



Université Mohamed khider –Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie civil et d'Hydraulique

# MÉMOIRE DE MASTER

Sciences et Technologies  
Filière : **Hydraulique**  
Spécialité : **Hydraulique urbaine**

Réf :.....

---

Présenté et soutenu par :  
**GUEDDOUH Kaouther**  
13 Juin 2024

## **Possibilité de la production de l'eau dans la région de Biskra par la condensation passive de l'humidité atmosphérique**

---

**Jury :**

<b>Mr Abdesmed fouzi</b>	MAA	Université de Biskra	Président
<b>Mme Charhabil Sonia</b>	MCA	Université de Biskra	Examineur
<b>Mme Zouita Nadjoua</b>	MCB	Université de Biskra	Rapporteur
<b>Mr Bensalem Dhirar (Doctorant)</b>		Université de Biskra	Co-Encadreurs

Année universitaire : 2023/2024

## Dédicaces

*Longue à dieu tout puissant, qui m'a permis de voir ce jour tant attendu  
Après 5 années d'études à la faculté de L'UNIVERSITE MOHAMED KHIDER  
DE BISKRA DEPARTEMENT DE GENIE CIVILE ET HYDRAULIQUE  
Je vous présente mon mémoire de Master qui ne reflète qu'une partie, parmi  
d'autres, de ce que j'ai étudié, dans le domaine de l'hydraulique urbaine.*

*Je dédie ce mémoire à :*

*Mes très chers grands parents, que dieu ait pitié d'eux*

*Mes chères parents, aucune dédicace ne saurait exprimer mon  
respect, mon amour éternel et ma considération pour les sacrifices que  
vous avez consenti pour moi.*

*Je n'oublie jamais les sacrifices que vous avez consenti pour mon  
instruction et mon bien être. Aucune dédicace ne saurait être assez  
éloquente pour exprimer ce que vous méritez.*

*Mes adorables frères Ahmed et Yassin et Mes chères  
sœurs, Halima, Aya, Mima et Asma, a ceux qui me souhaitent un avenir plein de  
joie, de réussite et de bonheur  
Sans oublier ma nièces adorée Mays*

*Mes chers oncles, mes tantes et mes cousines d'amour Besma, Zineb, Wyssal...  
sans exception*

*Mes belles amies, pour leur présence et leurs encouragements*

*Mes professeurs, pour leur enseignement précieux et leurs conseils avisés, ce  
travail est le fruit de vos efforts combinés*

*Une Dédicace spéciale à ma chère enseignante **Dr : Zouita Nadjoua***

*A toute personnes qui m'aidé de près ou de loin*

# **Remerciement**

*Tout d'abord, je commence par remercier mon Dieu qui m'a doté de la volonté, du courage et la chance de l'étude et les moyens afin de pouvoir accomplir ce travail et surtout de la patience ; et qui m'a aidé à faire face à toutes les difficultés rencontrées lors de son élaboration.*

*Au terme de ce travail, je voudrais tout d'abord adresser ma profonde gratitude et remerciement à Madame ZOUITA Nadjoua, Docteur à l'université de Biskra, ma directrice de thèse, je suis tellement reconnaissant par votre suivi, Mes sincères remerciements pour votre énorme soutien et confiance dont j'ai bénéficié pour mener ces travaux de recherche.*

*Un grand remerciement à Monsieur GUERBAAI Saleh, Professeur du département de la mécanique ; à l'université de Biskra, pour son aide précieuse, sa disponibilité, sa patience et surtout pour le temps qu'il m'a consacré malgré ses lourdes charges.*

*Je remercie le Co-encadrant monsieur BENSALAM Dhirar, Doctorant à l'université de Biskra pour son soutien et conseils.*

*Un remerciement à Mr Amine Ingénieur de labo département hydraulique de l'université de Biskra*

*Je remercie l'ensemble des enseignements qu'ils nous ont apportés tout au long des années d'études, les professeurs du département d'Hydraulique de l'Université Mohamed Khider de Biskra. Spécialement à Madame Youcef Leila, Monsieur Bedjaoui Ali, Labadi Sedik, et Monsieur Guettela.*

## **Aussi les membres du jury :**

- Monsieur **Abdesmad Fouzi** (maitre-assistant A), d'avoir présider le jury*
- Docteur **Charhabil Sonia** (Maitre de conférences A), d'avoir examiné mon travail*

*Merci ;pour leur rôle dans l'évaluation et la promotion de cette étude*

*Je remercie également tout le personnel du l'ANRH de Biskra.*

*Je remercie l'ensemble des collègues de notre promotion. et Je tiens à souligner les moments passés avec mes amis à l'université de Biskra, Selsabil, Safia, Chaima, Meriem, Darine, Rabab et amek. Qui ont parcouru avec moi un bout ou entièrement*

*le chemin de la thèse. Et je souhaite avec beaucoup de courage aux prochains thésards qui suivent.*

*Mes sincères remerciements vont à ma copine d'enfance ma sœur et ma meilleure, Okbi Marame. Merci infiniment pour tous.*

*Je suis reconnaissant envers tous les membres de ma famille mes frères et ma sœur qui m'ont soutenu tout au long de mes études.*

*Je tenais à adresser mes plus sincères remerciements à Mr Louam Bilel et Mr Louam Anis pour l'aide précieuse que vous m'avez apportée dans la rédaction de mon mémoire. Votre expertise, vos conseils avisés et votre disponibilité ont été essentiels à l'aboutissement de ce projet académique.*

*Et puisque'il est de tradition de garder la meilleure pour la fin, j'adresse une mention spéciale à ceux qui m'ont fait preuve de patiences et de sacrifices,*

*Ceux qui y ont vécus et subits mes moments de doute et mes moments de joies et sans qui, ce travail n'aurait pu aboutir, mes adorables parents AZEDDIN et SORIA, Une chose est sure, je n'aurais rien pu faire sans vous,*

*MERCI infiniment et que Dieu vous protège.*

*A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin dans la réalisation de ce travail, je dis merci*

## SOMMAIRE

Introduction Générale.....	1
<b>Chapitre I: Généralité sur le cycle de l'eau sur terre</b>	
I.1. Introduction.....	4
I.2. Le cycle de l'eau sur la terre .....	4
I.3. L'eau dans Tous ses états.....	4
I.3.1. Etat liquide.....	5
I.3.2. Etat solide.....	5
I.3.3. État de vapeur (état gazeux) .....	5
I.4. Composantes du cycle de l'eau sur la terre.....	6
1 - L'évaporation.....	6
2 - La transpiration.....	6
3 - La condensation.....	6
4 - Les précipitations.....	6
5 - Le ruissellement.....	6
6 - L'infiltration.....	7
7 - La circulation souterraine.....	7
I.5. La formation de la rosée.....	8
I.6. La rosée, source d'eau potable.....	10
I.6.1 Les condenseurs de rosée .....	10
I.7. La formation du brouillard.....	11
Conclusion.....	13
<b>Chapitre II: Les différents procédés de production de l'eau à partir de l'air</b>	
II.1. Introduction.....	15
II.2. La Production d'eau atmosphérique.....	16
II.3. Présentation des méthodes de la production de l'eau à partir l'humidité de l'air.....	16
II.3.1- Production d'eau avec des structures naturelles (Procédés 1) .....	17
II.3.2- Production d'eau avec brouillard (Procédés 2) .....	18
II.3.3- Production d'eau avec condensation souterraine (Procédés 3).....	23
II.3.4- Production d'eau avec un film polymère (Procédés 4).....	24
II.3.5- Production d'eau avec générateur d'eau à air atmosphérique (Procédé).....	27
A- Production d'eau par méthode de compression de vapeur.....	28
B- Production d'eau avec compression de l'air atmosphérique.....	29
C- Les Méthodes de condensation utilisant la génération de refroidissement thermoélectrique.....	31
Conclusion.....	34
<b>CHAPITRE III : Présentation de la zone d'étude</b>	
III.1. Introduction.....	39
III.2. Présentation géographique.....	39
III.3. Aperçu géologique.....	41

III.4. Aperçues hydrologique et hydrogéologique.....	43
III.5. Ressources en eau de la wilaya de Biskra.....	44
III.6. Etude climatologique.....	48
III.6.1. La Température.....	48
III.6.2. Précipitations.....	50
III.6.3. L'Humidité.....	51
III.6.4. Les vents.....	52
III.6.5. Synthèse climatique.....	53
III.1.7. Conclusion.....	55
<b>Chapitre IV: partie expérimentale</b>	
IV.1-Introduction:.....	60
IV.2. Méthodologie de travail.....	61
1- Prototype N°1.....	61
2- Prototype N°2.....	62
3- Prototype N°3.....	63
4- Prototype N°4.....	64
IV.3-Liste du Matériels.....	65
IV.4. Liste des produits.....	70
IV.5. Résultats et discussions.....	71
Conclusion.....	81
Conclusion générale.....	83

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure I.1.</b> Le cycle de l'eau sur la terre terre.....	07
<b>Figure I.2.</b> Formation de la rosée dans la nature.....	08
<b>Figure I.3.</b> Un exemple du calcul de point de rosée.....	09
<b>Figure I.4.</b> Résultat du calcul de point de rosée.....	09
<b>Figure I.5.</b> Diagramme de l'air humide. Par exemple, avec un air à 20° et d'humidité relative de 50%, la température de rosée est de 10°C.....	11
<b>Figure II.1.</b> Diverses technologies pour la production d'eau à partir de l'air humide.....	17
<b>Figure II.2.</b> Bouteille de banque de rosée pour la récolte d'eau à partir de l'air humide(Salehi et al., 2020), Schéma de l'absorption d'eau du renard du désert du Namib.....	18
<b>Figure II.3.</b> Capteurs de brouillard ; C'est au <b>Chili, à Chungongo</b> .....	19
<b>Figure II.4.</b> Des capteurs de brouillard de l'atlas au Maroc et Espagne.....	20
<b>Figure II.5.</b> Extrait du Guide Capteur de brouillard – Creating Water Foundation.....	20
<b>Figure II.6.</b> Le Warka Tower en Ethiopie .....	22
<b>Figure II.7.</b> Les filets de la toure Warka en Ethiopie .....	22
<b>Figure II.8.</b> Répartition de la collecte de rosée et du brouillard dans le monde .....	22
<b>Figure II.9.</b> Appareil WaterSeer pour la production d'eau à condensation .....	24
<b>Figure II.10.</b> Un exemple de forme différente que peut prendre le film captant l'eau.....	25
<b>Figure II.11.</b> Le processus de création du film capturant l'eau à partir de ses ingrédients.....	26
<b>Figure II.12.</b> Un prototype pour capter l'eau de l'air à l'aide du nouveau film polymère.....	26
<b>Figure II.13.</b> Générateur d'eau d'air atmosphérique avec méthode de compression de vapeur, A) processus de diagramme schématique, B) dispositifs commerciaux.....	27
<b>Figure II.14.</b> Appareil pratique comme le générateur d'eau d'air avec la méthode de compression de vapeur dans le travail de recherche de Salehi et des collègues.....	29
<b>Figure II.15.</b> Le générateur (Tunisien/ Français) de la production d'eau par l'humidité atmosphérique.....	30
<b>Figure II.16.</b> : La fontaine à eau atmosphérique HR-90HK.....	34





<b>Figure II.17.</b> Module thermoélectrique avec effet Peltier .....	31
<b>Figure II.18.</b> Refroidissement par le module à effet Peltier.....	33
<b>Figure II.19.</b> Schémas des générateurs utilisant les modules Peltier.....	33
<b>Figure III.1.</b> Carte de situation géographique de la wilaya de Biskra.....	40
<b>Figure III.2.</b> Limite administrative de la wilaya de Biskra.....	40
<b>Figure III.3.</b> Carte géologique de wilaya de Biskra.....	41
<b>Figure III.4.</b> Coupe géologique synthétique de la wilaya de Biskra.....	43
<b>Figure III.5.</b> Coupe hydrogéologique schématique montrant la succession des niveaux aquifères.....	43
<b>Figure III.6.</b> Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra et Oulad Djallal.....	45
<b>Figure III.7.</b> Carte de la situation géographique du bassin versant de chott Melghir .....	<b>46</b>
<b>Figure III.8.</b> Volume soutiré de la wilaya de Biskra Source.....	47
<b>Figure III.9.</b> Températures mensuelles moyennes, minimale et maximale la période (2010- 2022) .....	49
<b>Figure III.10.</b> Précipitation mensuelles moyennes de Biskra durant la période (2010-2022) .....	50
<b>Figure III.11.</b> Les précipitation annuelles (mm/ans) .....	51
<b>Figure III.12.</b> L'humidité (%) relative moyenne en pourcentage à Biskra durant la période (2010-2022).....	52
<b>Figure III.13.</b> Diagramme Ombrothermique de Gaussen de la région de Biskra Pour la période (2010.2022).....	53
<b>Figure III.14.</b> Climagramme d'Emberger de la région de Biskra (2010-2022) .....	54
<b>Figure III.15.</b> Le point de rosée dans la wilaya de Biskra.....	55
<b>Figure IV.1.</b> Prototype n°1.....	61
<b>Figure IV.2.</b> Prototype n°2.....	62



<b>Figure IV.3.</b> Prototype n° 3.....	63
<b>Figure IV.4.</b> Les différents dissipateurs thermiques utilisés sur le module Peltier.....	64
<b>Figure IV.5.</b> Prototype n° 4.....	64
<b>Figure IV.6 :</b> Pompe à eau DC 6-12V 6V-12V et Pompe à submersion 220 /240 Voltes.....	65
<b>Figure IV.7 :</b> Mini thermomètre et hygromètre LCD de température et humidité (réf : EE11).....	65
<b>Figure IV.8. :</b> Alimentations à découpage 220v AC 12V DC 15A.....	66
<b>Figure IV.9.</b> Module de refroidissement thermoélectrique à effet Peltier TEC1-12706 12V 6A .....	66
<b>Figure IV.10.</b> Bloc de refroidissement en aluminium 40mm.....	67
<b>Figure IV.11.</b> Ventilateur 12V 0,15A.....	67
<b>Figure IV.13.</b> Tube Cuivre 8mm en forme de ressort Tuyau d'aspiration pvc 8 mm.....	68
<b>Figure IV.14.</b> Une Seringue simple .....	68
<b>Figure IV.15.</b> Un bac .....	69
<b>Figure IV.16.</b> tube pvc enveloppé avec une feuille d'aluminium.....	69
<b>Figure IV.16.</b> Un dissipateur thermique .....	69
<b>Figure IV.17.</b> Seringue de pate thermique de 1g.....	70
<b>Figure IV.18.</b> Le liquide de refroidissement.....	70
<b>Figure IV.19.</b> Prototype 1 le 5 Mars 2024 et Prototype 1 avec modification 06 Mars 2024.	71
<b>Figure IV.20.</b> Résultats prototype 3 (20 et 26 Avril).....	74
<b>Figure IV.21.</b> Résultat du prototype 4 (26 Mars 2024) (20 Mai 2024) (3 Juin 2024).....	77
<b>Figure IV.22.</b> Graphe résultats du prototype 4 .....	<b>80</b>



## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau II.1.</b> Sémantique des membres .....	21
<b>Tableau III.1.</b> Unités géologiques et hydrogéologiques dans la région de Biskra (Hamdi et Zeghoud,2017).....	44
<b>Tableau III.2.</b> STEP en cours de réalisation. (Source DRE et ONA 2015) .....	48
<b>Tableau III.3.</b> STEP en Projet. (Source DRE et ONA 2015) .....	48
<b>Tableau III.4.</b> STEP en études. (Source DRE 2015) .....	48
<b>Tableau III.5.</b> Températures mensuelles moyennes, minimale et maximale à Biskra pour la période (2010-2022) (O.N. M, 2023) .....	49
<b>Tableau III.6.</b> Précipitations mensuelles moyennes à Biskra pour la période (2010-2022) (O. N. M, 2023) .....	50
<b>Tableau III.7.</b> L'humidité (%) relative moyenne en pourcentage à Biskra durant la période (2010-2022) (O. N. M, 2023) .....	51
<b>Tableau III.8.</b> Le point de rosée en fonction de la température et <i>l'humidité</i> en pourcentage à Biskra durant la période (2010-2022) .....	55
<b>Tableau IV.1.</b> Résultat des expériences du prototype n°1.....	72
<b>Tableau IV.2.</b> Résultats du prototype 2.....	73
<b>Tableau IV.3.</b> Résultats du prototype 3.....	75
<b>Tableau IV.4.</b> Résultats du prototype 4.....	78
<b>Tableau IV.5.</b> Tableau récapitulatif du prototype 4.....	79



## Résumé

La récupération de la vapeur d'eau atmosphérique pour les besoins humains qui n'ont pas encore été exploitée à grande échelle, pourrait donc devenir une réalité dans le futur. Bien que la quantité d'eau récupérée à l'heure actuelle reste marginale, l'intérêt de cette méthode réside dans la possibilité d'obtenir de l'eau même dans les régions sèches, y compris les déserts.

Peut-être trouvera-t-on un jour un procédé optimal de condensation pour que notre eau devienne bon marché et écologique.

L'objectif de ce travail était d'abord d'améliorer les connaissances sur les techniques déployées pour la collecte des eaux atmosphériques (rosée et brouillard) comme ressources alternatives ou complémentaires aux problèmes de carence en eau dans les régions semi-aride et aride.

Les principaux résultats de ce travail sont :

Les zones géographiques pauvres en pluviométrie sont les plus intéressées par les différents procédés utilisés pour produire de l'eau à partir de l'eau atmosphérique sous forme gazeuse

Un aperçu de ces différents procédés, comme la méthode de récolte d'eau à partir de l'air ambiant utilisant un condensateur, les collecteurs d'eau atmosphérique passifs exploitant les écarts de températures, et les générateurs actifs d'extraction de vapeur d'eau par condensation. Chaque procédé a des avantages et inconvénients, et nécessite des conditions climatologiques topographiques et géographiques spécifiques

Enfin, la région de Biskra, caractérisée par un climat chaud et aride, les procédés les plus adaptés seraient la production d'eau avec un film polymère et les générateurs d'eau à air atmosphérique, qui peuvent fonctionner avec des niveaux d'humidité relativement faibles.





## ملخص

إن استعادة بخار الماء من الغلاف الجوي لتلبية الاحتياجات البشرية، والذي لم يتم استغلاله بعد على نطاق واسع، يمكن أن يصبح حقيقة واقعة في المستقبل.

وعلى الرغم من أن كمية المياه المستردة في الوقت الحاضر لا تزال هامشية، إلا أن فائدة هذه الطريقة تكمن في إمكانية الحصول على المياه حتى في المناطق الجافة، بما في ذلك الصحاري. في يوم واحد سنجد عملية تكثيف مثالية حتى تصبح مياهنا رخيصة وصديقة للبيئة.

كان الهدف من هذا العمل في المقام الأول هو تحسين المعرفة بالتقنيات المستخدمة لجمع مياه الغلاف الجوي كمورد بديلة أو مكملة لمشاكل نقص المياه في المناطق شبه القاحلة والقاحلة.

النتائج الرئيسية لهذا العمل هي:

إهتمام المناطق الجغرافية قليلة الأمطار بالعمليات المختلفة المستخدمة لإنتاج الماء من الماء الجوي في صورة غازية.

نظرة عامة على هذه العمليات المختلفة، مثل طريقة جمع المياه من الهواء المحيط باستخدام مكثف، ومجمعات المياه الجوية السلبية التي تستغل الاختلافات في درجات الحرارة، ومولدات استخراج بخار الماء النشطة عن طريق التكثيف، وتتطلب ظروفًا مناخية طوبوغرافية وجغرافية محددة.

وأخيراً، وحسب ما تم التوصل إليه من خلال دراسة الوسط الطبيعي لبسكرة وباعتبارها منطقة ذات مناخ دافئ وجاف، فإن العمليات الأكثر ملاءمة هي إنتاج الماء بطبقة بوليمر ومولدات ماء هوائية جوية، والتي يمكن أن تعمل بمستويات رطوبة منخفضة نسبياً.



## **Summary**

Recovery of atmospheric water vapour for human needs, which has not yet been exploited on a large scale, could therefore become a reality in the future.

Although the amount of water recovered at present remains marginal, the benefit of this method lies in the possibility of obtaining water even in dry areas, including deserts. Per one day we will find an optimal condensation process so that our water becomes cheap and environmentally friendly.

The objective of this work was first of all to improve knowledge on techniques deployed for the collection of atmospheric waters (rose and fog) as alternative or complementary resources to the problems of water shortage in semi-arid and arid regions.

The main results of this work are:

Rain-poor geographical areas are most interested in the different processes used to produce water from atmospheric water in gas form

An overview of these different processes, such as the method of collecting water from ambient air using a capacitor, passive atmospheric water collectors exploiting temperature differences, and active water vapour extraction generators by condensation. Each process has its advantages and disadvantages, and requires specific topographic and geographical climatological conditions

Finally, the Biskra region, characterized by a warm and arid climate, the most suitable processes would be the production of water with a polymer film and atmospheric air water generators, which can operate with relatively low humidity levels.



# **Introduction générale**

### Introduction générale

L'eau a joué un rôle crucial dans les origines de la vie. Le système solaire, s'est formée il y a environ 4,6 milliards d'années à partir d'un nuage de gaz et de poussières. Au départ, la Terre était une masse extrêmement chaude, principalement liquide, dont la surface s'est progressivement refroidie pour former une croûte parsemée de volcans, d'où la vapeur d'eau s'échappait en grandes quantités. L'eau liquide, qui n'aurait pas pu exister initialement en raison de la chaleur intense, est apparue lorsque la température a suffisamment baissé pour permettre la condensation de la vapeur d'eau. Elle est ensuite retombée sous forme de déluge, couvrant la planète d'océans où se sont accumulés les sédiments charriés par les flots. Ce processus s'est déroulé sur plusieurs centaines de millions d'années. Autour de cette Terre inondée, l'atmosphère primitive persistait, principalement composée de gaz, dont de la vapeur d'eau (Lekouch,2010).

La pénurie d'eau, la sécheresse et la désertification ont un impact important sur les écosystèmes des zones arides et semi-arides. La sécheresse affecte les précipitations, le sol, les cultures et les réserves d'eau souterraines. Ces problèmes naturels sont aggravés par la croissance démographique rapide, l'industrialisation, l'urbanisation, l'intensification agricole et les modes de vie gourmands en eau, entraînant une crise mondiale et des conflits liés à l'eau.

Selon ONU ; approximativement 2,6 milliards de personnes dans le monde, soit 40% de la population mondiale, n'ont pas accès à l'eau potable et à des installations sanitaires de base. Parmi elles, 1,5 milliard de personnes n'ont pas accès à une source d'eau potable durable. L'amélioration d'accès à l'eau potable, à l'assainissement et à l'hygiène pourrait sauver environ 1,6 million de vies chaque année, principalement celles des enfants. Au cours du 20ème siècle, alors que la population mondiale a triplé, la consommation d'eau a été multipliée par six.

Les problèmes liés à l'eau sont présents dans les régions arides où les précipitations sont rares, dans les zones avec peu de ressources souterraines et dans les régions disposant de peu de cours d'eau utilisables pour la consommation humaine et l'irrigation. Cependant, des solutions adaptées à chaque région en situation de pénurie existent. Il est possible de collecter l'eau de Rosée, d'utiliser l'eau provenant du brouillard, de recycler les eaux usées et de récupérer les eaux de pluie. Ces techniques sont variées et en constante expansion.

### **Problématique et question de recherche :**

La production d'eau par condensation passive ou active, de l'humidité atmosphérique est une méthode de collecte d'eau potable qui utilise la rosée et l'humidité de l'air pour produire de l'eau. Cette méthode est particulièrement utile dans les zones arides où l'eau est rare.

La ville de Biskra se caractérise par un climat chaud et aride, les pluies restent rares et mal réparties au courant de l'année. (Ben Ameer, 2016 in Bengouga, 2019). Un été très chaud, et un hiver froid avec une présence fréquente de vents de sable.

Selon le rapport du schéma directeur des ressources en eaux de la wilaya de Biskra (A.N.A.T. 2003), il y a 03 types de nappes aquifères sollicitées dans la ville de Biskra

Dans cette ville à vocation agricole les ressources hydriques deviennent insuffisantes ; il faut donc chercher à substituer ce déficit par d'autres ressources d'eau non conventionnelle ; comme la réutilisation des eaux usées, et **la production de l'eau à partir de l'humidité de l'air ; que nous allons développer dans cette recherche en se basant sur des expériences d'autres pays.**

Dans ce contexte, notre étude s'inscrit dans la problématique suivante : *Possibilité de la production d'eau dans la région de Biskra par condensation, de l'humidité atmosphérique.*

La recherche rapportée dans la présente thèse se présente en quatre (04) chapitres.

*Dans le premier chapitre*, Les composantes du cycle de l'eau sur la terre et la récupération des eaux de brouillard et les eaux de rosés

*Le second chapitre*, une présentation de tous les procédés qui ont comme principe la production de l'eau à partir de l'humidité de l'air par voies passif ou actif.

*Le troisième chapitre* une brève présentation de la wilaya de Biskra. Les Ressources en eau de la wilaya, une Présentation géographique, Etude climatologique, Aperçue géologique, hydrologique et hydrogéologique

Le dernier chapitre, comporte la partie expérimentale qui s'étale de 5 Mars 2024 jusqu'au 3 Juin 2024 où nous avons expérimenté 4 prototypes qui appartiennent au procédé n°5.

# **Chapitre I**

## **Généralité sur le cycle de l'eau sur terre**



## I.1 Introduction

La même eau circule constamment entre la terre et le ciel depuis des milliards d'années. L'eau, dont l'apparition remonte de 3 à 4 milliards d'années, est à peu près aussi ancienne que la Terre.

Depuis, son volume a maintenu une stabilité générale ; il s'agit de l'eau qui circule et se modifie constamment dans l'atmosphère, à la surface et dans le sous-sol de notre planète

L'eau douce est de plus en plus rare à l'échelle mondiale, ce qui représente une menace majeure pour l'humanité, afin d'y remédier, il est essentiel d'adopter de nouvelles technologies durables.(Salehi et al., 2020)

Des technologies émergentes permettent d'extraire directement de l'eau à partir de l'humidité présente dans l'air ambiant, en s'inspirant du cycle naturel de l'eau

## I.2.Le cycle de l'eau sur la terre :

Quelle que soit la nature d'un système, il y a de l'énergie qui peut fluctuer à la suite d'échanges entre deux systèmes ou entre un système et l'extérieur. On distingue deux types d'échanges d'énergie : la chaleur et le travail.

L'énergie solaire évapore de l'eau dans le système océan-atmosphère, et la vapeur d'eau ainsi créée accumule de l'énergie potentielle en s'élevant dans l'atmosphère. Lorsque cette vapeur est présente dans l'atmosphère, elle va libérer de la chaleur par condensation et libérer de l'énergie potentielle lors des précipitations. Une fois que nous aurons identifié les principaux réservoirs d'eau sur terre, nous serons en mesure de déterminer les modalités de transfert qui les distinguent. (Lekouch,2010).

On estime le volume d'eau sur terre, à environ 1 400 millions de km<sup>3</sup>, 97 % étant constitué par l'eau salée des océans et des mers. L'eau douce, quant à elle, est en grande partie emprisonnée sous forme de glace dans les calottes glaciaires et les glaciers. On la trouve également dans les lacs, les cours d'eau et les nappes phréatiques. Enfin, l'eau est présente en très faible quantité, sous forme de vapeur d'eau, dans l'atmosphère et la biosphère.

Donc l'eau se trouve dans quatre réservoirs de taille variable ; le premier (gigantesque) regroupe les eaux océaniques, le second, plus de trente fois moins grand, représente les eaux continentales et les deux derniers (infimes) sont dédiés à l'alimentation atmosphérique.(Lekouch, 2010)

### I.3. L'eau dans tous ses états :

L'eau peut se présenter sous trois états physiques :

- L'état **liquide** (dans les rivières, l'eau de pluie, l'eau du robinet, etc.) ;
- L'état **solide** (dans la glace de la banquise, dans la neige, etc.) ;
- L'état **gazeux** (dans la vapeur d'eau de l'atmosphère).
- Le passage d'un état physique à un autre s'appelle un **changement d'état**.

#### I.3.1. Etat liquide :

C'est la forme de l'eau la plus répandue sur terre, notamment dans les mers et océans (eau salée). Seul 1/4 de l'eau douce est liquide, essentiellement dans des eaux souterraines plus ou moins profondes et dans les eaux de surface, c'est-à-dire les lacs, fleuves et rivières. On la trouve sous les formes suivantes. (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'Energie)

**La pluie** : Il s'agit de gouttelettes d'eau provenant des nuages.

#### I.3.2. Etat solide

Les 3/4 de l'eau douce sont stockés sous forme de glaciers ou sous forme de neige, et très difficilement accessibles à l'homme. Les calottes glaciaires des pôles Nord et Sud sont les plus grands réservoirs d'eau douce de la planète. Les glaciers représentent une masse si importante que s'ils fondaient, le niveau des mers remonterait de près de 200 mètres. L'eau à l'état solide se trouve dans :

**A- La neige** : Elle est constituée de minuscules cristaux de glace en forme d'étoile qui, en s'agglomérant, forment les flocons.

**B- Le givre** : Il se forme par gel du brouillard.

**C- La glace** : Elle résulte du gel de l'eau tombée au sol ou en rivière.

Les glaciers sont dus au tassement, sous son propre poids, de la neige accumulée en haute montagne. (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'Energie)

#### I.3.3. État de vapeur (état gazeux)

La vapeur d'eau présente dans l'atmosphère : il s'agit d'un gaz qui devient visible sous l'effet de la condensation.

##### A- Les nuages :

Ils sont formés par accumulation, dans les hauteurs de l'atmosphère, de minuscules gouttelettes d'eau. Les nuages les plus élevés sont constitués de cristaux de glace.

### **B- Le brouillard :**

Il est constitué de minuscules gouttelettes d'eau en suspension dans l'air. Quand le brouillard est peu développé ou limité aux points les plus bas du relief, on parle de brume

### **I.4. Composantes du cycle de l'eau sur la terre :**

Le cycle hydrologique, également connu sous le nom de cycle de l'eau, décrit le mouvement continu et cyclique de l'eau sur, dans et au-dessus de la surface de la Terre. Ce processus comprend plusieurs étapes interconnectées :

#### **1 - L'évaporation**

L'évaporation est la transformation de l'eau ; de l'état liquide à l'état gazeux. Ce phénomène, qui se produit essentiellement dans les océans, a lieu grâce à la chaleur du soleil et aux gaz présents dans l'atmosphère. Le vent favorise également la dispersion de la vapeur d'eau. De même, la multiplication des cours d'eau contribue à l'évaporation de l'eau.

#### **2 - La transpiration**

Tout comme la transpiration s'évacue du corps d'humain et des animaux, l'eau qui circule dans les végétaux passe de l'état gazeux au stade d'évaporation. On parle alors, dans le cas des végétaux, d'évapotranspiration. En effet, les racines des plantes pompent l'eau de la terre avant de la relâcher en partie dans l'atmosphère. (Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'Énergie)

#### **3 - La condensation**

L'étape de condensation est celle durant lequel la vapeur d'eau (eau gazeuse) se condense pour former les nuages. Mais, la condensation n'a pas lieu que dans le ciel. Au sol aussi. Aux beaux jours, la rosée (petites gouttelettes) et en hiver, le givre, présents sur nos plantes sont le résultat d'une condensation. L'expérience se produit également dans la salle de bain, après une bonne douche chaude, quand notre miroir est tout embué. C'est le refroidissement de la vapeur d'eau sur le miroir qui produit cet effet de condensation.

#### **4 - Les précipitations**

La condensation laisse ensuite place aux précipitations que l'on utilise le plus souvent pour désigner la pluie. Elles ont lieu quand les gouttelettes d'eau présentes dans les nuages deviennent trop pesantes. Elles s'en écoulent alors sous formes de gouttes, de neige ou de grêle, en fonction de la météo.

#### **5 - Le ruissellement**

Étape suivante du cycle de l'eau : le ruissellement. Lors de précipitations, l'eau qui s'écoule des nuages tombe en grande partie sur les océans et les mers. Le cycle de l'eau s'arrête

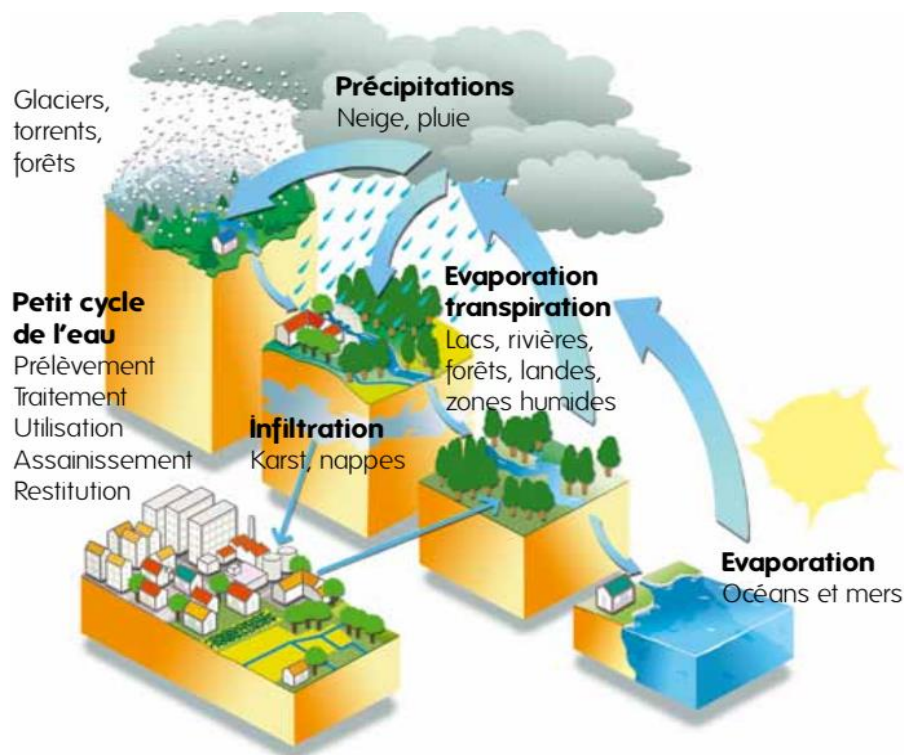
alors ici. Concernant l'eau qui tombe sur terre, elle est absorbée par les plantes ou ruisselle dans les roches. Ensuite, elle finit par rejoindre un cours d'eau - ruisseau, rivière, lac, fleuve - puis la mer ou l'océan... et le cycle de l'eau redémarre.

### 6 - L'infiltration

L'eau précipitée sur les continents est en partie évaporée localement (recyclage des précipitations), en partie drainée vers les océans par le ruissellement de surface et les nappes d'eau souterraines. Le ruissellement désigne en hydrologie le phénomène d'écoulement des eaux à la surface des sols.

### 7 - La circulation souterraine

Ultime étape du cycle de l'eau : La circulation souterraine, c'est-à-dire le cheminement de l'eau à l'intérieur du sol. Le plus souvent, l'eau accumulée dans les sols parvient à rejoindre un cours d'eau. Toutefois, en cas d'accumulation de cette eau souterraine, une nappe phréatique peut se former. On peut récupérer son eau par le biais de puits ou de forages et constitue une Ressource d'eau propre car elle est naturellement filtrée par les roches. (Ministère de l'écologie, du développement durable et du l'Energie)



**Figure I.1.** Le cycle de l'eau sur la terre (Ministère de l'écologie, du développement durable et du l'Energie) (Google image , 2024)

### I.5. La formation de la rosée :

La rosée, une condensation naturelle de l'humidité atmosphérique, est un phénomène nocturne qui se produit lorsque les surfaces se refroidissent en raison d'un échange radiatif avec l'atmosphère. En pleine journée et sans vent, dans des conditions de température et d'humidité spécifiques. (Trosseille et al., 2022.). Dans la nuit, dans un ciel calme, sans perturbation sensible, le sol se refroidit par rayonnement infrarouge et transmet ce refroidissement aux couches d'air qui l'entourent, dont la température diminue progressivement. Au-dessus de très basses altitudes, on peut considérer que l'évolution de ces couches d'air se produit à une pression atmosphérique constante, à savoir la pression au sol.



**Figure I.2.** Formation de la rosée dans la nature (Google image, 2024)

Par ailleurs, la quantité de vapeur d'eau présente dans l'air demeure presque constante, tout comme la pression partielle  $p_c$  de cette vapeur d'eau. (Lekouch, 2010)

On peut déterminer la quantité d'eau présente dans l'atmosphère en calculant sa pression partielle  $p_c$  au sein de la masse d'air. La pression partielle ne peut dépasser une valeur maximale à une température (et Pression) donnée sans provoquer de condensation, c'est la pression de saturation.

Lorsque la température (ou la pression) de l'air augmente, le taux de PSA augmente également, ainsi que la quantité d'eau que peut contenir un mètre cube d'air.

Le diagramme psychométrique, qui illustre la proportion d'eau dans l'air à différentes températures et HR, permet de déterminer la température à laquelle l'air est saturé en eau. La température de rosée correspond à la température où la vapeur d'eau peut se condenser. Pour illustrer, la température de rosée d'un air à 20 °C et à 80 % d'humidité est de 18 °C. Si la HR n'est que de 25 %, la température de la rosée diminue à 10 °C. (Lekouch, 2010)

**Calculateur du point de rosée** (en fonction de la température de l'air et l'humidité relative)

Le lien de calcul : (<https://www.deleze.name/marcel/physique/rosee/rosee.html>)

Un Exemple de calcul :

**Calculateur du point de rosée**  
en fonction de la température de l'air et l'humidité relative

Mesurez

- la température de l'air au moyen d'un thermomètre;
- l'humidité relative au moyen d'un hygromètre.

Le calculateur détermine la température à laquelle la rosée ou le givre se forme.

Si l'air est en contact avec une surface dont la température est inférieure au point de rosée, de la condensation se dépose sur cette surface.

**Calculateur en ligne**

Température de l'air  
 $t = 21$  degrés Celsius.

Humidité relative  
 $H_r = 45$  %.

**Méthode**

Le calcul étant fondé sur une table de pressions de saturation de la vapeur d'eau, il faudra gérer les valeurs intermédiaires par une méthode graphique ou par calcul.

En interpolant dans une <a href="#">table de données numériques</a> , construire la fonction <i>pression de saturation de la vapeur d'eau</i> $P_{sat}(t)$ en fonction de la température $t$ pour les températures $t \leq 65$ °C.	Par exemple, pour $t = 21$ °C, on lit dans la table $P_{sat}(t) = 24.87$ hPa
Calculer la pression de la vapeur d'eau $P_{vap} = H_r * P_{sat}(t)$ .	Pour $H_r = 45$ %, on calcule $P_{vap} = 0.45 * 24.87$ hPa = 11.19 hPa
Déterminer la température $t_{rose}$ telle que $P_{sat}(t_{rose}) = P_{vap}$ ; c'est le point de rosée cherché. Voir aussi le calcul de <a href="#">l'humidité relative</a> .	Dans la table numérique, on observe que la pression de saturation 11.19 hPa correspond à une température comprise entre 8 °C et 9 °C. <a href="#">En interpolant</a> , on obtient $t_{rose} = 8.6$ °C

Comme alternative au calculateur, on peut consulter un [tableau de points de rosée](#) au format PDF.

[Contact](#) | [Accueil](#) > [Physique](#) > [Humidité de l'air](#)

**Figure I.3.** Un exemple du calcul de point de rosée (<https://www.deleze.name/marcel/physique/rosee/rosee.html>)

Résultat :

**Point de rosée - Output**

**Données**

Température de l'air:  $t = 21$  °C  
Humidité relative:  $H_r = 45$  %

Pour modifier les données, actionner, sur la barre du navigateur, le bouton "Reculer d'une page"

---

**Calculs**

Pression de saturation de la vapeur d'eau:  $P_{sat}(t) = 24.87$  hPa  
Pression de la vapeur d'eau:  $P_{vap} = 11.19$  hPa

**Résultat**

Point de rosée:  $t_{rose} = 8.6$  °C

[Contact](#) | [Accueil](#) > [Physique](#) > [Humidité de l'air](#)

**Figure I.4.** Résultat du calcul de point de rosée (<https://www.deleze.name/marcel/physique/rosee/rosee.html>)

## I.6. La rosée, source d'eau potable

### I.6.1 Les condenseurs de rosée :

L'air se refroidit dans l'atmosphère et peut atteindre la température du « point de rosée ». Par exemple, lorsque la température de l'air est de 20°C et que l'humidité relative est de 50%, la température de la rosée est de 10°C (Figure II.9). À partir de cette limite, l'eau en excès se condense et se trouve sous la surface. État liquide. Dès que la température du condenseur est inférieure de quelques degrés à la température de rosée de l'air ambiant pendant la nuit, la rosée se dépose sur sa surface.

Donc, la rosée dépend des coïncidences climatiques et géographiques, et elle ne se forme pas toujours et n'importe où. Cependant, il suffit que l'air soit assez humide et que le ciel soit raisonnablement dégagé pour qu'elle se forme.

Cependant, elle présente parfois un taux élevé de vapeur d'eau dans l'atmosphère, ce qui pourrait être une source d'eau potable pour de nombreuses régions du monde. Même les pays les plus chauds ont des ressources.

L'eau dans leur environnement. Par exemple, dans le Sahel, il n'y a presque jamais de pluie pendant l'année, alors que l'humidité absolue dans la couche inférieure de l'atmosphère peut atteindre une vingtaine de grammes par mètre cube grâce aux vents de mousson (Beysens et al., 2000).

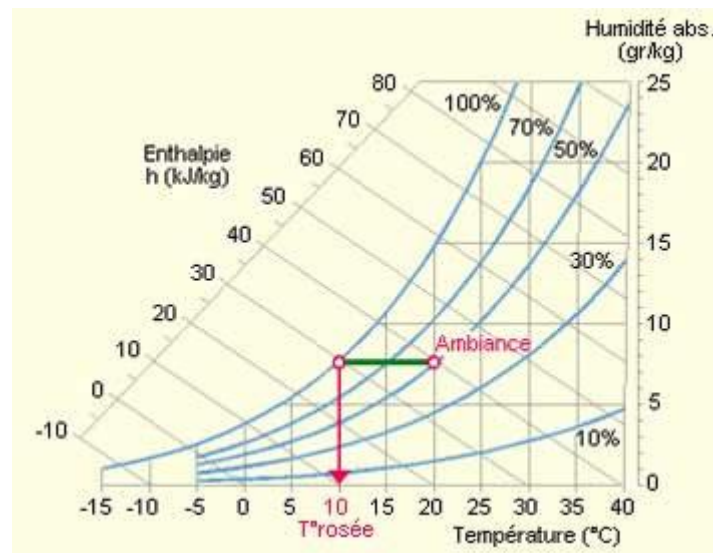
Les méthodes sont donc développées pour extraire l'eau de l'air sous forme de vapeur. La seule condition requise est que la température d'un substrat soit inférieure à la température de rosée, où, comme mentionné précédemment, la vapeur d'eau est sursaturée et se transforme en eau liquide. (Lekouch, 2010)

Deux catégories principales de condenseurs de rosée peuvent donc être distinguées :

- \* Les « massifs » sont caractérisés par une chaleur spécifique importante qui leur permet de maintenir leur température constante malgré l'apport de chaleur latente de condensation.

- \* Les « radiatifs » sont des matériaux légers et isolés thermiquement, où l'énergie de refroidissement radiatif ne peut être utilisée que pour compenser l'apport de chaleur latente.

Des condenseurs d'eau atmosphérique semblent avoir existé dans les temps anciens. Ils sont connus et méconnus simultanément : connus à travers de nombreuses légendes, récits, récits. On ne sait pas, car, pour le moment, nous n'avons que peu de preuves de la véracité de ces faits. (Lekouch, 2010)



**Figure I.5.** Diagramme de l'air humide. Par exemple, avec un air à 20° et d'humidité relative de 50%, la température de rosée est de 10°C.(Lekouch, 2010)

### I.7. La formation du brouillard :

Le brouillard est une couche d'hydrométéore formée de gouttelettes d'eau en suspension dans l'air. On le qualifie parfois d'un nuage très bas dont la base est proche du sol. Quatre catégories de brouillard sont définies : le brouillard de rayonnement, le brouillard d'advection, le brouillard d'évaporation et le brouillard de mélange.

- Le brouillard de rayonnement est d'origine thermique : Lorsqu'il y a un vent faible, et à la suite du rayonnement thermique de la terre, les couches les plus basses de l'atmosphère se refroidissent, ce qui entraîne une diminution de la pression saturante de l'air, ce qui entraîne la formation de gouttelettes d'eau. C'est un brouillard qui se forme fréquemment au-dessus des surfaces continentales et qui se dissipe pendant la journée, à la chaleur de l'air.
- Le brouillard d'advection : Il se constitue lorsque l'air assez chaud et humide se pose sur une surface froide, ce dernier se refroidit par la base et entraîne une condensation partielle de la vapeur d'eau présente dans l'air. La plupart du temps, ce brouillard se forme en mer.
- L'évaporation du brouillard se produit lorsqu'une masse d'air froid surmonte une surface chaude (comme un étang ou un cours d'eau). L'air s'humidifie jusqu'à saturation, Puis l'eau supplémentaire se condense pour former les gouttelettes d'eau qui forment le brouillard.



- Le brouillard de mélange est le dernier type de brouillard, qui résulte de deux masses d'air à température et à humidité différentes, proches de la saturation, qui, une fois brassées, entraînent un air saturé.

De plus, le processus de formation du brouillard se déroule en trois étapes : après sa formation, il se développe et se dissipe. À l'époque de la maturation, la nappe du brouillard interagit avec son environnement en utilisant :

- \* Le refroidissement radiatif au sommet du « brouillard »,
- \* La diffusion turbulente,
- \* La sédimentation des gouttelettes d'eau condensées.

En ce qui concerne la dissipation, elle se produit généralement lorsque le refroidissement au sommet du nuage est interrompu par le lever du soleil, par exemple, ou lorsque le sol se réchauffe en raison de la pénétration du rayonnement solaire, ce qui entraîne la dissipation par le bas du nuage.

Le brouillard n'est pas fréquent tout au long de l'année et n'est présent que dans peu de lieux, car il est conditionné par la combinaison de plusieurs conditions climatiques spécifiques. C'est le cas des zones couvertes par des brouillards côtiers ou des zones au-dessus de la mer de nuages dans le cas d'îles océaniques. Dans les régions où la ressource en eau est limitée, l'eau du brouillard est exploitée.

De cette manière, pour extraire cette eau, il faut simplement collecter les gouttelettes de façon mécanique. Les arbres aux îles Canaries, appelés « Arbres Fontaines », jouent naturellement cette fonction (Gioda et al., 1991, 1992).

### **Conclusion :**

En se basant sur nos connaissances et informations sur le cycle hydrologique, on peut comprendre comment on peut développer un procédé pour l'extraction ou la production de l'eau à partir de l'humidité de l'air.

La plus importante phase qui nous intéresse pour l'extraction de l'eau atmosphérique ; c'est entre la condensation et les précipitations.

Sachant qu'il n'est pas toujours évident d'avoir des précipitations soit sous forme ; liquide (pluies ou averses) ou solide (neige, grêle...) après la condensation, car il existe des conditions climatiques, topographiques et même géographiques qui génèrent la phase précipitation.

Les zones géographiques pauvres en pluviométries, sont les plus intéressées, par les différents procédés utilisés pour produire de l'eau à partir de l'eau atmosphérique qui se trouve dans un état gazeux (vapeurs d'eau dans l'air) ; dans le chapitre suivant nous allons expliquer les procédés existants pour l'extraction de l'eau à partir de l'humidité de l'air.

## **Chapitre II**

# **Les différents procédés de production de l'eau à partir de l'humidité de l'air**

### II.1. Introduction :

La production d'eau à partir de l'air ambiant ; peut être effectuée sans l'utilisation de l'énergie. Mais peut se faire également par des générateurs d'eau atmosphérique, qui est une technologie prometteuse pour répondre aux défis de l'accès à l'eau potable, notamment dans les régions arides et semi-arides. Cette méthode utilise la vapeur d'eau présente dans l'air pour produire de l'eau potable, en la condensant et la filtrant pour enlever les impuretés.

La production d'eau à partir de l'air ambiant est une technologie prometteuse qui offre des avantages significatifs en termes d'autonomie, d'économie et d'écologie. Cependant, des progrès technologiques et économiques sont nécessaires pour rendre cette solution accessible à tous et durable à long terme.

Dans ce chapitre nous allons présenter brièvement chaque technique ou procédé ; qui ont été expérimentés ou appliqués dans les différentes zones de la terre selon les recherches et les résultats disponibles.

Sachant que, la première tentative documentée de construction d'un condenseur de rosée est attribuée à un ingénieur Russe, F.I. Zibold. En 1912 en Crimée (Ukraine), le condenseur a fonctionné jusqu'en 1915 ; selon (Nikolayev et al., 1996 ; Beysens and Mylymuk, 2005b) in Lakouche 2010).

En 1930, l'ingénieur belge Knapen (1929) imagina une version modifiée de ces condenseurs. Il fit construire une tour évidée de 12 m de haut pour 12 m de large à la base à Trans-en-Provence (France). La tour existe toujours. Cependant, le rendement n'excéda jamais 12 L par nuit. Ces deux tentatives furent considérées comme non concluantes (Gioda and Acosta-Baladon, 1991) in (Lakouche. 2010).

Depuis plusieurs décennies la production d'eau potable à partir de l'eau contenue dans le brouillard et les nuages a été à la source de projets de recherches. Ainsi, l'effet d'interception horizontale a été mis en évidence expérimentalement en 1956 (J.F. Nagel, 1956). Le Chili est un lieu où le brouillard est stable tout au long de l'année. Le premier projet expérimental moderne de ce procédé a lieu en 1989 au mont El Tofo au nord du Chili où les premiers filets à brouillard ont été installés, Il existe d'autres tentatives pendant le siècle précédent.

A partir des années 2000 il existe d'autres procédés et techniques passives par exemple : *le Warka Tower* conçue et expérimentée par ; *Arturo Vittori* architecte italien Tout commence en 2012 en Ethiopie sa tour de bambou est capable de capturer l'humidité de l'air.

L'extraction de l'eau par l'humidité de l'air est un procédé qui consiste à capturer et à condenser la vapeur d'eau présente dans l'atmosphère pour la transformer en eau liquide. Il existe plusieurs technologies pour réaliser cette opération, qui peuvent être *actives* ou *passives*, selon qu'elles nécessitent ou non un apport d'énergie. (Voire plus de détaille pour chaque procédé)

### II.2. La Production d'eau atmosphérique :

L'humidité présente dans l'atmosphère peut être considérée comme une source d'eau potable renouvelable, pouvant éventuellement être extraite. Le processus de production d'eau atmosphérique consiste à extraire l'eau de l'humidité de l'air ambiant. La production de cette eau peut être utilisée pour compenser l'eau douce et peut être traitée en utilisant des techniques de filtration et de purification afin de la rendre plus sûre pour la consommation humaine. L'environnement n'est pas affecté par ce processus, car l'humidité enlevée sera remplie naturellement par le cycle hydrologique.(Raveesh et al., 2021)

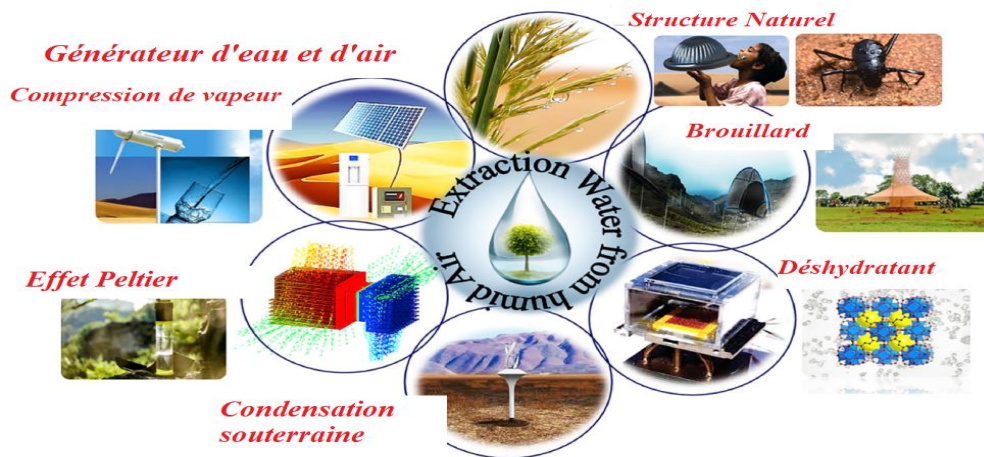
Comme indiqué précédemment, la collecte d'eau atmosphérique (AWH) peut fournir de l'eau potable dans des zones non connectées au réseau d'eau centralisé, telles que les secours en cas de catastrophe, les villages, les dépenses militaires et autres programmes.

L'eau de l'atmosphère renferme 14% de l'eau stockée dans les lacs et les rivières et est accessible à l'échelle mondiale sans aucun système de canalisations ou de barrages. Au cours des dernières décennies, l'importance accordée à la question de l'eau est devenue beaucoup plus importante.

Globalement, les recherches à l'échelle mondiale révèlent des évolutions dans les sociétés face à de nouvelles problématiques. Dans cette optique, nous pouvons saisir cette évolution en analysant en détail l'approche stratégique humaine de la question de l'eau et de ses échanges. La figure II.5 illustre le nombre d'objets associés à la récupération de l'eau de l'air.Comme on le voit, les publications sur la récupération de l'eau atmosphérique ont considérablement augmenté ces dernières années.(Ahrestani et al., 2023)

### II.3. Présentation des méthodes de la production de l'eau à partir l'humidité de l'air :

En se basant sur la figure II.5, on peut distinguer les différentes méthodes de production d'eau, telles que l'extraction de l'eau du brouillard, les générateurs d'air-eau, qui utilisent différents cycles de processus tels que la compression de vapeur, la compression d'air, le refroidissement Peltier et le séchage.(Salehi et al., 2020)



**Figure II.1.** Diverses technologies pour la production d'eau à partir de l'air humide.

(Ahrestani et al., 2023)

### II.3.1- Production d'eau avec des structures naturelles (Procédés 1) :

En 1727, Hales a effectué la première étude dans les usines d'absorption pour la fabrication d'eau à partir d'air humide. Il y a plus d'un siècle, Lloyd a proposé que les études à venir se reporteraient sur la manière dont les plantes absorbent l'humidité et sur l'influence de la structure et des caractéristiques absorbantes sur l'accélération de l'absorption. Heng et ses collègues ont employé le cactus structurel unidimensionnel afin de capturer les gouttes d'eau de manière efficace.

Une autre représentation naturelle est **le scarabée** dans le désert du Namib, qui se nourrit de l'humidité du brouillard océanique. Les bouteilles de banque de rosée sont une solution simple et ingénieuse pour récolter de l'eau à partir de l'air ambiant. Elles fonctionnent sur le principe de la condensation de l'humidité présente dans l'air sur la surface extérieure d'une bouteille spécialement conçue. Voici comment elles fonctionnent généralement :

La bouteille de banque de rosée est souvent conçue en forme de scarabée, avec une surface extérieure en matériau qui favorise la condensation, comme le métal ou le plastique texturé.

Cette surface doit être capable de refroidir plus rapidement que l'air ambiant lorsque la température diminue pendant la nuit, et lorsque la température de l'air diminue, la surface extérieure de la bouteille devient plus froide que l'air ambiant. L'humidité contenue dans l'air se condense alors sur cette surface, formant de petites gouttelettes d'eau, ce que l'on appelle **la Rosée** ; ce sont les gouttelettes d'eau qui se forment sur la surface de la bouteille s'accumulent et s'écoulent vers le bas de la bouteille, où elles sont collectées dans un réservoir ou une autre forme de récipient.

L'eau ainsi récoltée peut être utilisée à diverses fins, selon les besoins. Elle peut être purifiée pour la rendre potable, utilisée pour l'irrigation des plantes, ou même pour d'autres usages domestiques.

Les bouteilles de banque de rosée sont particulièrement utiles dans les régions où l'accès à l'eau est limité et où l'humidité de l'air est relativement élevée, comme les régions côtières ou les zones tropicales. Elles offrent une méthode simple et peu coûteuse pour récolter de l'eau à partir de l'air ambiant, contribuant ainsi à répondre aux besoins en eau dans ces régions.

Sur la surface de la bouteille, les lignes ondulées horizontales et verticales entraînent une condensation de la vapeur plus rapidement. Il a été récompensé de bronze aux IDEA Design Awards en 2010 (Salehi et al., 2020).



**Figure II.2.** Bouteille de banque de rosée pour la récolte d'eau à partir de l'air humide(Salehi et al., 2020),Schéma de l'absorption d'eau du renard du désert du Namib.(Ahrestani et al., 2023)

### II.3.2- Production d'eau avec brouillard (Procédés 2) :

Les gouttes de brouillard sont des gouttes micrométriques, qui sont formées par la saturation de l'air par la vapeur d'eau. La formation de l'eau sur les surfaces froides est due à la condensation de la vapeur dans l'air ou de la brume, ainsi qu'aux gouttelettes de brouillard qui se déplacent vers le bas et le réservoir de collecte par les forces de gravité.

L'un des moyens de faire face au stress de l'eau est de produire de l'eau à partir du brouillard dans différentes régions du monde. La production d'eau n'est pas requise par cette méthode, et l'efficacité du processus est améliorée en utilisant la structure adéquate dans les niveaux de collecte de l'eau (Ahrestani et al., 2023). Plusieurs études ont été menées à partir de filaments de filets bidimensionnels dans divers pays.

Les collecteurs de brouillard standard et les collecteurs de brouillard grands sont deux catégories principales de filets, généralement fabriqués dans des dimensions de 1 m/1 m. Cependant, il est également possible de les réaliser dans des dimensions plus grandes.

Le type principal de filet de collecte est un filet *Raschel en polypropylène*. Cependant, ce filet peut ne pas être applicable dans tous les domaines, car les conditions environnementales, l'humidité et la direction du vent affectent la formation de rosée sur la structure du filet. Par conséquent, le filet en acier inoxydable et en polymère, ou la grille de structure en 3D faite de polymères, peut être utilisé pour la collecte de brouillard.

*Les premiers capteurs de brouillard* ; C'est au **Chili, à Chungongo**, l'un des endroits les plus secs au monde qu'ont été installés les premiers filets « capteurs de brouillard ». Cent filets (ou panneaux) en polypropylène, de 4 mètres de haut sur 12 mètres de large récoltent ainsi 15 000 litres d'eau en moyenne par jour. L'eau captée s'écoule le long des filets, puis est récoltée dans des gouttières et stockée dans des réservoirs. La collecte de brouillard est un procédé totalement passif, n'utilisant ni pompe, ni électricité. Les coûts sont donc réduits, allant de 75 \$ pour un petit capteur à 1500 \$ pour un très grand.



**Figure II.3.** Capteurs de brouillard ; C'est au **Chili, à Chungongo**

Source : <https://plastic-lemag.com/les-collecteurs-de-brouillard>

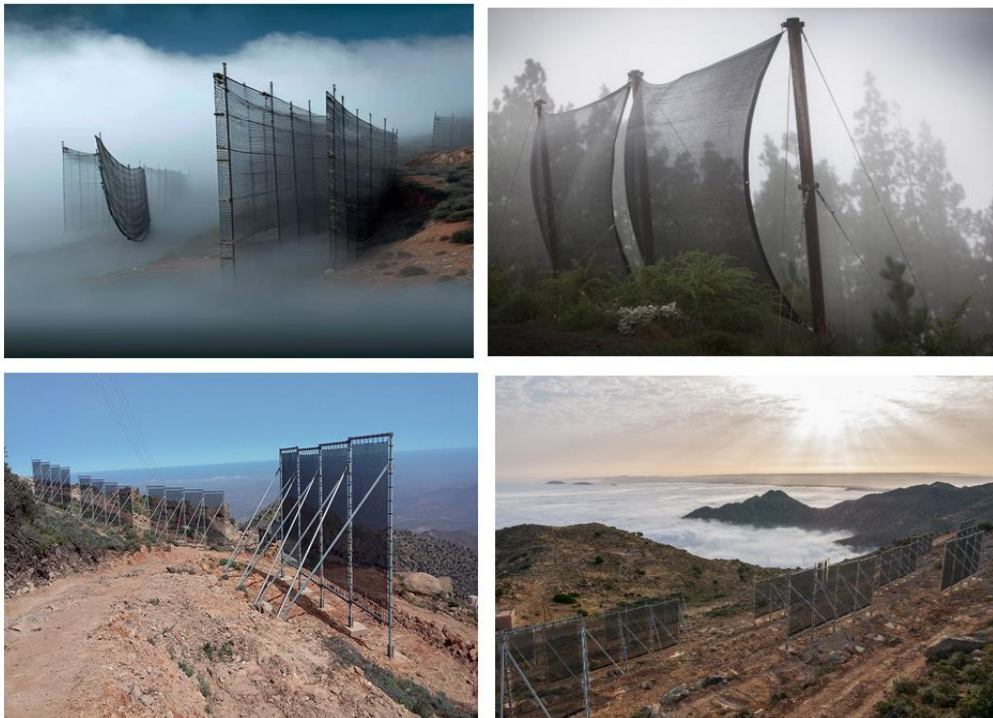
*Conditions météorologiques sont influencé par* la situation géographique du Chili (mer et montagne) favorise largement ce processus et les résultats ne sont pas aussi probants dans d'autres parties du monde.

Un minimum de 90 jours de brouillard par an est nécessaire pour une utilisation domestique. Les mailles de polypropylène extraient 30% de l'humidité, soit 17 à 42 litres d'eau par m<sup>2</sup> par jour. En moyenne, ces collecteurs de brouillard produisent 200 litres d'eau par jour, en fonction de leur superficie, de leur emplacement et des conditions météo.

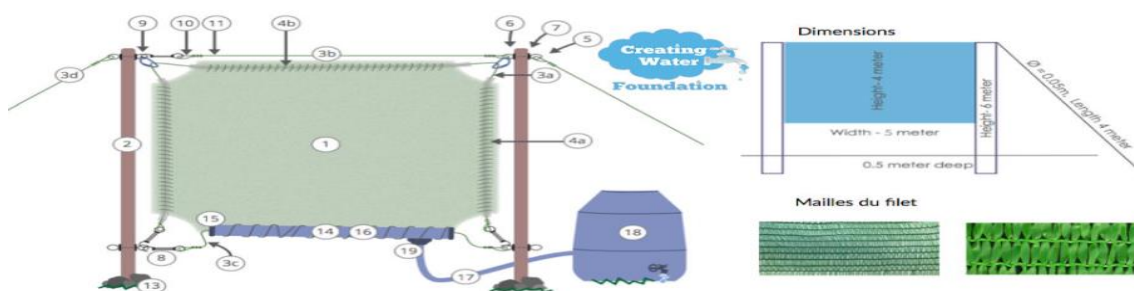


*Fog Quest* est l'organisation canadienne qui a développé ces « attrape brouillard ». Elle a été fondée en 2000 par *Sherry Bennett et Bob Schmenauer* pour tenter de répondre aux besoins de populations n'ayant pas à l'eau (puits, rivières, canalisations ...).

Récemment, la plus grande usine de traitement de l'eau du brouillard a été utilisée dans le désert marocain. À un centre important de 600 mètres carrés, une vaste collection de bois de filet est utilisée pour piéger un brouillard épais et le transformer en eau potable. Le centre peut produire 17 gallons d'eau potable saine par mètre carré au cours de son activité annuelle de six ans (Ahrestani et al., 2023, b ; Salehi et al., 2020).



**Figure II.4.** Des capteurs de brouillard de l'atlas au Maroc et Espagne  
Source (<https://pokemag.ma/comment-le-maroc-recolte-leau-du-brouillard.html>)  
(<https://aujourd'hui.ma/economie/le-moissonnage-du-brouillard-pour-faire-face-a-la-penurie-deau>)



**Figure II.5.** Extrait du Guide Capteur de brouillard – Creating Water Foundation

Tableau II.1. Sémantique des membres

1	Pôles de filet
2	Câble en acier
3a	Câble en acier
3b	Câble en acier
3c	Câble en acier
3d	Câble en acier
3e	Fuseau flexible
4a	Fuseau flexible
4b	Les noix d'œil
5	Boute oculaires :
6	Lave-linge
7	Tournage
8	Carabine
9	Couleur de câble
10	Fermeture du câble
11	Objets d'ancrage
12	Les pierres
13	Pipe de pluie
14	Couverture de tuyau de pluie
15	Câble de fer
16	Fuseau d'eau
17	Baril d'eau
18	Fennell
19	<b>Câble en nylon</b>
20	<b>Pôles de filet</b>

*La tour Warka* a été élaborée par *Arturo Vittorio* et ses collaborateurs afin de générer de l'eau à partir du brouillard. La tour a une hauteur de 30 pieds et une largeur de 13 pieds, et elle est fabriquée à partir de bois de bambou et de filet de polyester (Fig.II.11). Les individus ont la possibilité de se détendre à l'ombre de cette tour et même d'utiliser l'eau purifiée.



Figure II.6. Le Warka Tower en Ethiopie



Figure II.7. Les filets de la toure Warka en Ethiopie

La figure II.13 Montre la répartition mondiale de la collecte de rosée et de brouillard et le taux de production d'eau à partir des différents sites. D'après ces données, des résultats satisfaisants de la quantité d'eau dans ces sites et dans des zones sensibles dans diverses régions du monde suggèrent que la production d'eau par le brouillard sans utilisation de l'eau.

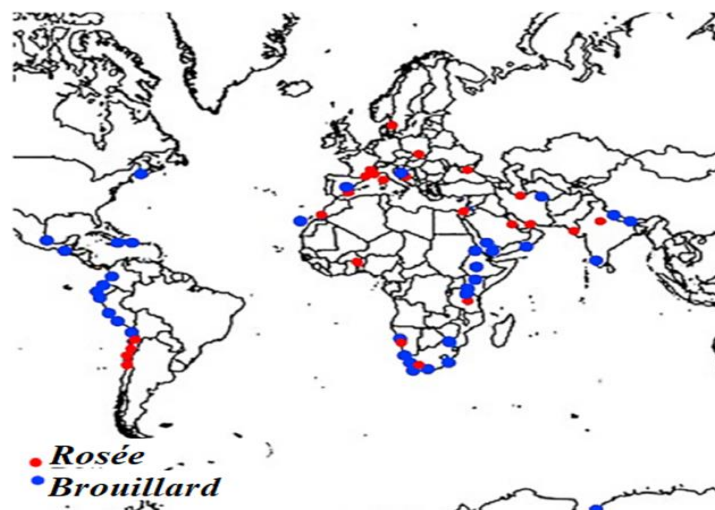


Figure II.8. Répartition de la collecte de rosée et du brouillard dans le monde (Kaseke et al.,2018)

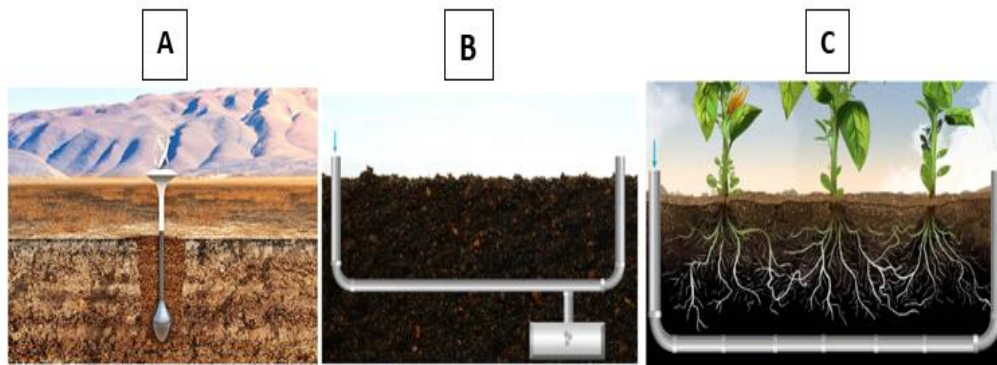
Le concept bénéficie du même phénomène qui produit la rosée du matin ou la buée sur les vitres. En effet, la vapeur d'eau est présente dans l'air ambiant.

Dans le cas où cet air se trouve en contact avec une surface extrêmement froide, la vapeur d'eau présente dans l'air peut être transformée en liquide par le processus de condensation. La formation de cette rosée est aisée sur les surfaces planes et fines telles que les feuilles. Les filets ressemblent à ces feuilles et proposent une large surface de collecte afin de recueillir le plus d'eau possible. En partie basse, les filets sont accrochés dans des rigoles qui drainent l'eau. L'eau recueillie est transportée vers un réservoir où elle peut être utilisée par la suite.

### II .3.3- Production d'eau avec condensation souterraine (Procédés 3) :

Selon Salehi et al, La condensation souterraine est un processus simple de production d'eau à partir de l'air humide. Dans cette approche, l'air de la surface en utilisant le système d'admission de turbine est dirigé sous terre, y compris le réseau de pipelines. Ensuite, l'air se refroidit rapidement en raison des différentes températures entre la surface et les sections souterraines. L'eau est stockée dans des réservoirs souterrains, et une pompe à eau à main peut être utilisée pour soulever l'eau au-dessus du sol à des fins agricoles et d'irrigation.

Le schéma général de cette méthode est que l'air est condensé par le transfert d'air humide sur la surface du sol vers les tuyaux souterrains. Puisque le sol est plus froid que la surface, le sol agit comme un condensateur. L'eau résultante est utilisée pour boire et arroser les terres agricoles. Les tuyaux non perforés sont utilisés pour l'eau potable, et à la fin de ces tuyauteries, il y a un endroit pour recueillir les eaux résultantes, mais les tuyauteries perforées sont utilisées pour arroser les terres agricoles. Directement à travers les trous, l'eau douce produite pénètre dans la terre et cette action est comme l'irrigation à gouttelettes et minimise la consommation d'eau et élimine la perte d'évaporation de l'eau. À 60% de température et à 70% d'humidité relative. Au fur et à mesure que la température augmente au cours des différents mois, le taux de chaleur du sol diminue également en raison de l'augmentation des températures du sol. Toutefois, la température de l'air d'entrée sera plus élevée et il peut transférer plus d'humidité au sol et compense partiellement l'augmentation de la température du sol. Göhlman et al.<sup>66</sup> ont étudié les tuyaux simples et perforés et ont constaté que le transfert de chaleur dans les conduites perforées est 50% plus élevé. Parce que la terre environnante connaîtra des changements de température plus rapides et le processus de compression sera plus efficace. Les figures 13 et 14 montrent le schéma des méthodes de production d'eau potable à condensation et agricole, respectivement.(Ahrestani et al., 2023)



**Figure II.9.** Appareil WaterSeer pour la production d'eau à condensation souterraine(Salehi et al., 2020)

B, C : Schéma de la méthode de production d'eau de condensation pour l'irrigation des terres Agricoles.(Ahrestani et al., 2023)

Pour que la condensation souterraine soit possible, il faut des conditions géologiques et climatiques très spécifiques, comme la présence de cavités ou de fissures dans les roches permettant la circulation de l'air humide. Ces conditions sont rares et limitent grandement le potentiel de cette méthode de production d'eau

Les quantités d'eau pouvant être récupérées par condensation souterraine sont généralement très faibles, bien inférieures à celles obtenues par captage de brouillard ; Il n'y a pas de données fiables sur les volumes d'eau moyens pouvant être produits par cette méthode. En résumé, la condensation souterraine n'est pas une technique de production d'eau répandue en raison des conditions géologiques et climatiques très restrictives qu'elle nécessite. Le captage de brouillard reste de loin la méthode la plus utilisée et la plus efficace pour capter l'eau à partir de l'humidité atmosphérique

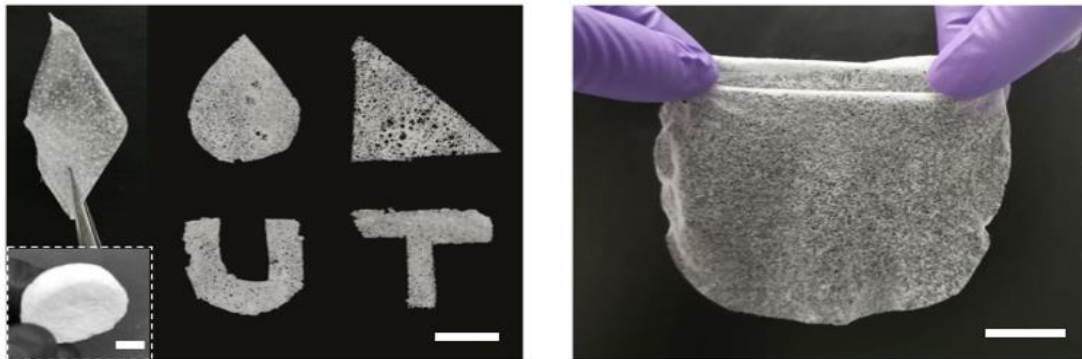
### II.3.4- Production d'eau avec un film polymère (Procédés 4) :

Plus d'un tiers de la population mondiale réside dans des régions arides, des régions où l'eau est très rare. Une solution a été élaborée par des scientifiques et des ingénieurs de l'Université du Texas à Austin afin d'aider les habitants de ces régions à bénéficier d'une eau potable propre (Mekonnen et al., 2016)

L'équipe a développé un film de gel à faible coût fabriqué à partir de matériaux abondants qui peuvent tirer l'eau de l'air même dans les climats les plus secs. Les matériaux qui facilitent cette réaction coûtent seulement 2 dollars par kilogramme, et un seul kilogramme peut produire plus de **6 litres** d'eau par jour dans des zones *avec moins de 15% d'humidité relative* et **13 litres** dans des régions avec jusqu'à **30% d'humidité**.

L'étude repose sur les résultats précédents de l'équipe, tels que la capacité d'extraire l'eau de l'atmosphère et l'utilisation de cette technologie pour développer un sol auto-arrosant. Toutefois, ces technologies ont été spécialement développées pour des milieux relativement humides (Guo et al., 2022).

Guihua Yu, professeur de science des matériaux et de génie mécanique au Département Walker d'ingénierie mécanicienne de la Cockrell School of Engineering, a exprimé son intérêt pour créer des solutions pratiques pour fournir de l'eau dans les régions les plus chaudes et les plus secs de la Terre. « Cela pourrait offrir à des millions de personnes qui ne peuvent pas toujours se procurer de l'eau potable la possibilité d'avoir des dispositifs simples de production d'eau à la maison qu'elles peuvent utiliser aisément. »



**Figure II.10.** Un exemple de forme différente que peut prendre le film captant l'eau.

### Composition du film polymère

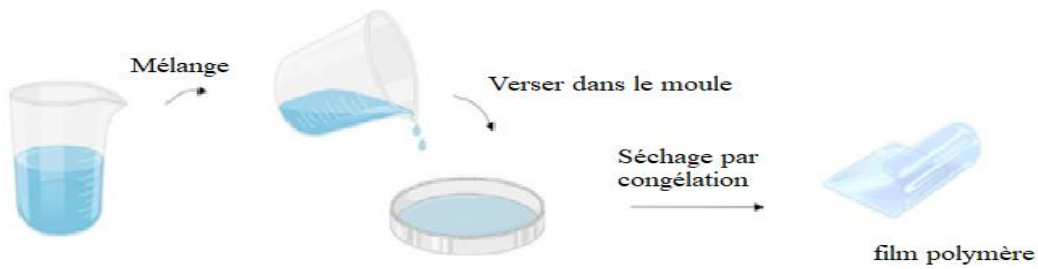
Ce film est fabriqué à partir de :

- Carboxyméthyl Cellulose de Sodium E 466
- Gomme de konjac E 425

La cellulose renouvelable et un ingrédient de cuisine commun, la gomme Konjac, ont été employés par les chercheurs comme principal squelette hydrophile (attiré par l'eau). La gomme présente une structure à pores ouverts qui accélère la capture de l'humidité. Un autre élément créé, la cellulose thermo-réactive qui a une interaction hydrophobe (résistante à l'eau), permet de libérer immédiatement l'eau collectée, ce qui réduit l'apport d'énergie globale nécessaire pour produire de l'eau.

Les autres extractions d'eau à partir de l'air du désert sont souvent énergivores et ne génèrent pas beaucoup.

Si 6 litres semblent peu, les chercheurs affirment que l'utilisation de films plus épais ou de lits ou de rangements absorbants optimisés pourrait avoir un impact considérable sur la quantité d'eau qu'ils génèrent. (Guo et al., 2022)



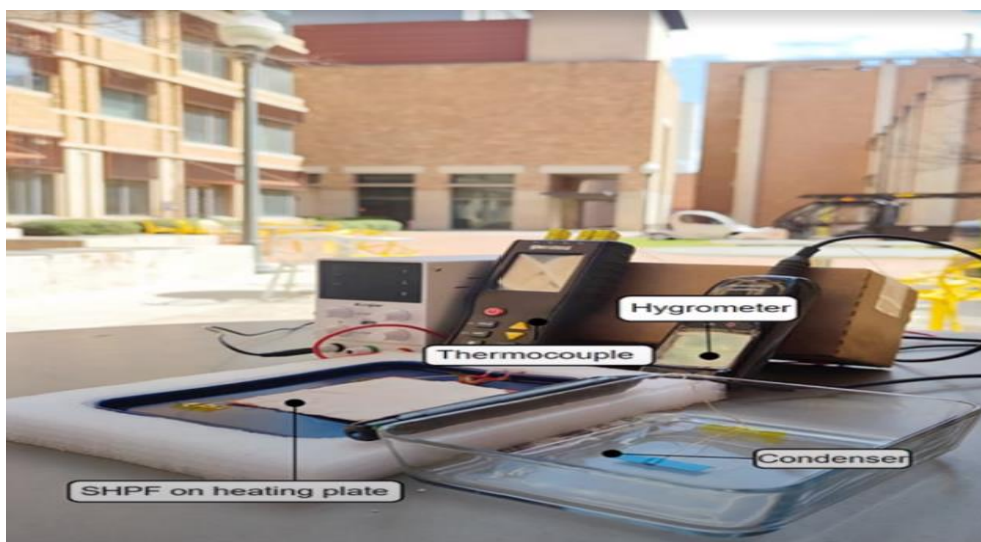
**Figure II.11.** Le processus de création du film capturant l'eau à partir de ses ingrédients.

Le film est flexible et peut être moulé dans une variété de formes et de tailles, selon les besoins de l'utilisateur. La fabrication du film ne nécessite que le précurseur du gel, qui comprend tous les ingrédients pertinents versés dans un moule.

« Le gel prend 2 minutes pour être réglé simplement. Ensuite, il suffit d'être congelé-séché, et il peut être éclaté du moule et utilisé immédiatement après cela »

Le Département américain de la Défense Advanced Research Projects Agency (**DARPA**) a financé la recherche et l'eau potable pour les soldats dans les climats arides est une composante importante du projet.

Toutefois, les chercheurs considèrent aussi cela comme quelque chose que les individus pourraient un jour acheter dans un magasin de matériel et utiliser dans leur domicile en raison de la facilité. (Guo et al., 2022).



**Figure II.12.** Un prototype pour capter l'eau de l'air à l'aide du nouveau film polymère.  
Source : [https://read.oecd-ilibrary.org/environment/essai-n-120-comportement-de-dissolution-extraction-des-polymeres-dans-l-eau\\_9789264069893-fr](https://read.oecd-ilibrary.org/environment/essai-n-120-comportement-de-dissolution-extraction-des-polymeres-dans-l-eau_9789264069893-fr)

### II.3.5- Production d'eau avec générateur d'eau à air atmosphérique (Procédés 5) :

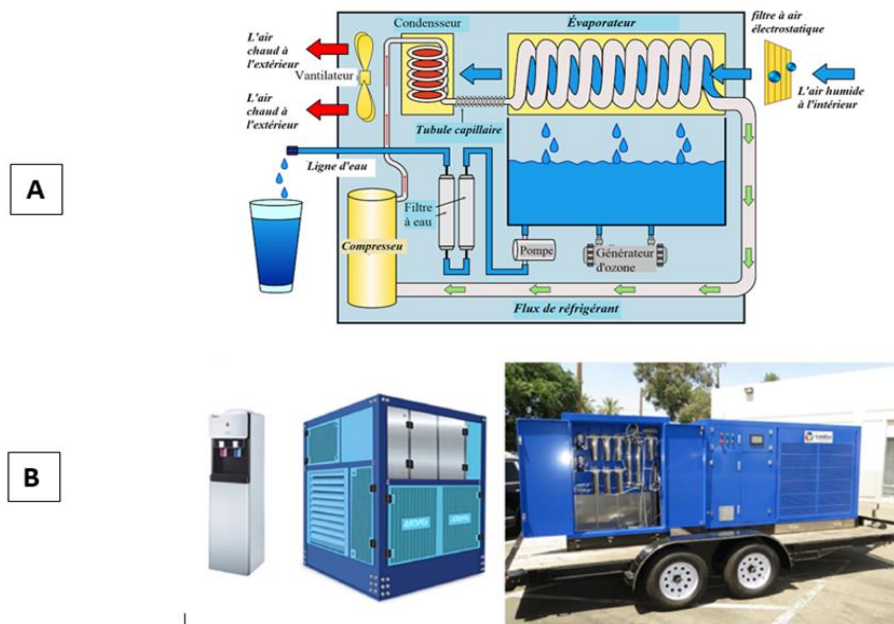
Les générateurs d'eau atmosphérique sont des dispositifs conçus pour produire de l'eau potable à partir de l'humidité présente dans l'air ambiant. Le principe de base repose sur la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air, en *refroidissant l'air au-dessous de son point de rosée*.

Contrairement aux déshumidificateurs classiques, les générateurs d'eau atmosphérique sont spécifiquement conçus pour récupérer et stocker l'eau produite, afin de la rendre potable. Ils peuvent être utilisés dans des zones où l'eau est rare, comme alternative aux ressources en eau souterraines.

Selon (Salehi et al., 2020) ; les générateurs d'eau atmosphérique sont des appareils qui extraient des particules d'air de l'atmosphère, et le processus implique le passage de la phase de vapeur à la phase liquide.

On peut classer ces dispositifs en trois catégories générales. Le refroidissement est plus faible dans le premier groupe que le point de rosée de l'air ambiant, qui peut être obtenu par la compression de gaz ou par les effets Peltier. L'eau est produite dans le second groupe par compression de l'air, et dans le troisième groupe par condensation d'eau par déshydratant liquide ou solide. Plusieurs brevets concernant ces méthodes ont été déposés à ce sujet.

Dans cette étude nous allons présenter quelque type de générateur qui ont le même principe avec quelques différences :



**Figure II.13.** Générateur d'eau d'air atmosphérique avec méthode de compression de vapeur, A) processus de diagramme schématique, B) dispositifs commerciaux



### A- Production d'eau par méthode de compression de vapeur :

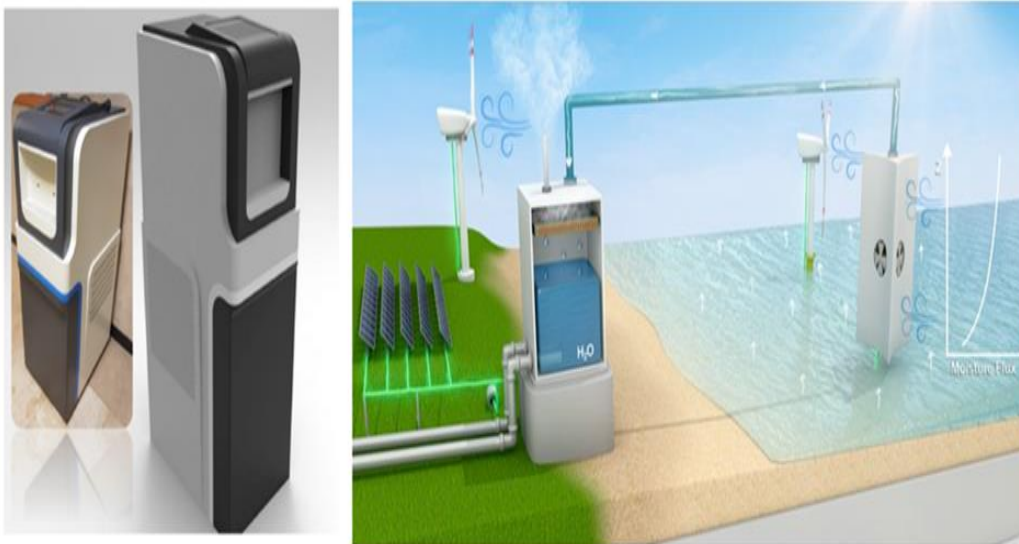
Le générateur d'eau d'air atmosphérique est constitué de quatre éléments principaux : un évaporateur, une valeur d'expansion thermique, des condensateurs et un compresseur. Le liquide réfrigérant en mouvement absorbe la chaleur de l'air, diminue la température en dessous du point de rosée, ce qui convertit la vapeur en liquide, et dans les autres parties, la chaleur retourne à l'environnement. La Figure II.18a présente un schéma du processus de production d'eau dans ces appareils, et différents types d'entre eux sont produits dans des dimensions variées avec des capacités variées. (Salehi et al., 2020)

Rasuo et ses collègues ont examiné l'harmonie des lames de turbine éolienne et déterminé les conditions optimales en utilisant l'algorithme génétique (Salehi et al., 2020).

L'utilisation des éoliennes dans les zones à haute humidité et les zones côtières devrait être étudiée plus attentivement. Parce que l'atmosphère aérienne, le débit de vapeur et la condensation d'un film sur la surface des lames réduisent les performances du système. D'autre part, les intempéries brumées et les gelées dues à la condensation de vapeur entraînent une diminution de l'efficacité (Yue et al., 2017).

Les experts de la Compagnie Skywater ont remporté le prix de 1,5 million de dollars du Water Abundance XPRIZE, en octobre 2018. La machine peut produire 2000 L d'eau par jour à partir de l'atmosphère avec 100% d'énergie renouvelable, et le coût par litre d'eau pour cet appareil est inférieur à deux cents (<https://www.xprize.org/articles/waxp-grand-prize-winner>). Salehi et al. ont examiné la méthode de compression de vapeur pour générer **trois à 30 litres d'eau par jour** à partir de l'air humide dans différents climats de l'Iran. Leur étude consiste à réaliser l'équipement à l'échelle de bureau, comme illustré à la Figure II.19. Plusieurs sociétés se servent des énergies renouvelables pour produire de l'eau.

L'utilisation de ces dispositifs a démontré que la génération d'eau à partir d'une source d'air en utilisant des énergies solaires et éoliennes est une méthode efficace dans des conditions critiques, et elle revêt une importance capitale dans le lien entre l'eau et l'énergie



**Figure II.14.** Appareil pratique comme le générateur d'eau d'air avec la méthode de compression de vapeur dans le travail de recherche de Salehi et des collègues.

### **B- Production d'eau avec compression de l'air atmosphérique :**

Un autre moyen de produire de l'eau à partir de l'air humide (figure.II.9) est la compression de l'air humide et la condensation à la température ambiante. Avec l'augmentation de la pression, la température du point de rosée augmente aussi.

La condensation peut donc se produire à la température ambiante et à la chaleur des rejets d'air comprimé dans l'environnement. Pour extraire de l'eau à température ambiante, il est nécessaire d'avoir une pression cinq fois supérieure à la tension atmosphérique. Le réservoir est nécessaire pour faire face à des pressions extrêmes en raison de l'utilisation du niveau de haute pression dans ce système. La performance du compresseur et la concentration d'humidité dans l'air déterminent l'efficacité de cette conception. Le niveau de fabrication pour le refroidissement naturel de l'atmosphère est modeste, et aucun générateur d'eau d'air ne fonctionne avec cette méthode (Salehi et al., 2020)

**La start-up française Kumulus** a inventé un appareil qui convertit directement l'humidité de l'air en eau potable, une solution particulièrement adaptée pour les pays du Maghreb où un quart de la population n'a pas accès à l'eau potable.

Baptisée **Kumulus**, l'invention fonctionne grâce à la rosée du matin. Ainsi, son créateur a imaginé une machine à énergie solaire qui va capturer l'air ambiant à travers un filtre à air qui va venir le dépolluer avant de le récolter et de le transformer en eau potable. Un dispositif ingénieux et non négligeable, concrétisé par le designer Zouhair Ben Jannet, qui pourrait fournir entre **20 et 30 litres d'eau potable par jour**.

Actuellement cette nouvelle innovation est en phase de test ; Dans la petite ville d'El Bayadha, située toute proche de la frontière avec l'Algérie, c'est l'école primaire qui est la

première à tester cette invention locale. Il faut savoir que dans cette région située à l'Ouest de la Tunisie <https://www.francebleu.fr/emissions/connecte/mayenne/kumus-une-innovation-qui-transforme-l-air-en-eau-potable>



**Figure II.15.** Le générateur (Tunisien/ Français) de la production d'eau par l'humidité atmosphérique

### Exemple de générateur sur le marché

Un générateur d'eau atmosphérique est un appareil conçu pour **produire de l'eau potable à partir de l'humidité présente dans l'air**. Le générateur d'eau utilise la *condensation* comme principal mécanisme d'extraction de l'eau. Ce procédé permet de puiser directement l'eau dans la vapeur contenue dans l'atmosphère, sans avoir recours aux ressources en eau souterraines.

Fonctionnement du générateur d'eau atmosphérique pour la maison.

Le principe de base du générateur d'eau atmosphérique domestique repose sur trois étapes principales :

1. **L'absorption de l'humidité ambiante** : L'air est aspiré par un ventilateur et passe à travers un filtre qui retient les particules en suspension (poussière, pollen, etc.).
2. **La condensation** : L'air humide est ensuite refroidi, ce qui provoque la transformation de la vapeur d'eau en gouttelettes. La *condensation* peut être réalisée par différents moyens, comme un échangeur thermique ou un système à effet Peltier.
3. **La collecte et le traitement de l'eau** : Les gouttelettes d'eau ainsi formées sont récupérées dans un réservoir. L'eau est alors traitée, généralement par filtration et/ou stérilisation (par exemple grâce aux rayons ultraviolets), afin de la rendre potable.

### Générateur d'eau atmosphérique maison 30 litres / jour 2 590,00 €

La fontaine à eau atmosphérique HR-90HK est capable de produire jusqu'à 30 litres d'eau journalier (dans les conditions de température, humidité présentée ci-dessus). Son réservoir est

capable de stocker jusqu'à 12.5 litres. Ce type de fontaine autonome est donc parfait pour un usage domestique ou professionnel (bureau, salle de réunion, open-space, ...



**Figure II.16.** : La fontaine à eau atmosphérique HR-90HK

**\*Les caractéristiques techniques du générateur d'eau atmosphérique de la fontaine à eau atmosphérique HR-90HK**

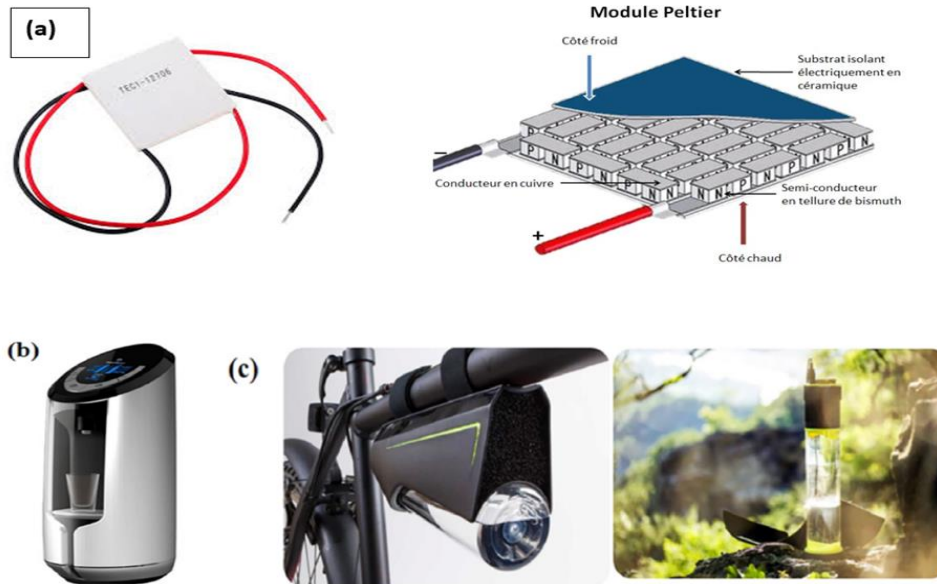
Voltage	A.C. 220V / 110V
Frequence	50Hz/60Hz
Puissance	830W
Ampérage	4.6-4.8A
Puissance refroidissement :	300W
Puissance chauffage :	500W
Refrigerant Type	R134a
Capacité de production : (30°C, humidity 80%)	30L/Day
Capacité du réservoir de stockage :	12.5L
Plage de température pour bon fonctionnement	15°C-40°C
Plage d'humidité pour bon fonctionnement	35%-95%
Taille (cm)	45*43*112
Poids net	49Kg

### C- Les Méthodes de condensation utilisant la génération de refroidissement thermoélectrique

- **Production d'eau avec effet Peltier :**

Cette approche repose sur la technique de compression de vapeur, avec l'utilisation de la machine Peltier ou du générateur thermoélectrique pour atteindre la température du point de rosée. Le refroidisseur Peltier représente une pompe à chaleur active en état solide qui permet le transfert d'électricité d'un côté à l'autre.

Les petits dispositifs employant l'effet Peltier sont destinés à générer de l'eau à partir d'air humide. Cet appareil est léger, sans composants en mouvement, solide et nécessite peu d'entretien. Au sein de la machine Peltier, une circulation thermique se produit entre deux types distincts de matériau (Pineda et Rezaniakolaei.,2017).



**Figure II.17.** Module thermoélectrique avec effet Peltier ; b) appareil domestique portable ; c) système de boissons pour vélo (Salehi et al., 2020)

Cette technologie est utilisée par des petits appareils ménagers portables (Figure II.22b) et par un système de boissons pour le vélo à énergie solaire et à énergie solaire par exemple (Figure II.22c)

Les panneaux hydrauliques utilisés pour la production d'eau à partir d'air humide utilisent l'effet Peltier et le refroidissement thermoélectrique. On a étudié leur application dans la production d'eau pour une école de 1200 personnes, 400 L d'eau par jour au Kenya (Ferwati.,2019).

Lorsque l'air chaud entre en contact avec la surface froide d'un module à effet Peltier, l'humidité contenue dans l'air peut se condenser et former de l'eau liquide. Cette eau peut ensuite être collectée pour diverses applications, telles que l'approvisionnement en eau potable dans les régions où l'accès à l'eau est limité.

Cependant, il est important de noter que l'efficacité de ce processus dépend de plusieurs facteurs, notamment la température et l'humidité de l'air ambiant, ainsi que la conception et les performances du module à effet Peltier utilisé. De plus, la quantité d'eau pouvant être

extraite de l'air de cette manière peut être limitée, ce qui signifie que cette méthode peut ne pas être viable pour répondre aux besoins en eau à grande échelle.

En résumé, bien que l'extraction de l'eau de l'air par des modules à effet Peltier soit une approche prometteuse, elle nécessite encore des recherches et des développements supplémentaires pour en optimiser l'efficacité et la viabilité à grande échelle.

Bien que **les modules à effet Peltier puissent être utilisés pour le refroidissement** dans certains générateurs d'eau atmosphérique, ce n'est pas le seul mécanisme possible. D'autres techniques comme l'utilisation d'absorbants d'humidité ou la pressurisation de l'air peuvent également permettre d'extraire l'eau de l'air ambiant

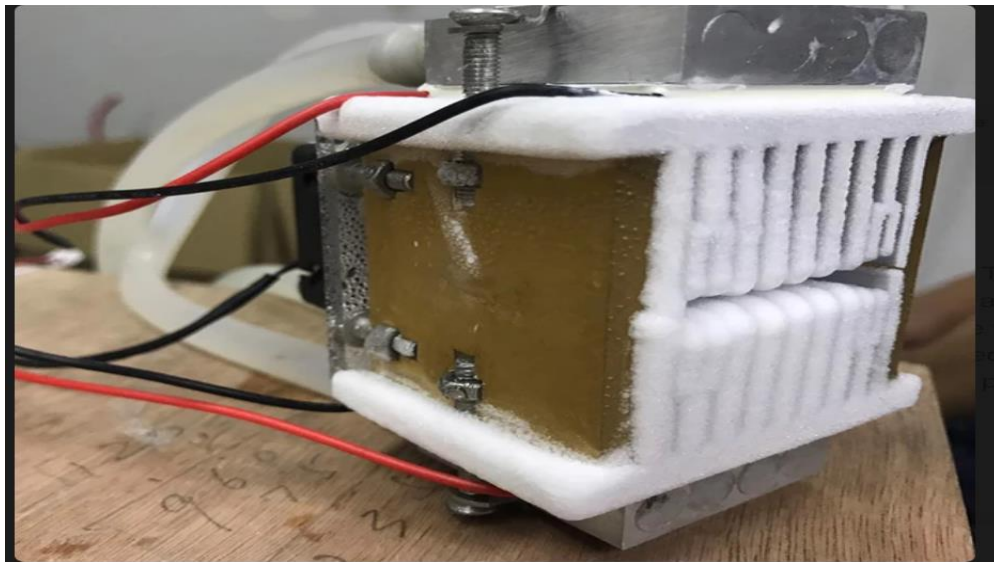


Figure II.18. Refroidissement par le module à effet Peltier (Google image, 2024)

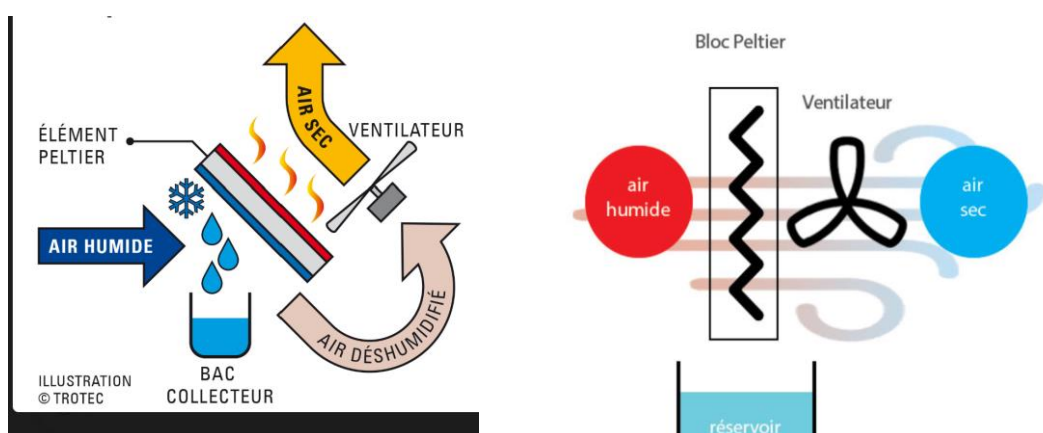


Figure II.19. Schémas des générateurs utilisant les modules Peltier (Google image, 2024)

### Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons pu collecter des informations importantes sur la majorité des procédés utilisées pour la production de l'eau à partir de l'humidité de l'air ; ce sont les plus utilisés.

C'est un domaine de recherche qui nécessite plus de temps pour cerner toutes les spécificités qu'il englobe.

En trouve ; la méthode de récolte d'eau à partir de l'air ambiant qui utilise un condensateur pour récupérer l'humidité de l'atmosphère sans apport d'énergie, il existe d'autres méthodes de collecte d'eau atmosphérique. Ces méthodes incluent :

1. Collecteurs d'eau atmosphérique passifs : Ces installations récupèrent l'humidité de l'air en exploitant les écarts de températures entre le jour et la nuit de manière naturelle et passive.

2. Générateurs capables d'extraire la vapeur d'eau par condensation de l'air ambiant : Ces générateurs nécessitent de l'énergie (actives) pour fonctionner mais offrent une autre approche pour extraire l'eau de l'air.

Ces différentes techniques offrent des solutions innovantes pour la collecte d'eau à partir de l'air ambiant, offrant ainsi des alternatives précieuses pour répondre aux besoins en eau dans des environnements variés

Chaque procédé à des avantages et des inconvénients ; et chacun de ces procédés nécessite des conditions ; climatologique, topographique et géographique propre à lui. Donc avant de faire le choix qu'en peut appliquer en doit faire une étude du milieu naturelle de notre zone d'étude.

Les moyens matériels et expérimentales existants et disponible, sont également importantes pour faire notre choix du procédé.

# **Chapitre III : Etude de milieu naturel**



### III-1 Introduction.

Après avoir passé en revue la plupart des techniques utilisées pour extraire l'eau de l'humidité de l'air à travers le monde. L'étude du milieu naturel de la wilaya de Biskra est considérée comme une étape très importante dans le choix des techniques qui peuvent être appliquées à Biskra en tant que wilaya et en tant que ville vue que les différenciations climatiques et topographiques dans cette wilaya nous imposent plusieurs procédures à choisir selon les différentes zones par exemple ; la topographie et le climat d'El Kantara est différent de la ville de Biskra

La ville de Biskra est située à une altitude de 120 m au-dessus du niveau de la mer, ce qui fait d'elle une des villes les plus basses d'Algérie ; elle est au pied du col de Sfa (258 m) dans les monts du Zab, à seulement 7 km au nord de la ville.

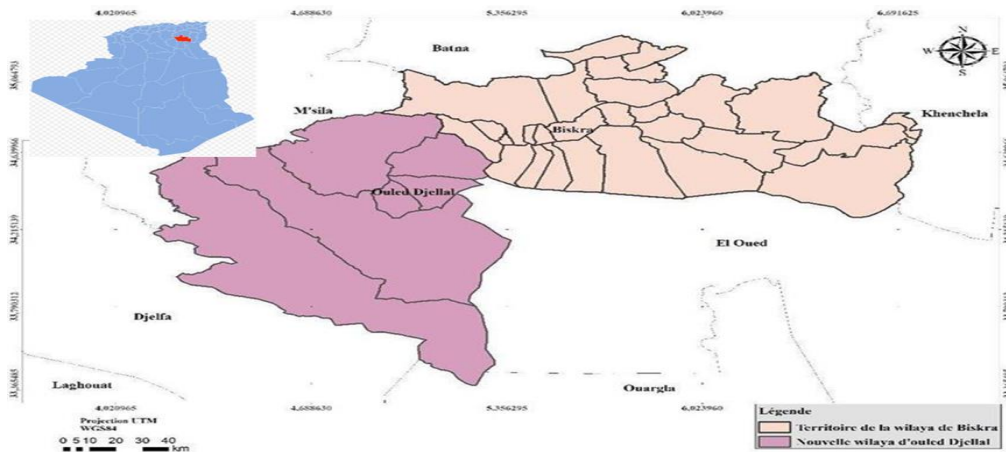
La ville de Biskra est traversée par l'oued Biskra qui prend sa source dans les Aurès et se jette dans le chott Melghir, après un parcours d'environ 194 km. L'oued est habituellement à sec à Biskra, l'apport propre à chaque crue peut rester relativement faible.

Le climat y est très aride et la plupart du temps très clair. Les précipitations sont limitées à seulement 128,8 mm par an. Les précipitations sont assez rares malgré quelques averses enregistrées généralement durant les mois les plus froids, principalement novembre. Les chaleurs extrêmes qui règnent durant l'été peuvent causer de violents orages à la fin de celui-ci, qui se produisent généralement en septembre, lorsque le taux d'humidité de l'air devient nettement plus élevé, le taux moyen annuel est 41 % d'humidité. Le mois avec le taux le plus haut à Biskra est décembre avec 59 % d'humidité, juillet est le mois le moins lourd avec seulement 27 % en moyenne par an.

[https://interieur.gov.dz/Monographie/article\\_detail.php?lien=2450&wilaya=7](https://interieur.gov.dz/Monographie/article_detail.php?lien=2450&wilaya=7)

### III-2-Présentation géographique :

La somptueuse wilaya de Biskra représente un lien essentiel entre le nord, le sud, et l'ouest en raison de sa position sur la côte sud-est de l'Algérie (Figure III.18). La Wilaya se trouve dans la partie sud-est de l'Algérie, près du Sahara. Avec une hauteur de 112 mètres par rapport à la mer. Cela la classe parmi les villes les plus basses d'Algérie. Le chef-lieu de la wilaya se trouve à une distance de 425 km au sud-est de la capitale, Alger. Entre les latitudes Nord 34°, 48° et les longitudes 5°, 44° Est. La wilaya couvre une superficie de 21 500,80 Km<sup>2</sup> selon l'ancienne répartition, actuellement elle couvre une superficie qui est de l'ordre de **10 090.8 Km<sup>2</sup>** ; est surnommée la « Reine des Ziban ». (CRSTRA, 2023)

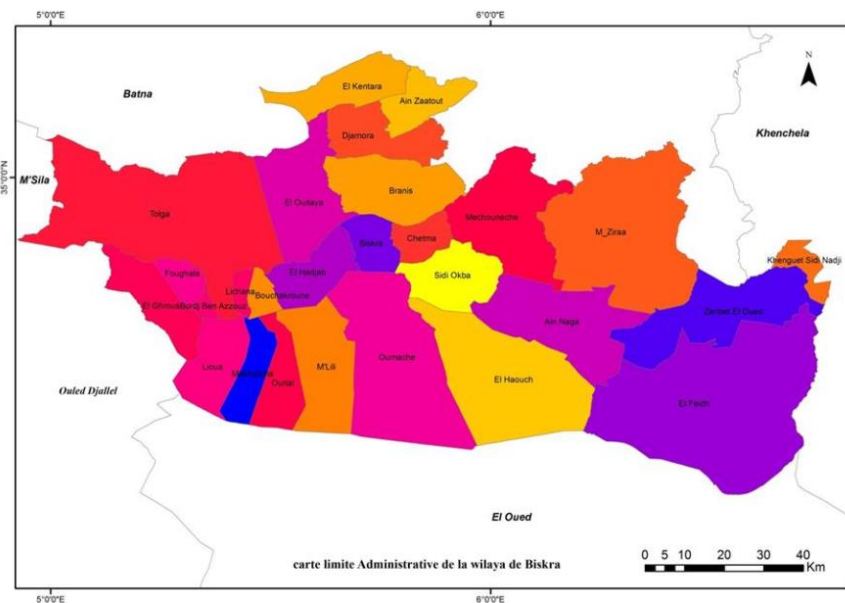


**Figure III.1.** Carte de situation géographique de la wilaya de Biskra (Ministère de l'Intérieur et Kasmouri.,2022)

Les frontières géographiques selon la nouvelle répartition de la wilaya de Biskra :

- Au nord par la wilaya de Batna ;
- À l'est par la wilaya de Khenchela ;
- Au nord-ouest par la wilaya de M'Sila ;
- À Sud-ouest par la wilaya de Ouled Djallal ;
- Au sud par la wilaya d'El Oued ;

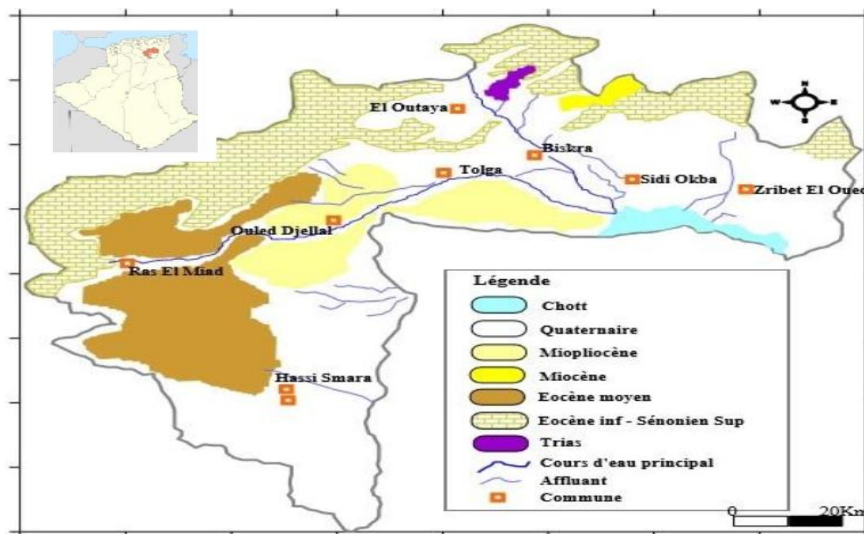
Selon la nouvelle répartition les limites sud de Biskra ont changé comme il est présenté dans la carte suivante :



**Figure III.2.** Limite administrative de la wilaya de Biskra (CRSTRA, 2022)

**III.3. Aperçue géologique :**

Biskra est une zone en transition structurale et sédimentaire, avec des montagnes au Nord et des zones d'effondrement au Sud, qui fait partie du Sahara septentrional. Ces deux domaines distincts sont traversés par un ensemble de flexures, de plis failles et de failles d'orientation Est Ouest, également connues sous le nom d'accident sud atlasique. Cette catastrophe a eu lieu pendant la période paroxysmale du pliocène et du post-pliocène de la résurrection de l'Aurès. Toutes les déformations majeures de l'ensemble du continental néogène (Mio-pliocène) sont attribuables à cette phase orogénique. Les terrains sédimentaires de la région de Biskra vont du Quaternaire au sommet jusqu'au Barrémien à la base. (Hamdi et Zeghoud,2017)



**Figure III.3.** Carte géologique de wilaya de Biskra (ANRH, 2008)

**a. Quaternaire :** Il s'étend dans la plaine en couvrant les dépressions et les vallées. Il est caractérisé par une érosion des dépôts pliocènes et par un important alluvionnement (sable et argile) dans les grandes plaines.

**b. Miocène supérieur (Pontien) :** Seule la dépression (combe) de l'anticlinal du Djebel Bou ghezal l'accueille. Des argiles et des marnes variées, souvent très sableuses, l'illustrent. Il s'agit d'un dépôt continental. Composition détritique : argiles, sables, graviers et marnes.

**c. Pliocène :** Des poudingues, des bancs de grés et d'argiles sableuses près des massifs (Chetma, Chaiba et Ouled Djellal) sont représentés, qui traversent des couches rouges sableuses et gypseuses dans la plaine. Dans le sud de l'Oued Djeddi, la croute calcaro-gypseuse comprend fréquemment des masses de poudingues, de sables et de graviers.

**d. Eocène moyen (Lutétien) :** se trouve exclusivement dans les lagunes et est constitué d'argiles, de gypse en stratification épaisse, d'anhydrites et de calcaires dolomitiques.

**e. Eocène inférieur :** Il possède une capacité de 150 à 200 mètres. Au Nord de Tolga, on peut observer des calcaires blancs abondants en silex noir.

**f. Sénonien supérieur :** Des couches épaisses de calcaires cristallins et dolomitiques sont présentes, ainsi que de nombreuses intercalations lagunaires marneuses et gypseuses à l'Ouest (au Djebel Gouara

Et sur le flanc Nord du Djebel Bou Rhezal). Les calcaires maestrichtiens sont posés sur les marnes sombres du campanien à Dalaat el hamra.

**j. Sénonien inférieur :** Sa force est de 300 à 400 m et il se trouve sur le flanc Nord de Djebel Bou Rhezal. Il s'agit de calcaires de couleur gris ou blanc qui alternent fréquemment avec des marnes de couleur grisâtre et parfois gypseuses.

**h. Turonien :** Un niveau épais de 200 à 300 mètres d'épaisseur est présent dans toute la région montagneuse et est constitué de calcaire cristallin, de calcaire marneux et de calcaire dolomitique.

**i. Cénomaniens :** La puissance de cet étage est de 500 m et il se trouve aux deux extrémités de la région de Biskra, en particulier au niveau de la combe du Djebel Bou Rhezal et au nord-est du Borj Chaiba. Il s'agit de calcaires marneux qui présentent des intercalations marneuses et gypseuses.

**g. Albien :** Il se trouve dans la région de l'anticlinal du Djebel Bou Rhezal et à l'est de Chaiba. La majorité de ses composants sont constitués de grès rouges ou gris avec une argile rouge intercalée. Sa force est d'environ 250 mètres.

**k.** intercalation marine et est composée d'argiles et de marnes variées, d'anhydrites, de calcaires dolomitiques et de dolomie Il y a une épaisseur d'environ 60 mètres dans ce dépôt.

**l.** Uniquement Chaiba est visible sous cette couche. Elle est composée de grès rouges avec quelques intercalations en argile (Hamdi et Zeghoud,2017)

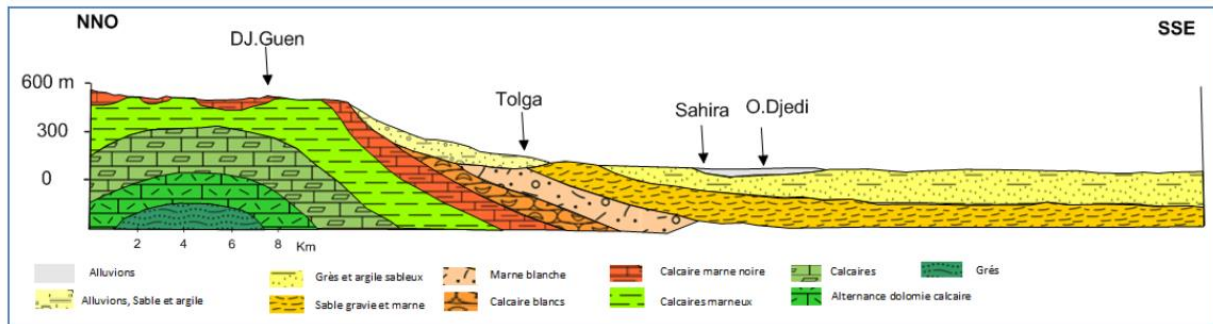


Figure III.4. Coupe géologique synthétique de la wilaya de Biskra. (Helal ,2016)

III.4. Aperçues hydrologique et hydrogéologique :

Quatre unités aquifères représentent les importantes ressources en eau souterraines dans la wilaya de Biskra.

- La nappe phréatique du quaternaire.
- La nappe des sables du mio-pliocène (CT).
- La nappe des calcaires de l'éocène inférieur et du sénonien (CT).
- La nappe des grés du continental intercalaire (CI).

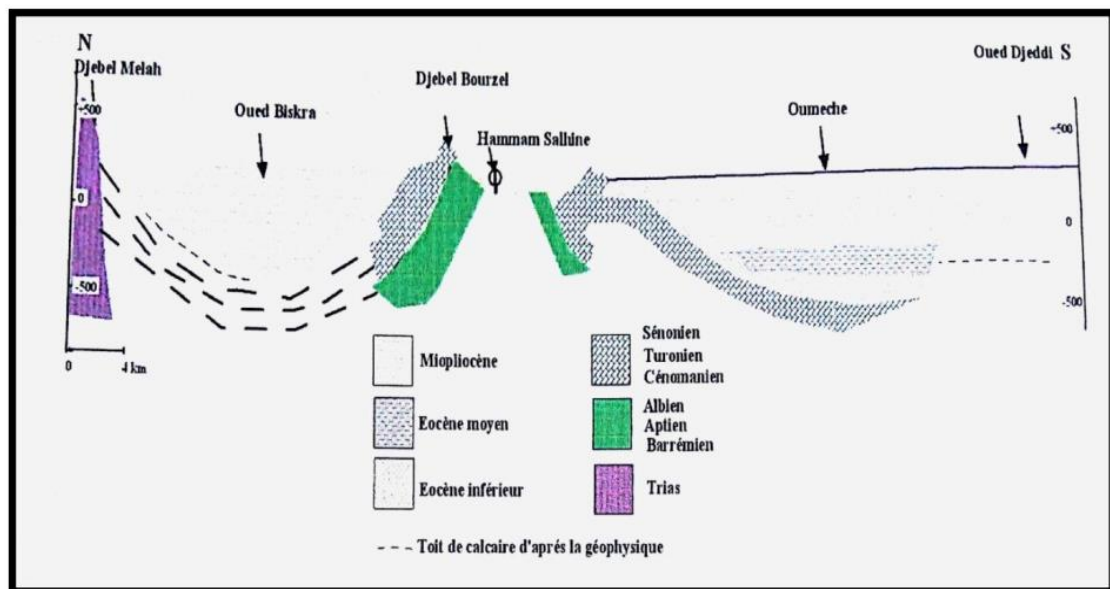


Figure III.5. Coupe hydrogéologique schématique montrant la succession des niveaux aquifères

(Extrait de la carte hydrogéologique de BISKRA 1/200.000) (ANRH 2003)

**Tableau III.1.** Unités géologiques et hydrogéologiques dans la région de Biskra (Hamdi et Zeghoud,2017)

Unités stratigraphiques	Lithologie	Unités Hydrogéologiques	
Quaternaire	Sables, Argiles	Nappe phréatique	
Mio-pliocène	Alternance d'argiles et sables	Nappe des sables	<b>Complexe Terminal</b>
Eocène moyen	Argiles gypseuses	Semi perméable	
Eocène inférieur	Calcaires	Nappe des calcaires	
Sénonien supérieur Maestrichtien	Calcaires		
Sénonien inférieur	Argiles, gypse, sels	Imperméable	
Turonien	Calcaires dolomitique et dolomie	Nappe du turonien	
Cénomanién	Argiles, marnes, Mamo-calcaire et gypse	Imperméable	
Albien	Calcaire Marne, grès	Nappe du Continental Intercalaire	
Aptien	Grès , dolomies		
Barrémien	Grès		

### III.5. Ressources en eau de la wilaya de Biskra :

Généralement les ressources en eau représentent l’une des principales richesses sur lesquelles repose toute action de développement économique et sociale. Au Sahara les ressources en eau sont surtout et largement dominées par les eaux souterraines. Les eaux superficielles sont intimement liées à la pluviométrie notamment dans les bassins versants. (Boucetta,2018)

Selon DSA (2016), les ressources en eau utilisées dans la wilaya de Biskra comprennent :

- Les barrages : 02 barrages (avec un volume de 73 000 000 m<sup>3</sup>).
- Les forages : 8 364 (avec un débit de 83 877 l/s).
- Les puits : 3 616 (avec un débit de 12 194 l/s).
- Les sources : 20 (avec un débit de 2 100 l/s). (Boucetta,2018)

**A-Ressources en eau de surface :**

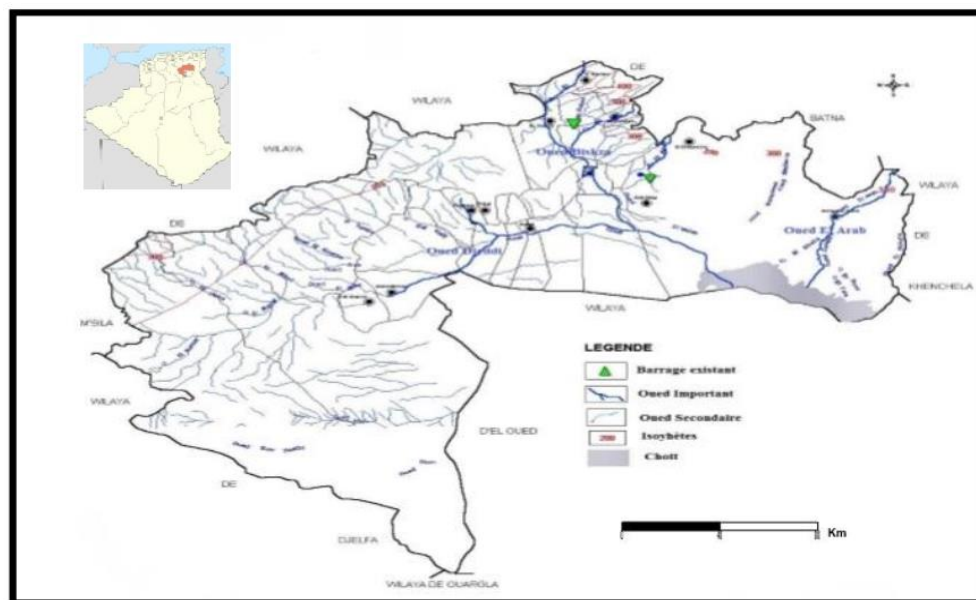
La région des Zibans se trouve à la limite nord-est du bassin versant hydrologique du Sahara Algérien recèle d'énormes potentialités en eau quel soit souterraines (sept nappes d'après

L'ANRH de Biskra), le réseau hydrographique et en plus deux barrages (Foum El Gherza et Fontaine des Gazelles).

Les ressources hydriques superficielles sont relativement peu importantes et peu exploitées. Elles sont irrégulières et par conséquent, leur utilisation se limite à la pratique de l'agriculture de crue qui reste marginale.

La région de Biskra est drainée par quatre grands oueds qui sont :

- Oued Djedi : Couvre une superficie de 24 200 Km<sup>2</sup>. C'est le cours d'eau le plus important du bassin versant). Qui se trouve dans la wilaya d'Ouled Djellel
- Oued Biskra : Son bassin versant couvre une superficie de 2 947 Km<sup>2</sup>. Il collecte des affluents issus des massifs des Aurès, notamment, Oued Branis et Oued El Hai.
- Oued El Arabe : Il prend sa source de Bouhmama wilaya de Khenchela, son bassin versant dans la région de Zeribet El Oued.
- Oued El Abiadh : Il est équipé d'un barrage au niveau de Foum El Gherza. Il prend sa source à une altitude de 1 900 m et se jette dans le Chott Melghir. Il couvre une superficie de 1 200 Km<sup>2</sup> [http : //www.wilayabiskra.dz/Service\\_Agricoles.aspx](http://www.wilayabiskra.dz/Service_Agricoles.aspx)



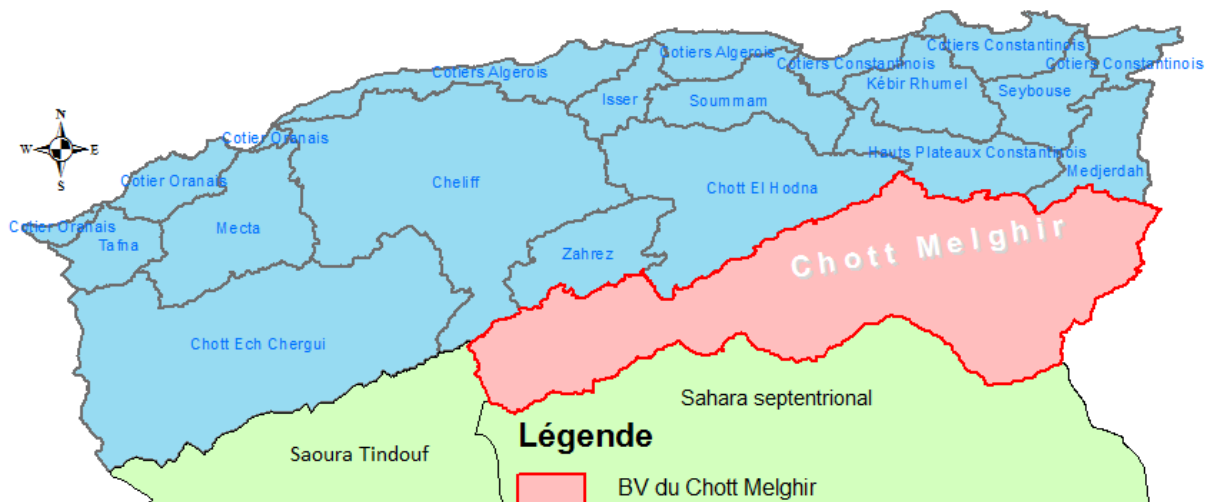
**Figure III.6.** Carte du réseau hydrographique de la wilaya de Biskra et Oulad Djallal (ANRH 2018)

Les ressources hydriques superficielles sont relativement limitées et peu utilisées. En raison de leur irrégularité, leur utilisation se restreint à la pratique de l'agriculture de crue qui demeure marginale. (Boucetta, 2018)

D'après l'ANRH de Biskra, Comme étant l'exutoire de l'ensemble des eaux de surfaces dans le bassin de Melrhir, le chott reçoit les eaux des principaux Oueds : Oued El Arab, Oued Biskra, Oued El Haguef, Oueds El Abiod, et Oued Djeddi avec ses 6 affluents.

Le bassin versant de Chott Melrhir est l'un des 17 bassins versants hydrologiques classés par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques.

Chott Melrhir est un des grands bassins versants de l'Algérie. Il occupe une surface estimée à 68750 km<sup>2</sup>. La carte suivante précise la position du Chott Melrhir parmi les 17 bassins versants classés par l'A.N.R.H. (Bekiri, 2019)



**Figure III.7.** Carte de la situation géographique du bassin versant de chott Melghir (ABHS, 2012)

**B-Ressources en eaux souterraines :**

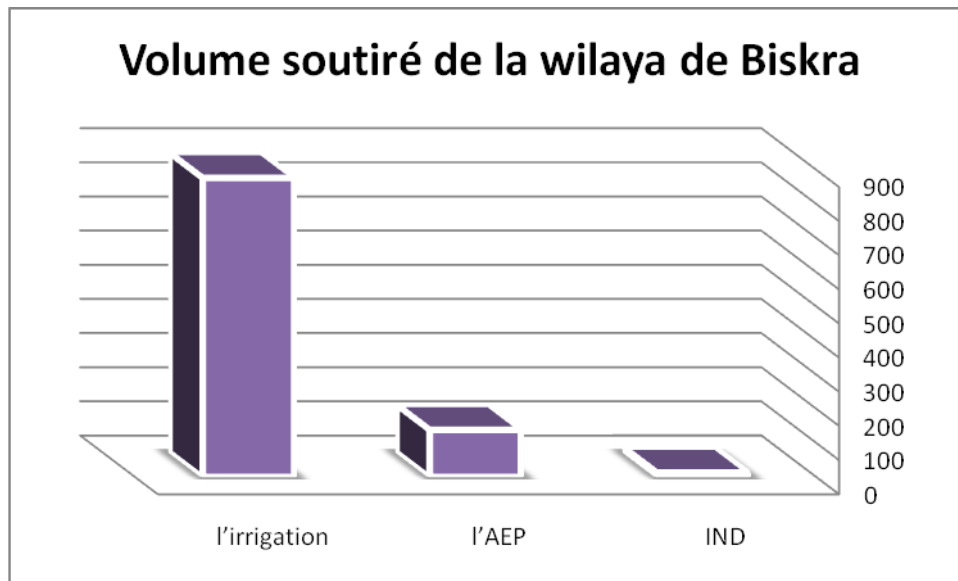
La wilaya de Biskra présente des ressources en eau souterraines importantes, représentées par quatre unités aquifères et sont respectivement :

- Nappe phréatique du Quaternaire.
- Nappe des sables du Mio-pliocène.
- Nappe des calcaires de l'Eocène inférieur et du Sénonien.
- Nappe des grés du continental Intercalaire

Les eaux souterraines représentent l'unique ressource en eau potable dans toute la région de Biskra. La mobilisation de ces eaux se fait généralement au moyen de forages peu profonds. La ville de Biskra est approvisionnée à partir de deux principaux champs captant ainsi que par un nombre important de forages à l'intérieur de la ville.



La wilaya de Biskra totalise 11440 points d'eau, dont 7865 forages, 3575 puits et 6 sources. Le volume d'eau souterraine mobilisé est de 1124 Hm<sup>3</sup>. (M.D.W.B.2016). La répartition des volumes par usages est représentée dans la figure 13. ( Makkaoui,2019 )



**Figure III.8.** Volume soutiré de la wilaya de Biskra Source (ADE, 2016)

La wilaya de Biskra se distingue par une exploitation intense avec un volume total de 1146 hectares, dont 875 hectares sont alloués à l'irrigation, 137 hectares à l'AEP et 12 hectares à l'industrie.(Bekiri, 2019)

### C-Ressources en eaux non conventionnelles :

#### -Stations d'épurations et lagunage :

Actuellement, les eaux usées de la wilaya de Biskra ne sont pas traitées, cependant un programme de construction des stations d'épurations et lagunages est en cours. Le tableau ci-dessous résume la situation et les caractéristiques de ces stations :

Les STEPs recensées sont au nombre de 14, réparties comme suit :

- Quatre (4) stations en réalisation à Biskra, El Kantara, Fontaine des Gazelles et Sidi Okba. Elles totalisent une capacité d'épuration de près de 381 000 Eq.hab
- Deux (2) en projet, (Tab.14) de capacité totale de 131 832 Eq.hab dont la mise en exploitation est prévues pour 2016.
- Huit (08) en phase d'étude, (Tab.15) prévues majoritairement pour 2020. (Helal,2016)

**Tableau III.2.** STEP en cours de réalisation. (Source DRE et ONA 2015)

Code Step	Nom Step	Capacité (Eq/hab)	Année mise en sce	Débit_epur m3/j
SE0605	Biskra	330000	2015	74000
SE0625	El Kantara	15000	2015	7600
SE0626	Fontaine de Ghazelles	6000	2015	3400
SE0627	Sidi Okba	30000	2015	27200

**Tableau III.3.** STEP en Projet. (Source DRE et ONA 2015)

Code Step	Nom Step	Capacité (Eq/Hab)	Année mise en sce
SE0610	Ouled Djellal	67394	2016
SE0611	Tolga	64438	2016

**Tableau III.4.** STEP en études. (Source DRE 2015)

Code Step	Nom Step	Capacité (Eq/Hab)	Année mise en sce
SE0630	OUMACHE	10600	2020
SE0631	AIN ZAATOUT	10600	2020
SE0632	BIR NAAM	6000	2020
SE0633	EL OUTAYA	13000	2020
SE0634	DOUCEN	326000	2020
SE0635	BANIAN	8500	2020
SE0636	EL HADJEB	10000	2018
SE0637	MECHOUNECHE	25000	2018

Les eaux usées de la wilaya de Biskra sont rejetées dans son environnement sans épuration ; ce qui est très dangereux pour l'écosystème d'un côté, d'un autre coté c'est une perte de quantité considérable d'eau qui peut être réutilisés et considéré une eau non conventionnelle

### III.6. Etude climatologique :

Selon les [classification de Köppen BWh](#). Le climat de la wilaya de Biskra est semi-aride à sec. Les étés sont chauds, voir caniculaires et les hivers froids et secs. 1

La détermination des caractéristiques climatiques de notre région se base sur les données climatiques concernant une période allant de 2010 à 2022 (12 ans) :

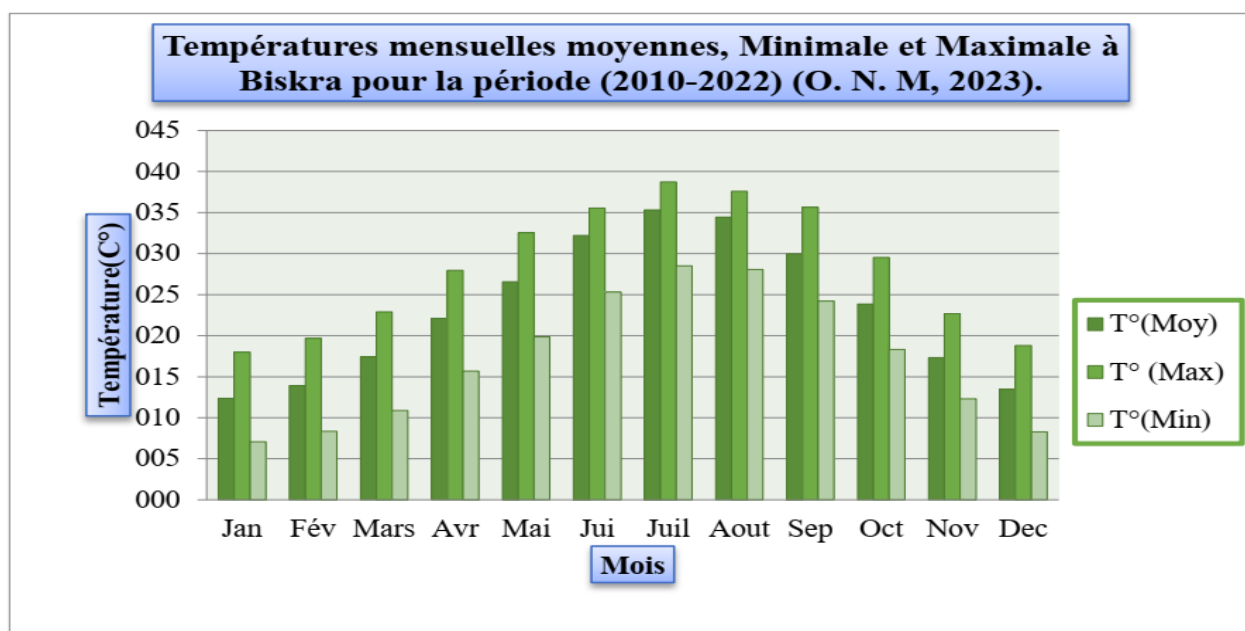
#### III.6.1. La Température :

Les valeurs des températures mensuelles (maximales, minimales et moyennes) de la région d'étude présentent dans le tableau suivant :

**Tableau III.5.** Températures mensuelles moyennes, minimale et maximale à Biskra pour la période (2010-2022) (O.N. M, 2023)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
T°(Moy)	12.35	13.91	17.38	22.08	26.55	32.22	35.34	34.44	29.98	23.85	17.33	13.46
T°(Max)	17.98	19.68	22.92	27.96	32.53	35.54	38.72	37.61	35.65	29.55	22.68	18.79
T°(Min)	7.08	8.37	10.89	15.67	19.86	25.32	28.51	28.06	24.22	18.32	12.32	8.28

A partir des données climatiques que nous avons eues de l'ANRH de la wilaya de Biskra ; nous avons pu établir le graphique suivant :



**Figure III.9.** Températures mensuelles moyennes, minimale et maximale la période (2010-2022) (Gueddouh.K.2024)

T° Max : Température maximale mensuelle moyenne.

T° Min : Température minimale mensuelle moyenne.

T° Moy : Température moyenne mensuelle.

La figure 6 montre les températures moyennes, minimales, maximales et mensuelles de la région de Biskra de 2010 à 2022. Nous avons utilisé les données de la table 1 et de l'annexe 2, qui montrent que les températures élevées sont une caractéristique de la région de Biskra. Au cours de cette période (2010-2022), les températures ont varié selon les saisons. L'été a été

Chaud avec des températures moyennes de 35,34 °C en juillet et l'hiver a été relativement froid avec des températures moyennes de 12,35 °C en janvier.

Les mois de juillet et août ont enregistré les températures les plus chaudes, avec des températures maximales de 38,72 °C et 37,61 °C respectivement, tandis que janvier a enregistré les températures les plus fraîches, avec une moyenne de 12,7 °C.

**III.6.2. Précipitations :**

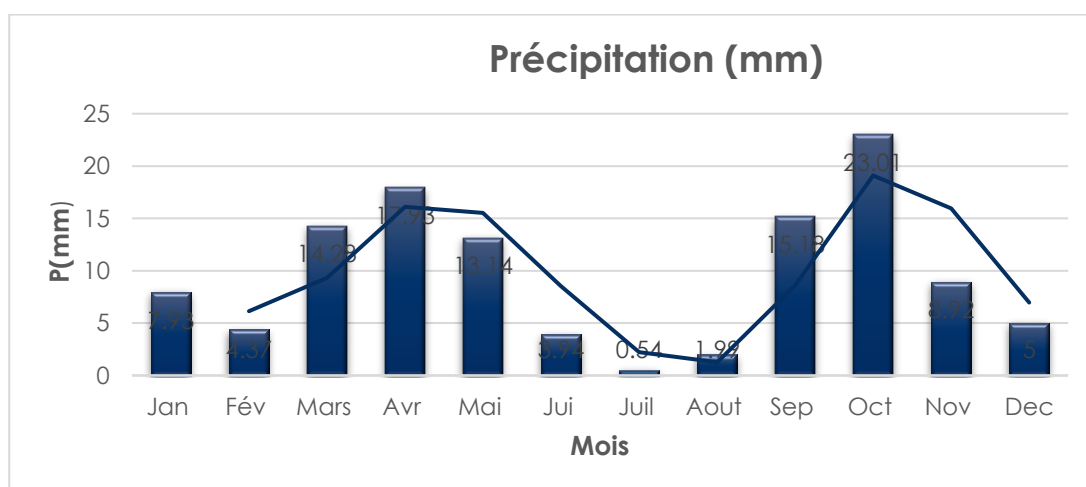
Les précipitations jouent un rôle essentiel car elles témoignent de la circulation des eaux de surface et souterraines. En outre, toute étude climatique exige une analyse approfondie des précipitations, car la pluie est un élément qui influence l'écoulement saisonnier et, par conséquent, le régime des cours d'eau et des nappes.

Elles varient et changent d'une année à l'autre et d'une saison à l'autre. Ces mesures permettent d'évaluer la quantité d'eau tombée et surtout d'évaluer la quantité destinée aux écoulements. La quantité de pluie qui tombe dans la région d'étude est enregistrée dans les 12 ans présents dans la figure suivante :

**Tableau III.6.** Précipitations mensuelles moyennes à Biskra pour la période (2010-2022) (O. N. M, 2023)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
P(mm)	7.93	4.37	14.28	17.93	13.14	3.94	0.54	1.99	15.18	23.01	8.92	5.00

A partir des données climatiques que nous avons eues de ANRH de la wilaya de Biskra ; nous avons pu établir le graphique suivant :



**Figure III.10.** Précipitation mensuelles moyennes de Biskra durant la période (2010-2022) (O. N. M., 2023) (Gueddouh K, 2024)

Dans la région de Biskra, les précipitations annuelles moyennes sont de 23,01 mm, comme le montrent les données du tableau III.7, et la figure III.34 indique que la sécheresse maximale a eu lieu pendant le mois le plus chaud de juillet, où il y a eu des précipitations de 0,54 MM. Le mois le plus humide, octobre, a enregistré 23,01 mm de pluie.

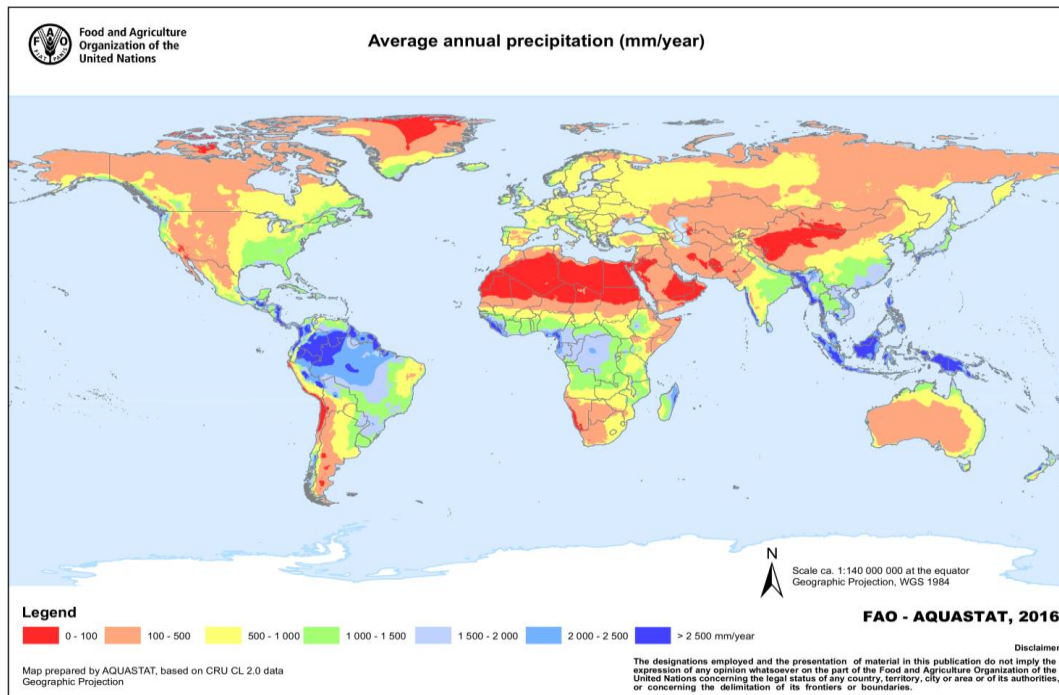


Figure III.11. Les précipitations annuelles (mm/ans)

III.6.3. L’Humidité :

L’humidité relative ou degré hygrométrique est la mesure du rapport entre le contenu en vapeur d'eau de l'air et sa capacité maximale. Elle est mesurée à l'aide d'un hygromètre

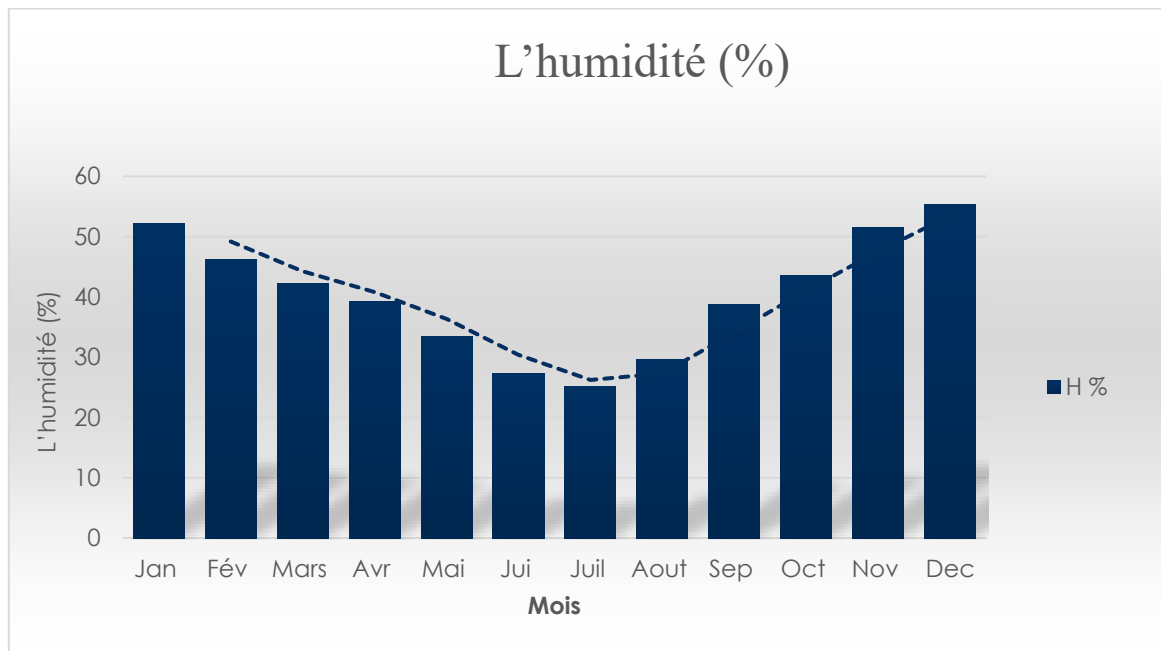
La région de Biskra est une zone aride, Située aux ports du Sahara, avec un climat sec et chaud, il est tout à fait ordinaire de voir des taux d'humidité moins élevés.

Selon la station météorologique de l’ONM Biskra, l’humidité relative moyennée l’air durant l’année (2010 à 2022) est rapportée dans le tableau 04 suivant :

Tableau III.7. L’humidité (%) relative moyenne en pourcentage à Biskra durant la période (2010-2022) (O. N. M, 2023)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
H %	52.16	46.18	42.28	39.29	33.40	27.37	25.08	29.59	38.68	43.48	51.57	55.41

A partir des données climatiques que nous avons eues de ANRH de la wilaya de Biskra ; nous avons pu établir le graphique suivant :



**Figure III.12.** L'humidité (%) relative moyenne en pourcentage à Biskra durant la période (2010-2022) (O. N. M, 2023) (Gueddouh. K. 2024)

La figure montre une variation du taux d'humidité en fonction des mois. Le mois de décembre a la plus haute humidité relative de 55.41 %, tandis que le mois de juillet a la plus faible humidité relative de 25.08%.

#### III.6.4. Les vents :

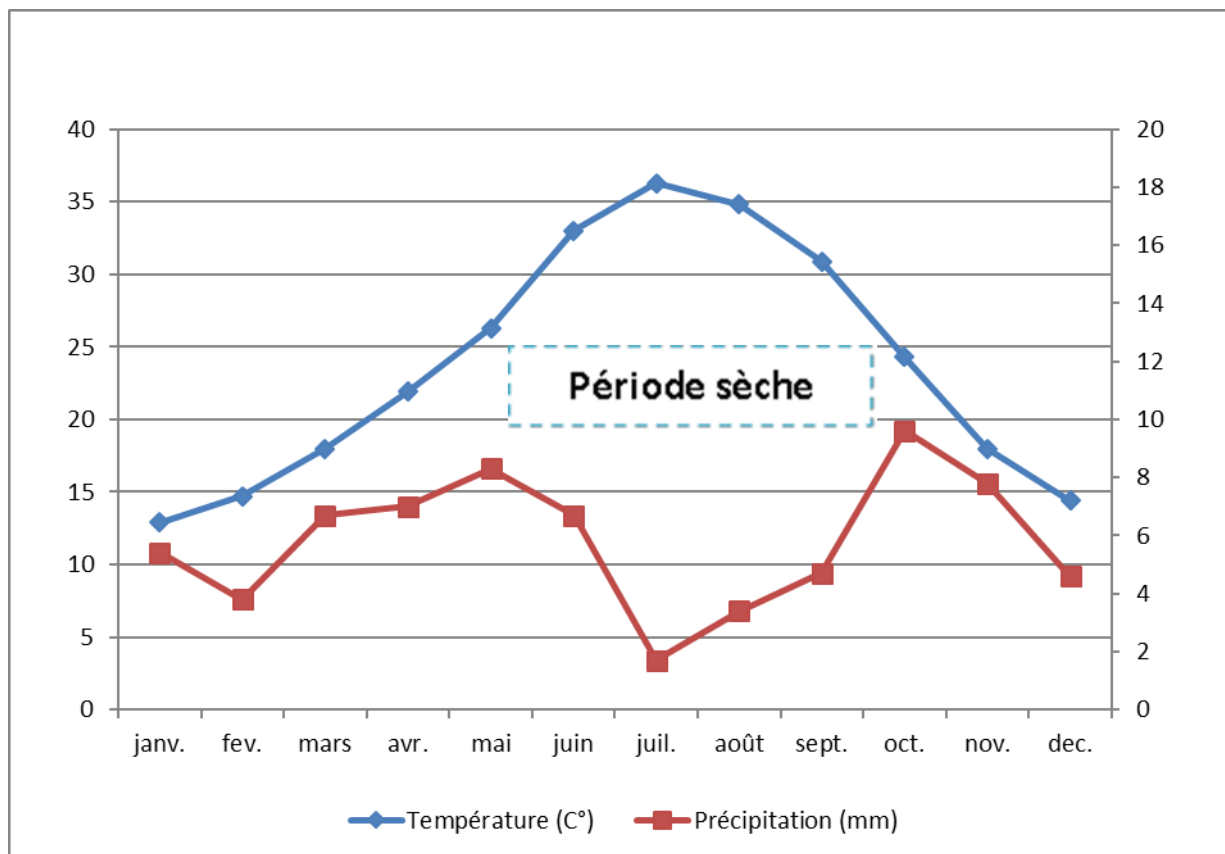
Les phénomènes d'évaporation, de précipitation et les températures sont fortement influencés par les vents. Au printemps et en été, il y a une relative fréquence de vents, et pendant la période des Températures maximales, des siroccos Sud-Est arrivent.

Selon les données de moyennes des vents de la station de Biskra (ONM) sur la période (1988/89-2009/10), il est observé que la fréquence des vents atteint son maximum en hiver (Avril) avec une vitesse de 5.9 m/s, tandis que le minimum des vents est enregistré en octobre avec une vitesse de 4 m/s. Il est également observé que les vents ont presque des vitesses élevées. (Bouchemal, 2017)

III.6.5. Synthèse climatique :

**A- Diagramme ombrothermique de Gausсен :**

Il offre la possibilité de déterminer la durée de la saison sèche en prenant en compte la pluviométrie moyenne mensuelle et la température moyenne mensuelle, qui sont représentées par des axes où l'échelle de la pluviométrie est deux fois plus grande que la température. L'analyse du diagramme montre que la période sèche dans la région de Biskra pour la période de 2010 à 2022, s'étale sur la totalité de l'année avec une augmentation entre les mois de mars et avril à octobre



**Figure III.13.** Diagramme Ombrothermique de Gausсен de la région de Biskra Pour la période (2018-2023)

**B- Le Climagramme pluviothermique d'Emberger**

Le Quotient des précipitations d'Emberger (Q2) adapté au climat méditerranéen permet de déterminer l'étage bioclimatique de la région étudiée. La formule de Stewart (1968), adaptée pour l'Algérie, a été utilisée pour calculer ce quotient. Elle se présente comme suit :

$$Q2 = [3.43 \times P] / (M - m)$$

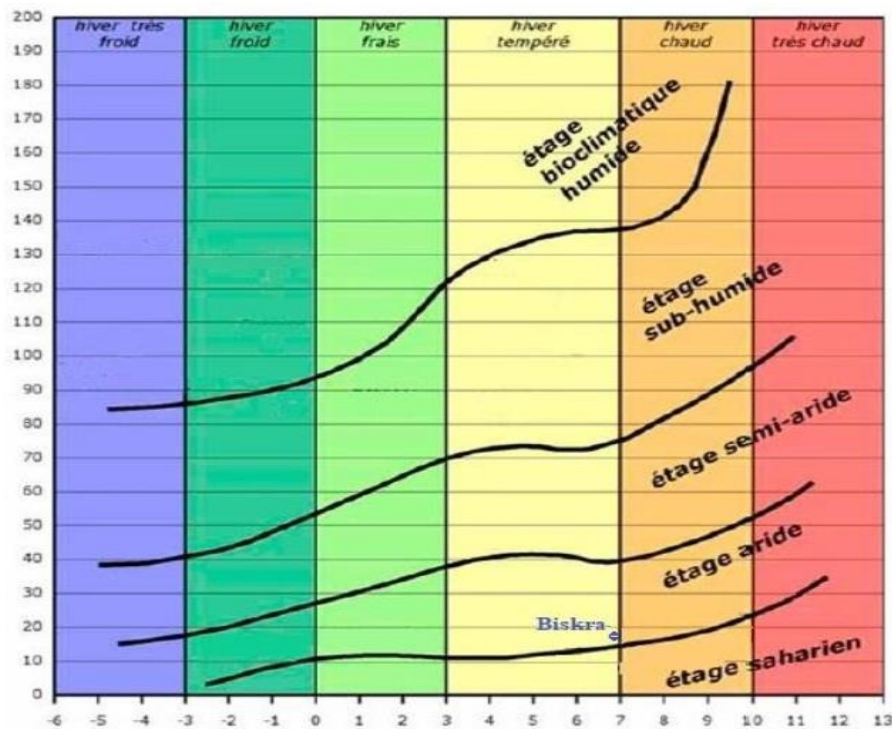
Où :

Q2 : Quotient pluviométrique d'EMBERGER.

M : Température moyenne des maximas du mois le plus chaud (°C)

m : Température moyenne des minima du mois le plus froid (°C)

P : Pluviométrie annuelle (mm) (Belhadj,2023)



**Figure III.14:** Climagramme d'Emberger de la région de Biskra (2010-2022) (O. N. M, 2023)

D'après les données climatiques de Biskra (2010 à 2022) nous avons :

$$P = 116,23\text{mm} \quad m = 7,08^{\circ}\text{C} \quad M = 38,72^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Donc : } Q2 = 3,43. \quad 116,23 / (38,72 - 7,08) = 12,60$$

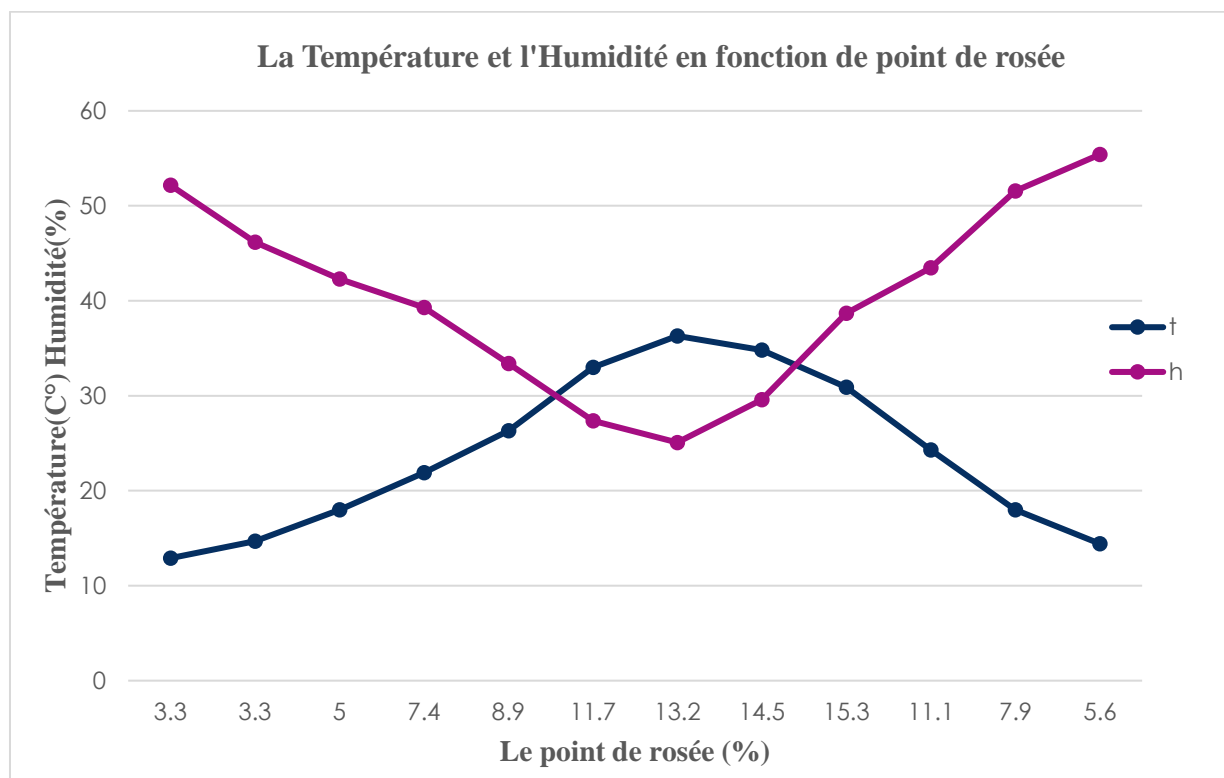
La figure III.30 du Climagramme d'Emberger permet de situer la région de Biskra dans l'étage bio climatique saharien à hiver chaud.



**Tableau III.8.** Le point de rosée en fonction de la température et l’humidité en pourcentage à Biskra durant la période (2010-2022)

	janv.,	fév.,	Mars	avr.,	Mai	Juin	juil.,	Août	Sept.	oct.,	nov.,	déc.,
Température (C°)	12,9	14,7	18	21,9	26,3	33	36,3	34,8	30,9	24,3	18	14,4
Humidité (%)	52,16	46,18	42,28	39,29	33,4	27,37	25,08	29,59	38,68	43,48	51,57	55,41
Point de rosée (%)	3,3	3,3	5	7,4	8,9	11,7	13,2	14,5	15,3	11,1	7,9	5,6

A partir des données climatiques du tableau III.9. Nous avons pu établir le graphique suivant :



**Figure III.15 :** Le point de rosée dans la wilaya de Biskra (Gueddouh.K. 2024)

**Conclusion**

Après avoir analysé le milieu naturel de la région de Biskra, il est possible de conclure que cette région appartient à l'étage bioclimatique Saharien, avec un climat chaud et aride. La pluviométrie annuelle est très faible et irrégulière, avec des variations. La moyenne des températures de cette zone est extrêmement élevée et les périodes de

sécheresse prolongées entraînent une évaporation très intense et une grande luminosité. En conséquence, il y a une faible humidité.

En se basant sur les informations du chapitre précédent qui explique les différents procédés de l'extraction de l'eau à partir de l'humidité de l'air de manière passive en a :

\* Production d'eau avec un film polymère (Procédés 4) ; c'est la plus efficace effectuée pour une humidité même égale à 15%

\* Production d'eau avec générateur d'eau à air atmosphérique (Procédés 5) : la marge de l'humidité est très large qui passe entre 25% à 30% en minimum et peut atteindre 85% et plus pour de meilleurs résultats

A- Production d'eau avec compression de l'air atmosphérique (KUMULUS) : c'est un générateur qui est sous essai en Tunisie dans la frontière Algérienne

B- Les Méthodes de condensation utilisant la génération de refroidissement thermoélectrique (Production d'eau avec effet Peltier) c'est une méthode qui demande plus d'expérimentation ; mais très prometteuses

Notre choix sera fait dans le chapitre suivant en prenant en considération les moyens disponibles.

# **Chapitre IV**

## **Partie Expérimentale**

**IV.1-Introduction :**

La production d'eau par condensation passive de l'humidité atmosphérique est une méthode de collecte d'eau potable qui utilise la rosée et l'humidité de l'air pour produire de l'eau. Cette méthode est particulièrement utile dans les zones arides où l'eau est rare.

Après justification du procédé, selon l'étude du milieu nous allons l'expérimenter et faire une application sur la ville de Biskra, selon ces conditions climatologiques et topographiques.

Le choix s'est fait sur les procédés suivants :

**1- Production d'eau avec un film polymère (Procédés 4) ;** c'est le plus efficace effectué pour une humidité même égale à 15%. Peut-être utiliser pour la zone d'étude ; mais par manque de moyen et surtout la matière première pour la préparation du polymère. Donc impossible d'utiliser cette méthode passive et par conséquent l'intitulé de l'étude doit être modifié

**2- Production d'eau avec générateur d'eau à air atmosphérique (Procédés 5) ;** c'est un procédé actif qui demande de l'énergie. La marge de l'humidité est très large qui passe entre 25% à 30% en minimum et peut atteindre 85% et plus pour de meilleurs résultats

C- Production d'eau avec compression de l'air atmosphérique ; c'est une méthode active qui utilise un système frigorifique qui compresse l'air vers l'évaporateur qui se refroidit et favorise la condensation sur sa surface ; c'est le principe de la majorité de générateur (**atmosphérique water generator AWG**)

D- Les Méthodes de condensation utilisant la génération de refroidissement thermoélectrique ; (Production d'eau avec effet Peltier) c'est une méthode qui demande plus d'expérimentation ; mais très prometteuses

## IV.2. Méthodologie de travail :

Après avoir fait le choix du procédé, nous avons expérimenté plusieurs prototypes dont 4 ont donnés des résultats significatifs :

### 1- Prototype N°1 : Banc d'essais de Mr Guerbai

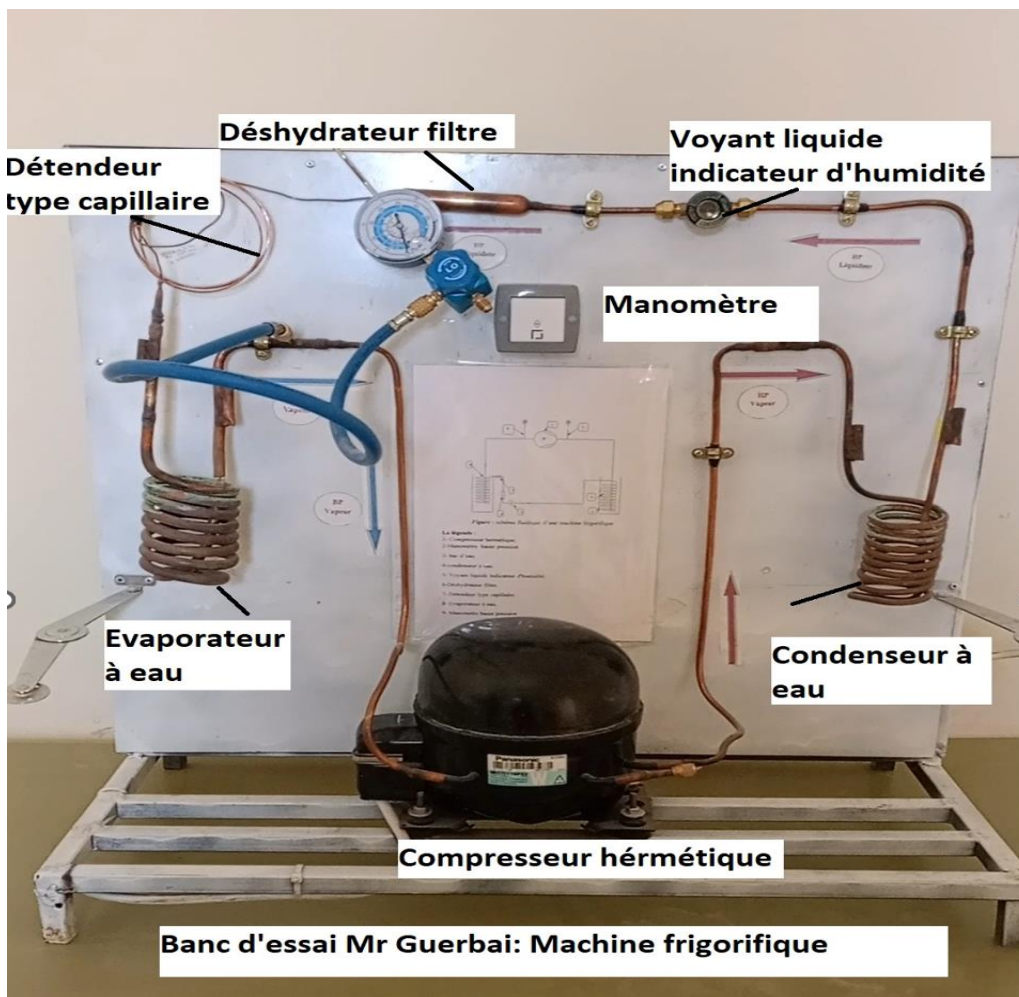


Figure IV.1 : Prototype N°1 (conçue et monté par Dr Guerbai. S. 2024) (Photo ; ZOUITA.N.2024)

### Description et principe :

C'est un banc d'essai qui a été conçu par ; Monsieur Guerbai Salah professeur du département de la mécanique à l'université Mohamed Kheider de Biskra ; c'est une machine frigorifique qui fonctionne avec le système de refroidissement qui est utilisé pour des majorités des générateurs qui sont utilisées pour l'extraction de l'eau à partir de l'humidité de l'air à l'aide d'une surface qui se refroidit et qui sera un lieu favorable pour une éventuelle condensation qui peut dans des conditions favorable nous donné une quantité d'eau.

Avec cette machine frigorifique nous avons effectué plusieurs essais depuis le mois de Mars jusqu'au mois de Mai ; il y a eu une rupture pendant les vacances du printemps sachant que ce banc d'essai se trouve dans la station expérimentale du département génie civil et hydraulique

2- **Prototype N°2** :\_Conçue, monté et expérimenté par docteur Zouita. N\_en 2024\_à l'université Mohamed kheidher de Biskra Département génie civil et hydraulique

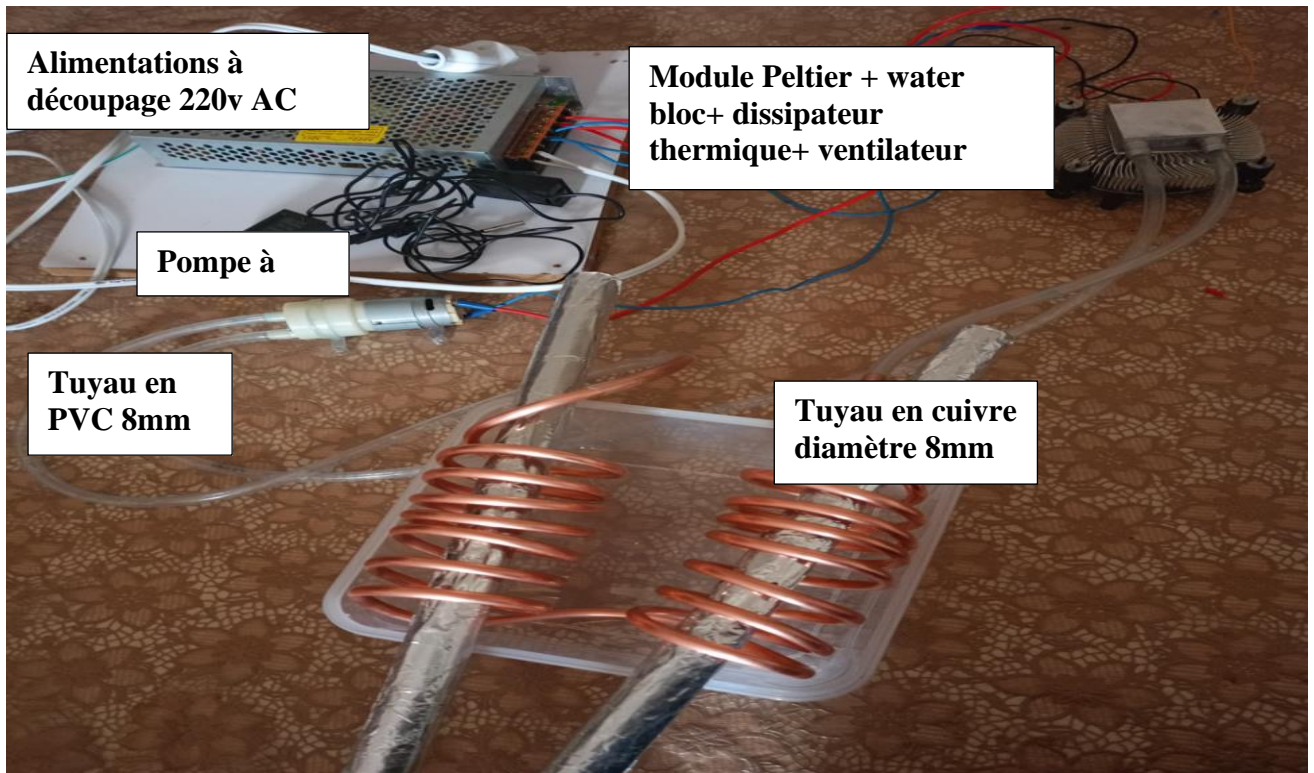


Figure IV.2 : Prototype n°2 (Photo, ZOUITA.N 2024)

#### Description et principe :

Le principe du prototype N°2 c'est le refroidissement de l'eau qui circule dans un circuit fermé à l'aide du module Peltier qui se trouve en dessous d'un water bloc qui est le trais d'union de ce circuit fermé ; lors du refroidissement du tube en cuivre qui est ondulé une condensation de la vapeur qui se trouve dans l'air se fera et donnera par la suite lors des conditions favorables de l'eau dans un état liquide.

Sachant que le module à effet Peltier fonctionne avec 12 volts d'électricité ainsi que le ventilateur qui se trouve en contacte avec le dissipateur thermique ; en quelque seconde en face du Peltier se refroidit et peut atteindre des valeurs négatives à condition d'avoir une bonne ventilation en contacte du dissipateur de chaleur en contacte de la partie chaude du Peltier.

Avec ce prototype nous avons également effectué plusieurs expériences ; tout d'abord pour comprendre le bon fonctionnement du module Peltier. Qui nécessite une bonne maîtrise pour avoir de bons résultats.

Remarque : à chaque fois il faut Appliquer de la pâte thermique pour chaque dissipateur thermique avec le Peltier pour avoir une bonne conductance entre ces parties

### 3- Prototype N°3 : Conçue, monté et expérimenté par Zouita. N\_en 2024\_à l'université Mohamed kheidher de Biskra Département génie civil et hydraulique

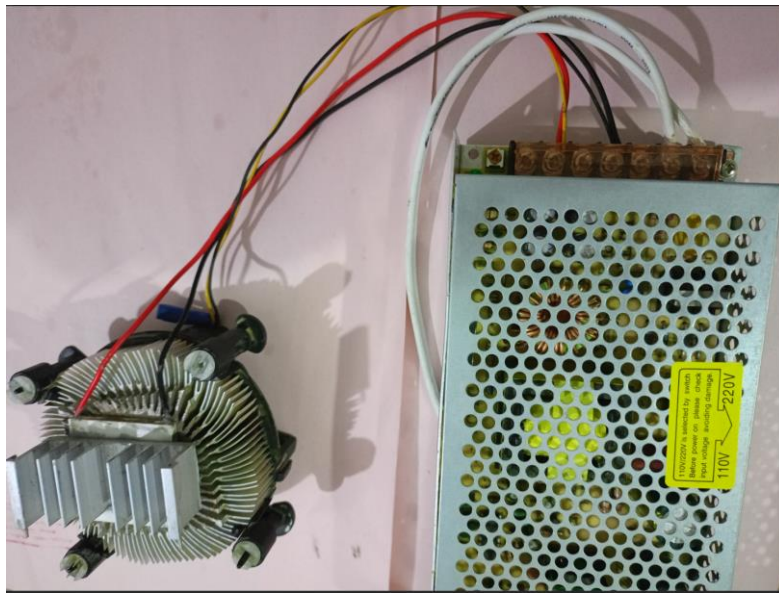


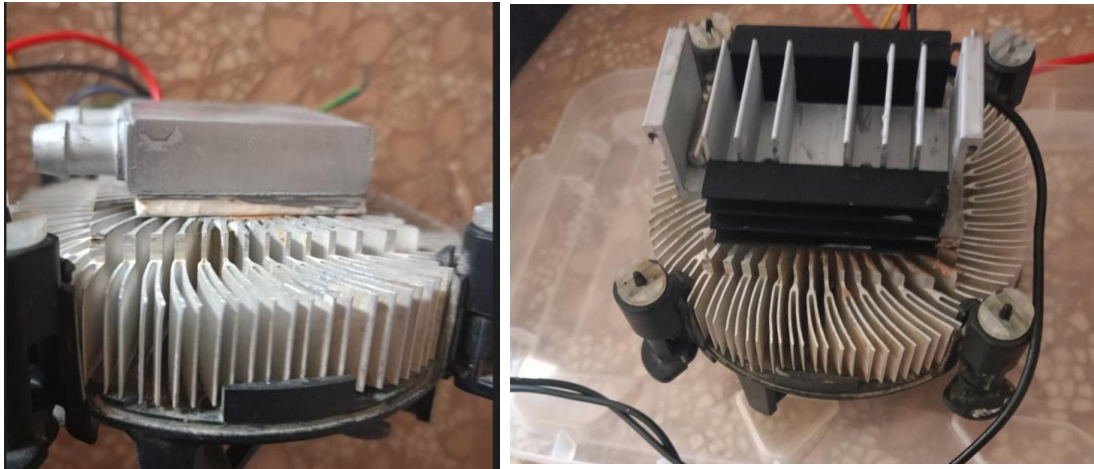
Figure IV.3 : Prototype n° 3 (ZOUITA.N 2024)

#### Description et principe :

C'est un prototype très simple qui ne comporte que le dispositif constitué :

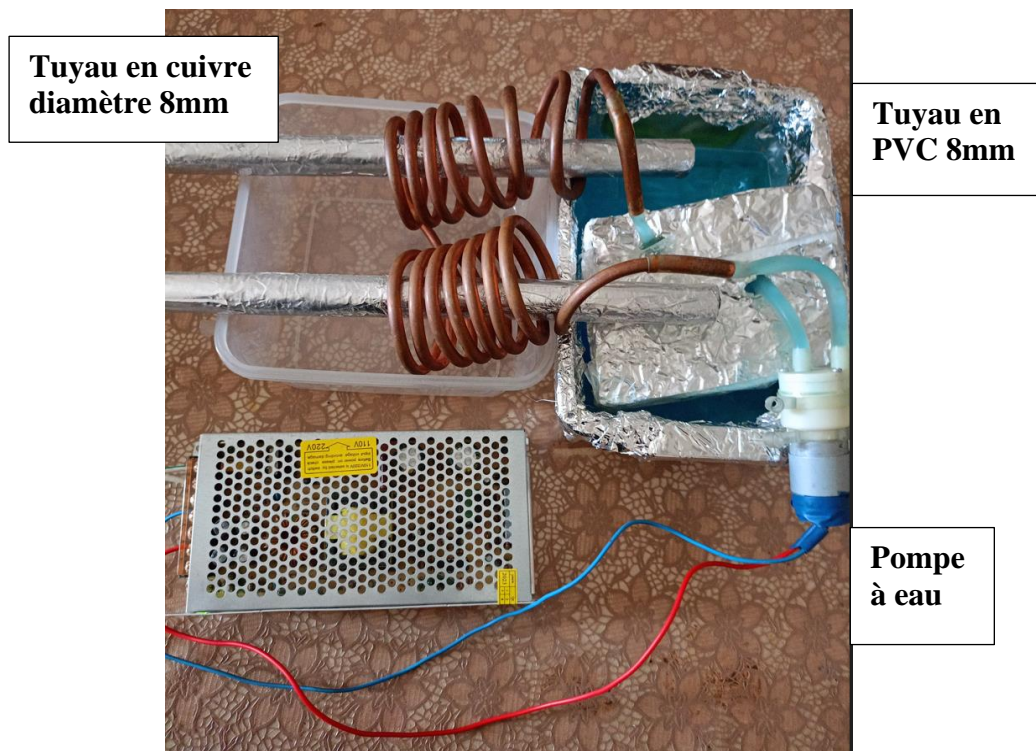
- D'une Alimentations à découpage 220v / AC 12V DC 10A
- Un module à effet Peltier TEC1-12706 12V 6A (-55°C à 138°C)
- Un dissipateur de chaleur surmonté sur un ventilateur à 12 Volte (Collé à la partie qui se réchauffe du Peltier pour dissiper sa chaleur)
- Un dissipateur thermique de différentes formes et dimensions collé à la partie qui se refroidi du Peltier ; c'est sur cette surface qui va se produire la condensation de la vapeur d'eau suspendue dans l'air et par la suite va changer l'état de l'humidité de l'air à une eau qui peut être récupéré dans un récipient

Remarque : à chaque fois il faut Appliquer de la pâte thermique pour chaque dissipateur thermique avec le Peltier pour avoir une bonne conductance entre ces parties



**Figure IV.4** : Les différents dissipateurs thermiques utilisés sur le module Peltier  
(ZOUITA.N 2024)

**Prototype 4** : Conçue, montée et expérimenté par Zouita. N\_en 2024\_à l’université Mohamed kheidher de Biskra Département génie civil et hydraulique



**Figure IV.5** : Prototype n° 4 (ZOUITA.N 2024)



**Description et principe :**

Ce prototype est une simulation des conditions frigorifique par dispositif très simple qui comporte un bac ou un récipient plein de liquide de refroidissement congelé ; qui sera pompé vers les tuyaux en PVC ensuite le tuyau en cuivre où se fera la condensation de la vapeur qui se trouve dans l'air ; le refroidissement de cette surface au point de rosée va changer les gouttelettes condensées en des quantité d'eau récupéré par la suite dans un récipient

**IV.3. Liste du Matériels :**

Le matériau utilisé pour fabriquer le générateur d'eau atmosphérique est :

- Pompe à eau DC 6-12V 6V-12V : elle assure la circulation du liquide de refroidissement



**Figure IV.6 :** Pompe à eau DC 6-12V 6V-12V et  
Pompe à submersion 220 /240 Voltes

- Mini thermomètre et hygromètre LCD de température et humidité (réf : EE11) : pour des lectures précises de l'humidité et de la température pour l'intérieur



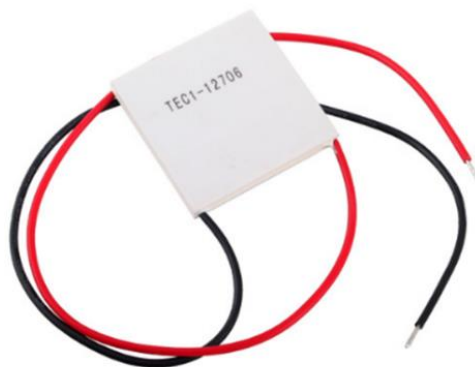
**Figure IV.7 :** Mini thermomètre et hygromètre LCD de température et humidité (réf :  
EE11)

- Alimentations à découpage 220v AC 12V DC 15A



**Figure IV.8.** : Alimentations à découpage 220v AC 12V DC 15A

- Module de refroidissement thermoélectrique à effet Peltier TEC1-12706 12V 6A ; 138°C<sub>max</sub> : Les modules de refroidissement thermoélectriques, souvent appelés modules Peltier, sont des dispositifs électroniques révolutionnaires utilisés pour le transfert de chaleur. Cette technologie, basée sur l'effet Peltier, permet de créer une différence de température à travers un assemblage de matériaux conducteurs d'électricité.



**Figure IV.9.** Module de refroidissement thermoélectrique à effet Peltier TEC1-12706  
12V 6A

- Bloc de refroidissement en aluminium 40mm

Elle assure ainsi l'échange thermique entre le composant à refroidir et le liquide caloporteur, souvent de l'eau déminéralisée additionnée de liquide de refroidissement automobile, et divers additifs permettant divers effets



**Figure IV.10.** Bloc de refroidissement en aluminium 40mm

- Ventilateur 12V 0,15A



**Figure IV.11.** Ventilateur 12V 0,15A

- Tube Cuivre 8mm en forme de ressort : pour Faire circuler de l'eau froide à l'intérieur, provoquant le phénomène de condensation de l'eau



**Figure IV.12.** Tube Cuivre 8mm en forme de ressort Tuyau d'aspiration pvc 8 mm

- Une Seringue simple : Pour faciliter le processus de remplissage du liquide de congélation dans les tuyaux



**Figure IV.13.** Une Seringue simple

- Un bac : Pour accumuler de l'eau intense sur le tuyau de cuivre



**Figure IV.14.** Un bac

- Deux tubes pvc enveloppé avec une feuille d'aluminium :



**Figure IV.15.:** tube pvc enveloppé avec une feuille d'aluminium

- Un dissipateur thermique : Le but du dissipateur est d'augmenter la surface de contact du boîtier du composant avec l'air ambiant en améliorant ainsi l'évacuation de la chaleur et donc facilitant les échanges thermiques



**Figure IV.16.** Un dissipateur thermique

**IV.4. Liste des produits :**

Seringue de pate thermique de 1g :

Une substance gris-argenté à appliquer sur un processeur avant l'installation d'une solution de refroidissement. Elle permet un transfert efficace de la chaleur de l'IHS du processeur vers la plaque de base ou le water block du refroidisseur de processeur conçu pour dissiper cette chaleur.



**Figure IV.17.** Seringue de pate thermique de 1g

- Le liquide de refroidissement :

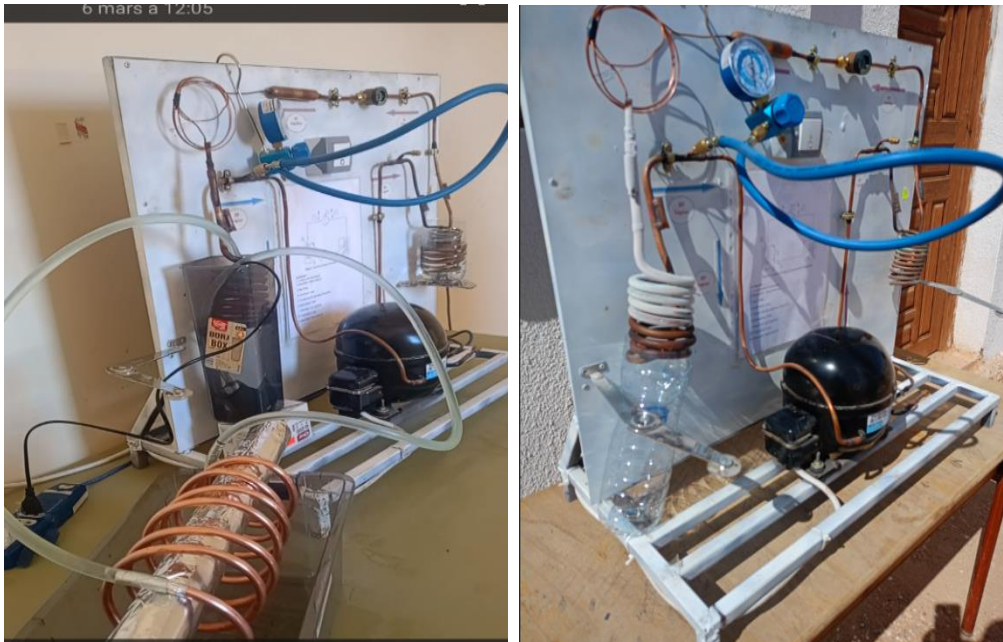
Le liquide de refroidissement est conçu pour maintenir le moteur à température constante, quelle que soit la saison. En effet, il ne gèle qu'à très basse température et ne bout qu'au-delà de 100 °C. Le moteur fonctionne à partir d'une réaction explosive, que l'on nomme combustion



**Figure IV.18.** Le liquide de refroidissement

**IV.3-Résultats et discussions :**

Les expériences ont été effectuées pendant les mois de Mars, Avril et Mai, dans la station du département d'hydraulique l'université de Biskra et pendant la période des vacances les expériences ont été effectuées à domicile par Madame Zouita Nadjoua qui se trouve pas loin de l'université de Biskra donc en a en principe la même condition climatiques et topographiques donc ; L'humidité relative, La température et le point de rosée sont similaires :

**Prototype n°1 : Banc d'essai de Mr Guerbai**

**Figure IV.19. Prototype 1 le 5 Mars 2024**

**Prototype 1 avec modification 06 Mars 2024 (Photo Zouita. N .2024)**

**Tableau IV.1. Résultat des expériences du prototype n°1**

Date de l'expérience	Les conditions expérimentales	Les Résultats
<p><b>05/03/2024</b></p> <p>à 10HR 30</p> <p>A l'intérieur de la station</p>	<p><math>T^{\circ}=23.5^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>H\%= 30\%</math></p> <p>Point de rosée= <math>5.5^{\circ}\text{C}</math></p>	<p>-Après 3 minute début de la condensation</p> <p>-Après 30 minute congélation totale de la partie (Evaporateur</p> <p><b>Donc pas de résultats significatives (- - -)</b></p>
<p><b>05/03/2024</b></p> <p>à 11HR 40</p> <p>A l'extérieur de la station</p>	<p><math>T^{\circ}=25.9^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>H\%= 25\%</math></p> <p>Point de rosée= <math>4,3^{\circ}\text{C}</math></p>	<p>-Après 3 minute début de la condensation</p> <p>-Après 10 minute congélation de la moitié de la partie (Evaporateur</p> <p><b>Donc pas de résultats significatives (- - -)</b></p>
<p>06/03/2024</p> <p>10Hr35</p>	<p><math>T^{\circ}=24,4^{\circ}\text{C}</math></p> <p><math>HR=23\%</math></p> <p>Point dev rosée= <math>1,6^{\circ}\text{C}</math></p> <p>Mètre un bac rempli d'eau refroidi par la partie congelée du dispositif, par la suite pompage de cette dans un circuit fermé par de tuyau en cuivre qui sera refroidi et sur sa surface une condensation probable (Voir Figure IV.19)</p>	<p>Une bonne condensation sur la surface et récupération de quelque goutte d'eau après 3 heures depuis le début de l'expérience</p> <p><b>Donc résultat peu significative mais pas satisfaisant</b></p>



<p>12 /03/2024 à 10hr00</p>	<p><math>T^{\circ}=24,9^{\circ}\text{C}</math></p> <p>HR=16%</p> <p>Point dev rosée= <math>-2,7^{\circ}\text{C}</math></p> <p>Mètre un bac rempli d'eau refroidi par la partie congelée du dispositif (Figure IV.19)</p>	<p>Une bonne condensation sur la surface et récupération de quelque goutte d'eau après 3 heures depuis le début de l'expérience</p> <p><b>Donc résultat peu significative mais pas satisfaisant.</b></p>
-----------------------------	--	--

Selon les résultats obtenus de ce prototype 1 ; la condensation sur l'évaporateur est toujours en dessous du point de rosée ce qui implique que malgré la présence de la condensation sur la surface froide ; mais pas de changement significatif à l'état liquide. Donc il faut plus d'expérience pour perfectionner ce prototype

1- **Prototype n°2 :**

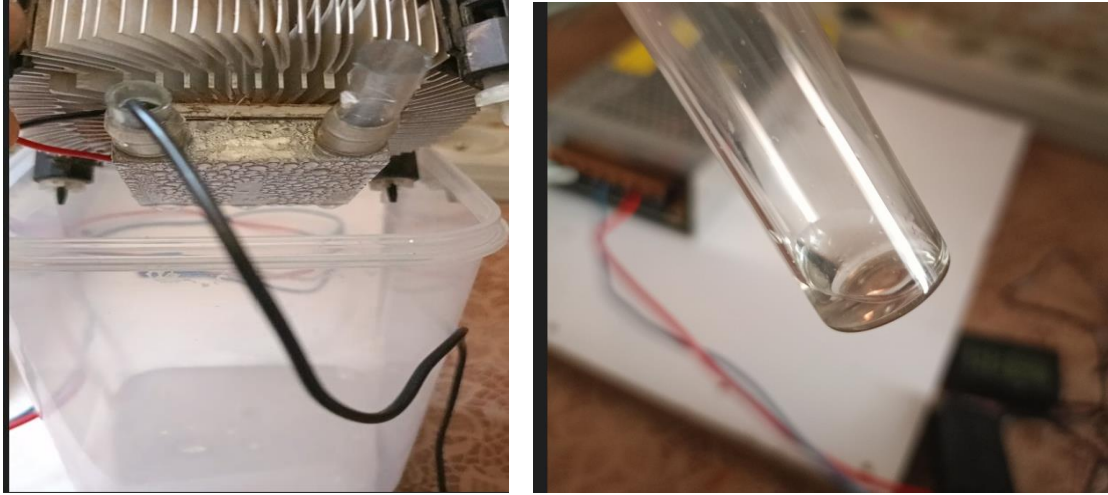
**Tableau IV.2. Résultats du prototype 2 (Zouita. N .2024 )**

Date de l'expérience	Les conditions expérimentales	Les Résultats
<p>18 /03/2024</p>	<p><math>T^{\circ}=28^{\circ}\text{C}</math></p> <p>H%= 21%</p> <p>Point de rosée= <math>3,6^{\circ}\text{C}</math></p>	<p>-Pas de condensation</p> <p><b>Donc pas de résultats significatives (- )</b></p>
<p>24/03/2024</p>	<p><math>T^{\circ}=25^{\circ}\text{C}</math></p> <p>H%= 27%</p> <p>Point de rosée= <math>5^{\circ}\text{C}</math></p>	<p>Une faible condensation sans résultat</p> <p><b>Donc pas de résultats significatives (- )</b></p>

Selon les résultats obtenus de ce prototype 2 ; la condensation généralement faible ou absente vue que la surface du dispositif en cuivre se réchauffe rapidement donc en est

toujours loin du point de rosée ce qui implique, un meilleur perfectionnement de ce prototype 2 pour avoir un résultat positif

## 2- Prototype n°3 :



**Figure IV.20.** Résultats prototype 3 (20 et 26 Avril) (Zouita.N.2024)

Avec ce prototype 3 nous avons effectué d'autre expérience en changeant le dissipateur thermique et les résultats change en fonction : de sa forme de la matière et de la surface qui s'en trouve en contact avec la partie froide du Peltier.

Sachant que les expérience ont été effectuée par, Dr Zouita Nadjoua à son domicile vue que c'était une période des vacances de printemps ; une période où il a eu plusieurs jours de précipitation , donc une humidité relative qui a atteint 41% le 26 Mars 2024

Taleau IV.3. Résultats du prototype 3

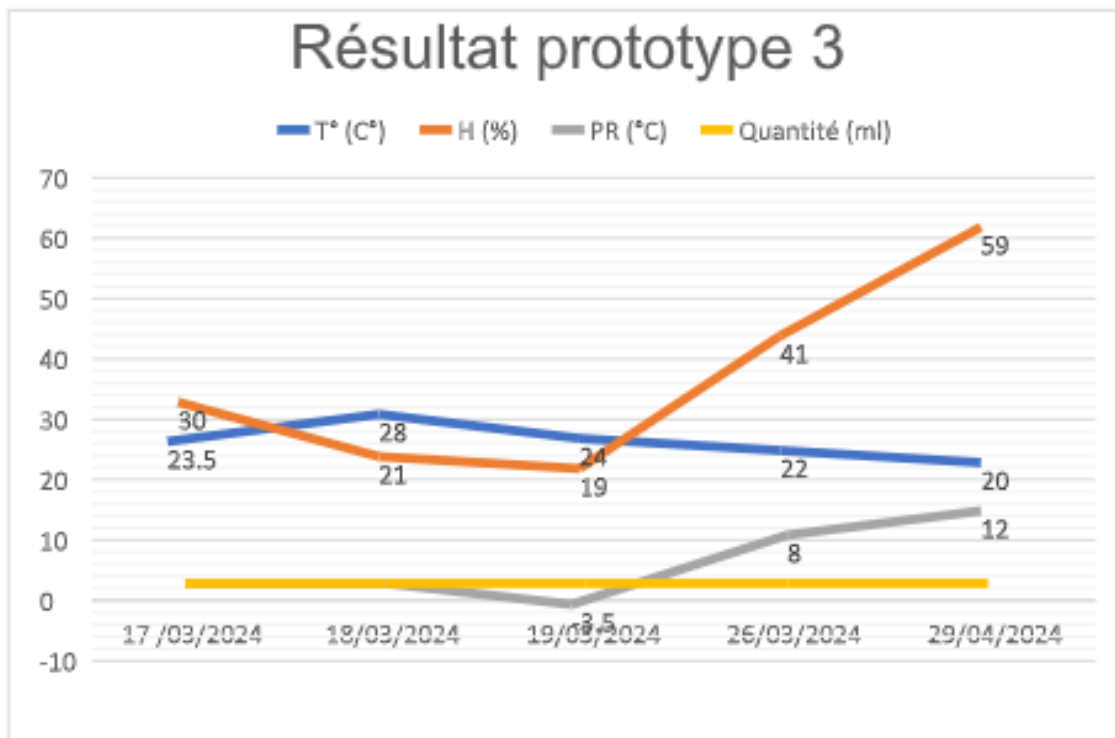
Date de l'expérience	Les conditions expérimentales	Les Résultats
17/03/2024	T°=23.5°C H%= 30% Point de rosée= 5.5°C	-Bonne condensation <b>Résultats significatives mais pas satisfaisant (+ -)</b>
18/03/2024	T°=28°C H%= 21% Point de rosée= 3,6°C	--Bonne condensation <b>Résultats significatives mais pas satisfaisant (+ -)</b>
19/03/2024	T°=24,4°C HR=19% Point dev rosée= -3,5°C	Une bonne condensation sur la surface et pas de gouttes d'eau après 3 heures depuis le début de l'expérience <b>Donc résultat peu significative mais pas satisfaisant (+-- --)</b>
26/03/2024	T°=22°C HR=41% Point dev rosée= 8 °C	Très bonne condensation sur la surface et récupération de quelque goutte d'eau après 2 heures depuis le début de l'expérience 2.5 ml <b>Donc résultat positive</b>
29/04/2024	T°=20°C H%= 59% Point de rosée= 12°C	Une bonne condensation sur la surface et récupération de quelque goutte d'eau après 1 heure depuis le début de l'expérience <b>Donc résultat peu significative mais pas satisfaisant.</b>

Selon les résultats obtenus par le prototype 3, qui sont significative ; en peut les considérer comme positif ; mais nos connaissances du module Peltier sont peu développées et nécessite plus d'expérimentation qui donneront de meilleurs résultats

Mais en peu classer les expériences effectuées avec ce prototype 3 comme prometteuses

Date	T° (C°)	H (%)	PR (°C)	Quantité (ml)
17 /03/2024	23.5	30	5.5	< 1 ml
18/03/2024	28	21	3.6	< 1 ml
19/03/2024	24	19	-3.5	< 1 ml
26/03/2024	22	41	8	2.5 ml
29/04/2024	20	59	12	< 1 ml

A partir des données climatique du tableau d'expériences ainsi que les quantités d'eaux récolté de l'humidité de l'air, nous avons pu établir le graphe suivant :



Graphe résultats du prototype 3 (Zouita. N et Gueddouh. K ; 2024)

**Commentaire :**

Plus la température est élevée et l'humidité relative importante, plus le point de rosée sera élevé. Donc un résultat positif et quantité d'eau satisfaisante.

**Prototype N°4 :**

**Figure IV.21.** Résultat du prototype 4 (26 Mars 2024) (20 Mai 2024) (3 Juin 2024)  
(Photo ; Zouita. N.2024)

Les résultats obtenus par le prototype 4 sont les meilleurs, si les en comparent avec les autres prototypes. Sachant que les expériences ont été effectuées par Dr Zouita Nadjoua à son domicile ; une période où il a eu plusieurs jours de précipitation, donc une humidité relative entre 25 et 47%. Le meilleur résultat est obtenu le 3 juin 2024 ; après 2 heures de temps en a obtenue 9.8 ml d'eau récupérés après condensation (Voir le tableau des résultats).

Le 2 juin avec des conditions d'humidité (73%) et une température de 29.3 °C qui ont été provoqué expérimentalement à domicile (dans la cuisine) ; nous avons obtenue la plus importante quantité d'eau récolté de l'air qui est de l'ordre de 12,5 ml après 2 heures d'expérience

Tableau IV.4. Résultats du prototype 4 ( ZOUITA.N et GUEDDOUH.K 2024 )

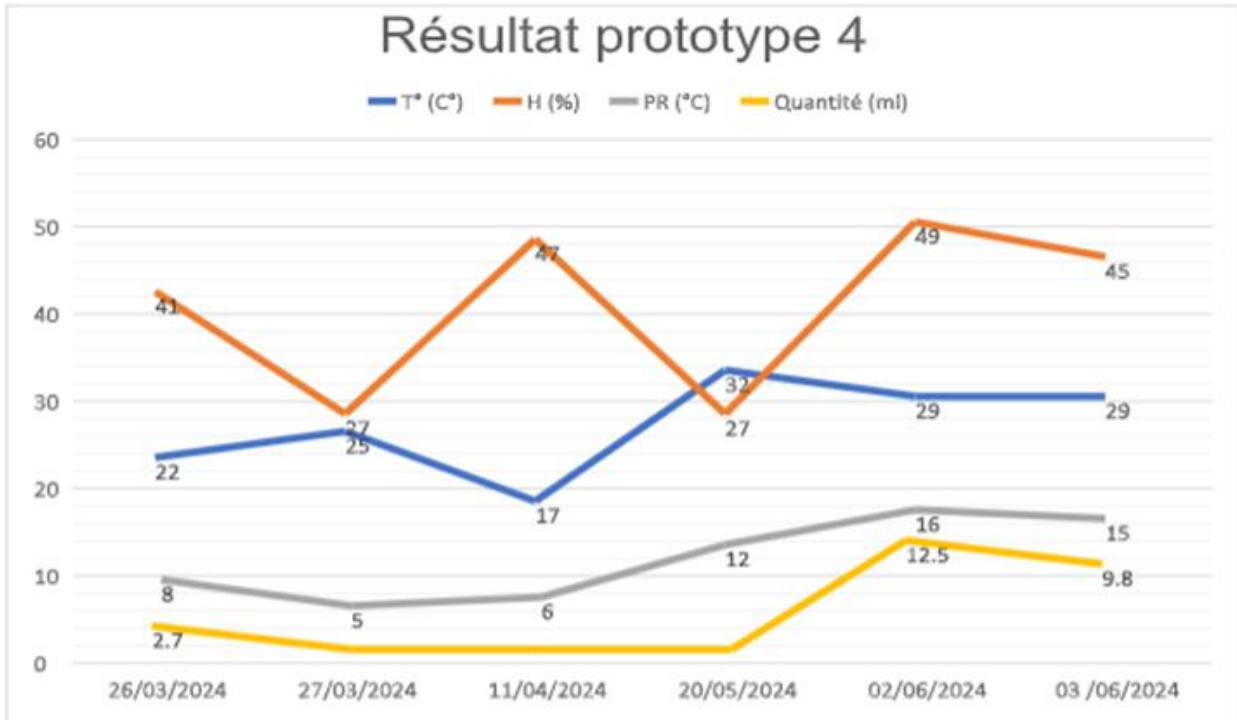
Date de l'expérience	Les conditions expérimentales	Les Résultats
26/03/2024	T°=22°C HR=41% Point dev rosée= 8 °C	Très bonne condensation sur la surface et récupération de quelque goutte d'eau après 2 heures depuis le début de l'expérience <b>2.5 ml</b> <b>Donc résultat positive</b>
27/03/2024	T°=25°C H%= 27% Point de rosée= 5°C	--Bonne condensation <b>Résultats significatives mais pas satisfaisant (+ -)</b>
11/04/2024	T°=17°C H%= 47% Point de rosée= 6°C	Une bonne condensation sur la surface et récupération de quelque goutte d'eau après 3 heures depuis le début de l'expérience <b>Donc résultat peu significative mais pas satisfaisant.</b>
20/05/2024	T°=32°C H%= 27% Point de rosée= 12°C	Très bonne condensation sur la surface et récupération de quelque gouttes d'eau après 2 heures depuis le début de l'expérience <b>2.8 ml</b> <b>Donc résultat positive</b>

02/06/2024	<p><math>T^{\circ}=35^{\circ}\text{C}</math></p> <p>HR=73%</p> <p>Point dev rosée= 29.3°C</p> <p>Condition provoque expérimentalement (Gueddouh,K .2024)</p>	<p>Très très bonne condensation sur la surface et récupération de quelque gouttes d'eau après 2 heures depuis le début de l'expérience <b>12.5 ml</b></p> <p><b>Donc résultat positive</b></p>
03/06/2024	<p><math>T^{\circ}=29^{\circ}\text{C}</math></p> <p>HR=45%</p> <p>Point dev rosée= 15°C</p>	<p>Très bonne condensation sur la surface et récupération de quelque gouttes d'eau après 2 heures depuis le début de l'expérience <b>9,8 ml</b></p> <p><b>Donc résultat positive</b></p>

Tableau IV.5. Tableau récapitulatif des résultats (Prototype 4) :

Date	$T^{\circ} (\text{C}^{\circ})$	H (%)	PR ( $^{\circ}\text{C}$ )	Quantité (ml)
26/03/2024	22	41	8	2.7 ml
27/03/2024	25	27	5	< 1 ml
11/04/2024	17	47	6	< 1 ml
20/05/2024	32	27	12	< 1 ml
02/06/2024	29	49	16	12.5 ml
03 /06/2024	29	45	15	9.8 ml

A partir des données climatiques du tableau d'expériences ainsi que les quantités d'eau récoltées de l'humidité de l'air, nous avons pu établir le graphique suivant : d'expériences Nous avons pu établir le graphique suivant :



Graphique IV.22. Graphique résultats du prototype 4 (Zouita. N et Gueddouh. K ; 2024)

**Commentaire :**

Plus la température est élevée et l'humidité relative importante, plus le point de rosée sera élevé. Donc résultat positif et quantité d'eau satisfaisante.

**Conclusion :**

Les 4 prototypes expérimentés sont inspirés d'un générateur qui produit l'eau à partir de l'eau atmosphérique (AGW)

Les deux prototypes 3 et 4 ; ont donné de bons résultats significatifs qui démontrent clairement la possibilité de l'extraction d'eau à partir de l'humidité de l'air malgré qu'on soit dans une zone sèche où l'humidité se situe entre environ 25% et 58% en moyenne

Ce genre d'expérience nécessite plus de temps et de moyen pour de meilleurs résultats ; sachant que ce sujet n'a pas été traité en Algérie jusqu'à l'heure actuelle selon les recherches qui sont publiées jusqu'à ce jour.



# **Conclusion Générale**

### Conclusion Générale

En conclusion, cette étude a permis d'explorer les possibilités de production d'eau à partir de la condensation de l'humidité atmosphérique dans la région de Biskra et pouvoir obtenir une technologie de captage de l'eau de l'air dans cette zone aride à semi-aride (Nord et sud de Biskra).

Les analyses climatiques ont mis en évidence des conditions météorologiques favorables à la condensation, notamment des températures fraîches la nuit et une humidité relative relativement élevée. Les mesures effectuées sur le terrain ont permis de quantifier les volumes d'eau pouvant être récupérés, qui peuvent atteindre plusieurs litres par jour dans certaines conditions en utilisant des procédés passive (procédés du polymère qui se familiarise convenablement à notre zone d'étude); mais par manque de matière première, il a été exclu de notre expérimentation.

Les 4 prototypes réalisées à l'occasion de ces études ont démontré la possibilité de produire l'eau à partir de l'humidité atmosphérique surtout pendant les journées où l'humidité relative est de l'ordre de 27% jusqu'à 59% avec des points de rosées qui se situent entre 8°C ; 12°C et 15 °C selon les températures enregistrées pour ces jours ; car il y a une relation importante entre ces trois paramètres ( $T^{\circ}$  ; H% et point de rosées).

Bien que des défis techniques et économiques restent à relever pour une application à grande échelle, cette étude démontre la pertinence de cette solution alternative d'approvisionnement en eau, qui pourrait s'avérer particulièrement bénéfique dans les zones arides confrontées à des pénuries d'eau chroniques.

Des efforts de recherche et de développement supplémentaires seront nécessaires pour optimiser les systèmes de production de l'eau par des générateurs (AGW) et en réduire les coûts, mais les résultats obtenus dans la région de Biskra sont très encourageants pour poursuivre cette initiative.

Dans l'ensemble, cette recherche apporte une contribution significative à la compréhension du potentiel de la condensation atmosphérique passive et active comme source d'eau alternative,

Ouvrant ainsi la voie à de nouvelles solutions durables pour relever les défis de la gestion de l'eau dans les régions les plus arides en Algérie et du globe.

# Bibliographie

- Ahrestani, Z., Sadeghzadeh, S., & Motejadded Emrooz, H. B. (2023). An overview of atmospheric water harvesting methods, the inevitable path of the future in water supply. In *RSC Advances* (Vol. 13, Issue 15, pp. 10273–10307). Royal Society of Chemistry.  
<https://doi.org/10.1039/d2ra07733g>
- Ariach, S. Caractérisation des indices Bioclimatique de la région de Biskra et leurs effets sur la croissance de la culture de palmier pattier Phoenix dactyliféra L.) dans la Région de Biskra (Ain debba).
- AZZEDDINE, M. H. (2011). Contribution à l'étude de la répartition spatiale de la végétation spontanée de la région de Biskra. *Biskra*.
- BELHADJ, A. (2023). Phytoécologie et cartographie du couvert végétal steppique, cas de la région de Biskra, Algérie (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER–BISKRA).
- Beysens D., Milimouk I., (2000). Pour des ressources alternatives en eau. *Sécheresse* 2000, 11 (4) : 281-8]
- BOUCETTA, D. (2018). *Effets des changements climatiques sur les cultures pratiquées et les ressources en eau dans la région de Biskra* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA).
- BOUCHEMAL, F. (2017). *Diagnostic de la qualité des eaux souterraines et superficielles de la région de Biskra* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider-Biskra).
- Chitour, D. Effet des eaux chaudes du complexe intercalaires sur la qualité de la datte Deglet-Nour produite dans les palmerais de Sidi Khaled.
- Ferwati MS. Water harvesting cube. *SN Appl Sci* 2019 ;1 :779. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0730-y>.
- Gioda A. Acosta Baladon A. Fontanel P. Hernandez Martin Z. Santos A. L'arbre fontaine. *La Recherche* 1992 ; 249 : 1400-8.  
Gioda A. Acosta Baladon A. L'importance des précipitations occultes sous les tropiques secs. *Sécheresse* 1991 ; 2 : 132-5.
- GRAND PRIZE WINNER IN \$1. 75M water abundance xprize announced at xprize visionering. 2018. <https://www.xprize.org/articles/waxp-grand-prize-winner>.

- Guo, Y., Guan, W., Lei, C., Lu, H., Shi, W., & Yu, G. (2022). Scalable super hygroscopic polymer films for sustainable moisture harvesting in arid environments. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30505-2>
- Helal, F. (2016). Qualité, gestion intégrée et cartographie des ressources en eau de la wilaya de Biskra.
- Houda, M. E. S. S. E. G. U. EM., & Maroua, E. L. G. A. R. N. I. Etude de la maladie pourriture de l'inflorescence du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) de la région de Biskra et Oued Djallal.
- J.F. Nagel, 1956 « *Fog Precipitation on Table Mountain* », *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 82, n° 354, October, p. 452-460
- Kaseke KF, Wang L. Fog and dew as potable water resources: maximizing Harvesting potential and water quality concerns. *Harvest ING 2018* ;2 :327–32.
- Lekouch, M. I. (2010). Imad Lekouch. Production d'eau potable par condensation passive de l'humidité atmosphérique (rosée). *Physique Atmosphérique et Océanique [physics.aoph]*. Université Pierre et Marie Curie -Paris VI ; Université Ibn Zohr, Agadir, 2010. Français. FfNNT : ff. Ffpastel-00547593ff.
- Lu J, Ngo C-V, Singh SC, Yang J, Xin W, Yu Z, et al. Bioinspired hierarchical surfaces fabricated by femtosecond laser and hydrothermal method for water harvesting. *Langmuir* 2019 ;35 :3562–7. <https://doi.org/10.1021/acs.langmuir.8b04295>.
- Makaoui kh. (2019). Etude de la qualité des eaux du barrage de Foum El-Kharza de la région de Biskra. Mémoire de Master : Hydraulique urbaine. Université Mohamed khider – Biskra
- Mekonnen, M. M. & Hoekstra, A. Y. Four billion people facing severe water scarcity. *Sci. Adv.* 2, e1500323 (2016).
- *Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'Energie*
- Peeters, R., Vanderschaeghe, H., Rongé, J., & Martens, J. A. (2020). Energy performance and climate dependency of technologies for fresh water production from atmospheric water vapour. In *Environmental Science: Water Research and Technology* (Vol. 6, Issue 8, pp. 2016–2034). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d0ew00128g>
- Pineda DD, Rezaniakolaei A. Thermoelectric energy conversion: basic concepts and device applications. Germany : Wiley-VCH ; 2017

- Raveesh, G., Goyal, R., & Tyagi, S. K. (2021). Advances in atmospheric water generation technologies. In *Energy Conversion and Management* (Vol. 239). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114226>
- Salehi, A. A., Ghannadi-Maragheh, M., Torab-Mostaedi, M., Torkaman, R., & Asadollahzadeh, M. (2020). A review on the water-energy nexus for drinking water production from humid air. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 120). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109627>
- Sunglacier harnesses solar power harvest water sahara desert twins Technology.<https://sunglacier.nl/articles>>.
- Trosseille, J., Mongrueil, A., Royon, L., & Beysens, D. (n.d.). Production de rosée en laboratoire par refroidissement radiatif. Indoor radiative cooling for dew condensation. <https://doi.org/10.25855/SFT2020-101>
- Yue W, Xue Y, Liu Y. High humidity aerodynamic effects study on offshore wind turbine airfoil/blade performance through CFD analysis. *Int J Rotating Mach* 2017 ;6 :1–15. <https://doi.org/10.1155/2017/7570519>.
  
- **Site web:**
- <https://doi.org/10.1029/2018GH000171>
- <https://doi.org/10.1029/2018GH000171>
- <https://mrmondialisation.org/cette-bouteille-qui-transforme-lair-en-eau/>
- <https://www.francebleu.fr/emissions/connecte/mayenne/kumulus-une-innovation-qui-transforme-l-air-en-eau-potable>
- <https://www.lefigaro.fr/entrepreneur/watergen-la-societe-qui-transforme-l-air-en-eau-20221104>
- <https://www.midilibre.fr/2023/01/03/des-chercheurs-ont-cree-un-systeme-permettant-de-transformer-lhumidite-des-oceans-en-eau-potable-10902109.php>
- <https://www.tameteo.com/actualites/actualite/incroyable-changer-l-air-en-eau-potable-c-est-possible-crise-secheresse-gestion-ressource-inepuisable-innovation-var-litres-benveniste-point-de-rosee-humidite-projet.html>
- <https://youtu.be/9YZLJD2nSQQ?feature=shared>
- <https://youtu.be/Rf50zDYvGSo?feature=shared>