ajouter les miroirs au distillateur, on sait que la couverture verrière absorbe le rayonnement solaire, certaine partie de ce rayonnement va être refléter vers l'environnement. Ici c'est le rôle des miroirs pour gagner le maximum de rayonnement incident. La figure suivante explique ce phénomène :

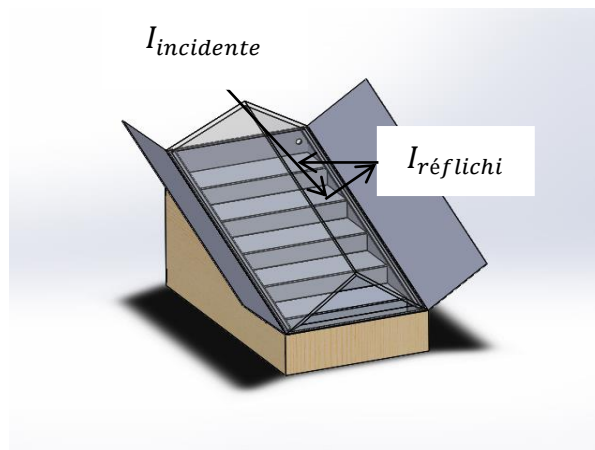


Figure 1 : explication de l'effet de miroir

- La deuxième optimisation est de mettre une couverture verrière simple, avec une petite hauteur entre les escaliers et la couche verrier. Le modèle existe mais avec une grande hauteur entre les deux. L'optimisation a présenté dans la figure suivante :

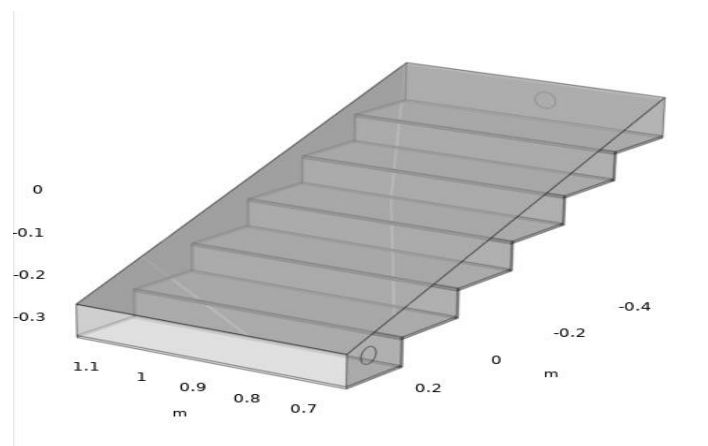


Figure 2 : Distillateur solaire à cascade avec simple vitrage

Références bibliographiques

Référence bibliographique

[1] : Océane Bidault « Comment protéger nos ressources en eau ? » article de WaterLogic 23/05/2017.

[2] : « L'innovation une problématique de la gestion de l'eau en Algérie Innovation a problem of water management in Algeria » ElWahat pour les Recherches et les Etudes Vol.13 (N°1)/ (2020) :1264-1285

[3] : « Economies d'eau: une nouvelle stratégie face à une situation "préoccupante" » Article d'un journal d'Algérie presse service, mercredi, 28 avril 2021.

[4] : Eau - Définition et Explications. (n.d.). Techno-Science.net. <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Eau.html>

[5] : « qu'est-ce que l'eau? » Culligan. (2018, January 9). <https://www.culligan.fr/conseils/qu-est-ce-que-l-eau/>

[6] : L'eau dans l'Univers | Centre d'information sur l'eau. (2021, Octobre 25). Centre D'information Sur L'eau | Le Centre D'information Sur L'eau Constitue Un Lieu D'échanges Et D'information Désormais Reconnu Par Le Grand Public. <https://www.cieau.com/connaitre-leau/connaitre-leau/leau-dans-lunivers/>

[7]: Peter H. Gleick ET Meena Palaniappan, Peak water limits to freshwater withdrawal and use, *Proceedings of the National Academy of Science* (2010) **107** 11155–11162. (Doi: 10.1073/pnas.1004812107). <https://planeteviable.org/repartition-eau-sur-terre/>

[8] : En, É. L. ; F. G. (n.d.). Littré - eau - définition, citations, étymologie. <https://www.littre.org/definition/eau>

HISTORIQUE : Ajoutez : VIIe ou VIIIe s. *Lapis tunc in aevis [in aquas] fluvio [fluvii] ruit*, Boucherie, *Revue des langues romanes*, t. V, p. 114. La forme aevis montre dans le bas-latin le passage à la forme de la langue d'oïl eve.

[9]: Government of Switzerland « Lignes directrices sur l'eau 2022-2025 », article publié en 26 mars 2022.

[10] : AREZKI SAID « En Algérie : l'eau, c'est comme le pétrole, il faut l'utiliser à bon escient » journal de jeune Afrique, 13 janvier 2023.

Référence bibliographique

[11] : BOUDJEMA Guetmi « Annaba, Ressources en eau : La population rassurée », journal ELMOUDJAHID régions 30-12-2022.

[12]: AMIT KUMAR « CFD Modelling and Validation of a single slope Solar Still», theme de master de technologie de malaviya national institute of technology, Jaipur 2015

[13]: SAADI Zin« étude et réalisation d'un distillateur solaire à ruissellement », thèse de doctorat université LARBI Ben M'hidi Oum El Bouaghi 2020.

[14] : ZAKAN Missoum « étude expérimentale d'un distillateur solaire à cascade », thème de master université Saad Dahlab de Blida 2021.

[15] :TABET Ismail « étude expérimentale solaire à cascade », thème de magister université de mentouri Constantine 2010.

[16] : AMEUR Abdelhak AIT ALLAOUA Rachid « étude et réalisation d'un distillateur solaire » thème de master université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou 2016.

[17] : SMAIL Mustapha « amélioration de la production d'un distillateur hot box avec un système préchauffage (capteur-échangeur) » thème master université Saad Dahlab de Blida 2020.

[18] : Caroline DUSANTER « Energie solaire : définition et différents types d'exploitation » article de opera energie 16 février 2023.

[19] :Oriol Planas Ingénieur Technique Industriel, spécialité mécanique « Qu'est-ce que le rayonnement solaire ? Définition, types et caractéristiques » article de énergie solaire 13 mai 2015.

[20] : MESSAOUDENE Souad « étude et réalisation d'un distillateur solaire avec stockage d'énergie » thème de master 2 professionnelle université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou 2018.

[21] :Michel Llibre « Coordonnées célestes » Club d'astronomie de Quint-Fonsegrives 2016.

[22] :BTS AMCR « Présentation du logiciel SOLIDWORKS » Lycée Bel Air 2019.

[23] :H. Khaldoune, « Modélisation numérique de comportement thermophysique de composite de mortier à base des fibres de palmier dattier », Mémoire de master, Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2017.

Annex

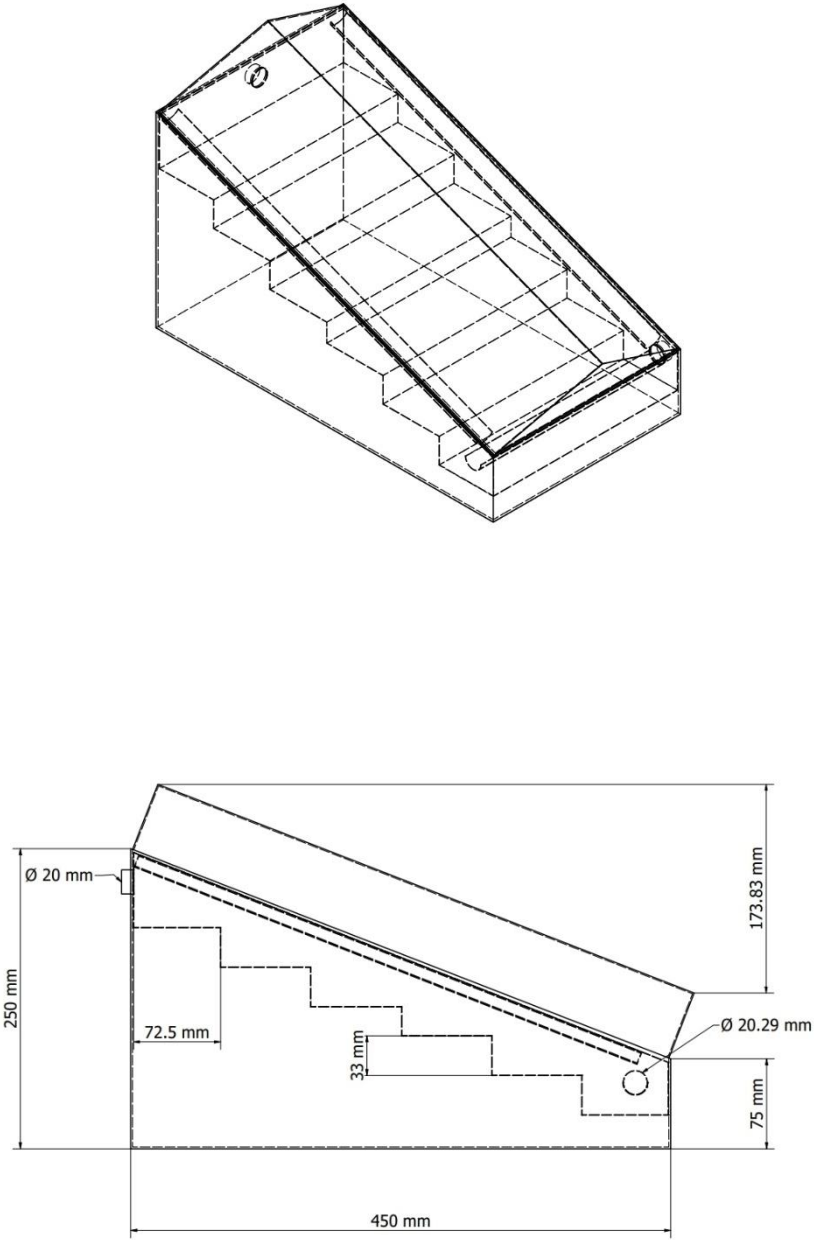


Figure1 : Vue sur plan d'ensemble du distillateur solaire à cascade.

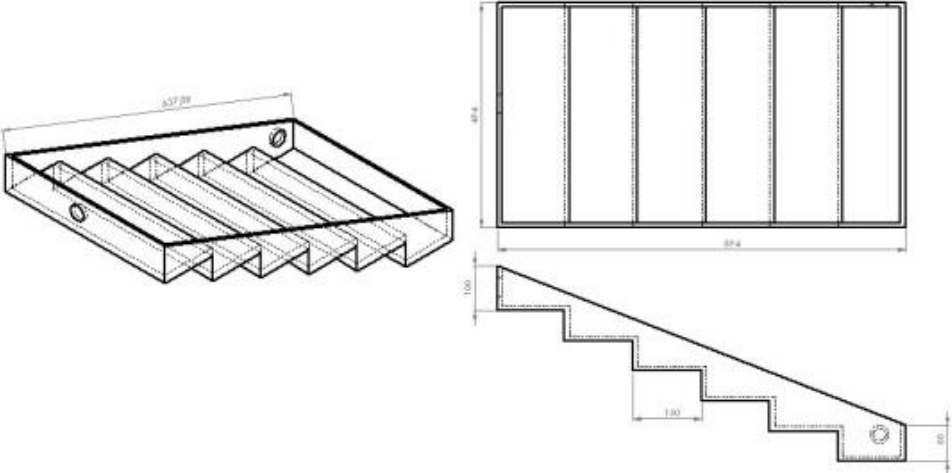


Figure 2 : Un bac absorbant.

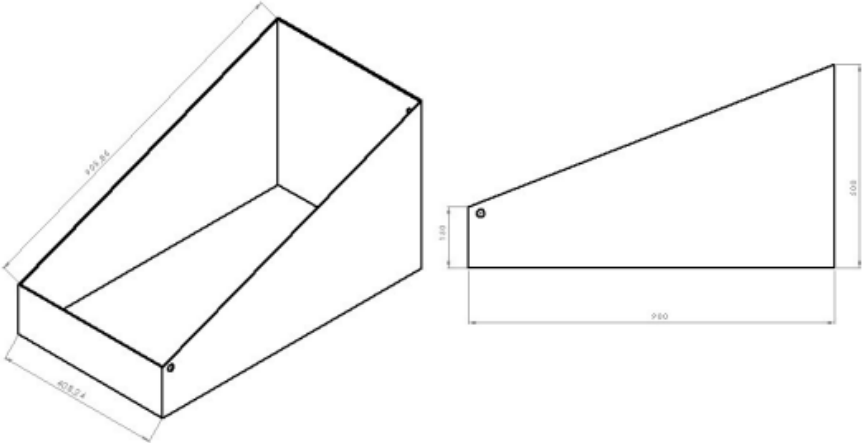


Figure 3 : Bac couvrant.

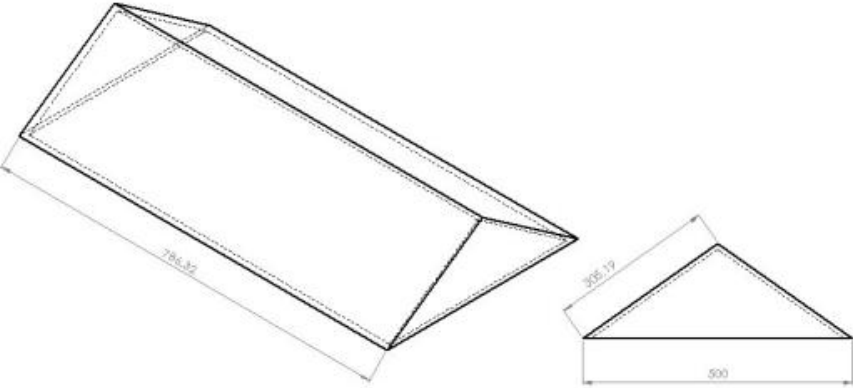


Figure 4 : Couverture verrière.

