

UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA

Faculté des Sciences Appliquées

Département de Génie civil et Hydraulique

Année 2014/2015



N° d'enregistrement :

/...../...../...../...../

THESE

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat Sciences

en Construction hydraulique et Aménagement

**Contribution à l'économie de l'eau par la réduction de
l'évaporation des plans d'eau par les films mono-
moléculaires**

Présenté et soutenue publiquement

Par :

SAGGAÏ Sofiane

Le 16 Mars 2015

Devant le jury composé de :

KRIKER Abdelouahed	Professeur	U.K.M. Ouargla	Président
BOUTOUTAOU Djamel	Professeur	U.K.M. Ouargla	Promoteur
KHIARI Abdelkader	Professeur	U.L.B.M.O.ElBouaghi	Examineur
MEZA Nouredine	Maître de Conférences A	U.L.B.M.O.ElBouaghi	Examineur
SEGNI Ladjel	Professeur	U.K.M. Ouargla	Co-Promoteur
SAKER Med Lakhdar	Professeur	U.K.M. Ouargla	Invité

Remerciements

Je remercie tout d'abord *DIEU*, le tout puissant, qui m'a donné le courage et la patience pour achever ce modeste travail. Je remercie aussi ma famille, mon épouse et mon fils.

Cette thèse n'aurait pu aboutir sans la contribution efficace de toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin, par leur appui en acquisition de documents et matériels nécessaires, en l'accès à l'information ou par leur soutien moral et leurs encouragements. A tous, je suis redevable et reconnaissant.

Néanmoins, dans ce chemin de reconnaissance, il y a des personnes qu'il faut citer.

Tout d'abord, mon directeur de thèse, Pr BOUTOUTAOU Djamel pour la confiance qu'il m'a donné, pour ses conseils judicieux et avisés, son soutien moral et pour m'avoir supporté tout le long de parcours ; mon Co-Prometteur, Pr SEGNI Ladjel, pour avoir consacré une partie de son temps pour m'orienter et pour sa patience.

Ma vive gratitude pour un homme, qui nous a tous considéré comme ses enfants, un Monsieur, qui malgré ses obligations, il est toujours présent là, près de nous ; Pr. KRIKER Abdelouahed, Professeur à l'université de Ouargla et directeur du laboratoire EVRNZA ; le laboratoire qui a financé une grande partie de mes travaux de thèse de doctorat de m'avoir honoré, en présidant ce jury.

J'adresse mes remerciements également au Pr. KHIARI Abdelkader, professeur à l'université de Larbi Ben M'hidi Oum El Boughi et Dr. LADJEL Mahmoud Maître de conférences à l'université de Abderrahmane Mira Bejaïa, qui ont accepté d'assister et d'examiner cet humble travail.

Comme j'adresse mes vifs remerciements à un homme, qui m'a aidé à faire les premiers pas dans la recherche scientifique et qui m'a honoré par son acceptation de juger mon travail de recherche, Dr. MEZA Nouredine, Maître de conférences à l'université de Larbi Ben M'hidi Oum El Boughi.

Mes remerciements vont aussi au Pr. SAKER Mohamed Lakhdar, Professeur à l'université de Ouargla, pour m'avoir aidé par ces conseils et ses orientations.

J'adresse mes remerciements les sincères au Pr. KHELFAOUI Fethi, Professeur à l'université de Ouargla, Pr. DADAMOUSA Belkheir, Directeur du centre universitaire de Tamanrasset, et Dr. KORICHI Mourad, Vice-Recteur à l'université de Ouargla pour leurs soutiens et leurs conseils depuis le premier jour où j'ai effectué mes premiers pas en tant qu'enseignant à l'université de Ouargla.

Il serait ingrat de ma part de ne pas remercier le personnel de l'ITDAS de Hassi Benabdella et à leur tête le premier responsable, Mr GOUSMI Douadi, le personnel de l'INRAA de Touggourt et à leur tête le premier responsable, Mr HAFOUDA M L, le personnel du CRSTRA, station biophysique de Touggourt, à leur tête le premier responsable, Mr BENAÏSSA, les collègues de la faculté des Sciences de la Nature et de la vie en particulier ceux des laboratoires de l'aquaculture et de microbiologie et le Dr. HANCOCK Nigel, chercheur au niveau de NCEA et enseignant à l'université de Southern Queensland (Australie).

Je suis également reconnaissant envers le personnel des stations de météorologie de Ouargla et Touggourt, et aux responsables de la direction régionale de l'ONM, en particulier, Mr TALBI Nadjib.

Mes remerciements vont aussi à Mr BENHAMIDA Slimane de l'ANRH de Ouargla, Mr KOUIDRI de la DRE Ouargla, Mr BOUNACER Smail et DEBBA Med Said de L'ONA, ainsi que M^{elle} BENSALÈM Naima de l'université de Bab Ezzouar.

Je n'oublierai pas d'adresser mes plus profonds et chaleureux remerciements à mes enseignants et mes collègues de l'université de Ouargla, mes étudiants que j'ai encadré et mes collègues d'Air Algérie, et à tous mes amis.

<i>Liste des figures</i>	Pages
Figure 1. Répartition eau salée/eau douce sur terre	5
Figure 2. Cycle de l'eau	6
Figure 3. Carte de Coefficient de disponibilité en eau par rapport à la population.	9
Figure 4. Répartition des états selon l'indice de pauvreté en eau	10
Figure 5. Carte de la consommation d'eau par le secteur agricole	11
Figure 6. Carte de la consommation d'eau par le secteur industriel	13
Figure 7. Carte des usages domestiques de l'eau	14
Figure 8. Extension des formations du Système Aquifère du Sahara Septentrional	19
Figure 9. Grandes stations de dessalement	33
Figure 10. Transfert à travers la surface de l'eau	36
Figure 11. Bac classe A	43
Figure 12. Bac Colorado	44
Figure 13. Schéma structural d'une monocouche	55
Figure 14. (a) Variations de la résistance spécifique à l'évaporation r en fonction de la longueur de la chaîne de carbone (b) Variations de la résistance spécifique à l'évaporation r en fonction de la pression de surface π pour l'hexadecanol et l'octadecanol, à une température de 25°C	58
Figure 15. (a) Variations de la résistance spécifique à l'évaporation en fonction de la température, et (b) Variations du taux de la réduction de l'évaporation en fonction de la température	59
Figure 16. Taux initial d'étalement pour quelques alcools	60

Figure 17. Cartes de la situation géographique de Ouargla et de ses différentes Dairate	64
Figure 18. Diagramme Ombrothermique de Ouargla (a) et de Touggourt (b) (2004-2013)	69
Figure 19. Climagramme d'Emberger pour Ouargla et sud Oued Righ (Touggourt)	70
Figure 20. Subdivision du bassin hydrographique du Sahara	71
Figure 21. Bac enterré voisin, type Colorado	77
Figure 22. Abri météorologique	78
Figure 23. Anémomètre	79
Figure 24. Pluviomètre	80
Figure 25. Héliographe de Campbell-Stockes	80
Figure 26.(a) Aquarium pour la faune, (b) Aquarium pour la flore	81
Figure 27. Variation de l'évaporation dans le bac témoin en fonction de la température de l'air	90
Figure 28. variation de l'évaporation dans le bac témoin en fonction de l'humidité de l'air	91

Liste des tableaux

	Pages
Tableau 1.. Répartition eau salée/ eau douce sur Terre ; volume recyclé annuellement	06
Tableau 2. Bilan annuel de l'eau sur le globe terrestre	08

Tableau 3 : Répartition mensuelle de l'évaporation dans la région de Ouargla	51
Tableau 4 : Résultat du calcul de l'évaporation	52
Tableau 5. Données des différents paramètres météorologiques de la station de Ouargla	65
Tableau 6. Données des différents paramètres météorologiques de la station de Touggourt (2004-2013)	66
Tableau 7. Caractéristiques des nappes captées par zone	88
Tableau 8. Comparaisons multiples. Variable : Evaporation Test de Tukey ; (Application de l'Hexadecanol, de l'Octadecanol et de leur mélange chaque trois jours)	96
Tableau 9. Comparaisons multiples. Variable : Evaporation Test de Tukey ; (Application de l'Hexadecanol, de l'Octadecanol et de leur mélange chaque cinq jours)	97
Tableau 10. Comparaisons multiples. Variable : Evaporation Test de Tukey ; (Application de l'Hexadecanol «mode poudre et mode solvant » chaque trois jours)	101
Tableau 11. Comparaisons multiples. Variable : Evaporation Test de Tukey (Application de l'Hexadecanol «0,09g et 0,15g » chaque trois jours)	104
Tableau 12. Comparaisons multiples. Variable : Température de l'eau. Test de Tukey (Application de l'Hexadecanol, de l'Octadecanol et leur mélange chaque trois jours)	106
Tableau 13. Comparaisons multiples. Variable : Température de l'eau. Test de Tukey (Application de l'Hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Tilapia)	115
Tableau 14. Comparaisons multiples. Variable : pH. Test de Tukey (Application de l'hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Tilapia)	116

Tableau 15. Comparaisons multiples. Variable : Oxygène dissous. Test de Tukey (Application de l'hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Tilapia)	118
Tableau 16. Comparaisons multiples. Variable : Température de l'eau. Test de Tukey (Application de l'Hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Spiruline)	123
Tableau 17. Comparaisons multiples. Variable : pH. Test de Tukey (Application de l'hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Spiruline)	124
Figure 18. Comparaisons multiples. Variable : Oxygène dissous. Test de Tukey (Application de l'Hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Spiruline)	126
Tableau 19. Comparaisons multiples. Variable : Salinité. Test de Tukey (Application de l'Hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Spiruline)	127
Tableau 20. Comparaisons multiples. Variable : Température de l'eau. Test de Tukey (Application d'Hexadecanol et d'Octadecanol sur une eau destinée à la consommation)	131
Tableau 21. Comparaisons multiples. Variable : pH. Test de Tukey (Application d'Hexadecanol et d'Octadecanol sur une eau destinée à la consommation)	132
Tableau 22. Comparaisons multiples. Variable : Oxygène dissous. Test de Tukey (Application d'Hexadecanol et d'Octadecanol sur une eau destinée à la consommation)	133
Tableau 23. Comparaisons multiples. Variable : Salinité. Test de Tukey (Application d'Hexadecanol et d'Octadecanol sur une eau destinée à la consommation)	135

Sommaire

	Pages
Introduction générale	01

Chapitre I : Ressources en eau dans le monde et en Algérie

1. Introduction	04
2. Situation de l'eau dans le monde	05
2.1.Cycle de l'eau et bilan hydrologique	06
2.1.1. Cycle de l'eau	06
2.1.2 Bilan hydrologique	07
2.2.Répartition de l'eau et des êtres humains	08
2.2.1. Pays riches et pays pauvres en eau	08
2.2.2. Avoir de l'eau et pouvoir la maîtriser	09
2.2.3. Consommation de l'eau dans les différents secteurs	10
2.2.4. L'eau virtuelle	14
2.3.Raisons justifiant les craintes des crises de l'eau	14
2.4.L'eau source de conflits	16
3. La situation de l'eau en Algérie	17
3.1.Bilan hydrique	17
3.2.Ressources superficielles	17
3.3.Eaux souterraines	18
3.4.Consommation en eau en Algérie pour différents secteurs	19
3.4.1. Secteur agricole	19
3.4.2. Secteur industriel	21
3.4.3. Secteur municipal	22
3.5.Problèmes de l'eau en Algérie	22
3.5.1. Problèmes liés aux barrages	22
3.5.2. Problématique de l'eau liée aux changements climatiques	24
3.5.3. Pollution des eaux	27
3.5.4. Intrusion des eaux marines dans les aquifère côtières	27
4. Actions adoptées pour augmenter les stocks en eau	28
4.1. Entretien des barrages actuels et lutttes contre l'envasement	28
4.2. Réalisation des grands barrages, des petits barrages et des retenues collinaires	30
4.3. Utilisation de la recharge artificielle des nappes	31

4.4. Réutilisation des eaux usées épurées	32
4.5. Dessalement des eaux	32
4.6. Lutte contre les fuites des différents réseaux	34
4.7. Production de l'eau douce à partir de l'humidité atmosphérique	34
5. Conclusion	34

Chapitre II : L'évaporation à partir des plans d'eau et sa réduction

1. Introduction	36
2. L'évaporation à partir des plans d'eau	37
2.1. Evaporation dans le monde et en Algérie	37
2.2. Détermination de l'évaporation	39
2.2.1. Mesure de l'évaporation des plans d'eau	40
2.2.2. Calcul de l'évaporation des plans d'eau	45
3. La réduction de l'évaporation	52
3.1. Techniques de réduction de l'évaporation	52
3.1.1. Brises - vents	52
Réduction de la surface exposée au soleil et la couverture totale de la surface des plans d'eau	53
3.1.2. Films mono-moléculaires	53
3.1.3. Autres techniques	54
3.2. Monocouches (films mono-moléculaires)	54
3.2.1. Définition	54
3.2.2. Aperçu historique	55
3.2.3. Propriétés des films mono-moléculaires (monocouches)	56
3.2.4. Modes d'applications des substances	62
4. Conclusion	63

Chapitre V : Etude expérimentale

1. Caractéristiques physico-géographiques et climatiques de la région de Ouargla	64
--	----

1.1. Situation géographique	64
1.2. Climat	65
1.2.1. Températures	66
1.2.2. Précipitations	67
1.2.3. Humidité de l'air	67
1.2.4. Vents	68
1.2.5. Insolation	68
1.2.6. Synthèse climatique	68
1.3. Réseau hydrographique	71
1.3.1. Oued M'ya	72
1.3.2. Oued N'sa et Oued M'zab	72
1.4. Ressources en eau à Ouargla	72
1.5. Situation du secteur de l'eau à Ouargla	75
2. Matériels	77
2.1. Matériels de terrain	77
2.1.1. Bacs	77
2.1.2. Appareils de mesures des paramètres météorologiques	78
2.2. Matériels de laboratoire	81
2.2.1. Aquariums	81
2.2.2. Faune et flore aquatique	81
2.2.3. Appareils de mesure	82
2.3. Les alcools aliphatiques	82
2.3.1. Hexadecanol	82
2.3.2. Octadecanol	83
2.3.3. Caractéristiques avantageuses des deux substances	83
3. Protocoles expérimentaux	84
3.1. Expériences sur terrain	84
3.1.1. Expériences à Ouargla	84
3.1.2. Expériences à Touggourt	85
3.2. Expériences aux laboratoires	86
3.2.1. Cas de la faune (larves de <i>Tilapia nilotica</i>)	86

3.2.2. Cas de la flore (Spiruline)	86
3.2.3. Qualité de l'eau destinée à la consommation humaine	88

Chapitre IV : Effets des films mono-moléculaires sur le taux de l'évaporation

1. Résultats	90
1.1. Effet des paramètres météorologiques sur le taux de l'évaporation dans le bac témoin	90
1.1.1. Températures de l'air	90
1.1.2. Humidité relative de l'air	91
1.1.3. Vitesse du vent	91
1.2. Effets de la durée entre deux applications de l'hexadecanol et de l'octadecanol sur le taux de l'évaporation	92
1.3. Effets du mode d'application de l'hexadecanol sur le taux de l'évaporation	97
1.4. Effets de la dose de d'hexadecanol sur le taux de l'évaporation	101
1.5. Effets de des films mono-moléculaires sur la température de l'eau	105
1.6. Variation des taux de réduction de l'évaporation en fonction de quelques paramètres météorologiques	106
Discussion générale	108

Chapitre V : Effets des films mono-moléculaires sur l'environnement

1. Résultats	114
1.1. Effets des films mono-moléculaires sur la faune aquatique et son environnement (cas de <i>Tilapia nilotica</i>)	114

1.1.1. Paramètres physico-chimiques	114
1.1.2. Paramètres biologiques	118
1.2. Effets des films mono-moléculaires sur la flore aquatique et son milieu (cas de Spiruline)	121
1.2.1. Paramètres physico-chimiques	121
1.2.2. Paramètres biologiques	127
1.3. Effets des films mono-moléculaires sur la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine	130
1.3.1. Paramètres physico-chimiques	130
1.3.2. Paramètres biologiques	136
Discussion générale	137
Conclusion générale	145
Références bibliographiques	149
Annexes	168

Abstract

Clean fresh water is the most precious natural resource available to mankind. People must have water for personal, municipal, industrial and agricultural use. Most of surface water in Algeria is stored in big and small dams and this and this type of storage allows for the greatest loss of water by evaporation. In Algeria 100 billion m³ of waterfalls as precipitations each year. Of this amount 85% of water is returned to the atmosphere by evaporation.

Water conservation is a necessity in arid states that have scant rainfall and high evaporation losses. Scientists and engineers have considered many physical and chemical methods in attempt to reduce evaporation losses from open water storages. One of the most promising techniques is the application of a thin chemical film on the surface of the water to retardate evaporation.

The present thesis allows presenting the first Algerian experiments of water storages evaporation reduction by the technique of monolayer. To facilitate measurement of the evaporation rate and the microclimate measurements were made on a small scale water surface (Colorado-type evaporation pan). This choice was also justified because there is a large body of knowledge on the physical behavior of open pan evaporation. This gives a valuable basis for the interpretation of the results and their application to dams.

Small scale field trials were conducted in Hassi Ben Abdellah and Nezla locations (department of Ouargla) and laboratory studies were conducted at the University of Ouargla. Experiments have had as objectives to study the efficiency of this technique under Algerian arid climate and its effects on water quality and aquatic beings.

Results have shown that a continuous application of monolayers on water surfaces allows to save water (by registering evaporation reduction rates of 20% and more), do not affect a lot physical and chemical water parameters and have no toxic effects on aquatic beings.

Keywords: open water storages, arid climate, evaporation reduction, monolayers.

Résumé

L'eau fraîche constitue la ressource vitale pour l'humanité. L'homme doit avoir l'eau pour ses usages personnels, industriels et agricoles. En Algérie, la plus grande partie de l'eau de surface est stockée dans les grands et petits barrages, et les retenues collinaires, où ces retenues subissent de grandes pertes en eau par évaporation. Globalement, l'Algérie reçoit 100 milliards de m³ de pluie par an, dont 85% s'évaporent, et devant cette évaporation, l'homme reste impuissant.

La conservation de l'eau dans les pays arides qui souffrent de la pénurie d'eau est une nécessité. Des chercheurs dans le monde ont étudié plusieurs méthodes physiques et chimiques dans l'espoir de trouver un moyen pour réduire les pertes en eau par évaporation. L'une des meilleures techniques conseillées est l'application d'un film mince à base d'une substance chimique sur la surface de l'eau.

La présente thèse permet de présenter les premières expériences de la réduction de l'évaporation par cette technique en Algérie. Vu l'impossibilité de réaliser ces expériences sur de grandes étendues, et pour faciliter les mesures de l'évaporation et des autres paramètres relatifs, les expériences ont été réalisées par l'utilisation des bacs enterrés voisins, de type Colorado. Ce choix est basé aussi sur la possibilité d'éliminer les autres phénomènes, tels que les fuites, les flux et reflux, difficiles à contrôler, et il est basé sur la facilité d'aller de l'évaporation sur bac à l'évaporation dans les étendues, en utilisant un coefficient de bac prédéterminé.

Les essais sur terrain ont été réalisés au niveau de Hassi Ben Abdellah et Nezla (wilaya de Ouargla), ceux du laboratoire ont été réalisés au niveau des laboratoires de l'université de Ouargla. Les expériences ont pour objectifs d'étudier l'efficacité de cette technique sous notre climat aride, en déterminant les gains en eau et de vérifier l'impact de ces monocouches sur la qualité de l'eau et les êtres aquatiques.

Les résultats obtenus ont montré que l'application continue des monocouches sur la surface de l'eau permet d'enregistrer des gains en eau (une réduction de l'évaporation), de l'ordre de 20% et plus, n'affectant pas beaucoup la qualité de l'eau et n'ayant pas d'effet toxique sur les êtres aquatiques.

Mots clés : étendue d'eau, climat aride, réduction de l'évaporation, films mono-moléculaires.

Introduction

Introduction générale

L'eau est une source de vie. Elle compose plus de 70% de la terre et 70% du corps humain (**Rio 2006**). Depuis l'antiquité, la création des agglomérations est liée à la présence de l'eau. Aujourd'hui, l'aménagement du territoire porte l'empreinte de cette carte hydrologique. Les grandes villes sont bâties de part et d'autre des fleuves, à la confluence des rivières, dans les estuaires, dans des deltas et les rades maritimes. Cette concordance entre la population et la ressource en eau n'est pas le fait du hasard. Les peuples se fixent, prospèrent là où l'eau est abondante (**Rio 2006**).

Les ressources en eau douces renouvelables sont estimées à 42 600 Km³/an en moyenne, ce qui donnera, en 2025, une disponibilité théorique de 5000 m³/hab/an (**Claude 1998**). Ce chiffre qui peut paraître rassurant, néglige le fait que l'eau est très inégalement répartie dans le monde, comme le témoigne les vastes régions arides et semi-arides (**Kettab 2001**).

Un rapport établi par l'association « Population Action International » publié en 1993, portant sur la disponibilité théorique de l'eau dans 149 pays, estime qu'il y a pénurie d'eau dans un pays, lorsqu'il dispose de moins de 1000 m³/hab/an, et qu'il y a problème de raréfaction de l'eau dès que l'on passe sous le seuil de 1700 m³/hab/an (**Claude 1998**).

L'augmentation de la population, le développement de l'agriculture et de l'industrie, l'urbanisation constante constituent autant de facteurs qui contribuent à une diminution de la ressource et à un accroissement des inégalités hydriques.

L'Algérie, située sur la rive sud de la méditerranée demeure un pays aride sur plus de 5/6 de son territoire. Il s'agit d'écosystèmes fragiles et sensibles dans lesquels le phénomène de désertification est particulièrement actif en raison des caractéristiques climatiques, de la surexploitation des ressources naturelles et de l'accroissement démographique. Les besoins en eau et en terre de culture croissent de jour en jour, alors que les ressources naturelles restent limitées.

La conservation de ces ressources naturelles constitue une préoccupation. En effet depuis longtemps, la tendance principale est de rechercher et inventer des solutions qui permettent, malgré les conditions sévères, d'assurer une ressource régulière et satisfaisante en eau.

Parmi les solutions proposées par plusieurs chercheurs et organismes on peut citer :

- La réutilisation des eaux usées traitées dans le secteur agricole qui est devenue un axe prioritaire dans la nouvelle politique de l'eau. Pour cela, des investissements ont été consentis dans la réhabilitation des anciennes stations et dans la construction de nouvelles ;
- Le dessalement des eaux salées et saumâtres pour l'alimentation en eau potable des villes ;
- Le transfère de l'eau d'une région riche en eau à une autre pauvre en eau ;
- La construction de barrages et de retenues collinaires.

Le recours à cette dernière solution deviendra un jour certainement une nécessité absolue particulièrement pour les régions arides, mais sera confronté à trois problèmes : les fuites, l'envasement et l'évaporation les deux premiers problèmes peuvent se résoudre par un bon aménagement mais l'évaporation sera toujours présente à cause de la conjugaison d'une température de l'air souvent élevée, une forte insolation presque continue durant toute l'année, et une présence considérable de vents secs dans ces régions arides (Remini 2005a).

La présente thèse consiste à présenter une solution qui permet de récupérer une partie de l'eau normalement évaporée en adoptant une technique qui se base sur l'utilisation de substances organiques capables de former sur la surface des plans d'eau une couche très mince et invisible appelée film mono-moléculaire ou tout simplement monocouche. Celle ci consiste aussi à donner les effets de l'application de ces films mono-moléculaires sur l'environnement et, est structurée comme suit :

- ✓ Un premier chapitre qui porte sur la situation des ressources en eau dans le monde et en Algérie, leur répartition sur les différents secteurs, les problèmes qui

affectent leur qualité et leur quantité et les actions adoptées pour augmenter les stocks en eau ;

- ✓ Un deuxième chapitre dans lequel il sera question de l'évaporation dans le monde et en Algérie et les méthodes de sa détermination. On parlera aussi des différentes techniques de réduction de l'évaporation des plans d'eau en donnant plus de détails sur la technique des films mono-moléculaires ;
- ✓ Un troisième chapitre présentera les caractéristiques physico-géographiques et climatiques de la région de Ouargla ainsi que les matériels utilisés dans les différentes expériences et les protocoles expérimentaux adoptés ;
- ✓ Un quatrième chapitre portera sur l'influence des monocouches sur l'évaporation et la rentabilité de la technique de la réduction de l'évaporation par les films mono-moléculaires ; et
- ✓ Un cinquième chapitre montrera les effets des films mono-moléculaires sur l'environnement aquatique, les êtres aquatiques et la qualité de l'eau.

Chapitre I

1. Introduction

L'eau est une source de vie tandis que sa pénurie préfigure la sécheresse et la famine. Son abondance sur la Terre et son insignifiance sur la lune, voilà la différence fondamentale entre les deux planètes du système solaire. L'eau constitue un préalable à toute existence. Si l'homme a besoin d'air pour respirer, il est surtout composé à 70% d'eau. La vie sourde de l'eau, c'est aussi au bord du Nil, de l'Euphrate, du Gange, du Danube, que sont nées les grandes civilisations.

Comme elle est une source de la vie, l'eau est une source de mort. Boire beaucoup est un impératif mais boire s'avère tout aussi vital. Chaque jour, 10 000 personnes décèdent de maladies hydriques dans le monde (Rio, 2006). Chaque année, des millions d'hommes meurent des déshydratations ou d'avoir bu une eau infectée (Rio, 2006).

L'eau est aussi une arme de guerre. Dix pays se partagent 60% des réserves mondiales de l'eau, tandis que la situation est considérée comme critique dans six pays du bassin méditerranéen qui se situent sous le seuil des 500 m³ d'eau par an et par habitant (Rio, 2006). Mais c'est en réalité tout le Proche et le Moyen-Orient ainsi que l'Afrique du Nord dont l'équilibre hydrologique est menacé. Il serait même judicieux d'élargir cette zone géographique à l'Afrique de l'Est et du Sud, ainsi qu'à plusieurs pays d'Asie, comme le Pakistan, l'Inde et la Chine.

L'Algérie, située sur la rive sud de la méditerranée, demeure un pays aride sur plus des 5/6 de son territoire. Il s'agit d'écosystèmes fragiles et sensibles dans lesquels le phénomène de désertification est particulièrement actif, en raison des caractéristiques climatiques, la surexploitation des ressources naturelles et l'accroissement démographique. Les besoins en eau et en terre des cultures croissent de jour en jour, alors que les ressources naturelles restent limitées.

La conservation de ces ressources naturelles constitue une préoccupation. En effet, depuis longtemps, la tendance principale est de rechercher et inventer des solutions qui permettent, malgré les conditions sévères, d'assurer une ressource régulière et satisfaisante en eau.

2. Situation de l'eau dans le monde

La surface totale de la terre est de $510 \cdot 10^6 \text{ Km}^2$, 70,78% de cette surface ($361 \cdot 10^6 \text{ Km}^2$) est occupée par des mers et des océans, avec une profondeur moyenne de 4000 m (Vaillant, 1977). Pour cela, notre planète est appelée la planète bleue.

Le volume d'eau terrestre sous formes solide, liquide et gazeuse est estimé à $1\ 384\ 120\ 000 \text{ km}^3$, dont $36\ 020\ 000 \text{ km}^3$ d'eau douce (Kettab, 2008 & 2001). Selon Morel (2007), les réserves en eau dans le monde sont réparties comme suit (voir figure 1) :

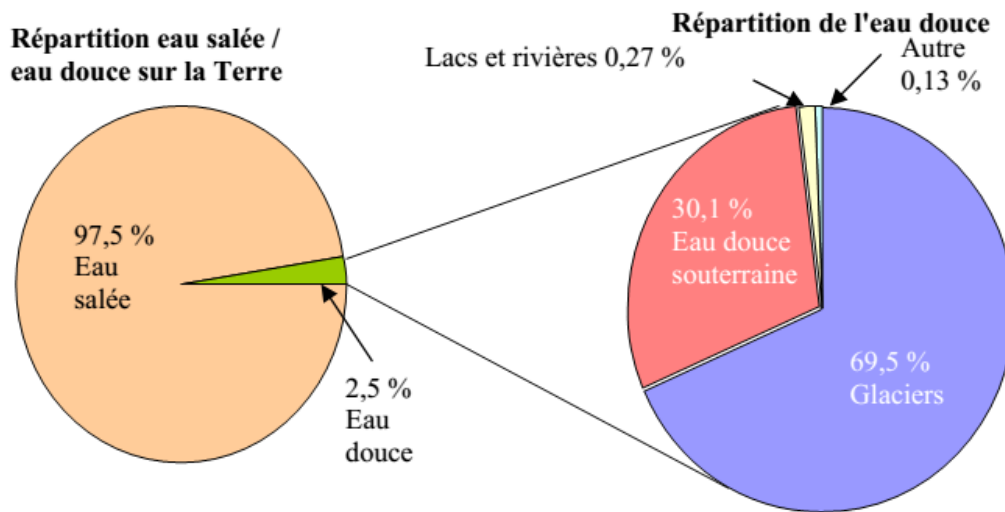


Figure 1. Répartition eau salée/eau douce sur terre (Morel, 2007).

La répartition détaillée des réserves d'eau dans le monde est donnée dans le tableau suivant (voir tableau 1) :

Tableau 1. Répartition eau salée/ eau douce sur Terre ; volume recyclé annuellement

Lieu	Volume (10 ³ km ³)	Répartition du volume total de l'hydrosphère (%)	Répartition de l'eau douce (%)	Volume recyclé annuellement (km ³)	Période de renouvellement (années)
Océan	1 338 000	96,5	-	505 000	2500
Eau souterraine (gravité et capillarité) *	23 400	1,7	-	16 700	1400
Eau douce souterraine	10 530	0,76	30,1		
Humidité du sol	16,5	0,001	0,05	16 500	1
Glaciers et couverture neigeuse permanente	24 064	1,74	68,7		
Glace du sol (permafrost)	300	0,022	0,86	30	10 000
Eau dans les lacs	176,4	0,013	-	10 376	17
Douce	91	0,007	0,26		
Salée	85,4	0,006	-		
Marais, marécages	11,5	0,0008	0,03	2 294	5
Eau de rivière	2,1	0,0002	0,006	43 000	16 jours
Eau des plantes et animaux	1,1	0,0001	0,003		-
Eau dans l'atmosphère	12,9	0,001	0,04	600 000	8 jours
Volume Total de l'hydrosphère	1 386 000	100	-		
Eau douce totale	35 029,2	2,53	100		

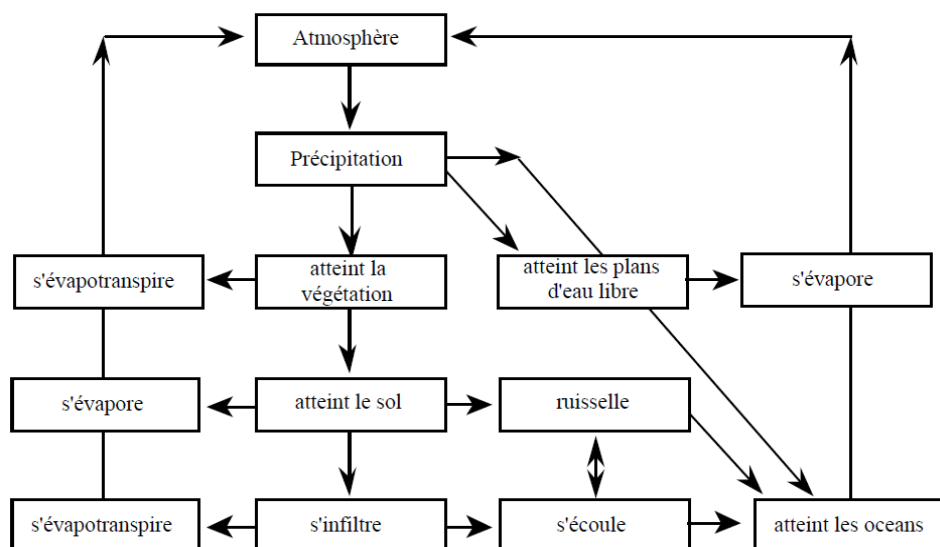
* A

l'exception de l'eau souterraine de l'Antarctique, estimée à 2 millions de km³, dont environ 1 million de km³ d'eau douce. D'après UNESCO, 2003 et Shiklomanov et Rodda, 2003 (cité dans UNESCO, 2006).

2.1. Cycle de l'eau et bilan hydrologique

2.1.1. Cycle de l'eau

Une roue hydraulique planétaire (voir figure 2) qui accueille l'eau évaporée de la terre dans l'atmosphère, puis la restitue à la terre : voilà comment pourrait être résumé le cycle hydrique de la planète que le philosophe grec Anaxagore avait soutenu au 5^e siècle avant Jésus Christ (Rio, 2006).

**Figure 2.** Cycle de l'eau (Labord, 2009)

Après deux mille ans de l'énoncé de la théorie d'Anaxagore, les chercheurs ont admis le fonctionnement de cette roue hydraulique planétaire qui recycle l'eau en continu, tout en servant également de climatisation à la terre.

L'océan, le soleil et l'atmosphère composent les trois éléments du système de climatisation. Le soleil assure l'énergie motrice, l'océan sert de capture et de redistributeur d'énergie, tandis que l'atmosphère distille et transporte la combustible eau.

La roue hydraulique peut être perturbée par l'homme par la construction des barrages, l'utilisation des eaux en irrigation (déviation des cheminements des eaux) et la pollution.

2.1.2. Bilan hydrologique

Le cycle de l'eau peut être analysé schématiquement selon les trois éléments suivants :

- Précipitations,
- Ruissellement ou écoulement de surface et l'écoulement souterrain,
- Evaporation.

Dans chacune des phases, on retrouve respectivement un transport d'eau, un emmagasinement temporaire et parfois un changement d'état.

L'estimation des quantités d'eau passant par chacune des étapes du cycle hydrologique peut donc se faire à l'aide d'une équation du bilan appelée "bilan hydrologique" qui représente le bilan des quantités d'eau entrant et sortant d'un système défini dans l'espace (entité naturelle en général), et dans le temps, à savoir, l'année hydrologique. (période d'une année très souvent différente de l'année civile).

L'équation du bilan hydrique se fonde sur l'équation de continuité et peut s'exprimer comme suit, pour une période et un espace donnés :

$$P + S = R + E + (S + \Delta S) \quad (1)$$

Avec:

P : précipitations (liquide et solide) [mm] ;

S : ressources disponible à la fin de la période précédente (eaux souterraines, humidité du sol, neige, glace) [mm] ;

R : ruissellement de surface et écoulements souterrains [mm] ;

E : évaporation (y compris évapotranspiration) [mm] ;

S + ΔS : ressources accumulées à la fin de la période étudiée [mm].

Le bilan annuel est indiqué approximativement dans le tableau 2

Tableau 2. Bilan annuel de l'eau sur le globe terrestre

	Mers et Océans	Continents
Précipitations [km ³ /an]	458 000	119 000
Evaporation [km ³ /an]	505 000	72 000
Écoulements vers la mer : Rivières (Ruissellement)	-	44 800
Eaux souterraines (Infiltration)	-	2 200

2.2. Répartition de l'eau et des êtres humains

2.2.1. Pays riches et pays pauvres en eau

Pour connaître la disponibilité de l'eau d'un Etat, il suffit de diviser la ressource en eau douce disponible par le nombre d'habitants. A partir de cette donnée, on peut savoir si un état dispose de suffisamment d'eau ou s'il se retrouve en situation de stress hydrique ou de pénurie.

Un rapport établi par l'association « Population Action Internationale » publié en 1993, estime qu'il y a pénurie d'eau dans un pays, lorsqu'il dispose de moins de 1000 m³/hab/an, et qu'il y a problème de raréfaction de l'eau dès que l'on passe sous le seuil de 1700 m³/hab/an (Claude, 1998).

On estime que 20 pays se trouvent en situation de pénurie d'eau : douze pays se trouvent en Afrique (Afrique du Sud, Algérie, Burundi, Egypte, Ethiopie, Kenya, Libye, Malawi, Maroc, Rwanda, Somalie et Tunisie), et 7 se trouvent au Moyen Orient (Arabie Saoudite, Iran, Israël, Jordanie, Koweït, Yémen et territoires occupés de Palestine). A cette liste, il faut rajouter Haïti (Mikail, 2008)

La distribution de l'eau disponible est présentée dans la figure 3. La comparaison mondiale des coefficients de disponibilité en eau par rapport à la population souligne les disparités entre les continents. On remarquera notamment les pressions exercées sur l'Asie qui abrite plus de la moitié de la population mondiale, et ne possédant que 36% des ressources en eau de la planète.

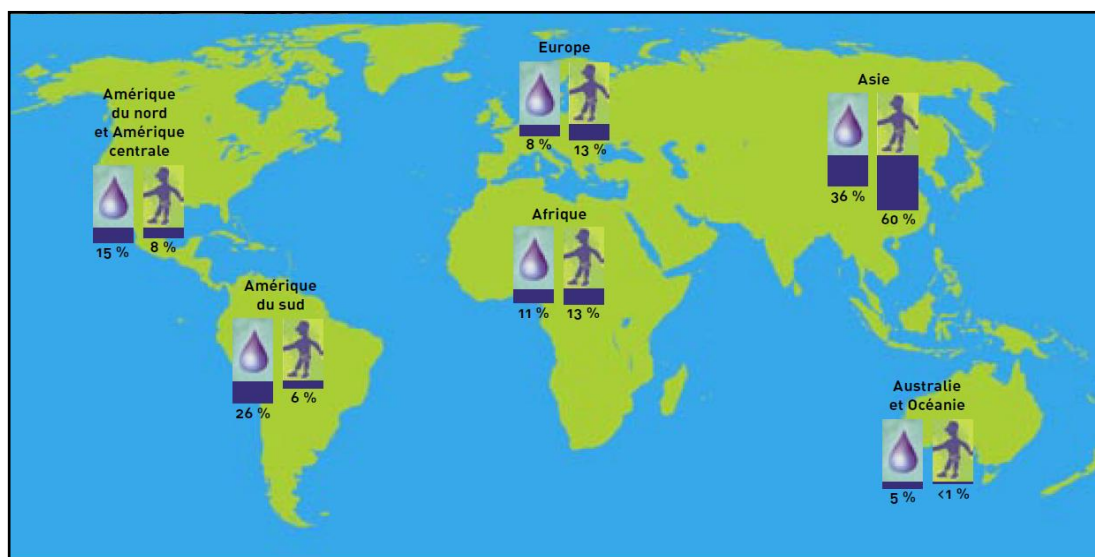


Figure 3. Carte de Coefficient de disponibilité en eau par rapport à la population. Source : Site Internet de l'UNESCO / PHI, Bureau régional pour l'Amérique latine et les Caraïbes

2.2.2. Avoir de l'eau et pouvoir la maîtriser

Le fait de disposer de l'eau ne suffit pas à alimenter les gens en eau. Il faut encore pouvoir maîtriser et contrôler cette ressource. Ce qui est intéressant et de voir la capacité d'un état à produire de l'eau accessible par le consommateur. Des chercheurs du Centre for Ecology and Hydrology de Wallingford ont proposé un indicateur : *Indice de Pauvreté en Eau (IPE, WaterPoverty Index⁷)*. Il permet de prendre en compte tant l'état des ressources, leur l'accessibilité que leur utilisation.

On constate que les pays développés se retrouvent avec un IPE élevé. Dans ces pays, même les pays ayant des ressources brutes limitées arrivent à pallier ce manque d'eau par une maîtrise et une adaptation forte.

A l'inverse, cet indice permet de mettre en avant la situation difficile des pays africains et de l'Asie du Sud. On constate que certains pays, comme le Brésil qui dispose de nombreuses ressources en eau ne sont pas exclus d'un accès difficile à l'eau.

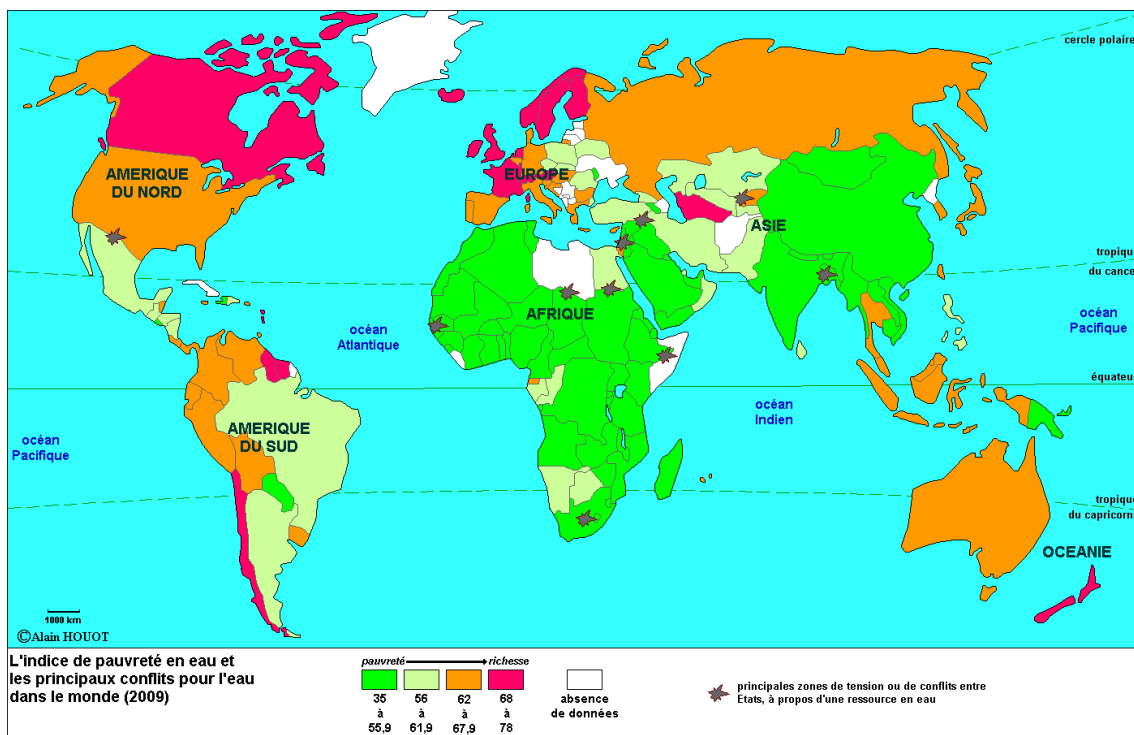


Figure 4. Répartition des états selon l'indice de pauvreté en eau(Houot, 2009)

D'après les informations citées ci-dessus, on comprend que l'eau est présente sur terre en quantité suffisante, mais sa répartition ne correspond ni aux besoins de la population ni à sa répartition. On comprend aussi que disposer d'eau ne signifie avoir accès à l'eau.

2.2.3. Consommation de l'eau dans les différents secteurs

A. Secteur agricole

L'agriculture est l'activité qui consomme le plus d'eau. D'une manière générale, le secteur prélève 70% des ressources en eau dans le monde. Mais attention, ce chiffre n'est qu'une moyenne. On se rend compte que dans les pays développés, la part des prélèvements destinée au secteur agricole est de seulement 33%(Protos, 2009). Cette carte nous montre que les pays européens, comme la France ou la Belgique ont une part minimale de leur consommation en eau qui va au secteur agricole. A l'inverse, dans les pays du sud, ce secteur prélève 82% des ressources en eau de ces pays. Au **Moyen-**

Orient, on arrive au chiffre de 90% des ressources utilisées qui servent à l'agriculture. Cette part ne fait qu'augmenter dans ces pays, puisque la croissance démographique ainsi que l'absence de modernisation ne fait qu'augmenter les besoins en eau (Galland, 2008 ; Fernandez et Thivet, 2007).

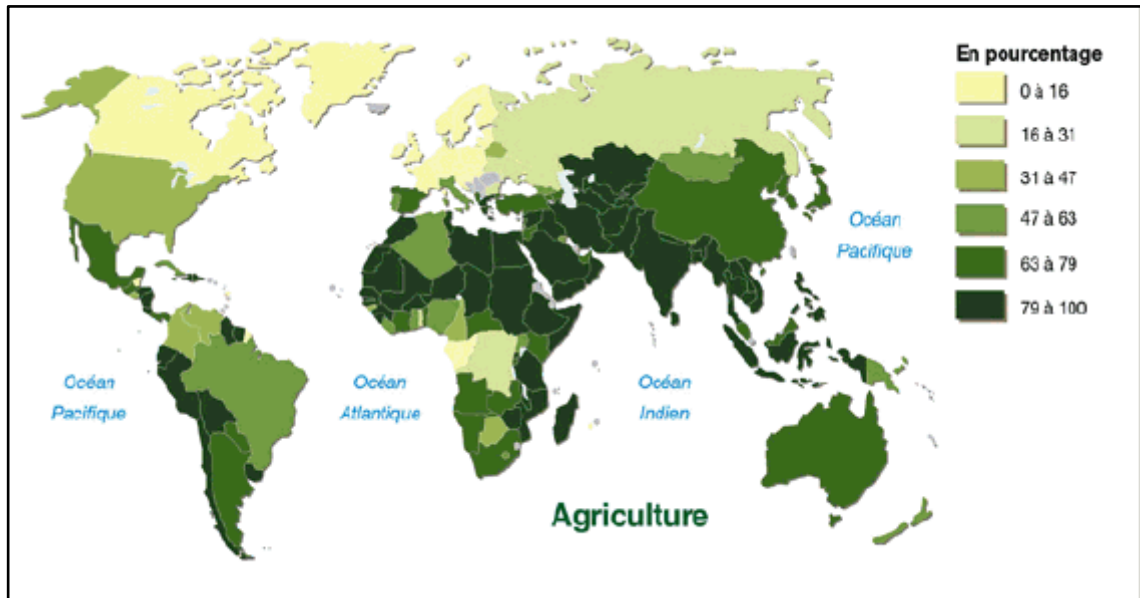


Figure 5. Carte de consommation de l'eau par le secteur agricole (Aquastat, 2008).

D'après (De Marsily 2013), actuellement, quelque 9 300 km³ d'eau par an sont nécessaires pour nourrir 7 milliards d'habitants, dont 5 600 km³ d'eau de pluie entièrement évaporée, tombant sur 1,5 milliards d'hectares d'agriculture, dite pluviale et 3 700 km³ d'eau prélevée dans le milieu naturel (rivières, nappes) pour arroser 280 millions d'hectares d'agriculture irriguée. Sur ces 3 700 km³/an d'eau prélevée pour l'irrigation, 1 700 km³ seulement sont utilement évaporés par les plantes, le reste s'infiltré dans les nappes ou est drainé et participe aux écoulements sur les continents, ou encore est gaspillé par évaporation dans l'air. Ainsi, quelques 7 300 km³ d'eau par an sont réellement utilisés pour nourrir les hommes, soit environ 1 050 m³ d'eau par an et par habitant, soit 2 860 l/j et par habitant. Cela représente 6 % de la pluie sur les continents. Il faut savoir cependant qu'aujourd'hui, un milliard d'individus sont sous-alimentés du fait de leur pauvreté. En 2050, avec 9 milliards d'habitants, si chacun mange à sa faim, et si les habitudes alimentaires ne changent pas, il faudra donc utiliser réellement 10 000 km³ d'eau par an, soit 9 % de la pluie sur les continents, ce qui n'apparaît pas globalement très préoccupant, mais pourrait en revanche, devenir

localement très difficile, compte tenu de l'inégale répartition spatiale et temporelle de la pluie. La part de ces 10 000 km³ qui proviendra de l'agriculture pluviale et celle de l'agriculture irriguée ne sont pas encore fixées aujourd'hui, et influenceront beaucoup l'agriculture mondiale. Si on prend en compte les évolutions probables des habitudes alimentaires, on peut penser que la consommation accrue de viandes dans le monde, particulièrement en Asie, pays traditionnellement plus végétarien, pourrait porter les besoins réels en 2050 à 11 000 ou 12 000 km³/an au lieu de 10 000 km³, car il faut par exemple 13 000 litres d'eau pour produire un kilogramme de viande de bœuf, soit 13 fois plus que pour un kilo de blé.

B. Secteur industriel

Le secteur industriel représente environ 20 % des consommations d'eau du monde. C'est le secteur qui présente la plus forte progression en volume depuis un siècle (Frerot, 2009). L'eau intervient dans tous les stades de production. L'utilisation de l'eau dans le secteur industriel est à replacer par rapport à l'industrialisation du pays. Dans certains pays, presque toute l'eau consommée est utilisée pour l'agriculture : c'est le cas par exemple, de l'Inde ou du Mexique, qui utilisent 90 % pour l'irrigation. Dans les pays industrialisés, en revanche, la consommation de l'eau industrielle n'a fait que croître depuis la révolution industrielle du 19^e siècle. Elle aurait été multipliée par 20 en France, entre 1900 et 1975. Elle est aujourd'hui en moyenne équivalente à la consommation d'eau agricole.

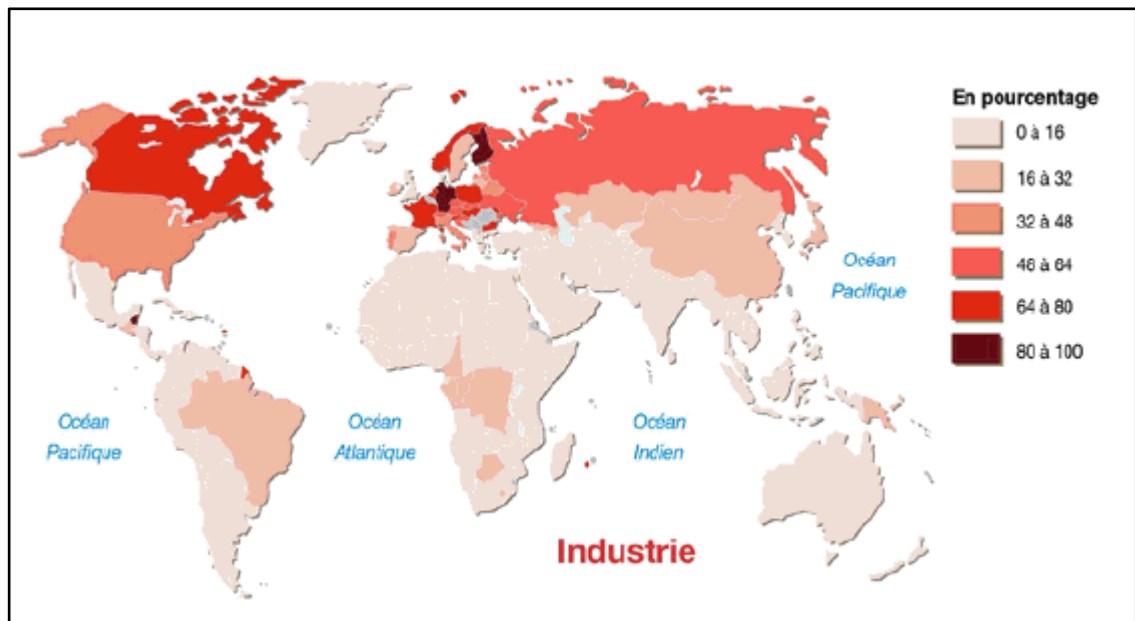


Figure 6. Carte de la consommation d'eau par le secteur industriel(Aquastat, 2008).

C. Consommation domestique des ménages

Selon la commission européenne (2002), moins de 1% de l'eau de la planète est destinée à la consommation humaine, et selon UNESCO-WWAP(2003), plus de 1,1 milliard d'habitants ne disposent d'aucun accès à l'eau potable, et 2,4 milliards d'habitants ne disposent pas d'accès à des systèmes d'assainissement. La consommation en eau domestique dans le monde est très inégale. On constate que plus le pays est industrialisé et que le niveau de vie des populations est élevé, plus l'accès à l'eau est facile. Cette facilité d'accès permet une utilisation gourmande de l'eau (voir figure 7).

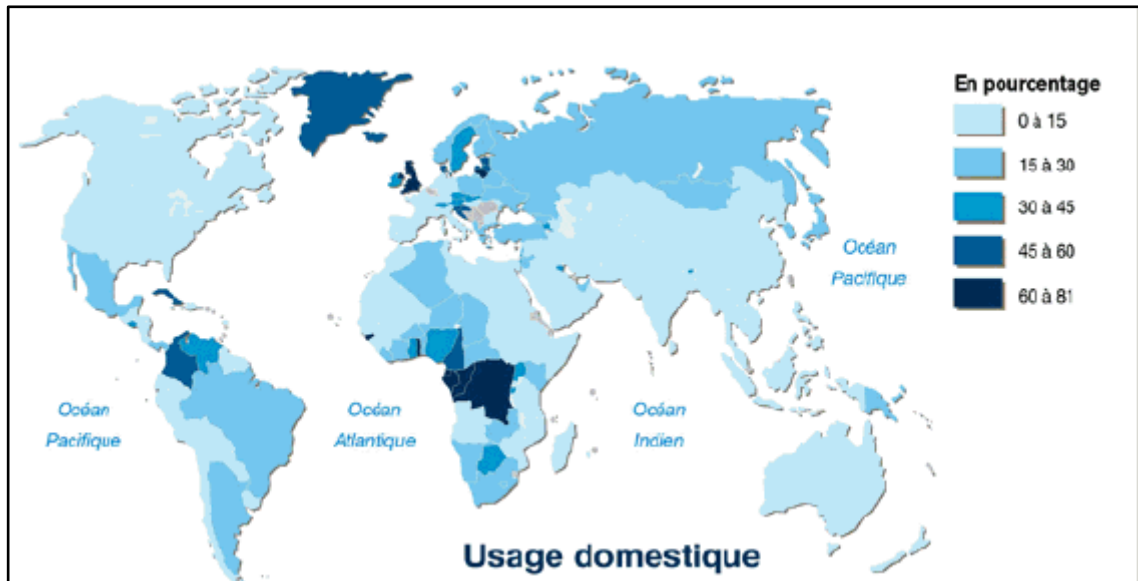


Figure 7. Carte des usages domestiques de l'eau(Aquastat, 2008).

2.2.4. L'eau virtuelle

Alors qu'un être humain a besoin de boire de 2 à 5 litres d'eau par jour et nécessite de 25 à 100 litres pour ses usages domestiques, il a besoin de 1 000 à 6 000 litres par jour pour se nourrir (Roch et Gendron, 2005). La fraction invisible de l'eau, soit celle qu'on retrouve dans les aliments, est donc de 37 à 57 fois plus grande que la fraction visible (Turton, 2000). Cette fraction est appelée « eau virtuelle ».

L'eau virtuelle est importante puisqu'elle inclut l'eau utilisée pour faire grandir l'arbre, mais aussi pour le travail de transformation (Hoekstra et Chapagain, 2008). Les pays d'Afrique produisent les légumes consommés en Europe hors saison. Selon L'ONU, 15 à 20 % de l'eau de la planète servant aux besoins humains ne vont pas à la consommation mais à l'exportation (Barlow, 2009).

2.3. Raisons justifiant les craintes des crises de l'eau

En effet, si on entend souvent parler de l'eau, crise à venir, c'est que certains éléments exercent des pressions sur les quantités d'eau disponible. Ces éléments qui contribuent à la raréfaction de l'eau douce sont :

A. Augmentation de la population

La cause première du problème de l'eau n'est pas la diminution des ressources en eau, mais c'est la croissance des besoins alimentaires. Cette croissance des besoins alimentaires s'explique, d'une part par la croissance démographique, et d'autre part, par le changement des habitudes de consommation beaucoup plus gourmande en eau.

Selon la FAO, d'ici à 2030, les besoins en eau pour l'agriculture devraient augmenter de 14%(Galland, 2008), et d'après l'UNESCO-WWAP(2003), dans les années 2050, entre 2 et 7 milliards d'individus dans 48 à 60 pays (selon les estimations) seront confrontés à une pénurie d'eau.

B. Pollution

Les ressources en eau douce sont réduites par la pollution. Environ 2 millions de tonnes de déchets sont déversées chaque jour dans des eaux réceptrices, notamment des effluents industriels et des produits chimiques, des matières de vidange et des déchets agricoles (engrais, pesticides et résidus de pesticides). Bien que les données fiables sur l'importance et la gravité de la pollution soient incomplètes, on estime que la production mondiale d'eaux usées est d'environ 1 500 km³. Si l'on admet que 1 litre d'eau usée pollue 8 litres d'eau douce, la pollution mondiale actuelle pourrait atteindre 12 000 km³. Comme d'habitude, les populations pauvres sont les plus affectées : 50 % de la population des pays en développement est exposée à des sources d'eau polluées.

C. Changements climatiques

L'impact précis du changement climatique sur les ressources en eau est incertain. Les précipitations augmenteront probablement à partir des latitudes 30° N et 30° S vers les pôles correspondants, mais plusieurs régions tropicales et subtropicales connaîtront vraisemblablement des chutes de pluie inférieures à celles de la situation actuelle ou plus erratiques. Etant donné que la tendance semble nous entraîner vers la multiplication des conditions atmosphériques extrêmes, il est probable que les inondations, sécheresses, glissements de terrain, typhons et cyclones seront plus nombreux. Le débit des cours

d'eau pendant les périodes d'étiage pourrait diminuer et il ne fait aucun doute que la qualité de l'eau se détériorera, en raison de l'augmentation des charges polluantes dans les eaux de ruissellement et de l'élévation de la température de l'eau. Des estimations récentes avancent que le changement climatique sera responsable de 20 % de l'aggravation de la raréfaction de l'eau dans le monde. En Algérie et d'après Milly et al (2005), le changement climatique va diminuer, dans la période 2090-2099, la quantité d'eau qui ruisselle chaque année de 40% par rapport à celle qui ruisselait dans la période 1980-1999.

2.4. L'eau source de conflits

Utiliser le terme « Or Bleu » montre bien la valeur qu'il faut accorder à cette ressource : une ressource rare. En tant que ressource rare, il s'agit d'une ressource dont les hommes en veulent la maîtrise et le contrôle. Lorsque l'on parle de conflit interétatique, cela ne signifie pas que des états s'opposent militairement. Les Etats peuvent être sujets à une instabilité politique, économique et sociale. P. Gleick propose de diviser les conflits de l'eau en six catégories. Ce découpage n'est pas parfait, mais c'est l'un des seuls à proposer une catégorisation.

- Contrôle des ressources en eau : l'eau est le point de friction entre les acteurs étatiques mais aussi non étatiques ;
- Eau comme arme militaire : utilisation de l'eau comme une arme pour en priver son ennemi et l'affaiblir ;
- Eau comme arme politique : utilisation de l'eau pour asseoir sa prédominance stratégique et diplomatique ;
- Eau comme arme terroriste : consiste à rendre l'eau impropre à la consommation. On ne cherche pas à contrôler les ressources, mais à la rendre impropre à la consommation ;
- Eau comme cible militaire c'est la dégradation faite aux infrastructures relatives à l'eau pour en empêcher un plein usage ;
- Eau et développement : chacun des états défend le besoin d'utiliser cette source d'eau ou ce bassin versant pour en tirer le meilleur profit.

3. La situation de l'eau en Algérie

3.1. Bilan hydrique

En Algérie, l'eau est une ressource de plus en plus précieuse. La concurrence que se livrent l'agriculture, l'industrie et l'A.E.P pour avoir accès à des disponibilités limitées en eau grève d'ores et déjà les efforts de développement de nombreux pays. La pluviométrie moyenne annuelle en Algérie du sud est évaluée entre 95 et $100 \times 10^9 \text{ m}^3$. Plus de $80 \times 10^9 \text{ m}^3$ s'évaporent, $3 \times 10^9 \text{ m}^3$ s'infiltrent et 12.5×10^9 s'écoulent dans les cours d'eau (Remini, 2010 et Djabri et al. 2010). Dans l'Algérie du nord, l'apport principal vient du ruissellement. Les eaux de surface sont stockées dans les barrages. En Algérie du sud, les précipitations sont presque quasi nulles ; cependant elles peuvent engendrer des crues violentes et dévastatrices (Djabri et al. 2010).

D'après Terra(2013), les ressources en eau en Algérie sont estimées en moyenne à 18 milliards de m^3/an dont 12,5 milliards de m^3 dans les régions Nord (10 milliards de m^3 comme écoulements superficiels et 2,5 milliards de m^3 comme ressources souterraines renouvelables) et 5,5 milliards m^3 dans les régions sahariennes (0,5 milliard m^3 comme écoulements superficiels et 5,0 milliards m^3 comme ressources souterraines fossiles)

3.2. Ressources superficielles

Les eaux de surface sont caractérisées par une forte irrégularité dans le temps dans l'espace. Il pleut beaucoup plus en hiver qu'en été, et beaucoup plus à l'est du pays qu'à l'ouest. Leur qualité physico-chimique est souvent médiocre.

D'après le rapport du MRE(2012) sur la situation en matière de mobilisation de la ressource superficielle, le nombre de barrages en Algérie est de 65 barrages (22 A.E.P., 15 IRR, 23 Mixtes et 05 Transf.), avec une capacité de plus 6,5 milliards m^3 . Le Constantinois-Seybouse-Mellegue avec 21 barrages représente la plus grande capacité, avec 2,4 milliards m^3 . Terra (2013) estime que l'Algérie comptera vers la fin de 2014 un nombre de 84 barrages, mais Mozas et Ghosn(2013) estiment que ce nombre sera atteint en 2016, et que la capacité sera de 8,4 milliards.

Selon un autre rapport du MRE(2013a) établi par sa direction de l'hydraulique agricole, les eaux superficielles sont aussi stockées au niveau de 520 retenues collinaires, avec une capacité de 74 hm³.

3.3. Eaux souterraines

Le Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS), est un aquifère profond d'un Million km² partagé entre l'Algérie (700.000 km²), la Tunisie (80.000 km²) et la Libye (250.000 km²). Il renferme des réserves d'eau considérables mais peu renouvelables et qui ne sont pas exploitables en totalité. Le SASS s'étend sur un million de km² et comprend deux grandes nappes : le Continentalintercalaire (CI) et le Complexe terminal (CT). Au cours des trente dernières années, l'exploitation par forage est passée de 0.6 à plus de 20.5 millions de m³/an. La situation de surexploitation, confirmée par le modèle mis en place par le projet SASS de l'OSS, a exposé le SASS à des risques accrus de salinisation des eaux, de disparition de l'artésianisme, et de tarissement des exutoires

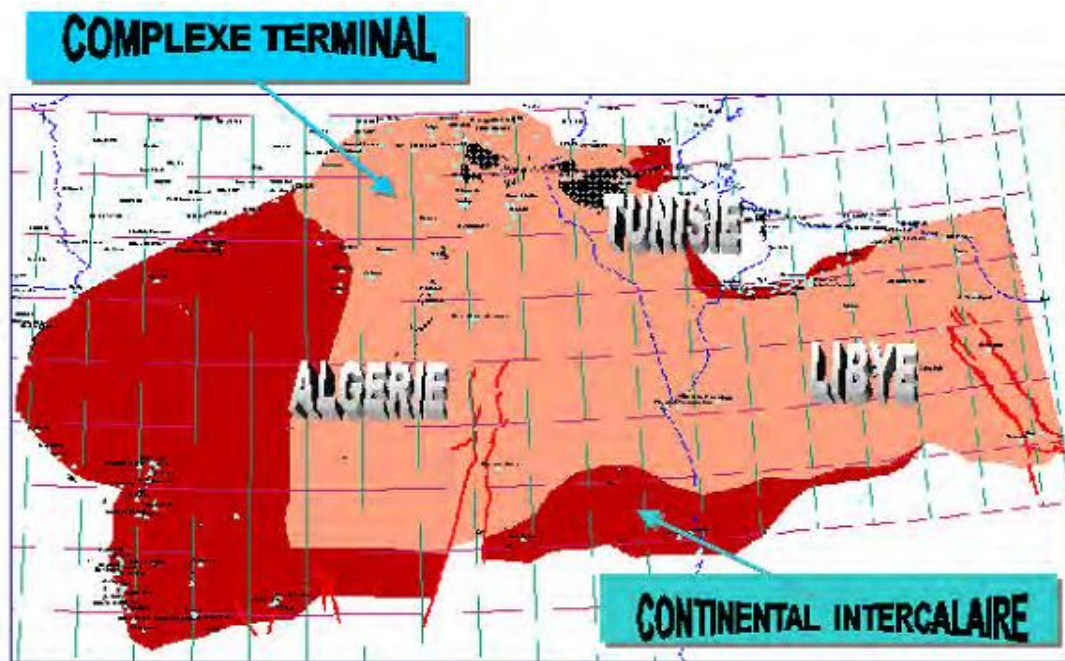


Figure 8. Extension des formations du Système Aquifère du Sahara Septentrional (OSS, 2003)

L'exploitation des ressources souterraines en eau en Algérie subit des contraintes qui peuvent se résumer comme suit :

- Contraintes propres au milieu désertique, (ergs, plateaux, chotts et sebkhas, représentant plus de 300 000 km²) ;
- Eau très faiblement renouvelable (fossile) ;
- Nappe du CI captée à plus de 2 000mde profondeur (coût élevé du forage) ;
- Une forte température de l'eau pouvant atteindre les 60 °c et plus, nécessitant un équipement pour refroidir l'eau ; et
- Eau chargée en H₂S, acide accélérant la corrosion du tubage et formations salifères (double tubage et double cimentation pour se prémunir).

3.4. Consommation en eau en Algérie pour différents secteurs

3.4.1. Secteur agricole

Les conditions climatiques difficiles, particulièrement le manque de précipitations et leur mauvaise répartition dans l'espace et dans le temps font que les cultures pluviales peuvent se pratiquer sans grands problèmes que dans les zones recevant un minimum de 450 mm de pluie/an, et qui représentent environ 1,6 millions d'ha sur les 8,465 millions d'ha de surface agricole utile (SAU). Le reste, soit 6,7 millions d'ha, nécessitent une irrigation intégrale ou à défaut une irrigation de complément. Cette dernière occupe une place importante dans la consommation d'eau par rapport aux autres secteurs (62% de la demande totale du pays) (Mozas et Ghosn, 2013). Selon Fernandez et Verdier(2004), l'Algérie est classée 4^{ème} au Maghreb en ce qui concerne le pourcentage d'eau alloué pour le secteur agricole.

Dans les années 2000, seulement 40 % des besoins en eau agricole étaient satisfaits : le volume disponible en eau était inférieur à 200 millions de m³ pour des besoins avoisinants les 500 millions de m³ à raison de 5000 m³/ha (Mouhouche and Guemraoui, 2004).

D'après MRE (2014a), la superficie irrigable en grands périmètres d'irrigation (GPI) et en petits périmètres d'irrigation (ou PMH) était 1 098 405 ha, et vers la fin de 2014, elle serait de 1 470 000 ha. Donc, une demande en eau pour l'irrigation de l'ordre de 7,35 milliards de m³.

Plusieurs scénarios de développement des irrigations (tendanciel, autosuffisance alimentaire, extensif, productiviste intensif...) ont été étudiés dans le cadre des travaux d'actualisation du Plan National Hydraulique.

Des évaluations faites à partir d'études préalables sur deux scénarios extrêmes pour l'horizon 2030 ; l'un tendanciel S1, avec peu de changement dans les efficacités, une extension moyenne des surfaces irriguées et le maintien des spéculations actuelles, et l'autre S2, avec une amélioration des efficacités (80 %), une extension des surfaces jusqu'à 2 000 000 ha et le développement de cultures céréalières et fourragères, montrent que la demande en eau d'irrigation serait de 15,4 milliards de m³ dans le cas de l'hypothèse S1, et supérieure à 20 milliards de m³ pour l'hypothèse S2 (Benblidia, 2011).

3.4.2. Secteur industriel

Les industries sont alimentées, soit à partir des réseaux urbains, soit à partir d'installations, leur appartenant et qu'elles exploitent elles-mêmes. Ce qui rend complexe l'évaluation de leurs consommations et demandes d'eau. Mais selon plusieurs auteurs (Mozas et Ghosn, 2013 et Benblidia, 2011), la part des besoins en eau du secteur industriel ne s'élève qu'à environ 3 %.

Sur la base d'inventaires faits par le ministère de l'industrie et le ministère de l'énergie, les besoins en eau des industries en 2009 sont estimés à 125 000 m³/an environ. La consommation d'eau la plus importante est celle de la branche des hydrocarbures (près de 45 % du total). La sidérurgie représente 18 % de la consommation totale industrielle.

Des estimations rapides, à partir des prévisions de croissance des branches les plus consommatrices d'eau, donnent une prévision de demande en eau industrielle de l'ordre de 200 000 m³/an en 2030 (Benblidia, 2011).

Il n'existe pas encore de recyclage d'eau dans les industries. Cependant, deux projets sont prévus à très court terme :

- Dans les cimenteries, des équipements sont en cours d'installation pour économiser la consommation d'eau. La consommation unitaire à la tonne de ciment produite, soit $0,2 \text{ m}^3$ à $0,4 \text{ m}^3$, selon la cimenterie, devrait être réduite et ramenée à $0,09 \text{ m}^3$. Les besoins actuels qui sont estimés à $3,5 \text{ hm}^3/\text{an}$ ne seraient plus que de $2 \text{ hm}^3/\text{an}$.
- Dans la sidérurgie, il a été prévu dès 2011 de procéder au recyclage de l'eau et de réutiliser 50 % de l'eau de rejets des usines, ce qui correspond à une économie de 11 millions de m^3/an .

3.4.3. Secteur municipal

Par rapport au contexte de la fin des années 1990 où la vétusté des réseaux et l'insuffisance de la capacité de stockage empêchaient une distribution correcte de l'eau dans beaucoup de centres urbains du pays, le bilan s'est nettement amélioré.

Par rapport à la norme de l'OMS qui fixe à 250 litres par jour et par habitant, l'adotation en eau (Mozas et Ghosn, 2013), celle de l'Algérie se situe depuis 2012 autour de 175 l/hab./j au niveau national et 196 l/hab./j au niveau des chefs-lieux de wilayas, selon le ministère des ressources en eau (2013b).

Le droit à l'accès à l'eau pour la population est devenu depuis dix ans une priorité nationale. En moins d'une décennie, le pays a triplé sa capacité de production d'eau potable (de 1,25 milliards de m^3/an en 1999 à 3,6 milliards de m^3/an en 2014). Le linéaire des réseaux d'AEP a augmenté de 124% entre 1999 et 2014, la fréquence de distribution quotidienne était pour 45% de la population en 1999, mais en 2014, 75% de la population bénéficie de l'eau quotidiennement, et on estime à 96 % le taux de raccordement de la population aux réseaux publics d'eau potable et à 87 % pour les réseaux d'assainissement (MRE, 2014b et MRE, 2014c).

Les besoins en eau potable, estimée à 2,829 milliards de m^3/an en 1999 (MRE, 2014b), pourrait quant à elle grimper jusqu'à 3,3 milliards de m^3/an en 2015 et 3,6 milliards de m^3/an en 2020 si rien n'évolue dans le sens d'une rationalisation de la demande (MRE, 2014b). Dans l'idéal, en agissant à la fois sur les comportements individuels et sur la

réduction des pertes, il s'agirait de maîtriser la croissance de la demande en eau à long terme.

3.5. Problèmes de l'eau en Algérie

3.5.1. Problèmes liés aux barrages et retenues collinaires

- **Envasement des barrages**

Le transport des sédiments dans le réseau hydrographique des bassins versants par charriages ou en suspension par les eaux et leur dépôt dans les retenues pose un grand problème aux exploitants des barrages. En plus de la réduction progressive de la capacité à cause des apports annuels, les sédiments engendrent une vase difficile à être enlevée et qui nécessite des fois que la retenue hors service (Remini et al, 2003).

L'envasement dans les barrages entraîne en plus de réduction de la capacité des barrages, une obturation des organes de vidange, un problème de stabilisation des ouvrages, envasement des canaux d'irrigation et la dégradation de la qualité de l'eau (Remini et al, 2003 ; Remini et Hallouche, 2005).

La répartition des barrages sur les cinq bassins hydrographiques : Constantinois-Seybouse-Mellegue (C.S.M.), Chéllif-Zahrez (C.Z.), Oranie-Chott Chergui (O.C.C), Algérois-Soummam-Hodna (A.S.H) et Sud (S) indiquent que les barrages de la région de Chéllif –Zahrez sont les barrages les plus menacés par le phénomène de l'envasement. Ceci est dû à la forte érosion des bassins versants de la région, favorisée par la nature des sols et l'absence de boisement. Même pour les petits barrages, le taux de comblement évalué en 2002 dans le bassin hydrographique Chellif –Zahrez est de 16% de la capacité totale ; il est beaucoup plus grand par rapport à celui des autres régions (Remini&Hallouche, 2003). Actuellement, 14 barrages sur la soixantaine existante sont envasés.

- **Fuites dans les barrages**

Le phénomène des fuites d'eau au niveau des barrages se traduit par des pertes considérables en eau précieuse et rare, et aussi par des menaces très sérieuses sur la

stabilité des ouvrages hydrauliques (Benfetta&Remini, 2008). En réalité l'eau des fuites ne se perd pas, elle peut être récupérée et réutilisée pour l'agriculture, et à la limite la laisser s'infiltrer pour réalimenter la nappe. A titre d'exemple, un réseau de collecte des fuites d'eau installé à l'aval du barrage de Foug El Gherza permet de récupérer en moyenne 5 millions de m³/an et de les utiliser pour l'irrigation. Cette irrigation forcée pose des problèmes de salinité des sols, puisque l'eau coule en continu. Mais le grand problème réside dans la circulation des eaux dans les failles de la roche, dont la section mouillée augmentera dans le temps, suite aux changements de températures et les variations de la vitesse de l'écoulement (variations du plan d'eau) qui engendreront l'érosion de la roche, et avec le temps, c'est le glissement au niveau des berges, et l'ouvrage sera en danger (Remini, 2010 ; Toumi&Remini, 2004).

- **Evaporation des barrages**

Le phénomène de l'évaporation des barrages en Algérie est considérable. Une perte de volume très élevée est enregistrée annuellement dans les barrages. Les mesures de l'évaporation se font à l'aide d'un bac Colorado installé à proximité de la retenue (Remini, 2010).

D'après une étude réalisée par Remini(2005a) entre 1992 et 2002 sur 39 barrages, la quantité d'eau évaporée représente la moitié du volume consommé par l'irrigation, l'alimentation en eau potable et l'industrie, et elle était d'une moyenne annuelle de 250 millions de m³ pour les 39 barrages, soit une perte moyenne annuelle de 6,5% de la capacité totale. Cependant, l'ampleur de ce phénomène est beaucoup plus visible dans les barrages de Merdja Sidi Abed (Relizane) (avec une moyenne annuelle d'environ 11 millions de m³ entre 1994 et 2002) et Djerf El Torba (Bechar) (avec une moyenne annuelle d'environ 75 millions). Le volume évaporé dans le barrage de Djerf El Torba est le plus élevé de l'Algérie, dépassant même la quantité d'eau destinée à l'AEP et à l'irrigation durant la période 1992-2002. A la fin de son étude, Remini(2005a) a conclu que les volumes perdus par évaporation dans les barrages sont supérieurs à ceux perdus par envasement, et que ces volumes représentent 6,5% de la capacité totale des 39 barrages étudiés.

3.5.2. Problématique de l'eau liée aux changements climatiques

- **Changements climatiques : facteur aggravant**

Les données climatiques relevées dans la région du Maghreb durant le 20^{ème} siècle indiquent un réchauffement durant ce siècle, estimé à plus de 1°C, avec une tendance accentuée les trente dernières années. Les modèles de circulation générale convergent pour estimer un réchauffement probable de la région de l'ordre de 2 à 4°C durant le 21^{ème} siècle.

Par son appartenance géographique à la zone aride et semi-aride, l'Algérie est soumise à des conditions physiques et hydro climatiques défavorables, accentuées par des périodes de sécheresses chroniques. L'Algérie présente une grande sensibilité au climat, notamment dans les hauts plateaux et la steppe, qui couvrent environ 60% des terres viables du Nord.

Une modification du climat est donc inéluctable et il en résultera des impacts significatifs, liés entre autres, à l'augmentation des températures et des précipitations, à la raréfaction des ressources en eau et à la hausse de la fréquence des tempêtes. D'autres impacts sont étudiés : la perte de la biodiversité et la dégradation des écosystèmes, la hausse du risque des famines, les mouvements de populations, ainsi que les incidences sur la santé.

- **Impacts sur les écoulements de surface**

La sécheresse intense et persistante, observée en Algérie durant les 30 dernières années et caractérisée par un déficit pluviométrique, évalué à 30% (50% durant l'année 2001-2002), a eu un impact négatif sur les régimes d'écoulement des cours d'eau, entraînant des conséquences graves sur l'ensemble des activités socio-économiques du pays.

Ces nouvelles données insinuent que toutes les prédictions calculées à partir des données historiques sur le cycle naturel, servant de base aux décisions d'investissements dans l'hydraulique doivent être réétudiées en fonction des nouvelles données du climat. En tenant compte de la sécheresse, les estimations du potentiel hydrique pourraient être revues à la baisse à 17 milliards de m³/an, avec 10 milliards de m³ des ressources

superficielles dans la région Nord, soit une diminution de 11% par rapport au potentiel en eau estimé initialement à 19,4 milliards de m³.

- **Changements affectant les eaux des barrages**

Les changements affectant la retenue des eaux de surface sont dus à l'envasement et à la diminution du ruissellement.

- ✓ *L'envasement* : la nature et la morphologie des terrains en pente, la fragilité du couvert végétal, le manque de boisement et l'urbanisation en amont des barrages, engendrent une forte érosion qui réduit la capacité de stockage des barrages, de 2 à 3% chaque année, à cause de l'envasement dû au transport et au dépôt de sédiments par les eaux de pluie ;
- ✓ *La diminution du ruissellement* : la contribution du ruissellement aux eaux de surface a systématiquement diminué. Les flux trop faibles ne permettent pas de remplir suffisamment les barrages existants.

- **Incidences des changements climatiques sur l'irrigation**

Les récentes fluctuations climatiques et les sécheresses plus fréquentes au cours des trois dernières décennies, ont accentué le phénomène de dégradation des sols, engendrant ainsi la désertification des zones vulnérables, comme les steppes et les hautes plaines. La tendance actuelle à des inondations plus intenses pourrait entraîner une érosion et une dégradation des sols plus importantes. Ces terres constituent de véritables potentiels agricoles, devant assurer la sécurité alimentaire du pays, ainsi que la protection de la frange côtière.

Les ressources en eau sont capitales pour la production alimentaire. Sur les 150 000 ha irrigables, 43 000 ha seulement ont été effectivement irrigués en 2007, du fait de la sécheresse et de la réaffectation des eaux d'irrigation à l'alimentation en eau potable des populations, notamment à l'ouest du pays.

- **Risques d'inondations**

S'appuyant sur des études scientifiques, les experts dans le domaine estiment que des pluies torrentielles et des orages, comme ceux qui ont ravagé les régions de Bab El Oued, Ghardaïa ou Béchar seront de plus en plus fréquents. Il faut s'attendre à l'accentuation de ces phénomènes météorologiques, qui seront de plus en plus violents et dangereux.

3.5.3. Pollution des eaux

Au cours de ces dernières années, les rejets des eaux usées, d'origines urbaine et industrielle ont augmenté dans les oueds. Ceci constitue une menace pour la qualité des ressources en eau dans les barrages. Plusieurs tronçons d'oueds sont déjà pollués. Si le phénomène persiste encore, des barrages seront pollués. En plus de ces rejets, le dépôt des sédiments dans les retenues des barrages génère l'eutrophisation des eaux de retenues. L'eutrophisation est l'enrichissement d'une eau en sels minéraux (nitrates et phosphates notamment), entraînant des déséquilibres écologiques, comme la profilation de la végétation aquatique et l'appauvrissement en oxygène dissous.

Ceci est pour les eaux de surface, pour les eaux souterraines, et depuis le début des années 60, avec l'apparition des forages profonds, prélevant de l'eau à partir des nappes des CT et CI, le niveau de l'eau de la nappe phréatique s'élève progressivement, engendrant des inondations et la détérioration des habitations. Les rejets : les eaux d'irrigation, les eaux usées collectée dans les fosses septiques ou rejetées dans des sols à haute perméabilité, étaient devenus considérables, et contribuent à la pollution de cette nappe, et par conséquent, la détérioration de l'environnement.

3.5.4. Intrusion des eaux marines dans les aquifères côtiers

En Algérie, le phénomène a pris de l'ampleur ces vingt dernières années à cause de la sécheresse qui a frappé le nord algérien, associé aux pompages excessifs et anarchiques. Aujourd'hui, toutes les régions du littoral algérien sont menacées par ce phénomène. Plusieurs lieux de contaminations des nappes ont été signalés le long du littoral. La

région du centre n'a pas échappé à ce phénomène, notamment les nappes des plaines de Oued Nador, Oued Mazafran, et la région de Bord El Bahri.

4. Actions adoptées pour augmenter les stocks en eau

Pour éviter de répercuter fatalement le déficit en eau, il faut mobiliser le maximum de ressources superficielles et souterraines, en cherchant de nouvelles ressources, lutter contre les pertes et améliorer la qualité des eaux disponibles. C'est la qualité de l'eau qui est devenue un problème crucial ; car depuis une trentaine d'années, cette qualité est menacée par les activités humaines. L'augmentation des besoins d'une région dans les trois grandes catégories (industrie, agriculture, particuliers) demande une planification innovatrice des ressources hydriques. Il est clair que l'Algérie enregistre, d'un côté, un manque énorme en ressources, au même moment où les besoins augmentent, et de l'autre côté, le volume d'eau mobilisable est en diminution, et ceci est dû aux différents problèmes naturels ou humains, touchant les sites susceptibles de capter les eaux. Partant de ce constat, nous proposons une série de suggestions dans le but de sauvegarder nos ressources mobilisées actuellement, tout en tentant de les augmenter au maximum, dans la mesure du possible, qui aura pour effets la baisse du déficit et le relèvement du taux de satisfaction, en ce sens que, notre but est d'améliorer la situation actuelle et future, afin d'arriver au stade d'équilibre. Plusieurs procédés pour augmenter le stockage des eaux sont proposés.

4.1. Entretien des barrages actuels et luttés contre l'envasement

Pour prolonger la durée de vie des grands barrages, l'entretien de ces ouvrages est devenu aujourd'hui une nécessité pour les services de l'hydraulique. Les barrages s'ensavent, l'eau des retenues s'évapore et se perd par infiltration à travers les berges et les fondations. L'actualisation des données de Remini de 2002 a donné un volume de 32 millions de m³ de vase déposée annuellement dans les 52 grands barrages algériens. Le volume de vase estimé était de 1 milliard de m³ en 2004. Cette quantité sera de 1,35 milliards de m³ en 2020 pour le même nombre de barrages. Plusieurs barrages seront abandonnés si des dispositions nécessaires ne sont pas prises (Remini, 2005b).

La quantité de vase évacuée en 38 années d'exploitation (1962-2000) était évaluée à 10.10^6 m^3 , alors que 19.10^6 m^3 se décantaient dans la retenue, soit un rendement moyen de 32 % (Remini et Hallouche, 2004).

En plus de la diminution du volume utile des barrages, la stabilité de certains ouvrages est menacée par la forte poussée des vases. La rareté des sites favorables à la réalisation de nouveaux barrages a poussé les services de l'hydraulique à entretenir les barrages en exploitation. Plusieurs méthodes (curatives et préventives) de luttent contre l'envasement ont été appliquées depuis les années trente. Actuellement, l'aménagement des bassins versants et la réalisation des barrages de décantation sont les moyens ou bien les méthodes les plus importantes à adopter pour éviter l'envasement des barrages. La première (aménagement) consiste à minimiser le transport des sédiments par la réduction de l'érosion hydrique, et la deuxième est d'empêcher la vase d'arriver jusqu'au barrage, où cela peut se faire par la création de retenues pour la décantation des apports solides, ce qui revient à construire un autre barrage en amont. La réalisation du barrage de Boughezoul en amont de celui de Ghrib, bien qu'édifié essentiellement pour amortir les crues de oued Chellif, a permis de retenir depuis sa création un volume de près de 50.10^6 m^3 de vase qui, sans elle, seraient venus s'ajouter aux 150.10^6 m^3 qui se sont déposés dans celle de Ghrib (en l'an 2000). Le barrage de Boughezoul a ainsi réduit l'envasement du Ghrib de près de 18 % (Remini et al, 2003).

La technique de chasse est un autre moyen de lutte contre l'envasement, consistant à évacuer une quantité des sédiments par les pertuis de vidange à l'arrivée des crues. Elle est appliquée souvent au barrage de Beni Amrane. Ce dernier d'une capacité de $15,6 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ a été doté de six vannes de fond. Environ $2,2 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ de vase ont été évacués durant la période 1988- 1993. L'évacuation des sédiments par les pertuis de vidange n'est efficace que pour la zone proche des vannes. L'efficacité des chasses opérées dans le temps au niveau du barrage n'a pas dépassé les 26 % du total des sédiments entrants (Remini&Hallouche, 2005). L'ouverture de la vanne de fond au barrage de Foum El Gherza a permis d'évacuer environ $0,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ de vase durant l'année 1989/1990, et une quantité de $0,1 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ de vase de 1990 à 1993 (Remini&Hallouche, 2005).

En parlant de lutte contre l'envasement, il faut citer la surélévation des digues. Cette méthode consiste, lorsque le taux de comblement est avancé, à augmenter la hauteur de la digue d'une taille variable, permettant la constitution d'une réserve complémentaire pour compenser la perte du volume occupé par la vase.

Cette technique a été réalisée sur 04 barrages: Bakhada, K'sob, Zardézas et Boughezoul. La surélévation des barrages permet d'augmenter la capacité de la retenue, et donc de compenser la valeur envasée. La nouvelle situation ainsi créée ne peut qu'influencer l'évolution des dépôts des sédiments dans la retenue. Il a été constaté que l'envasement a augmenté plus rapidement après cette surélévation (Remini, 1997).

En plus des moyens cités pour la lutte contre l'envasement, il s'ajoute le soutirage des courants de densité et le dragage des barrages.

4.2. Réalisation des grands barrages, petits barrages et des retenues collinaires

Pour récupérer une partie des milliards de m³ d'eau qui se déversent dans la mer, la prospection des meilleurs sites et la réalisation de nouveaux barrages en Algérie s'avèrent indispensables. Depuis une vingtaine d'années, l'Algérie a entrepris de développer un programme ambitieux de construction de grands barrages. D'après Terra (2013), il y avait que 13 barrages en Algérie avant l'indépendance (1962), et actuellement on est à un chiffre de 70 barrages et on estime avoir 84 barrages avec une capacité de 8,4 milliards de m³ à l'horizon de 2016 selon Mozas et Ghosn(2013).

Le manque de sites favorables à la réalisation de grands barrages, nous incite à réaliser des retenues collinaires. Ce sont de petits barrages de faibles profondeurs, construits avec des digues en terre, permettant une gestion locale de ce mode de stockage.

L'Algérie s'est engagée au début des années quatre-vingt avec un programme ambitieux pour la réalisation d'un nombre considérable de retenues collinaires.

Malheureusement, cette expérience s'est soldée par un semi-échec, puisque plusieurs retenues se sont envasées durant les premières années de l'exploitation, d'autres ont été emportées par les premières crues (Remini, 2010).

Actuellement, l'Algérie dispose de plus de 141 petits barrages destinés à l'irrigation de 11.172 ha (MRE, 2014a) et environ 580 retenues collinaires (MRE, 2013a).

4.3. Utilisation de la recharge artificielle des nappes (Remini, 2010)

Plusieurs problèmes hydrauliques peuvent être solutionnés si on a recours à la recharge artificielle des nappes. Par exemple, la diminution dangereuse du niveau de la nappe de la Mitidja suite à la surexploitation de son eau a même provoqué plusieurs cas d'affaissement des routes dans la région. Donc, il est temps de généraliser cette méthode de stockage d'eau en Algérie, surtout qu'elle ne demande pas assez de moyens matériels. Cependant, il faut d'abord faire une prospection des aquifères souterrains, capables de stocker l'eau et de déterminer les endroits à la réalisation d'un tel ouvrage hydraulique. Il serait souhaitable dans le cas de la réalisation d'un barrage, qu'il soit combiné avec la recharge artificielle des nappes. La réalimentation artificielle des nappes peut être une solution alternative aux milliards de m³ qui se déversent encore dans la mer et qui ne peuvent pas être mobilisés à travers la réalisation des barrages. Elle peut aussi résorber le phénomène de rabattement des niveaux des nappes dû au déficit de la mobilisation de la ressource superficielle.

Avant d'appliquer la recharge artificielle, il serait judicieux de tenir compte des recommandations suivantes:

- Arrêter immédiatement les forages et puits fortement contaminés ;
- Arrêter l'exploitation dans les secteurs vulnérables à l'intrusion ;
- Généraliser la micro-irrigation ;
- Programmer des campagnes de mesures de la piézométrie pour suivre les fluctuations du niveau de la nappe ;
- Faire des analyses chimiques et géophysiques pour suivre et localiser l'interface eau douce- eau salée ;
- Etudier et modéliser la propagation du biseau salé.

4.4. Réutilisation des eaux uséesépurées

Au niveau mondial, les eaux usées produites sont estimée à 1500 km³ (UNESCO-WWAP, 2003).Selon le même auteur, ces eaux usées sont une source importante d'eau

d'irrigation. Environ 10 % des terres irriguées des pays en développement utilisent cette ressource.

En Algérie, la plupart des eaux usées épurées sont rejetées dans la nature (oueds), alors que la plupart des régions du pays souffrent de l'absence de satisfaction en eau. Pour combler le manque en eau et mettre moins de pression sur la demande à partir des sources propres (eaux souterraines ou de surface), il est indispensable de penser à réutiliser cette eau, surtout dans le secteur agricole.

C'est vrai que les responsables du secteur hydraulique ont pensé à cela, mais il est bon de l'élargir, surtout que le parc des stations d'épuration se compose actuellement de 145 stations, avec une capacité d'épuration égale à 12 millions EH (Equivalent Habitant), soit un volume de 800 hm³/an, et on prévoit 106 autres stations pour atteindre un volume annuel total, pour toutes les stations, égal à 1,2 milliard de m³ (MRE, 2014c).

4.5. Dessalement des eaux

En matière de dessalement d'eau de mer et de déminéralisation, l'expérience algérienne datait des années 60. Vers la fin des années 90, il existait 43 unités de dessalement, d'une capacité de traitement de près de 100000 m³ par jour. Ce débit est destiné pour une grande partie à l'industrie pétrolière d'ARZEW et de SKIKDA. Des unités de déminéralisation d'eau saumâtre ont été réalisées à Abadla (1700m³/j), Ouenza (4000 m³/j), OuledDjellal (3000 m³/ j), et celle de la SONIC de Mostaganem (40000 m³/j) (Remini, 2010).

Suite à la sécheresse de ces dernières années qui a provoqué un manque d'eau potable dans la majorité des communes ; deux types de programmes ont été mis en œuvre par le gouvernement pour palier au déficit des ressources en eau (Terra, 2013):

- ✓ Un programme d'urgence en 2002: qui a porté sur la réalisation de 23 stations monoblocs, d'une capacité de production de 57.500 m³/j délocalisable en fonction des situations locales. Ce programme a permis l'atténuation de la situation de la crise vécue au début des années 2000, notamment à Alger et Skikda, ainsi qu'en 2004 dans l'Ouest, avec la délocalisation de 10 stations sur de nouveaux sites ;

- ✓ Un programme structurant : qui a comme objectif de réaliser 13 grandes stations : 6 à l'ouest du pays, 5 au centre et 2 à l'est, d'une capacité totale de 2,3 millions m^3/j , avec leurs aménagements en aval, dont 9 mises en service entre 2005 et 2012, et 2 en cours de réalisation. Ces stations ont contribué au renforcement et à la sécurisation de l'AEP des wilayas côtières, notamment les grandes agglomérations d'Alger, l'Oranie et Skikda.

La localisation des grandes stations a été déterminée sur la base d'une étude générale réalisée entre 2000 et 2003 (voir figure 9).

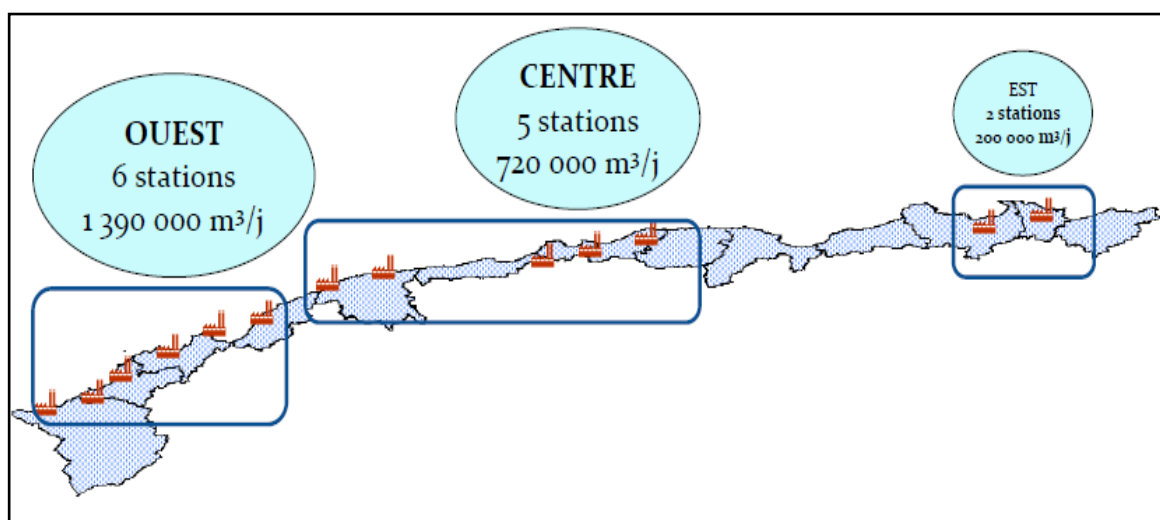


Figure 9. Grandes stations de dessalement (Terra, 2013)

Mais le coût du dessalement dépend fortement du prix de l'énergie. A titre d'exemple, pour produire par dessalement l'eau d'irrigation nécessaire à la satisfaction des besoins en nourriture des 3 milliards d'êtres humains supplémentaires susceptibles de venir sur la Terre d'ici à 2050, estimée à 4 000 km^3/an , il faudrait dépenser en énergie l'équivalent de trois fois la quantité de pétrole et de gaz actuellement consommée dans le monde.

4.6. Lutttes contre les fuites des différents réseaux

La diminution des pertes dues aux réseaux d'alimentation est un autre moyen qui permettra d'assurer une distribution des quantités d'eau de la manière la plus juste et la plus équitable possible. La lutte à toute épreuve contre le gaspillage et les pertes d'eau

par une meilleure gestion et exploitation du réseau, et la réhabilitation des réseaux, dont les qualités techniques ne répondent pas aux normes exigées (Kettab, 2001 ; Remini, 2010).

4.7. Production de l'eau douce à partir de l'humidité atmosphérique

Les possibilités d'obtention de l'eau à partir de l'air sont impressionnantes. La formation de rosée peut être importante, même en atmosphère relativement sèche, comme dans les déserts continentaux. La récupération de la vapeur d'eau atmosphérique qui n'a pas encore été exploitée à grande échelle, pourrait donc devenir une réalité dans le futur. Aujourd'hui, la quantité d'eau récupérée reste faible, et l'objectif de plusieurs chercheurs réside dans la possibilité d'obtenir de l'eau, même dans les régions sèches, y compris les déserts. Selon certains experts, le littoral algérien contient une humidité spécifique moyenne de 15g/kg d'air sec durant le mois de juillet, et peut donc constituer un site de production non négligeable (Mohammedi, 1995).

5. Conclusion

La quantité d'eau douce sur terre est théoriquement suffisante pour alimenter 20 milliards d'habitants. Malheureusement, elle n'est pas répartie de façon égale, comme en témoignent les vastes régions arides et semi-arides.

En Algérie, et comme dans toutes les régions arides du monde on souffre d'un déficit hydrique qui est dû aux faibles précipitations et à une forte évaporation. En plus de ces conditions les ressources en eau, comme sur toute la planète, subissent une diminution qui est due à l'augmentation de nombre d'habitants, à l'élargissement des activités agricole et industriel, la pollution de de l'eau et les changements climatiques.

La crainte de la diminution de la quantité d'eau douce sur terre a fait que l'homme a pensé d'augmenter les stocks en eau pour satisfaire les besoins. Parmi les solutions adoptées, il y a le dessalement des eaux de mer et saumâtres, qui malheureusement revient très cher à cause de l'augmentation du coût de l'énergie. Il y a aussi comme solutions, la construction des barrages qui contribuent également à la production de l'énergie et le refroidissement des centrales thermiques. En plus des deux solutions citées ci-avant, il y a la réutilisation des eaux usées, qu'elles soient traitées ou non dans le secteur agricole.

En Algérie, parmi les solutions citées, les barrages et les retenues collinaires deviennent une solution clé qui permet de résoudre le problème de l'eau, mais même cette solution a ses contraintes qui se résument dans trois phénomènes, qui réduisent la capacité des barrages et des retenues collinaires : l'envasement, les fuites et l'évaporation.

Plusieurs travaux de recherches ont pris en charge les problèmes d'envasement et des fuites, où beaucoup de solutions ont été proposées et beaucoup de travaux d'aménagements ont été réalisés, comme cités ci-dessus. Pour l'évaporation, le problème est très sévère, non, parce qu'elle représente une grande partie d'eau perdue dans les barrages et les retenues collinaires, mais parce qu'il n'y a pas assez d'études qui l'ont pris en charge.

Chapitre II

1. Introduction

L'évaporation est définie comme étant le passage de l'état liquide à l'état gazeux à une température au-dessus du point d'ébullition. Lorsqu'il existe un volume libre au-dessus d'un liquide, une fraction des molécules composant le liquide est sous forme gazeuse. À l'équilibre, la quantité de matière sous forme gazeuse définit la pression de vapeur saturante dans le cas d'un liquide pur, et qui dépend de la température. Cette pression peut être partielle ou totale.

Le processus de l'évaporation d'un plan d'eau implique plusieurs mécanismes et ceux-ci sont récapitulés dans la figure suivante :

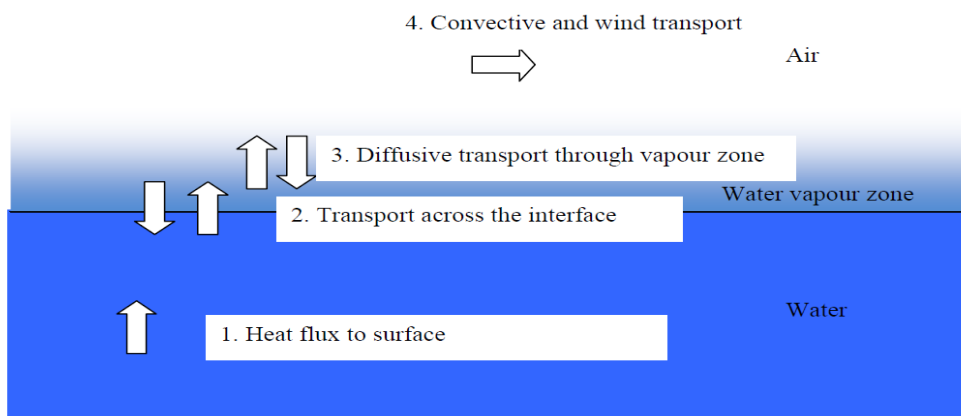


Figure 10. Transfert à travers la surface de l'eau (Wu, 1971)

- (1) Flux de chaleur vers la surface ;
- (2) Transfère à travers l'interface ;
- (3) Transfert diffusif à travers la zone de vapeur ;
- (4) Transport par convection et par vent.

L'évaporation est conditionnée par deux groupes de facteurs : le premier groupe concerne les facteurs météorologiques, tels que la température, l'humidité relative, le vent, l'isolation et la pression atmosphérique (Godardet, Tabeaud, 1993 ; Rémérniéraséras 1986 ; Roche 1963), et le deuxième groupe est celui des facteurs physiques, tels que la profondeur du plan d'eau, son étendue et sa salinité (Rémérniéraséras, 1999 ; Musy, 2004).

La recherche d'un moyen pour réduire l'évaporation, est une grande préoccupation, surtout dans les régions arides caractérisées par des températures de l'air élevées, des vents chauds et secs et une durée d'insolation importante.

Les chercheurs un peu partout dans le monde, ont pensé à plusieurs solutions, physiques et chimiques, pour réduire l'évaporation, et par conséquent, contribuer à l'économie de l'eau dans les zones, souffrant d'une pénurie remarquable de cette ressource vitale.

Le présent chapitre consiste à donner un aperçu sur l'évaporation des plans d'eau dans le monde et en Algérie et les méthodes de sa détermination. On va exposer aussi dans ce chapitre quelques techniques utilisées pour réduire l'évaporation des plans d'eau, en se basant sur la technique des monocouches ou encore appelées les films moléculaires.

2. L'évaporation des plans d'eau

2.1. Évaporation dans le monde et en Algérie

Les pays arides, plus que d'autres pays, souffrent d'une forte évaporation qui est due à la réunion des facteurs météorologiques favorisant ce phénomène : des températures de l'air assez importantes, des périodes d'insolation assez longues, de faibles taux d'humidité relative et des vents secs.

Selon Smerdon, en 1966, l'eau perdue par évaporation aux États-Unis dépassait de 10 fois l'eau consommée par l'AEP et l'industrie.

En Australie, l'évaporation est comprise entre 1000 et 4000 mm/an (BoM 2009). Pour les étendues de l'eau dans ce même pays et selon Craig et al (2007), 40% des eaux sont perdues par évaporation.

En Europe, l'exemple le plus remarquable est celui de l'Espagne, car selon Álvarez et al.(2006), l'évaporation au sud de l'Espagne est comprise entre 1600 et 2000 mm/an. Bengoechea et al. (1991) ont estimé que les eaux perdues par évaporation dans les étendues étaient d'environ 15% de la totalité des eaux destinées à l'irrigation.

En Asie, les exemples qu'on va citer sont ceux de l'Arabie Saoudite où l'évaporation est de plus de 4100 mm/an (Al-Saud, 2010) et de l'Inde, où l'évaporation atteint les 3000 mm/an (Sinha, 2006).

En Afrique, l'évaporation moyenne annuelle mesurée pour une période de dix ans (1957-1966) dans la zone sahélienne du Tchad est de plus de 3200 mm (Riou, 1971). En Tunisie, plus exactement dans la station de Gabès, entre 1945 et 1950, l'évaporation moyenne annuelle a été 2858 mm (Mamou, 1990). Rognon (2000) donne les valeurs de 2000 à 3000 mm/an d'évaporation dans les zones arides et même des valeurs de plus de 3500 mm dans les régions hyper arides, comme le cas de la région d'Aswan en Egypte (Hassan et al, 2007). Au Maroc, 7,7% de l'eau stockée dans les 90 barrages s'évapore chaque année (Lahlou, 2000).

L'évaporation en Algérie, qui est à 80% de sa superficie un pays désertique, est un phénomène très remarquable (85% des eaux des précipitations que reçoit l'Algérie, retournent à l'atmosphère par évaporation, selon AhmedSari (2009) à cause de la réunion des facteurs météorologiques qui le favorisent : une température de l'air souvent élevée pendant les saisons sèches, une forte insolation presque continue durant toute l'année, et une présence considérable de vents secs (grandes vitesses), surtout durant l'automne et le printemps.

La mesure de l'évaporation en Algérie se fait généralement par des évaporomètres Piche qui est un appareil purement d'usage météorologique, ne donnant pas des valeurs qui correspondent à l'évaporation réelle. Pour se rapprocher le maximum des conditions d'une étendue, les services de l'hydraulique en Algérie, et depuis les années 40 ont adopté la mesure de l'évaporation des plans d'eau par l'utilisation des bacs, de type Colorado (Dubief, 1949)

En se basant sur ce type de bac, des mesures de l'évaporation ont été effectuées entre 1953 et 1956 près des chotts de Melhrir et Merouane, et les valeurs obtenues étaient entre 2200 et 4600 mm/an (voir annexe 1)(Daix, 1956).

Une étude réalisée par Remini(2005a) entre 1992 et 2002 sur les pertes par évaporation dans 39 barrages de l'Algérie à l'aide des mesures journalières effectuées sur des bacs d'évaporation a montré que la quantité de l'eau évaporée dans ces barrages représente la moitié du volume consommé par l'irrigation, l'alimentation en eau potable et l'industrie dans la totalité des régions où se trouvent ces barrages. Selon le même auteur, la moyenne annuelle de l'évaporation durant la période de l'étude était de 250 millions de m³ pour les 39 barrages, d'une capacité de 3,8 milliards de m³, soit une perte moyenne annuelle de 6,5% de la capacité totale.

Pour le cas du Sahara, Remini a pris le cas du barrage de Djorf El Torba et les résultats obtenus ont montré que les valeurs de l'évaporation sont plus élevées de l'Algérie, et le volume d'eau évaporée dépasse même la quantité d'eau destinée à l'alimentation en eau potable et à l'irrigation de cette région.

A la fin de son étude, Remini(2005a) a proposé une carte de prévision de l'évaporation des lacs et des barrages pour l'Algérie septentrionale (annexe 1).

En l'absence de mesures des pertes par évaporation par des bacs pour toute l'Algérie, Boutoutaou (1995) s'est basé sur les paramètres météorologiques (méthode hydrométéorologique) pour établir une carte de l'évaporation moyenne annuelle (annexe 2).

2.2. Détermination de l'évaporation

Le taux de l'évaporation est défini comme étant la quantité d'eau, en masse ou en volume, évaporée d'une unité de surface par rapport à une unité de temps. L'unité de temps est normalement le jour. La quantité d'eau évaporée doit être exprimée en millimètre (OMM, 2003).

Les méthodes d'estimation et/ou la détermination de l'évaporation sont généralement indirectes ; soit par des instruments, soit par calcul, en utilisant les variables météorologiques (OMM, 1997).

Dans cette partie (1.1), on va voir les deux méthodes : indirectes et directes, pour déterminer l'évaporation d'une région donnée.

2.2.1. Mesures de l'évaporation des plans d'eau

Pour ces mesures directes, on emploie deux types d'appareils. Les premiers sont d'emplois plus fréquents chez les météorologistes et les deuxièmes sont d'usages fréquents chez les hydrauliciens. Ces appareils de mesures de l'évaporation ne donnent pas l'évaporation des plans d'eau. Les valeurs obtenues ne peuvent pas être utilisées sans ajustement pour pouvoir obtenir l'évaporation réelle d'un plan d'eau.

a) Appareils utilisés

➤ **Evaporomètre Piche (Annexe 3):**

Il est constitué par un tube cylindrique en verre de 25 cm de long et 1,5 cm de diamètre. Ce tube gradué est fermé à sa partie supérieure, tandis que son ouverture inférieure est obturée par une feuille circulaire de papier filtre normalisé de 30 mm de diamètre, et 0,5 mm d'épaisseur fixée par capillarité et maintenue par un ressort.

L'appareil ayant été rempli d'eau distillée ; celle-ci est évaporée progressivement par la feuille du papier filtre. La diminution du niveau de l'eau dans le tube permet de calculer le taux d'évaporation. Cet appareil est installé sous abri ; aussi la mesure dépend-elle beaucoup des conditions d'aération (Laborde, 2009).

➤ **Evaporomètre Wild (Annexe 3):**

Il est constitué par une balance de type « pèse-lettres » dont le plateau supporte un bassin contenant de l'eau (surface : 250 cm² ; profondeur : 35 cm). On enregistre les variations du poids du bassin. Il présente deux inconvénients : le volume d'eau est très faible et le rôle thermique des parois est prépondérant ; le vent peut faire osciller le bassin et fausser les mesures (Rémérniéras, 1999).

➤ **Évaporomètre à surface poreuse (Annexe 3) :**

L'atmomètre Livingston est essentiellement constitué par une sphère creuse de porcelaine poreuse, d'environ 5 cm de diamètre et d'un centimètre d'épaisseur. Elle est remplie d'eau distillée et communique avec un réservoir de même liquide, assurant en permanence le remplissage parfait de la sphère et permettant la mesure du volume évaporé.

Dans l'atmomètre Black Bellani, la sphère est remplacée par un mince disque de porcelaine poreuse noircie de 7,5 cm de diamètre, la couleur noire de la surface évaporante permet de capter les radiations sur la quasi-totalité du spectre (Laborde, 2009 ; Rémérniéras, 1999)

L'un des problèmes majeur de l'utilisation de ces appareils c'est qu'elles utilisent une eau distillée et ne prennent pas en considération la mauvaise qualité de l'eau d'une étendue qui influe directement sur le taux d'évaporation. De plus, ces appareils sont à l'intérieur des abris météorologiques, ce qui peut causer une absence du fait des vents et la présence d'une zone ombrée autour de l'appareil.

b) Bacs d'évaporation

Alors que, avec les atmomètres, on cherche à éliminer le plus possible les effets d'inertie thermique afin de mesurer une caractéristique purement climatique, éliminant l'influence du réservoir. Les bacs évaporatoires ont pour but de se rapprocher le plus possible des conditions prévalant à l'évaporation provenant des étendues d'eau naturelles.

Malgré l'intérêt évident de leur normalisation, les bacs d'évaporation utilisés dans les divers pays sont de formes, dimensions et caractéristiques différents, car les spécialistes ne sont pas d'accords sur le meilleur type à employer. Celui-ci dépend évidemment du problème à résoudre et des circonstances locales, mais en vue d'utiles comparaisons, l'ingénieur s'efforcera de choisir un modèle pour lequel on possède déjà de longues séries d'observations effectuées sous des climats présumés analogues.

On peut classer ces appareils en trois catégories, suivant qu'ils sont disposés à la surface du sol, enterrés dans celui-ci ou installés de façon à flotter sur une nappe d'eau.

➤ **Bacs placés au-dessus du niveau du sol :**

Ils présentent l'avantage d'une installation très simple et leurs résultats ne risquent pas d'être faussés par le rejaillissement des gouttes de pluie qui tombent sur le terrain avoisinant. Par contre, ils sont très sensibles aux variations de la température de l'air et aux effets de l'insolation. Si l'on isole thermiquement les parois extérieures du bac pour réduire les échanges de chaleur avec l'ambiance, on relève des taux d'évaporation plus faibles que pour le même bac nu (Rémérniéras, 1999).

Le bac le plus connu de ce type est le bac « classe A » du Weather Bureau, U.S.A (voir figure 11). Ce bac est constitué d'un cylindre métallique de 121,9 cm de diamètre et de 25,4 cm de hauteur. Dans ce cylindre, on maintient une épaisseur d'eau de 17,5 à 20 cm.

Le cylindre est supporté par un caillebotis à 15 cm du sol. Le caillebotis doit permettre une bonne aération sous le bac (Laborde, 2009).



Figure 11. Bac classe A

Ce bac universellement répandu ne satisfait que très partiellement l'hydrologue, car, en plus des inconvénients cités de ce type de bacs, le bac « classe A » a une profondeur insuffisante (Roche, 1963).

➤ **Bacs enterrés :**

Ce sont des bacs moins sensibles aux influences parasites de la température ambiante et du rayonnement solaire sur les parois, mais que leur bord dépasse le niveau du sol d'environ une dizaine de cm. Les gouttes de pluie ayant rebondi sur le sol et les détritiques qu'ils recueillent peuvent être la cause d'erreurs de mesures. Ils sont d'une installation et d'un entretien plus délicats (difficultés de déceler une petite fuite) ; la hauteur de la végétation dans leur voisinage immédiat influence les résultats (Rémériéras, 1999).

L'un des bacs le plus reconnu de ce type est le bac « Colorado ». Ce bac de 3 pieds carrés (0,925 m de côté, 0,855 m² de section), d'une profondeur de 1,5 à 3 pieds (45,72 à 91,44 cm) est enterré, de telle façon que le rebord soit à 4 pouces (10,16 cm) au-dessus du sol. L'eau affleure sensiblement au niveau du sol (figure 12) (Roche, 1963).

Le bac ORSTOM est une version à peine modifiée du Colorado qui a été adoptée par le service hydrologique de l'ORSTOM : bac de 1 m² de surface sur 60 cm de profondeur (Laborde, 2009).



Figure 12. Bac Colorado

Bien que les appareils décrits ci-dessus soient d'un emploi de plus en plus généralisé, il existe d'autres appareils en fonctionnement pour le compte de différents services. Nous citerons en particulier :

-Celui des Ingénieurs Agronomes de Californie : 2,45 pieds au carré (0,745 x 0,745 = 0,555 m²), 8 pouces de profondeur (20,32 cm), installé au-dessous du sol, dont les parois sont isolées thermiquement par une couche colotex de 0,5 pouce d'épaisseur (1,27 cm).

Les ingénieurs agronomes des U .S.A. utilisent un bac circulaire de 6 pieds (182, 88 cm) de diamètre, de 3 pieds (91,44 cm) de profondeur, enterré ;

-Toujours aux U.S.A., le service des plans industriels utilise un bac identique à celui des ingénieurs agronomes, mais de 2 pieds (60,96 cm) de profondeur ;

-Au Canada, l'ExperimentalFarms Services équipe ses stations d'un bac circulaire de 4 pieds de diamètre et de 2 pieds de profondeur. Ce bac est enterré, le rebord étant à 2 pouces au-dessus du sol (Roche, 1963).

➤ **Bacs flottants :**

Ce sont des bacs particulièrement utilisés quand on veut étudier l'évaporation de grandes surfaces d'eau. Leur installation peut être difficile (problème d'amarrage et de stabilité sur un plan d'eau de niveau variable). Les mesures sont évidemment moins aisées qu'à terre et sont trop souvent faussées les jours des grands vents par l'eau introduite dans le bac par les vagues ou déversée sous l'action des mouvements de roulis. De ce fait, on tend à leur préférer les bacs enterrés, de type Colorado par exemple, implantés sur les berges de la nappe d'eau à étudier (Rémérnières, 1999).

Parmi les bacs flottants, on citera ici le bac CGI-3000, qui est un bac d'origine russe, recommandé par l'O.M.M. Il est de forme cylindrique, de 61.8 cm de diamètre (3 000 cm²), à fond conique. De 60 cm de profondeur, il est enterré de façon à ce que sa collerette dépasse de 7,5 cm du sol, où le niveau d'eau étant maintenu nu au niveau du sol. Les coefficients bac-lac ainsi déterminés pour un GGI-3000 varient de 0,75 à 1 (Laborde, 2009). Pour les estimations de l'évaporation mensuelle moyenne, le coefficient d'un bac flottant GGI-3000 est estimé au moyen de l'équation suivante (OMM, 1994):

$$\alpha = 0.8 ((e_0 - e_{200} \beta) / (e_0' - e_{200} \gamma))(2)$$

Où :

e_0 : la tension de vapeur mensuelle moyenne (hPa) estimée d'après la température de l'eau à la surface du lac ;

e_0' : la tension de vapeur mensuelle moyenne (hPa) estimée d'après la température de l'eau à la surface du bac flottant GGI-3000 ;

e_{200} : la tension de vapeur mensuelle moyenne (hPa) dans l'air à 200 cm au-dessus de la surface de l'eau,

β : un facteur de correction pour la superficie du lac ;

γ : un facteur qui dépend de la distance qui sépare le rivage du bac, dans la direction moyenne du vent (fetch).

Il est à retenir que quelque soit le type de bac utilisé, il y a lieu de le protéger contre les animaux fouineurs, les animaux sauvages ou domestiques des oiseaux, etc. susceptibles de boire une quantité importante de l'eau.

2.2.2. Calculs de l'évaporation des plans d'eau :

Lorsqu'on a effectué un certain nombre d'observations à une station d'évaporation, que tout ou partie des facteurs conditionnels ont été mesurés durant une longue période, pour que ces efforts soient utilisables dans une application concrète ; il faut étudier comment les facteurs conditionnels influent numériquement sur l'évaporation. On cherche, en général, à traduire cette influence sous une forme analytique : c'est ainsi que naissent les formules d'évaporation.

Un premier groupe rassemble les formules purement empiriques : le chercheur doit établir des relations sur un modèle analytique que lui suggère son intuition ou sa fantaisie, et essaie de faire coller, en général par tâtonnement, sa formule avec les résultats d'observations, en jouant sur les coefficients d'ajustements qu'il s'est ménagé. A un stade plus élevé, mais toujours dans le même esprit, le chercheur étudie systématiquement les régressions multiples entre l'évaporation et ses différents facteurs conditionnels, soit, par une méthode graphique sans préjuger de la nature des régressions, soit, par le calcul en les supposant linéaires. Ce point de vue, qui est celui du statisticien, est tout à fait honorable et peut rendre de grands services dans les applications.

Dans un second groupe, nous rangerons les formules semi-empiriques, c'est à dire pour lesquelles un effort d'analyse physique a été effectué. Cette analyse ne porte que sur un

nombre réduit de facteurs conditionnels, les autres étant négligés ou introduits de façon empirique par voie de régression ou sous une forme analytique plus ou moins arbitraire grâce à l'ajustement des coefficients empiriques par la méthode des moindres carrés.

Enfin, les formules du troisième groupe font appel à l'étude physique du phénomène dans son ensemble. Elles sont souvent peu maniables, exigeant des mesures nombreuses et parfois difficiles, mais constituent la seule méthode d'approche génératrice de progrès.

Dans ce qui suit, nous ne parlerons pas des formules empiriques, non, que nous les méprisons, mais parce qu'elles relèvent des méthodes purement statistiques sur lesquelles on trouve des données suffisantes dans notre introduction.

a) Méthode du bilan énergétique des étendues d'eau

La méthode du bilan énergétique est basée sur la loi de conservation et transformation d'énergie : la différence entre l'énergie reçue et dépensée par une étendue d'eau doit être égale à la variation de l'énergie de la masse d'eau durant un intervalle de temps donné. La valeur absolue de l'évaporation dans le bilan énergétique est si grande par rapport aux autres composants de l'équation que son évaluation devient précise. L'expression simplifiée de cette méthode est sous la forme suivante :

$$E = [0,615 \cdot 10^{-2} \cdot R - d_{S1} + d_{S2} + d_{S3}] / [1,55 + d_t/d_e] \quad (3)$$

Où :

R : bilan radiatif (dj/cm^2) ;

d_{S1} : variation de stockage de la masse d'eau dans un intervalle de temps donné (dj/cm^2) ;

d_{S2} : différence entre la recette et la dépense d'énergie pour le volume d'eau reçu et évacué par la retenue (dj/cm^2) ;

d_{S3} : échange d'énergie entre sol et le fond de la retenue (dj/cm^2) ;

d_t : différence entre la température de la surface évaporante et de l'air ($^{\circ}\text{C}$) ; et

d_e : différence des tensions de vapeur d'eau partielles existant au voisinage de la surface évaporante et dans l'air (mb).

Le calcul de l'évaporation par cette méthode nécessite la connaissance de tous les éléments de l'équation (4).

Malgré sa précision, cette méthode n'a été employée que rarement.

b) Méthode du bilan hydrique des étendues d'eau (Boutoutaou et al., 2013)

La méthode du bilan hydrique est basée sur l'égalité de la recette et de la dépense du volume d'eau dans la retenue, tout en prenant en compte la variation du stockage.

L'évaporation en volume d'eau est déterminée par la relation suivante :

$$V_E = V_P + V_S + V_{ST} - V_{QS} - V_{QST} \pm \Delta V \quad (4)$$

Où :

V_P : volume de pluie reçue par la retenue (m^3)

V_S : volume d'eau superficiel entrant dans la retenue (m^3)

V_{ST} : volume d'eau souterrain entrant dans la retenue (exfiltration) (m^3)

V_{QS} : volume d'eau évacué (m^3)

V_{QST} : volume d'eau souterrain sortant de la retenue (infiltration) (m^3);

V_E : volume d'eau évaporé de la surface de la retenue (m^3)

ΔV : stockage ou destockage subi par la retenue (m^3)

L'estimation de l'évaporation par cette méthode du bilan est très peu employée du fait de l'imprécision et de la difficulté d'effectuer des mesures de la plupart des composants de l'équation (5), en particulier les entrées et les sorties souterraines.

c) Méthode hydrométéorologique

La méthode hydrométéorologique est la méthode la plus employée pour la détermination de l'évaporation des étendues d'eau (lacs, retenues etc.....).

Les formules de ce genre sont élaborées sur la base des données d'observations des stations météorologiques implantées aux sites des retenues et des stations continentales.

Ces formules sont simples et faciles à utiliser. Les valeurs numériques de leurs paramètres sont des données standards, toujours disponibles dans les bulletins météorologiques, ainsi que dans les atlas climatologiques de l'O.N.M. Ces formules sont scindées en deux groupes :

Le premier comprend les formules reliant l'évaporation à plusieurs paramètres météorologiques, telles que les relations entre l'évaporation, la température et l'humidité de l'air, ainsi que les relations entre l'évaporation et de déficit de saturation de l'air.

Le deuxième contient des formules basées sur la loi physique de Dalton. Il faut noter que les formules du deuxième groupe constituent les documents normatifs de plusieurs pays, tels que la Russie et les USA.

Dalton a établi que le transfert des masses d'eau ou autres substances dans le phénomène de l'évaporation est conditionné par la différence des pressions partielles de vapeur existant au voisinage de la surface, et dans l'atmosphère libre (Dalton, 1802 ; Segal&Burstein, 2010). Cette loi s'exprime par la relation :

$$E = f(U) (e_s - e_a) \quad (5)$$

Où :

E: évaporation durant une période donnée mm;

$f(U)$: une fonction du vent ;

e_s : Tension de vapeur saturante de l'eau mb;

e_a : Tension de vapeur existant dans l'atmosphère mb.

Initialement, Dalton a simplement utilisé la fonction $f(U) = Ku$ où k est une constante (Singh & Xu, 1997). Les chercheurs par la suite ont trouvé que la corrélation avec le vent est plus compliquée. Tenir compte des basses vitesses du vent et des conditions de l'air calme, la fonction du vent est souvent écrite sous la forme $a(1+bU)$, où a et b sont des coefficients déterminés expérimentalement pour une région donnée (Wu, 1971).

Selon Smith (1909), les valeurs des coefficients a et b déterminées par Fitzgerald en 1886, suite à ses expériences au lac de Chestnut Hill, près de Boston, sont $a = 1,4 \times 10^{-3}$ et $b = 1,12$ où la pression est en (Pa), et la vitesse moyenne du vent en (m/s) mesurée à une hauteur de 1 m. Penman (1948), de la même façon a déterminé les deux coefficients à partir des données de plusieurs années, mais en utilisant une vitesse moyenne du vent mesurée à une hauteur de 2 mètres. Ces valeurs étaient $a = 0,35$ et $b = 9,8 \times 10^{-3}$.

Pour le cas de l'Algérie (le nord et le sud du pays), Boutoutaou (1995) a trouvé les valeurs suivantes : $a = 0,233$ et $b = 0,39$. Par conséquent, la formule de calcul de l'évaporation établie par Boutoutaou est la suivante :

$$E = 0,233 n (e_s - e_a) (1 + 0,39 V) \quad (6)$$

Où :

E - évaporation, mm

e_s - tension de vapeur d'eau saturante à la température de la surface évaporante, mb ;
(voir Annexes 4 et 5)

e_a - tension de vapeur d'eau dans l'atmosphère, mb; $(e_s - e_a)$ - déficit de saturation dans l'atmosphère, mb;

V - vitesse du vent, m/s;

n - nombre de jours du mois considéré.

L'introduction de la tension de vapeur à la température superficielle de l'eau présente un inconvénient dans les applications : lorsqu'on a à calculer l'évaporation pour une retenue qui n'existe pas encore, il est bien évident que l'on ne peut pas avoir de données sur sa température superficielle. Par contre, les stations météorologiques officielles fournissent une masse de données assez considérables sur le déficit par saturation de l'air (Roche, 1963).

Pour l'Algérie et selon Boutoutaou (1995), le déficit de saturation de l'air en millibar est donné par la formule suivante :

$$D = 0,0632 * (100 - H) * e^{0,0632t} \quad (7)$$

Où :

H : Humidité de l'air en % ;

t : Température de l'air en °C.

- Exemple de calcul de l'évaporation dans les régions d'étude

Pour estimer l'évaporation du plan d'eau au niveau de Ouargla par exemple, on situe sur la carte d'évaporation donnée ci-dessus la ligne d'égale évaporation qui passe par Ouargla. Cette ligne se situe entre 2400 mm/an et 2600 mm/an. Elle est égale 2500 mm/an.

Pour calculer la valeur de l'évaporation mensuelle, on détermine d'abord la situation géographique de Ouargla ; où cette dernière selon la carte, se trouve dans la zone IV (Sahara) la distribution en pourcentages de l'évaporation pour la zone IV est présentée dans le tableau (Annexe 6). Cette distribution permet de calculer l'évaporation mensuelle en multipliant la valeur annuelle par le pourcentage de chaque mois. Donc, l'évaporation mensuelle se présente comme suit :

Tableau 3 : Répartition mensuelle de l'évaporation dans la région de Ouargla.

Mois	Jan.	Fév	Mars	Avr	Mai	Jun.	Jul.	Août	Sep	Oct.	Nov.	Déc.
Evap.(mm)	75	100	175	200	275	350	375	350	250	175	100	75

La valeur de l'évaporation annuelle = $\sum E$ mensuelle = 2500mm

Pour Touggourt, on va calculer l'évaporation des plans d'eau par la méthode hydrométéorologique. Les données météorologiques nécessaires au calcul de l'évaporation sont prises de l'ONM.

La température de la surface évaporante (température de l'eau) (t_e), nécessaire pour la détermination de la tension de vapeur d'eau saturante (e_s) ne figure pas dans les données météo. Elle peut être déterminée en fonction de la température de l'air (t_a) et la tension de vapeur d'eau de l'atmosphère (e_a), en utilisant l'abaque de l'annexe 4, et par conséquent, la tension de vapeur d'eau saturante (e_s) par la table donnée en annexe 5. L'évaporation de la surface du plan d'eau de Touggourt est donnée par la formule (6).

Tableau 4. Résultat de calcul de l'évaporation(ONM, 2014)

Mois	n	ea (mb)	Ta (°C)	Te (°C)	es (mb)	es-ea	Vent (m/s)	E (mm)
Jan.	31	8,4	11	12	14	5,6	1,8	68,4
Fév.	28,5	7,6	13	12	14	6,4	2,2	78,3
Mars	31	8,8	17	15,8	18	9,2	2,7	137,2
Avr.	30	10,7	21	19	22	11,3	3,0	170,5
Mai	31	12,0	26	23	28,1	16,1	3,0	252,0
Jun.	30	14,4	32	28,2	38,3	23,9	2,6	337,2
Juil.	31	15,5	35	31	45	29,5	2,4	410,3
Août	31	16,0	34	31	45	29,0	2,4	402,8
Sep.	30	16,6	29	26	33,6	17,0	2,3	223,7
Oct.	31	13,6	23	21,8	26,1	12,5	1,9	157,4
Nov.	30	9,8	16	16,4	18,7	8,9	1,9	108,5
Déc.	31	8,1	11	11,1	13,2	5,1	1,7	61,7
Somme								2408,0

3. La réduction de l'évaporation

3.1. Techniques de réduction de l'évaporation

La réduction de l'évaporation est une méthode qui permet de préserver les eaux et par conséquent assurer des quantités d'eau pour un développement durable.

3.1.1. Brise-vents

Le vent est un autre paramètre qui influe sur l'évaporation. Le passage du vent chasse la bande humide formée au-dessus d'une surface d'eau, et par conséquent, le redémarrage du processus de l'évaporation. Donc, la présence des brises vents implique une réduction de l'évaporation. Les essais réalisés par Crow (1963) ont montré qu'en présence des brises vents, l'évaporation est réduite de 9% ; d'autres essais ont été effectués par d'autres chercheurs (Skidmore& Hagen, 1970 ; Department of Water, 2007), et ont enregistré des taux de réduction d'évaporation de l'ordre de 20 à 30%. Malheureusement, cette technique donne de bons résultats que dans les petites retenues, pour les grandes étendues que de faibles taux de réduction d'évaporation peuvent être atteints (Helfer, Zhang, & Lemckert, 2009).

3.1.2. Réduction de la surface exposée au soleil et la couverture totale de la surface des plans d'eau

Le soleil est le moteur du cycle de l'eau. Le rayonnement solaire réchauffe l'eau des étendues, et par conséquent, cette eau passe de l'état liquide à l'état gazeux : c'est l'évaporation. Donc, la réduction de la surface exposée au soleil implique la réduction de l'évaporation. Plusieurs chercheurs ont adopté cette technique et ont réalisé des résultats remarquables.

En Egypte, Hassan et al (2007), ont utilisé des plaques circulaires qui flottent sur la surface du lac Nasser pour réduire la surface exposée au soleil et ont obtenu des taux de réduction de l'évaporation de l'ordre de 74%. La procédure a été adoptée en Iraq (Dawood et al, 2013) ? et le taux enregistré était de 57%; en Arabie Saoudite, Al-Hassoun et al(2009) ont utilisé des tapis construits de palmes pour réduire la surface de l'eau exposée au soleil, et le taux obtenu était de 26 à 63%, selon la portion de la surface couverte. En Espagne, MartínezÁlvarez et al.(2006), des voiles en plastique noir, pas sur la surface de l'eau, mais suspendus pour protéger la surface de l'eau contre le soleil (création d'une surface ombrée) (voir Annexe 7). On ne peut pas passer ici sans citer les travaux effectués en Australie par Craig et al.(2005) et par Yao et al.(2010) (voir Annexe 7).

Cette technique peut être avantageuse pour les petites retenues ou les bassins d'irrigation, mais pas pour les grandes étendues à cause du coût élevé du matériel utilisé et à cause de la possibilité de la modification probable de la surface couverte, engendrée surtout par le déplacement des plaques, sous l'action des vents violents.

3.1.3. Films mono-moléculaires

Cette technique, qui fait l'objet de notre travail de recherche, consistant à utiliser des substances chimiques (alcools, acides gras à longue chaîne, amines et cétones) qui sont capables de former, à son contact avec l'eau, une couche mince et invisible, appelée "film" (Chitour, 2004).

3.1.4. Autres techniques

Il y a d'autres techniques moins importantes mais qui peuvent contribuer à la réduction de l'évaporation, telles que :

- L'emmagasinement de l'eau dans les pores et les fissurations des roches à une profondeur qui ne permet pas l'échappement des gouttes de l'eau par évaporation. Cette technique a été utilisée par Peirson et al.(2011),et par NAS(1974) ;
- Changer les caractéristiques par le changement de la couleur d'eau, ombrager la surface et l'utilisation des barrières (Jones, 1992) ;
- L'usage des surfaces réfléchissantes qui réduisent jusqu'à 40% par l'utilisation de huit matières choisies par Cooley et Myers après étude (exemple : asphalter béton, caoutchouc du butyle blanc, etc...) (Jones, 1992).

3.2. Monocouches (films mono-moléculaires)

3.2.1. Définition

Les monocouches sont des films qui ont une épaisseur d'une molécule, se formant à la frontière de deux milieux, comme l'interface air/eau (Prime et al, 2012 ; Barnes et Gentle, 2005;Gaines, 1966). Les molécules sont amphiphiles, chacune ayant une partie hydrophile (tête), et une autre hydrophobe (queue) (voir figure 14 (a)). Ces amphiphiles qui forment des monocouches insolubles à l'interface air/eau, ont des parties hydrophobes qui rendent l'ensemble des molécules insolubles dans l'eau ; alors que la partie hydrophile sert à ancrer chaque molécule dans la surface de l'eau, empêchant les molécules de se superposer les unes sur les autres, comme des gouttes d'huile (voir figure 14(b).)

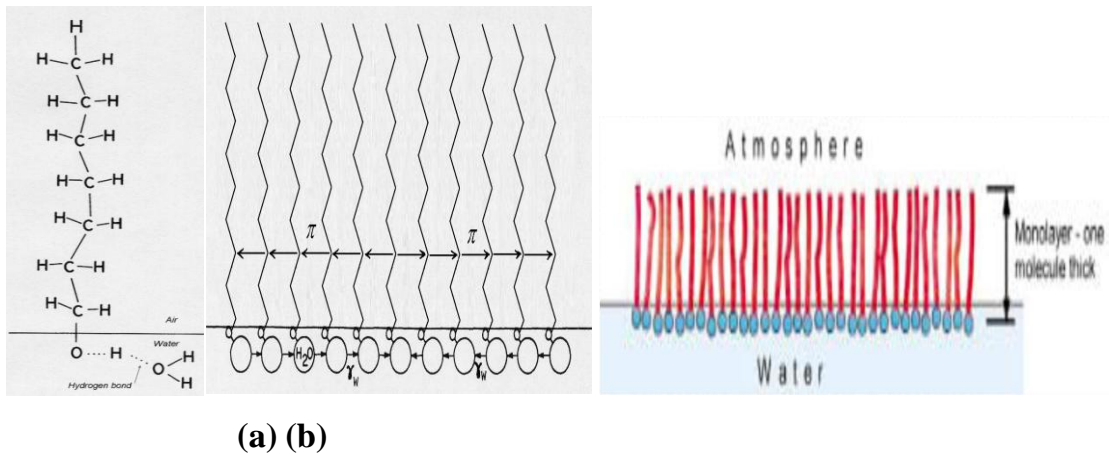


Figure 13. Schéma structural d'une monocouche

3.2.2. Aperçu historique

L'homme a utilisé plusieurs types d'huile pour former un film (drap) sur la surface de l'eau des rivières, des lacs et même des mers différentes pour différentes raisons. Selon Abbe (1914), Onofrio a utilisé l'huile sur la surface des rivières et des lacs pour retarder l'évaporation et empêcher la formation du brouillard.

Irving Langmuir, en 1917, a clairement décrit la structure géométrique d'une monocouche sur l'eau, un travail pour lequel il a obtenu le prix de Nobel en chimie (Langmuir, 1916). Les propriétés des monocouches à base de différentes substances ont été rapportées par Rideal dans les années 1920 (Rideal, 1925). Dans les années 1940, Langmuir et Schaefer ont quantifié la résistance à l'évaporation et sa dépendance à la température (Langmuir & Schaefer, 1943). Ce travail a été étendu par Archer et La Mer durant la décennie suivante, et ils ont observé une liaison entre la résistance à l'évaporation et quelques paramètres, tels que la pression de surface, la longueur de chaîne de la substance utilisée et température de la surface de l'eau (Archer & Mer, 1955).

Les premiers essais sur champ et sous des conditions naturelles, ont été exécutés dans les années 1950, en Australie par Mansfield (Mansfield, 1955), rapportant que les résultats obtenus dans des conditions de laboratoire ne pouvaient pas être forcément obtenus sous des conditions réelles, surtout en présence de la poussière et du vent qui ont été cités comme des facteurs ennuyants pour les performances des monocouches. En dehors de

l'Australie, Timbblin et al. (1962) étaient les premiers à faire des essais à grande échelle sur champ aux Etats-Unis, leur recherche ayant porté sur l'effet des monocouches sur les êtres humains et les êtres aquatiques. Par la suite, plusieurs pays se sont intéressés à cette technique, comme l'ex. URSS, le Brésil, l'Inde, l'Afrique du sud, le Kenya, et même le Canada (Barnes, 2008).

Dans les décennies subséquentes, les chercheurs se sont concentrés sur l'étude des caractéristiques d'un nombre de substances utilisées pour former les monocouches, telles que l'hexadecanol et l'octadecanol (Foulds & Dressler, 1968), sur l'effet de la variation du nombre de carbones de la chaîne aliphatique (Simko & Dressler, 1969), et plus tard, sur l'ajout de quelques substances polymérisées pour augmenter la stabilité des monocouches (Calum et al, 1992; Calum et al, 1992 ; Fukuda et al, 1979).

Au début de ce siècle, l'Australie a subi une période de sécheresse qui a poussé les scientifiques et les institutions à faire des recherches pour développer un produit efficace qui peut résister aux effets délétères du vent (Emma et al, 2012). En plus des essais sur terrain, à petite et grande échelles, de nouvelles techniques ont été adoptées, en utilisant des bacs d'évaporation, avec un système de climat contrôlé pour limiter les effets du vent et des vagues (Schouten, et al, 2012) ; et la modélisation informatique a été, pour la première fois, employée pour lier les propriétés dynamiques et géométriques avec les performances de la réduction de l'évaporation (Tran et al 2013 ; Plazzer, et al, 2011 ; Henry et al, 2010).

L'utilisation du glycol d'éthylène mono-octadécyl éther a diminué la résistance à l'évaporation en présence du vent, et l'ajout d'un polymère soluble dans l'eau améliore son efficacité (Emma et al, 2012).

3.2.3. Propriétés des films mono-moléculaires (monocouches)

Selon Chitour (2004), la solubilité dans l'eau d'un composé amphiphilique dépend d'un équilibre qui existe entre les groupements hydrophobe et hydrophile de la molécule (balance hydrophile, lipophile : B.L.H).

Cette propriété dépend donc avant tout des forces de cohésion entre les molécules. Lorsque ces forces sont faibles, les molécules ont tendance à se déplacer à la surface de l'eau indépendamment les unes des autres, forment ainsi une couche peu cohérente. A l'état d'équilibre, la chaîne hydrophile plonge dans l'eau, et la chaîne hydrophobe se dresse hors de l'eau. Dans ce cas, la couche mono-moléculaire offre au passage de la vapeur d'eau une grande résistance, tout en permettant le passage de l'oxygène et du gaz carbonique, ce qui est très important. Au contact de l'eau, les radicaux OH et COOH des substances sont aussi attirés par elle et les radicaux CH_2 sont tournés vers l'extérieur.

Selon le même auteur, la solubilité décroît quand la chaîne hydrocarbonée croît. Cette solubilité devient nulle, quand l'effet du groupement hydrophobe est suffisamment prononcé ; la substance deviendra donc très peu soluble sans perdre pour autant sa capacité de s'accrocher par l'intermédiaire de son groupement hydrophile.

La réduction de l'évaporation de l'eau par les films mono-moléculaires dépend de plusieurs facteurs, tels que :

a) **Pression du film**

Pour le cas des monocouches à base des acides à longues chaînes, la résistance à l'évaporation est indépendante de la pression de la surface, mais dans le cas des monocouches à base des alcools à longues chaînes, il y a une augmentation dans la résistance à l'évaporation avec la pression de surface (voire figure 15a). La figure 15b montre la variation de la résistance spécifique à l'évaporation en fonction de la pression de surface pour une monocouche à base d'Hexadecanol, et une autre à base d'Octadecanol.

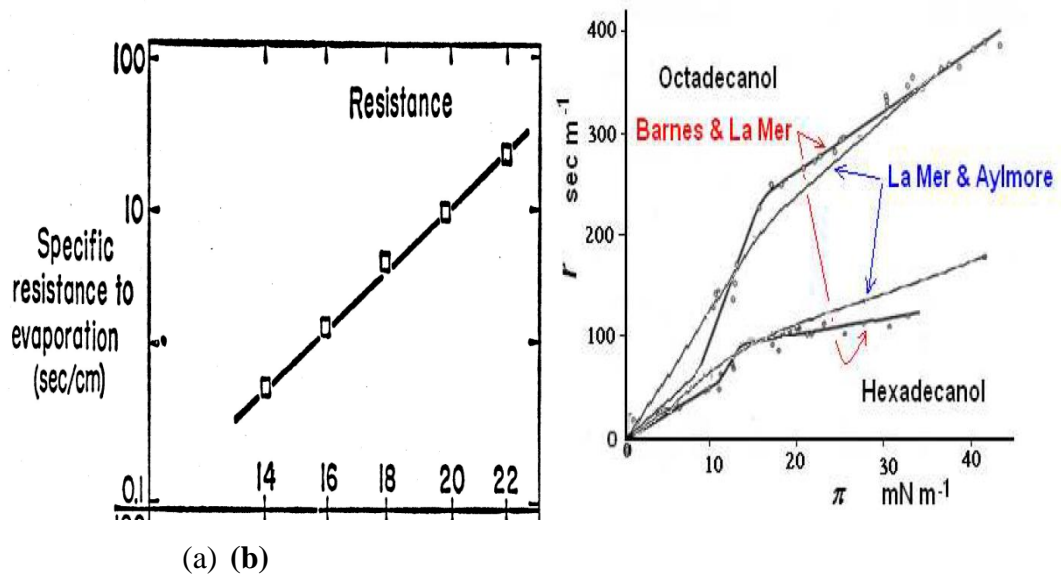
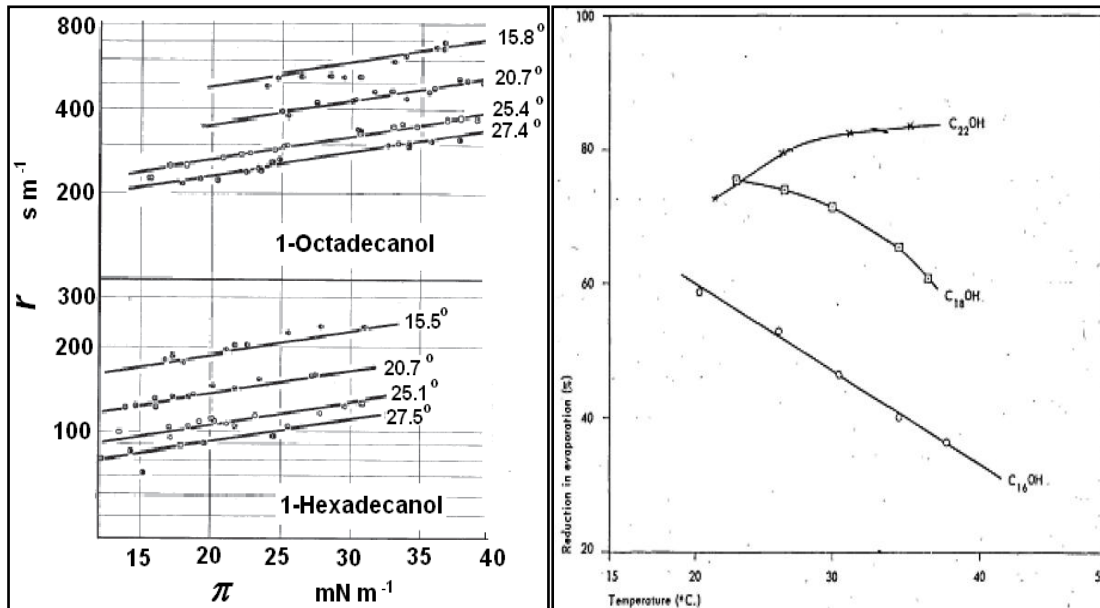


Figure 14. (a) Variation de la résistance spécifique à l'évaporation r en fonction de la longueur de chaîne de carbone (b) Variation de la résistance spécifique à l'évaporation r en fonction de la pression de surface π pour l'Hexadecanol et l'Octadecanol à une température de 25°C (Barnes & La Mer, 1962 ; La Mer & Aylmore, 1961)

b) Températures

La température est un autre facteur qui affecte les performances des monocouches. Selon les études de plusieurs chercheurs (Barnes & Hunter, 1990 ; Barnes et La Mer, 1962 ; Mansfield, 1958), la résistance spécifique à l'évaporation diminue quand la température augmente (voir figure 16a).

La figure 16b établie par Ramdas et Narasimhan(1957), montre la variation de du taux de réduction de l'évaporation en fonction de la température, et il est bien clair que le taux diminue quand la température augmente. Cette corrélation est linéaire dans le cas de l'Hexadecanol.



(a)

(b)

Figure 15. (a) Variation de la résistance spécifique à l'évaporation en fonction de la température et (b) Variation du taux de la réduction de l'évaporation en fonction de la température.

c) Vents

Le vent est un autre facteur qui affecte les performances des monocouches dans la réduction de l'évaporation. Vines (1962) a rapporté que l'application de l'Hexadécanol, sous forme de poudre sur la surface de l'eau rencontre des problèmes lorsque la vitesse du vent dépasse les 8 km/h à cause de la contraction de la monocouche.

Des essais des plans d'eau en Afrique de l'est sous des vitesses du vent de l'ordre de 7 à 40 km/h, ont indiqué que l'application continue de l'Hexadécanol et l'Octadécanol, sous forme de liquide, en s'appuyant sur la direction d'où vient le vent était important pour maintenir le film sur la surface de l'eau (Grundy, 1962).

Durant ces dernières années, entre 2007 et 2008, des expériences réalisées par Turnbull ont montré que les performances des monocouches à base d'Hexadécanol étaient affectées par des vitesses de vents relativement faibles, de l'ordre de 1,5 à 2 m/s. Dans le même document, les auteurs ont rapporté que quand la vitesse du vent dépasse les 6 m/s, les monocouches se contractent et ne couvrent que 30 à 35% de la surface totale du plan d'eau à couvrir (McMahon et al, 2008).

d) Taux d'étalement

Le taux d'étalement est le passage ou la transformation de l'état solide de la substance utilisée à l'état de monocouche (Barnes, 2008). Il peut être affecté par un courant de convection perdu, une faible variation de la température (Frenkiel, 1965), et la longueur de la chaîne de carbone (Deo et al. 1962) (voir figure 17). Son unité de mesure est [molécule/cm/s].

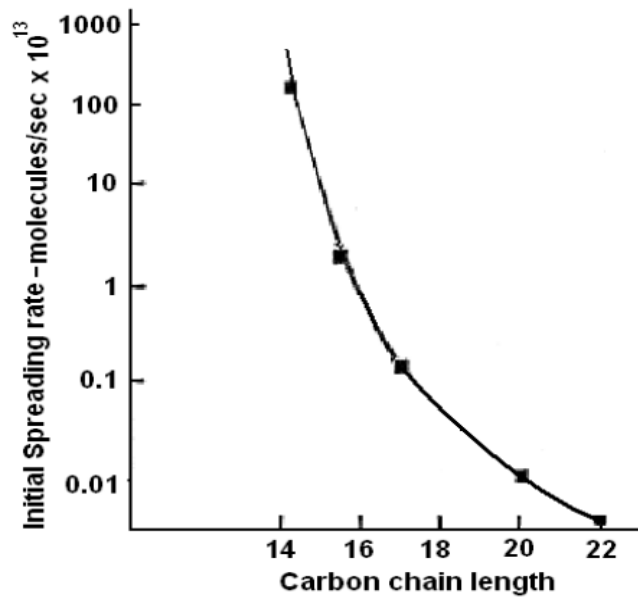


Figure 16. Taux initial d'étalement pour quelques alcools (Deo et al. 1962)

e) Vitesse d'étalement

Elle caractérise la distance parcourue par une monocouche par unité de temps (Annexe 8). La vitesse d'étalement d'une monocouche est grande dans un premier temps, quand la monocouche est formée, puis devient de plus en plus faible quand la distance parcourue par la monocouche est grande (Hale & Mitchell, 1997; Garrett & Barger, 1970).

f) Substances chimiques utilisées

L'utilisation d'une substance chimique pure ou le mélange de deux substances ou plus a un effet sur les performances de la monocouche. Stewart (1960) a rapporté que l'ajout de l'Octadecanol à l'Hexadecanol réduit le taux d'étalement, mais pas d'une façon régulière. D'après ses expériences, si on ajoute 5% d'Octadecanol, le taux d'étalement est le même

pour l'Hexadecanol pur et le mélange Hexadecanol/Octadecanol. Si on augmente ce pourcentage d'Octadecanol ; les taux restent proches, mais dès qu'on dépasse les 16% d'Octadecanol, le taux d'étalement chute d'une façon remarquable.

En plus de son effet sur le taux d'étalement, l'utilisation d'une substance chimique pure ou le mélange de deux substances ou plus a un effet sur la résistance spécifique à l'évaporation, et par conséquent, sur la réduction de l'évaporation. Barnes et La Mer (1962), ont trouvé que le mélange d'Hexadecanol et d'Octadecanol, et aussi le mélange d'Hexadecanol et l'acide d'hexadecanoic donnent des taux de réduction de l'évaporation plus importants que celui de l'Hexadecanol pur. La même constatation a été faite pour le mélange d'Octadecanol et le sulfate docosyle par rapport à l'Octadecanol pur par Costin et Barnes (1975). De faibles résistances à l'évaporation ont été trouvées pour le cas du mélange d'Octadecanol et de cholestérol par Barnes et al.(1980) et McNamee et al.(1998).

g) **Toxicité**

Les alcools aliphatiques primaires avec les longueurs de chaîne de C9 à C12 tuent les micro-organismes et les larves d'insecte aquatiques par la perturbation des membranes et des processus biochimiques de membrane (Kudo et al, 2003 ; Hammond et Kudo, 1999 ; Mohr et al, 2005).

Quand la longueur de la chaîne de carbones augmente de C9 à C12, la toxicité aiguë des surfactants linéaire augmente (Dorn et al, 1993). La coupure entre C12 et C13 est dramatique, avec une très faible activité de toxicité des alcools aliphatiques de longueur de chaîne dépassant C13 (Kudo et al, 2003). Parmi les trois classes de surfactants (cationique, anionique et non-ionique), les surfactants non-ioniques sont les plus saints pour l'environnement (Lewis, 1991).

Les substances qui forment des monocouches capables de réduire l'évaporation ont des longueurs de chaîne de carbones de C16 et plus, sont linéaire, au même temps classées comme non-ioniques surfactants et sont insolubles dans l'eau (Barnes, 2008) ; leur toxicité est très faible (Pittaway, 2011).

Selon Craig (2008), une émulsion de 60% d'eau et 40% d'alcools aliphatiques permet de former des monocouches qui réduisent l'évaporation qui sont non-toxiques, biodégradables et souhaitable pour une application sur des eaux potables.

3.2.4. Modes d'application des substances

La substance est appliquée sur la surface de l'eau suivant plusieurs modes pour former la monocouche sur la surface de l'eau. Dans cette partie, on va exposer les modes d'application les plus utilisés.

a) Mode solvant

Dans ce mode, la substance est dissoute dans un solvant volatil. Le solvant aide la monocouche à s'étaler rapidement, puis il s'évapore pour laisser uniquement la monocouche sur la surface de l'eau (Barnes,2008). Selon le même auteur, ce mode est déconseillé pour être appliqué aux lacs et aux étendues à cause du coût élevé (substance plus solvant), et des inquiétudes environnementales.

b) Mode poudre

Dans ce mode, la substance est sous forme de solide (poudre blanche pour l'Hexadecanol et l'Octadecanol par exemple). Pour que ce mode soit réussi, son application doit se faire continuellement sur la surface de l'eau et sous un vent calme.

c) Mode émulsion

Ce mode se base sur l'utilisation d'un mélange d'huile et d'eau préparé sous une température de 70 à 90°C, ou d'un mélange composé d'une substance, d'un agent de dispersion et de l'eau. Chacun de ces mélanges est appliqué sur la surface de l'eau pour former la monocouche (Barnes, 2008).

4. Conclusion

L'évaporation, qui est le passage de l'eau de l'état liquide à l'état gazeux, est une des étapes du cycle de l'eau. Ce phénomène est fonction de plusieurs paramètres :

météorologiques (température de l'air, insolation, humidité relative et vitesse du vent) et physiques (salinité, surface de l'étendue et sa profondeur).

Dans les régions arides algériennes, la réunion des paramètres météorologiques ; une température de l'air souvent élevée pendant les saisons sèches, une forte insolation presque continue durant toute l'année, et une présence considérable de vents secs (grandes vitesses), surtout durant l'automne et le printemps engendre de fortes évaporations.

Selon les informations ci-dessus, les volumes d'eau perdus par évaporation dans les plans d'eau dans les différentes régions arides dans le monde sont très importants. En Algérie ces pertes sont très importantes, soit de 6,5% de la capacité totale des étendues. L'établissement d'une carte de prévision de l'évaporation permet d'estimer le volume d'eau évaporée pour toute étendue en projet ou en exploitation.

La réduction de l'évaporation des plans d'eau est un moyen pour préserver les eaux superficielles. Les différentes techniques utilisées dans cette méthode sont : la réduction de la surface exposée au soleil, l'utilisation des brises vents, le changement de la couleur de l'eau, les films mono-moléculaires et autres.

L'utilisation des films mono-moléculaires est l'une des techniques les plus prometteuses dans le monde. Elle a été utilisée dans plusieurs régions dans le monde (Australie, Etats Unis, Russie, etc.). Dans les chapitres qui suivent, on va examiner l'efficacité de cette technique sous nos conditions arides (de l'Algérie) en vérifiant les taux de l'évaporation, et les impacts économique et environnemental.

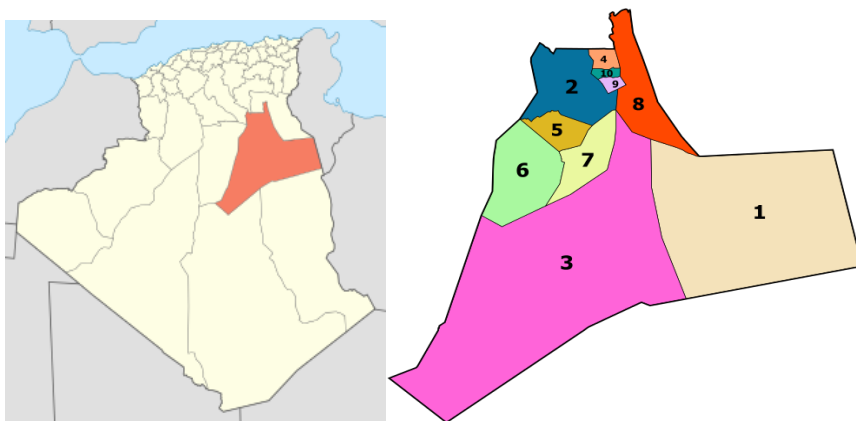
Chapitre III

1. Les caractéristiques physico-géographiques et climatiques de la région de Ouargla

1.1. Situation géographique

La wilaya de Ouargla se situe au sud-est algérien, à 800 km de la capitale Alger. Elle est le cœur économique et poumon de l'Algérie grâce au pétrole de Hassi Messaoud. Ses coordonnées géographiques sont : 31° 57' N 5° 19' E, avec une altitude de 157 m par rapport au niveau de la mer. Sa superficie est de 211 980 km² (voir figure 17), et sa population est estimée à 633 967 habitants (donc une densité de 3hab. /km²). Cette wilaya regroupe, depuis la fin des années 1970, toutes les origines et représente la totalité des communautés de ce pays.

La wilaya de Ouargla délimitée par El Oued et Djelfa au nord, par Ghardaïa à l'ouest, par Illizi et Tamanrasset au sud et par la frontière tunisienne à l'est. Elle est composée de 10 Daïrate (El Borma, El Hadjira, Hassi Messaoud, Megarine, N'Goussa, Ouargla, Sidi Khouiled, Taïbet, Tamacine et Touggourt) et de 21 communes (El Borma, El Hadjira, El Alia, Hassi Messaoud, Megarine, Sidi Slimane, N'Goussa, Ouargla, Rouissat, Sidi Khouiled, Aïn Beïda, Hassi Ben Abdellah, Taïbet, Ben Naceur, M'Naguer, Tamacine, BlidetAmor, Touggourt, Nezla, Tebesbest et Zaouia El Abidia).



(1) El Borma, (2) El Hadjira, (3) Hassi Messaoud, (4) Megarine, (5) N'Goussa, (6) Ouargla, (7) Sidi Khouiled, (8) Taïbet, (9) Tamacine, (10) Touggourt

Figure 17. Cartes de la situation géographique de Ouargla et de ses différentes Daïras

1.2. Climat

Ouargla se situe dans une zone saharienne, son climat sec désertique est caractérisé par une aridité qui s'exprime par l'irrégularité et la rareté des précipitations, une sécheresse permanente, des amplitudes thermiques très importantes et un régime des vents qui se traduit par des courants chauds et secs (Ozenda, 1991 et Rouvilois-Brigol, 1975).

Pour caractériser le climat de Ouargla (pour les deux régions d'études), les données des différents paramètres météorologiques sont représentés dans les deux tableaux (5 et 6) suivants :

Tableau 5. Données des différents paramètres météorologiques de la station de Ouargla
(2004-2013)(ONM, 2014)

	Tmoy (°C)	Pmoy (mm)	Hmoy (%)	Ventmoy m/s	Insol (H)
Septembre	30,5	3,9	37,8	4,1	270,0
Octobre	24,9	6,1	44,7	3,2	263,0
Novembre	16,9	6,5	55,5	2,8	252,2
Décembre	12,3	4,0	61,0	2,6	220,6
Janvier	11,6	10,0	61,5	2,8	244,6
Février	13,8	0,7	51,4	3,6	241,6
Mars	18,6	4,7	45,0	4,1	259,8
Avril	23,1	2,3	38,8	4,6	278,0
Mai	27,6	0,2	32,6	4,7	299,4
Juin	33,0	0,6	28,2	4,7	256,0
Juillet	36,3	0,4	25,1	3,7	330,1
Août	35,4	1,9	28,4	3,7	331,7
Moyenne	23,7	3,4	42,5	3,7	270,6
Cumul		41,3			3246,9

Source : ONM DR Ouargla

Tableau 6. Données des différents paramètres météorologiques de la station de Touggourt
(2004-2013)(ONM, 2014)

	T moy °C	P moy mm	H moy %	Vent moy m/s	Insol H
Septembre	28,9	5,6	44,6	2,8	277,4
Octobre	23,6	7,8	50,3	2,4	267,8
Novembre	16	4,2	57,4	2,4	253,2
Décembre	11,5	5,2	64,4	2,3	233,2
Janvier	10,8	15,4	63,8	2,5	250,5
Février	12,7	1,1	53,9	2,9	238,7
Mars	17,4	5,8	47,5	3,5	259,4
Avril	21,7	10,7	43,8	3,8	281,9
Mai	26,2	1,4	38,2	3,8	327,3
Juin	31,4	0,8	33	3,5	326,6
Juillet	34,7	0,1	30,5	3	363,6
Août	33,9	5	34,3	3,1	337,5
Moyenne	22,4	5,7	46,8	3	284,7
Cumul		68,4			3417

Source : ONM DR Ouargla

1.2.1. Températures

Le climat thermique du Sahara est relativement uniforme, dès la partie septentrionale, on rencontre des étés brûlants qui ne sont guère plus durs que ceux qui s'observent dans la partie centrale et même soudanaise (Ozenda, 1991).

La température des très basses couches de l'atmosphère terrestre étant en grande partie sous l'influence de la température de la surface de la terre. La température de l'air sous abri est influencée par la température de la surface du sol, située au-dessous de l'abri et par celle de l'air libre de même altitude, lequel peut provenir des régions plus ou moins lointaines (Dubief, 1959).

D'après les tableaux 5 et 6, la wilaya de Ouargla est caractérisée par une forte température dont les températures moyennes annuelles sont de l'ordre de 23,7°C dans la station de Ouargla et de l'ordre de 22,4°C dans la station de Touggourt.

La température maximale pour les deux stations est enregistrée pendant le mois de juillet qui est le mois le plus chaud, où les températures sont de 36,3°C dans la station de Ouargla et 34,7°C dans la station de Touggourt. Le mois le plus froid est le mois de janvier, où les températures sont respectivement de 11,6°C dans la station de Ouargla et 10,8°C dans la station de Touggourt.

1.2.2. Précipitations

Le Sahara algérien reçoit moins de 200 mm de pluies annuelles (Dubief, 1963). Plus encore que la rareté, l'irrégularité interannuelle des pluies est caractéristique du régime saharien. L'intensité réelle des pluies est comprise entre 0,8 et 1,5 mm/heure, mais des averses violentes peuvent donner des hauteurs d'eau impressionnantes en peu de temps (Dubost, 2002).

Des moyennes des précipitations ont été établies sur 25 ans (1925-1950) par Dubief (1963), ayant montré que les précipitations ne dépassent pas les 40 mm/an à Ouargla et 57 mm/an à Touggourt. D'après les tableaux 5 et 6, les précipitations annuelles sont respectivement de l'ordre 41,3mm à la station de Ouargla et 68,4 mm à la station de Touggourt.

1.2.3. Humidité de l'air

L'humidité relative de l'air au Sahara est faible, souvent inférieure à 20% (Monod, 1992). Elle est généralement comprise entre 20% et 30% pendant l'été, et s'élève entre 50% et 60%, parfois davantage au mois de janvier (Ozenda, 1991). Dans les deux stations

météo de Ouargla et de Touggourt, les valeurs des moyennes annuelles de l'humidité sont respectivement de 42,5% et 46,8%.

1.2.4. Vents

Les effets du vent sont partout sensibles et se traduisent par le transport et l'accumulation du sable, le façonnement des dunes, la corrosion et le polissage des roches, et surtout l'accentuation de l'évaporation à cause de l'existence de la forte température et la sécheresse de l'air (Monod, 1992 et Ozenda, 1991).

Les tableaux 5 et 6, montrent que les vitesses maximales des vents sont de l'ordre de 4,7 m/s durant les mois de mai et juin dans la station de Ouargla, et 3,8 m/s durant les mois d'avril et mai, avec des moyennes annuelles de l'ordre de 3,7 m/s à la station de Ouargla et 3,0 m/s à la station de Touggourt.

1.2.5. Insolation

Avec les faibles valeurs de la nébulosité, les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara. Ce désert est avant tout le pays du soleil (Ozenda, 1991 et Dubief, 1959). Selon Dubief(1959), pendant toute la durée de l'insolation, le soleil déverse sur la terre une certaine quantité d'énergie sous forme d'une radiation de courte longueur d'onde.

La durée annuelle d'isolation est de 3246,9 heures dans la station de Ouargla et elle est de 3417 heures dans la station de Touggourt. Le mois le plus ensoleillé est celui de juillet.

1.2.6. Synthèse climatique

a) Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausson

Le diagramme consiste à placer en abscisse les mois de l'année et en ordonnée les températures (à gauche) et les précipitations (à droite), avec l'échelle de 1°C =2 mm. Il met en évidence la période de sécheresse au cours de l'année. D'après les figures 18(a) et 19(b), la période sèche dans les deux régions s'étale sur la totalité de l'année, **avec une** augmentation remarquable pendant les mois de mai, juin, juillet et septembre.

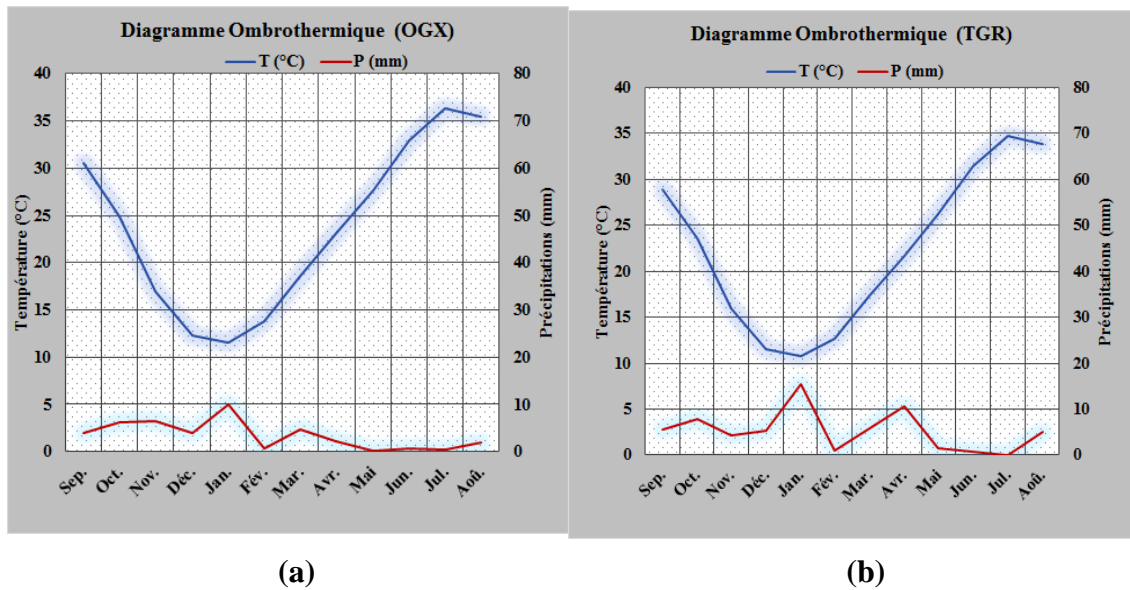


Figure 18.Diagrammes Ombrothermiques de Ouargla (a) et de Touggourt (b) (2004-2013)

b) Climagramme d'Emberger

Ce diagramme permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. Il est représenté en abscisses par la moyenne des minima du mois le plus froid et en ordonnées par le quotient pluviométrique d'Emberger.

L'indice est égal au quotient pluviométrique d'Emberger et il s'écrit, comme suit :

$$Q_2 = 3,4 * P / (M - m) \quad (8)$$

Où :

P : pluviométrie moyenne (mm)

M : température moyenne du maxima du mois le plus chaud (°C)

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

Selon la figure 19, Ouargla et Touggourt sont caractérisées par un climat saharien à hiver doux.

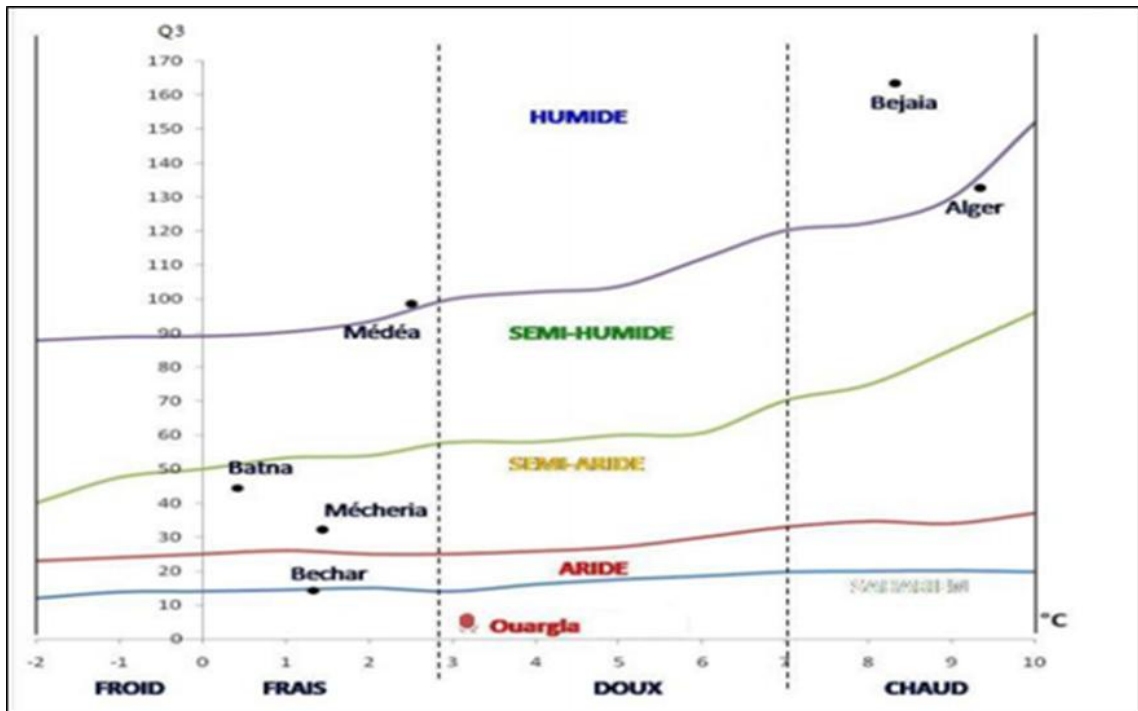


Figure 19. Climagramme d'Emberger pour Ouargla et sud Oued Righ (Touggourt)

c) Indice d'aridité

L'indice d'aridité est un indicateur quantitatif du degré du manque d'eau présente à un endroit donné (Oliver. 2006). On va calculer cet indice (I) par la formule de MARTONNE :

Indice d'aridité :

$$I = P/(T+10) \quad (9)$$

P : précipitation annuelle (mm).

T : température moyenne annuelle (C°).

Si I est inférieur à 5 : milieu hyperaride

5-10 : milieu aride.

10-20 : milieu semi-aride.

20-30 : milieu tempéré.

D'après les données des tableaux 5 et 6, les indices d'aridité sont successivement : 1,2 pour Ouargla et 2,1 pour Touggourt, impliquant que les deux régions, selon la classification donnée ci-dessus, sont des milieux hyperarides.

1.3. Réseau hydrographique

D'après le découpage de l'agence des bassins hydrographiques, Ouargla se trouve dans le sous bassin hydrographique du Sahara septentrional qui est une partie du bassin hydrographique du Sahara (Voir figure 20) (Khadraoui, 2006).

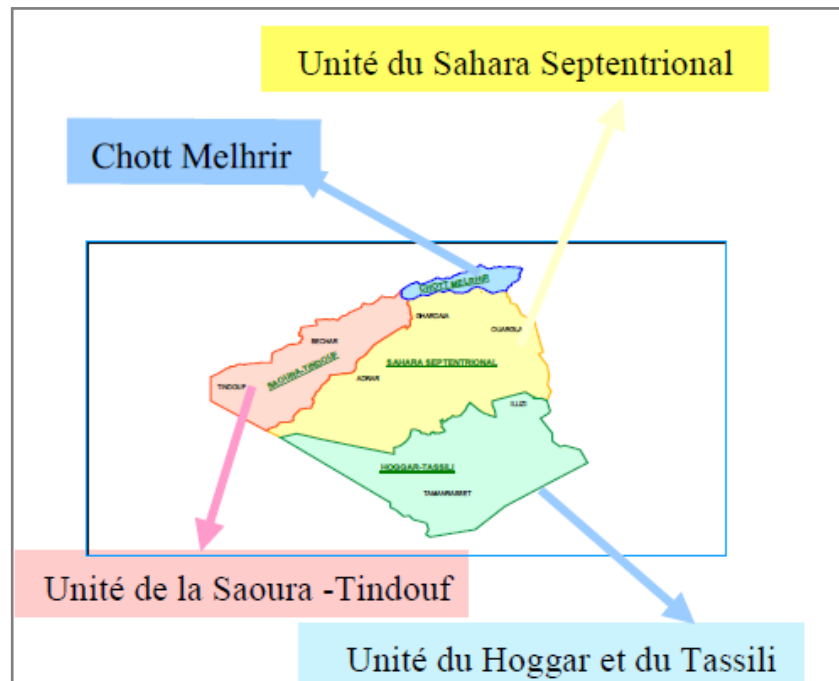


Figure 20. Subdivision du bassin hydrographique du Sahara

Pour les régions arides de l'Afrique du Nord, parler du réseau hydrographique ramène à parler d'oued qui est un cours d'eau dont l'écoulement est temporaire. Les oueds peuvent se transformer rapidement en torrents, lorsque surviennent les pluies rares mais violentes dans ces régions. Le ruissellement n'est freiné ni par les arbres, ni par les herbes, et n'atteint pas la mer, mais se divise dans des dépressions intérieures, comparables aux Chotts ou aux lacs. Ils sont les vestiges des anciens réseaux hydrographiques qui couvrent les régions arides avant le début de la désertification, il y a quelques quatre à cinq mille ans (Ozenda, 1983). Dans la région de Ouargla, le réseau hydrographique est formé de trois Oueds :

1.3.1. Oued M'ya

Il draine le versant Nord-est du plateau du Tademaît, et il est en forme d'une vaste gouttière relevée au sud (800 m), avec une inclinaison très faible (0,1 à 0,2%).

1.3.2. Oued N'sa et Oued M'zab

Ces Oueds sont fonctionnels et peuvent avoir une ou deux crues par an et n'atteignent la cuvette de Ouargla que lorsque la crue est importante. Ils drainent le versant des piedmonts Sud-est de l'Atlas saharien, et coulent donc de l'Ouest vers le Sud-est.

Les trois Oueds déversent dans la sebkha Safioune, qui se situe au nord de la cuvette de Ouargla.

En plus de ces Oueds, on a deux canaux artificiels, celui de Oued Righ Sud (partie Touggourt) et le canal de Bamendil (Cuvette de Ouargla).

1.4. Ressources en eau à Ouargla

En dehors des quatre barrages : Fontaine des Gazelles et Fougherza (Biskra), Tadjoumt (Laghout) et DjorfTorba (Béchar) (Khadraoui, 2006); l'eau de surface au Sahara est rare et insignifiante. Elle est pérenne et se limite seulement dans les zones des Sebchas, Chotts, lacs salés permanents et saisonniers, situées généralement dans les bas-fonds des bassins endoréiques auprès des Oasis. Ces zones constituent un lieu d'habitat important pour l'avifaune migratrice de la méditerranée vers le Sahara, notamment en période d'hiver (ANRH, 2005).

La wilaya de Ouargla ne dispose pas de barrages mais a à son actif plusieurs lacs naturels, dont la faune et la flore sont très riches, à l'exemple des lacs de Hassi Ben Abdallah, Zerzaim et Lala Fatma (Magarine), Sidi Slimane, El Mir (El Hdjira), Merdjadja et Tataouine (Nezla) et El Bhour (Témacine) qui pourraient générer des activités aquacoles (ANRH, 2005).

Les eaux de ces lacs sont très salées et ne servent ni pour l'alimentation en eau potable ni pour l'irrigation.

La Conservation des forêts de la wilaya a indiqué que certaines zones humides de la wilaya sont aujourd'hui menacées à cause essentiellement de leur abandon et du comportement irresponsable de certains citoyens qui n'hésitent pas à jeter toutes sortes de débris dans les périmètres de ces zones, comme c'est le cas par exemple du lac

Tataouine, dans la commune de Nezla, qui a failli disparaître après avoir été encerclé par les déchets de tous genres.

Même constat dans la zone humide du lac Merdjadja, sur le territoire de la même commune, qui est devenu marécageux, après la diminution de son plan d'eau et son envahissement par la boue.

Devant la rareté des eaux superficielles, les ressources en eau exploitables dans nos régions pour les différents secteurs sont souterraines. D'après plusieurs auteurs dont Chaib et al. (2013), ces ressources souterraines sont contenues dans les deux grands systèmes aquifères qui sont : le Complexe Terminal (CT) et le Continental Intercalaire (CI), les deux aquifères sont surmontés par la nappe phréatique qui est présente dans l'ensemble des oasis.

D'une capacité globale de plus de 30 000 milliards de m³, la nappe du Continental Intercalaire est artésienne, d'une profondeur de plus de 1000 m avec des températures d'eau de 55 à 65°C, et une minéralisation atteignant 2 g/l (Chaib et al, 2013 et Messaitfa et Chaich, 2006). Elle contient la plus grande réserve d'eau souterraine dans le Sahara algérien. Cette nappe est surmontée par la nappe du complexe terminal qui est peu profonde (60 à 400 m) et salée.

Le réservoir aquifère du continental intercalaire est particulier par son volume considérable du, à la fois à son extension sur plus de 600.000 km² et à son épaisseur moyenne de plusieurs centaines de mètres (UNESCO, 1972). De grands volumes d'eau y ont été stockés pendant les périodes pluvieuses du quaternaire.

Le complexe terminal s'étend sur une superficie d'environ 350 000 km² et se subdivise en deux aquifères : le premier est contenu dans les sables du Mio-Pliocène qui est d'une profondeur de 100 à 400 m, et le deuxième dans des bancs calcaires du Sénonien, avec une profondeur de 100 à 200 m, et même 600 m sous les chotts (Dubost, 2002).

Les eaux captées de ces deux aquifères contribuent à la formation des croûtes salines qui vont de quelques millimètres à 6 cm d'épaisseur (Hamdi-Aissa et Girard, **2000**). **D'après** Messaitfa et Chaich(2006), un volume de 88 millions de m³ d'eau de ces aquifères introduit à la cuvette de Ouargla 0,3 million de tonnes de sels.

Dans la région de Touggourt, les eaux du CI contribuent à l'apparition du phénomène de l'entartrage qui est le dépôt des sels minéraux qui a tendance à se former sur les surfaces des conduites à raison de 35 mm/an (Remini, 2005). Saighi et al. (2004) estiment qu'une surexploitation des deux aquifères engendre un rabattement des niveaux hydrostatiques de l'aquifère du CT (plus de 80 m à Touggourt), une salinité croissante des eaux, une remontée de la nappe phréatique, et enfin des problèmes d'environnement, en cas de détérioration des tubages des forages et les dissolutions des couches salifères.

L'aquifère phréatique de faible profondeur (0 à 10 m), inexploitable à cause de sa forte salinité (>20g/l), est contenu dans des formations perméables, sablo gypseuses du quaternaire (Messaitfa et Chaich, 2006).

Avant la découverte des eaux fossiles, le volume de la nappe phréatique était stationnaire, sauf dans des cas exceptionnels (crues torrentielles). Il y avait un équilibre entre la capacité d'eau apportée et celle évacuée. Au début des années 60, avec l'apparition des forages profonds qui captent les eaux à partir du CI et du CT, le niveau de la nappe phréatique s'élevait progressivement (Remini, 2006 ; Zahi et al., 2011). En plus des eaux des deux aquifères, les nappes phréatiques qui sont partout présentes au Sahara dans les dépressions ou les vallées, elles sont alimentées aussi par les pluies, les crues, les écoulements diffus, les eaux de drainage et le rejet des eaux usées (Dubost, 2002).

La suralimentation de la nappe phréatique et la mauvaise qualité de ses eaux ont causé (Remini, 2005) :

- Une inondation et une détérioration des terres agricoles et la perte d'un nombre important de palmiers dattiers ;
- Une détérioration des habitations et des routes dans la région ;
- Une détérioration de l'environnement causée par l'apparition des lacs des eaux usées dans les zones urbaines, où cette situation critique constitue une véritable menace pour la santé des populations : augmentation des maladies à transmission hydrique, dégagement d'odeurs et prolifération des moustiques et insectes nuisibles.

1.5. Situation du secteur de l'eau à Ouargla

Selon l'ANRH, Ouargla compte 2549 forages : 213 qui captent du continental intercalaire et 2336 qui captent du complexe terminal actuellement. Seulement 2279 forages qui sont exploités dans les différents secteurs (ANRH, 2014) :

- ✓ 1440 forages pour le secteur agricole ;
- ✓ 687 forages pour le secteur Industriel ; et
- ✓ 152 forages pour l'approvisionnement en eau potable.

D'après ces chiffres, il est bien clair que le secteur agricole prend la première place.

Les chiffres donnés dans les annuaires statistiques de la wilaya de Ouargla montrent que la quantité annuelle de l'eau consommée par le secteur agricole en 2012 était de l'ordre de 559 890 144 m³ pour 20 351 ha (76m³/ha/j). Dans le secteur industriel la quantité était de 20 319 275,52 m³/an, alors que dans le secteur municipal la quantité consommée durant 2012 était de 117 716 634,72m³ pour 615 276 habitants (525l/j/h).

Malheureusement ces grandes quantités d'eau, leur qualité la rend non exploitable directement dans les différents secteurs.

D'après le tableau 7, la qualité de ceseaux est médiocre à mauvaise, avec des taux de salinité qui la classe dans la gamme des eaux saumâtres. Cette qualité d'eau a poussé les habitants de la wilaya de Ouargla, en leur majorité, à ne pas consommer l'eau du robinet et à acheter de l'eau déminéralisée auprès des camions citernes ambulants.

Tableau 7. Caractéristiques des nappes captées par zone (ANRH, 2014)

Régions	Nappes	N.S (m)	R.S (g/l)
Ouargla	Phréatique	9 - 16,4	> 6 g/l
	Mio-pliocène	0,8 - 38,40	1,66 - 5,1
	Sénonien	Art - 29,4	1,79 - 5,11
	Albien	Art	-
	Albo-Barrémien	-	-
Berkaoui Benkahla Guellala	Mio-pliocène	11 - 13,48	1 - 8,9
	Sénonien	-	2,40 - 4,7
	Albien	Art	-
El Hadjira El Allia	Mio-pliocène	12,6 - 48,79	1,8 - 8,9
	Sénonien	2,87 - 21	3,6 - 4,10
	Albien	-	-
	Albo-Barrémien	Art	1,9 - 2,03
Hassi Messaoud El Borma	Mio-pliocène	8 - 74	2 - 5,1
	Sénonien	22 - 37,3	1,3 - 3
	Eocène	19,3 - 57	-
	Turonien	-	-
	Albien	Art	-
	Barrémien	Art	-
Oued Righ Sud Touggourt	Mio-pliocène	13,9 - 35,3	3,8 - 7,2
	Sénonien	-	-
	Eocène	20	6,2 - 9,9
	Albien	Art	2,1 - 2,4
Taibet M'Naggar Benacer	Mio-pliocène	28,8	4 - 6,7
	Albien	Art	2,3 - 2,4

Source :
ANRH 2014

Pour remédier à ce problème de la qualité de l'eau l'Algérienne Des Eaux (ADE) à Ouargla a lancé un projet inscrites dans le cadre du Programme sectoriel de développement (PSD) ; pour réalisation de dix stations de déminéralisation de l'eau dans la wilaya de Ouargla, neuf stations seront installées dans les communes de Ouargla, Rouissat et Ain Beida, disposant d'une capacité de production estimée entre 3 milles et 27 milles mètres cubes par jour 2010 (APS, 2010). La réalisation de ces neuf stations est confiée à deux sociétés étrangères (l'une autrichienne et l'autre chinoise). Pour la dixième station de Touggourt, elle est installée dans la localité de Ain Sahara, commune de Nezla, avec une capacité de production entre 34,5 milles et 37 milles mètres cubes par jour. Le projet de cette station a été attribué aux groupements AMENHYD et METITO et il devrait permettre un approvisionnement des localités de Touggourt, Tébesbest, Nezla et Zaouia El Abidia (Bouchekima, 2012 et APS, 2010). Actuellement, quatre stations de déminéralisation sont en service et d'ici la fin 2014, toutes les stations vont être en service.

2. Matériels

2.1. Matériels de terrain

2.1.1. Les bacs

Après l'examen des différentes conditions d'utilisation des appareils, on a choisi les bacs enterrés voisins du type Colorado (voir figure 21). Ces bacs sont de 1 m² de surface et de 0,5 m de profondeur et sont construits localement par des feuilles de galvanisé. Ce choix est basé sur :

- ✓ L'impossibilité de réaliser ces expériences sur des étendues ;
- ✓ L'économie de l'installation de ce dispositif et la nécessité de se rapprocher le plus possible des conditions présidant à l'évaporation, provenant des étendues d'eau naturelles ;
- ✓ La faible sensibilisation de ce type de bacs aux influences parasites de la température ambiante et du rayonnement solaire sur les parois, surtout qu'on est dans une région où ces deux paramètres sont majeurs ;
- ✓ La facilité de passage de l'évaporation mesurée dans les bacs à celle d'une étendue, en utilisant un coefficient dit « coefficient de bac ».



Figure 21. Bac enterré voisin type Colorado

2.1.2. Appareils de mesures des paramètres météorologiques

a) Mesures de la température

La température de l'air est mesurée par le thermomètre sec (1), le thermographe enregistreur (2) (voir figure 22).

b) Mesures de l'humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air est mesurée par un hygromètre enregistreur (3) (voir figure 22).

NB : les appareils de mesures de la température de l'air et de l'humidité relative de l'air sont installés dans l'abri météorologique (figure 22). Il est du type « anglais », sa base étant à 1,50 m du sol. Ce type d'abri, à doubles persiennes protège très bien du rayonnement ; mais par contre, sa ventilation est mal assurée, ce qui peut influencer les mesures instantanées, en augmentant l'inertie de la masse d'air contenue dans l'abri (Riou, 1972).

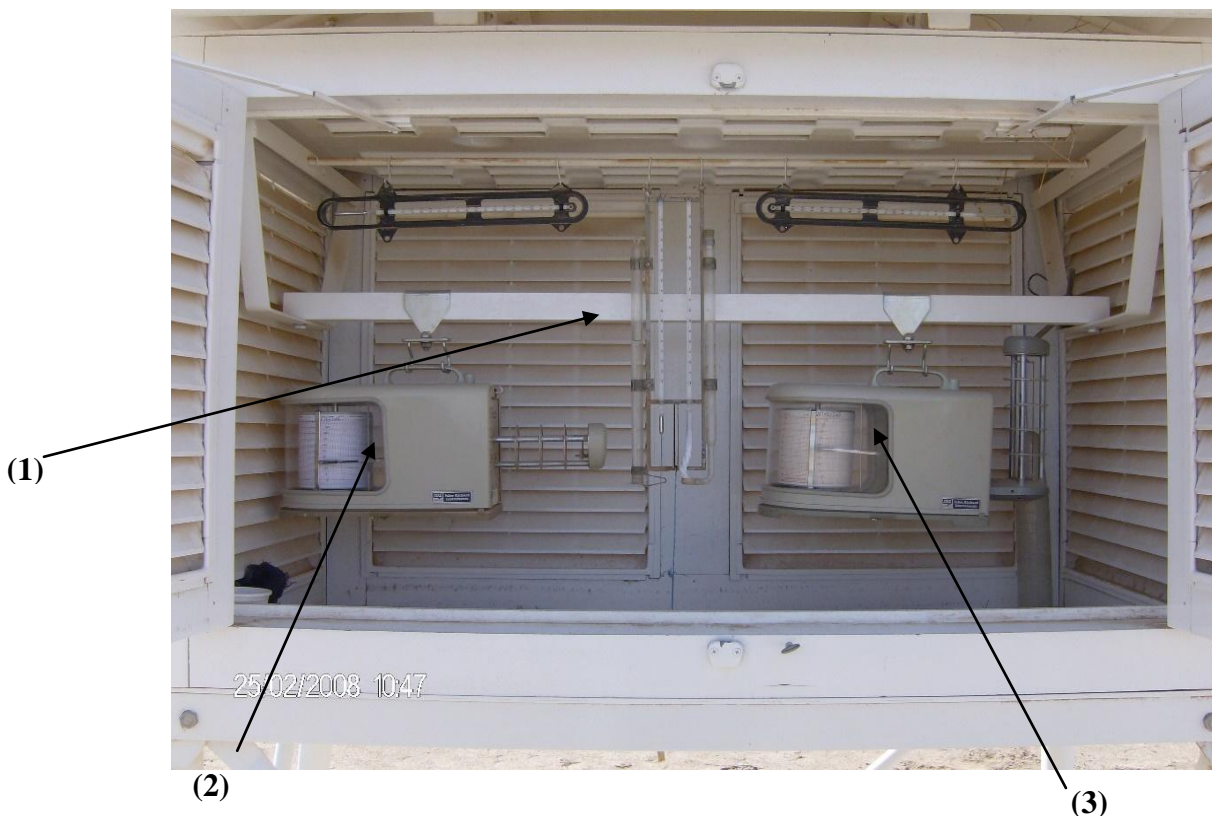


Figure 22 : Abri météorologique

c) Mesures de la vitesse du vent

La mesure du vent est effectuée dans les stations météorologiques par des anémomètres enregistreurs des vitesses instantanées, doublés d'une girouette, donnant la direction du vent (figure 23).



Figure 23: Anémomètre

d) Mesures des précipitations

La mesure des précipitations se fait par un pluviomètre non enregistreur qui est loin d'être correct, car il crée une perturbation aérodynamique qui modifie plus ou moins le champ des précipitations, en créant des survitesses et des tourbillons qui affectent la quantité de pluie. Pour notre station, le pluviomètre utilisé est un pluviomètre « Association » (figure 24), il est placé à 1.50 m au-dessus du sol.



Figure 24 : Pluviomètre

e) Mesures de la durée d'insolation

L'appareil utilisé pour la mesure de la durée d'isolation est l'héliographe de Campbell-Stockes (figure 25). Il se compose d'une sphère de cristal qui, jouant le rôle d'une loupe, focalise les rayons du soleil. A la distance focale de la sphère, on dispose à l'opposé du soleil, une feuille de papier sensible. Lorsque le soleil brille, le papier se consume et la brûlure progresse avec le mouvement apparent du soleil. Chaque soir, on relève le papier qui, convenablement gradué, permet de mesurer la durée quotidienne d'insolation.

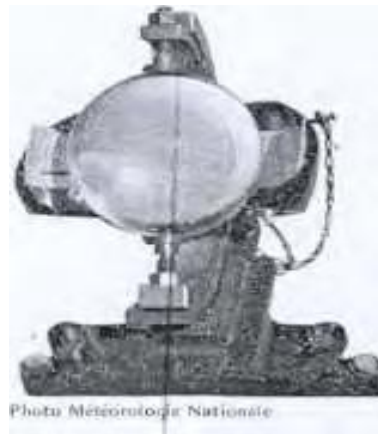


Figure 25. Héliographe de Campbell-Stockes

2.2. Matériels de laboratoire

Pour examiner l'effet des monocouches sur le milieu aquatique, les êtres aquatiques et la qualité de l'eau, des expériences ont été réalisées au niveau des laboratoires de la faculté des sciences de la nature et de vie de l'université Kasdi Merbah Ouargla. Pour cela, un ensemble de matériels a été utilisé, tels que :

2.2.1. Aquariums

Les aquariums utilisés sont de deux tailles différentes : les premiers de $0,315 \text{ m}^2$ de surface et $0,5 \text{ m}$ de profondeur et sont conçus pour des poissons (faune) (voir photo de figure 26a) ; et les deuxièmes sont de $0,125 \text{ m}^2$ de surface et $0,25 \text{ m}$ de profondeur, conçus pour des microphytes (flore) (voir photo de figure 26b).



(a)

(b)

Figure 26. (a) Aquarium pour la faune, (b) Aquarium pour la flore

2.2.2. Faune et flore aquatiques

Pour le cas de la faune, on a utilisé 174 larves de *Tilapia nilotica* de 1 jusqu'à 2 semaines, à poids moyen de 0,018g, récoltés de l'exploitation agricole de l'université de Ouargla.

Pour le cas de la flore, on a utilisé de la spiruline cultivée toujours au niveau de l'exploitation agricole de l'université de Ouargla.

2.2.3. Appareils de mesures

En plus du matériel, on a utilisé des appareils de mesures des différents paramètres : multi-paramètre 'HORIBAU-50' pour la mesure de la température de l'eau, le pH et l'oxygène dissous ; turbidimètre pour mesurer la turbidité et spectrophotomètre pour les paramètres biologiques, etc.)(Voir annexe 8).Pour les analyses microbiologiques, on a utilisé des milieux de cultures solides pour dénombrer les germes totaux.

2.3. Les alcools aliphatiques

Les substances choisies pour réaliser les expériences sur la réduction de l'évaporation (cas de Ouargla) sont l'Hexadecanol ($C_{16}H_{34}O$) et l'Octadecanol ($C_{18}H_{38}O$).

D'après la littérature, la majorité si ce n'est pas la totalité des chercheurs dans ce domaine (Durham & McArthur, 1957 ; Barnes, 1986 ; Brown, 1988 ; Herzig et al,

2011 ; ...) affirment que ces deux alcools aliphatiques, en particulier l'Hexadecanol, sont les substances organiques les plus promotrices dans la réduction de l'évaporation.

2.3.1. Hexadecanol

L'Hexadecanol, aussi connu comme l'alcool cétylique ou palmitique, est un alcool gras, de formule semi-développée $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{OH}$, à température ambiante. L'Hexadecanol prend la forme d'un solide blanc cireux ou de paillettes insoluble dans l'eau et sans odeur (voir annexe 9).

Le terme cétylique dérive de baleine (en latin: Cetus), car c'est de leur huile que l'alcool cétylique a été isolé pour la première fois (Nordegren, 2002).

L'Hexadecanol a été découvert en 1817 par le chimiste français Michel Chevreul quand il chauffa du spermaceti, une substance cireuse obtenue à partir d'huile de cachalot, avec la potasse caustique (hydroxyde de potassium). Des flocons d'hexadécanol sont apparus avec le refroidissement (Booth, 1862).

Avec la disparition de la chasse commerciale des baleines, l'hexadécanol n'est plus principalement produit à partir de l'huile de baleine, mais, soit issu de l'industrie pétrolière, soit produit à partir d'huiles végétales, comme l'huile de palme ou l'huile de coco.

L'hexadécanol est utilisé dans l'industrie cosmétique comme opacifiant dans les shampooings et comme un agent émoullent, émulsifiant ou épaississant dans la fabrication de crèmes pour la peau et de lotions (Smolinske, 1992). Il est également utilisé comme monocouche pour réduire l'évaporation.

2.3.2. Octadecanol

L'octadecanol (aussi connu comme octadecyl l'alcool ou Stearyl l'alcool) est un composé organique, avec la formule $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{16}\text{CH}_2\text{OH}$. Il est classé comme un alcool gras. Il a la forme de granules blancs ou de flocons, qui sont insolubles dans l'eau (voir annexe 10). Il a une vaste gamme d'utilisations, comme un ingrédient dans les lubrifiants, les résines, les parfums et la cosmétique.

Il est utilisé comme un émoullient, émulsifiant et épaississant dans les pommades de diverses sortes ; et est largement utilisé comme une couche de cheveux dans des shampooings et des après-shampooings. Il est utilisé comme une monocouche pour réduire l'évaporation quand il est appliqué à la surface de l'eau (Prime et al, 2012).

L'Octadecanol est préparé de l'acide stéarique ou quelques graisses par le processus d'hydrogénation catalytique. Il a une faible toxicité (Noweck&Grafahrend, 2006).

2.3.3. Caractéristiques avantageuses des deux substances

Le critère de promoteur est donné à l'Hexadecanol et à l'Octadecanol parce qu'ils ont les caractéristiques suivantes :

- ✓ Une résistance spécifique très importante ;
- ✓ Un taux d'étalement initial très élevé ;
- ✓ Une très bonne vitesse d'étalement (12 cm/s à une température de $24 \pm 1^\circ\text{C}$ pour l'Hexadecanol, selon Mansfield (1959)) ;
- ✓ Un taux élevé de l'auto-assemblage après rupture sous l'action du vent.
- ✓ Aucune toxicité connue pour les êtres humains, les êtres aquatiques (faune et flore) et la biologie de l'eau (pour des concentrations recommandées et avec précautions typiques) (SNWA, 2014 ; Dorn et al, 1993 ; Wiltzius, 1965 ; Hayes, 1959; Timblin, 1957).

3. Protocoles expérimentaux

3.1. Expériences sur terrain

Les expériences ont été réalisées au niveau de Ouargla et Touggourt pour des périodes différentes. Dans les deux sites expérimentaux, on a installé des bacs enterrés, voisins du type Colorado l'un près de l'autre, en gardant un espace de 50 cm ; et chaque bac est rempli d'eau à 80%, soit 400 l. Les bacs sont enterrés de telle façon que le niveau de l'eau et celui du sol soient à 10 cm du rebord.

3.1.1. Expériences à Ouargla

A Ouargla, le dispositif a été installé à de 2 m de la station météo au niveau de la station pilote de l'ITDAS à Hassi Ben Abdellah.

Dans un premier temps, on a vérifié l'effet des films mono-moléculaires à base d'Hexadecanol et d'Octadecanol sur le taux de l'évaporation sous les conditions climatiques de la région, constituant les premiers essais. Pour cela, on procéda à la couverture de la surface de l'eau de trois bacs, sur les quatre existants, comme suit : le premier bac avec une monocouche d'Hexadecanol, le deuxième avec une monocouche à base d'un mélange d'Hexadecanol et d'Octadecanol (50% :50%) , et le troisième avec une monocouche à base d'Octadecanol ; pour le quatrième bac, il contient que l'eau, considéré comme bac témoin.

Ensuite, on a vérifié l'effet du mode d'application sur le taux de l'évaporation en comparant entre les deux modes : solvant et poudre. Cette fois-ci, on a besoin que de trois bacs et on a utilisé un seul alcool aliphatique qui est l'Hexadecanol. Dans le premier bac, on a appliqué l'Hexadecanol sur la surface de l'eau sous forme de poudre pour former la monocouche. Dans le deuxième bac, l'Hexadecanol a été appliqué sous forme de solvant (même quantité de poudre appliquée dans le premier bac dissoute dans 18 ml de kérosène), et dans le troisième bac, il n'y'a que de l'eau (bac témoin).

3.1.2. Expériences à Touggourt

A Touggourt, les expériences ont été exécutées au niveau du complexe sportif de Nezla où on a installé notre dispositif.

Les expériences ont été effectuées pour une période de 20 semaines, ayant pour objectifs la vérification des résultats précédents, la mesure d'un autres paramètre qui est la température de l'eau), et l'étude de l'effet de la dose d'alcool aliphatique utilisée sur le taux d'évaporation, en comparant entre deux quantités différentes d'Hexadecanol. Pour cela, on a utilisé trois bacs : le premier avec un film mono-moléculaire à base de 0,09 g

d'Hexadecanol, le deuxième avec un film à base de 0,15 g du même alcool, et enfin le troisième, considéré comme témoin.

Pour les trois périodes des expériences (deux à Ouargla et une à Touggourt), les substances sont appliquées sur la surface de l'eau tous les trois jours, avec une particularité pour les premières expériences de Ouargla, où on a augmenté, au cours d'une période, la durée entre deux applications à cinq jours. En plus des mesures quotidiennes de l'évaporation, on prend de la station météo les mesures journalières des paramètres météorologiques (températures de l'air, humidité de l'air et vent).

Le taux de réduction de l'évaporation est calculé par l'expression suivante :

$$\text{Réduction de l'évaporation (\%)} = \frac{E(\text{témoin}) - E(\text{couvert})}{E(\text{témoin})} * 100 \quad (10)$$

3.2. Expériences aux laboratoires

Les expériences aux laboratoires ont été réalisées au niveau des laboratoires de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie.

3.2.1. Cas de la faune (larves de *Tilapia nilotica*)

Dans un premier temps, on a examiné les conséquences de la présence des monocouches à la surface de l'eau sur un milieu aquatique contenant des larves de *Tilapia nilotica*, et sur les larves elles-mêmes. Le dispositif adopté pour cette expérience est composé de trois grands aquariums, de 0,315 m² de surface et 0,5 m de profondeur chacun. Chaque aquarium est rempli d'un volume de 124 l d'eau. Dans chaque aquarium, on a mis 58 larves, d'une masse moyenne de 0,018 g et une longueur moyenne de 0,84 cm pour chaque larve de *Tilapia*. On a laissé les aquariums sans film pendant 5 jours pour permettre aux larves de s'adapter avec le nouveau milieu, puis on a appliqué l'Hexadecanol pour former les monocouches, comme suit : une quantité de 0,028 g d'Hexadecanol pour former le film mono-moléculaire à la surface de l'eau du premier aquarium, une quantité de 0,047 g d'Hexadecanol pour former le film à la surface de

l'eau du deuxième aquarium. Pour le troisième aquarium, il a été pris comme témoin. L'application de l'Hexadecanol s'effectue tous les trois jours.

La distribution des aliments pour les larves se fait cinq jours par semaine et huit fois par jour. La mesure des paramètres physico-chimiques (température de l'eau, pH et oxygène dissous) sont mesurés tous les trois jours avant l'application de l'Hexadecanol. Pour la taille des larves, la mesure de la longueur et de la masse sont effectuées tous les six jours pour un échantillon de 10 larves.

3.2.2. Cas de la flore (*Spiruline*)

Après les expériences menées sur la faune aquatique, on a étudié aussi l'effet des monocouches sur la flore aquatique, en prenant le cas de la Spiruline (algue bleue-verte) ; et comme pour les larves de Tilapia, on a installé un dispositif constitué de trois aquariums, de petites dimensions : 0,125 m² de surface et 0,25 m de profondeur. Les aquariums sont remplis de 12,5 l de spiruline cultivée pour chacun sans mettre le film mono-moléculaire. Par la suite, on a appliqué l'Hexadecanol sous forme de poudre pour former le film mono-moléculaire sur deux des trois aquariums, comme suit : 0,023 g dans le premier aquarium et 0,038 g dans le deuxième aquarium.

Les paramètres physico-chimiques mesurés durant l'expérience sont : le pH, la température de l'eau, la salinité et l'oxygène dissous qui sont des paramètres qui influencent la vitesse de croissance de la spiruline (Tidiane, 2007). Ces paramètres sont mesurés quotidiennement le matin par un multi-paramètre type HORIBA U-50.

Pour l'évaluation de la croissance de la spiruline, on se base sur la méthode du dénombrement des individus micro-algales (méthode directe) qui s'effectue chaque semaine. En plus, le dosage de la chlorophylle a qui est considérée comme étant un indicateur de l'abondance (biomasse) des algues microscopiques dans le milieu aquatique. La méthode utilisée pour le dosage de la chlorophylle a dans l'eau est la méthode monochromatique de Lorenzen (1967) de monochromatique de solvant (acétone à 90%).

Le principe de la méthode se base sur la filtration d'un volume d'eau connu (sur filtre WHATMAN GF/C 0,47µm), en présence de carbonate de Mg. La récupération du filtre et la dissolution des pigments dans un solvant approprié (acétone à 90 %), la filtration en vue de récupérer une solution dépourvue de particules en suspension, et la mesure des densités optiques aux longueurs d'ondes appropriées (665 nm et =750 nm) avant et après acidification.

Les absorbances brutes à 665 nm et les blancs de turbidité à 750 nm doivent être corrigés en soustrayant les blancs des cuves. Pour obtenir les absorbances nettes, on soustrait les absorbances corrigées, mesurées à 750 nm des absorbances corrigées, mesurées à 665 nm, c'est-à-dire :

- avant acidification : $Ana665 = (Abna665 - bc665) - (Aba750 - bc750)$ - après acidification : $Aa 665 \sim (Aba665 - bc665) - (Aba750 - bc750)$

Les concentrations de chlorophylle a se calculent d'après la relation suivante :

$$[\text{Chlorophylle a}](\text{mg.m}^{-3}) = \frac{26,7 * (Ana 665 - Aa 665) * v}{V * l} \quad (12)$$

Où :

V: volume d'eau filtrée (litre),

v: volume du solvant d'extraction (millilitre),

l: longueur du trajet optique de la cuve de mesure (centimètre).

3.2.3. Qualités de l'eau destinée à la consommation humaine

Le dispositif expérimental pour la vérification de la qualité de l'eau est composé de trois grands aquariums, contenant l'eau de robinet (124 l). La surface de l'eau du premier aquarium n'est pas couverte par les monocouches, la surface du deuxième aquarium est couverte par des monocouches d'Hexadecanol, et pour le troisième aquarium, la surface est couverte par des monocouches d'Octadecanol.

En plus de la température de l'eau, le pH, l'oxygène dissous et la salinité qui sont mesurés chaque jour par le multi-paramètres 'HORIBA U-50'.

Des échantillons d'eaux des trois aquariums sont prélevés pour les analyses suivantes, à savoir :

- ✓ La chlorophylle *a* qui est déterminée par le spectrophotomètre en adoptant la méthode monochromatique de Lorenzen (1967) (citée ci-dessus) ;
- ✓ La détermination des bactéries qui se base sur la méthode standard d'AGAR ou encore dite méthode du milieu solide. L'objectif de cette méthode n'est pas d'identifier les bactéries (type de germe), mais de déterminer son nombre. Cette méthode se base sur le mélange de l'échantillon de l'eau à analyser avec un milieu de culture solide dans une boîte Pétri (ex : gélose nutritive), préalablement fondue et refroidie à une température proche de celle de solidification. Après incubation, les colonies qui se développent à la surface et à l'intérieur du milieu sont comptées à l'aide d'un dispositif de comptage de colonies qui comptabilise les impulsions, chaque fois que le marqueur appuie sur le fond de la boîte de Pétri (Rejsek, 2002) ;
- ✓ La turbidité qui est déterminée par la méthode quantitative, dite aussi méthode néphélométrique à la formazine, en utilisant un turbidimètre. Dans ce cas, il faut se conformer aux indications du constructeur pour son utilisation. Dans tous les cas, on retrouve les mêmes étapes : étalonnage du turbidimètre avec les solutions primaires de formazine qui est le seul étalon primaire universel pour cette mesure, étalonnage des étalons secondaires du turbidimètre qui se rapproche de plus de la turbidité de l'eau à analyser, et enfin la détermination de la turbidité de l'eau qui est donnée par FTU, NTU ou FNU(Rejsek, 2002).

Chapitre IV

1. Résultats

1.1. Effet des paramètres météorologiques sur le taux de l'évaporation dans le bac témoin.

La température de l'air, l'humidité relative de l'air et la vitesse du vent sont les paramètres qui influent d'avantage sur la vitesse de l'évaporation des plans d'eau.

1.1.1. La température de l'air

Pour voir l'effet de la température de l'air sur la vitesse de l'évaporation, no établi le graphe (figure 27) suivant à partir des données de températures et des pertes par évaporation dans le bac témoin.

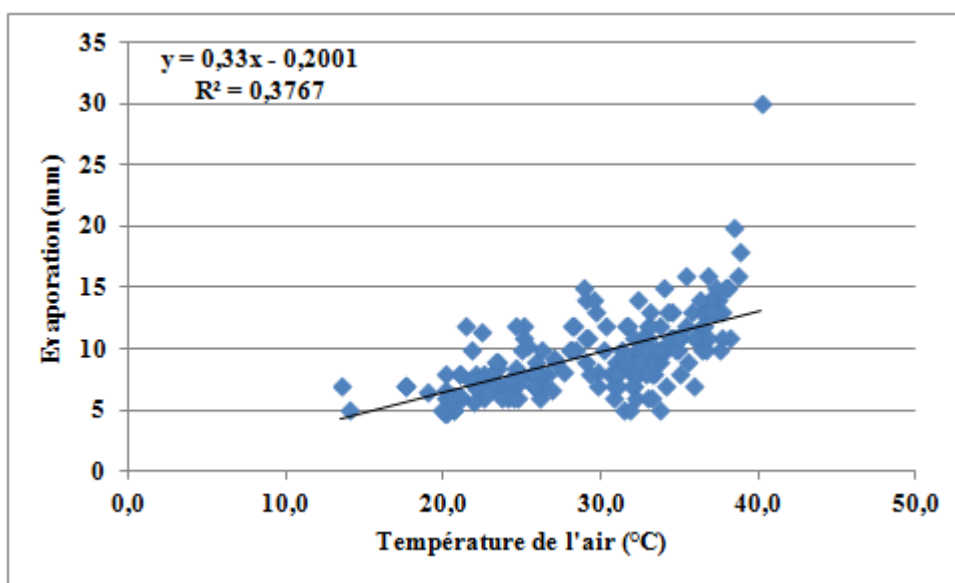


Figure 27. Variation de l'évaporation dans le bac témoin en fonction de la température de l'air

D'après le graphe il est bien clair que lorsque la température de l'air augmente l'évaporation augmente et inversement.

1.1.2. L'humidité relative de l'air

La variation de l'évaporation dans le bac témoin en fonction de l'humidité relative de l'air est représentée dans le graphe suivant (figure 28).

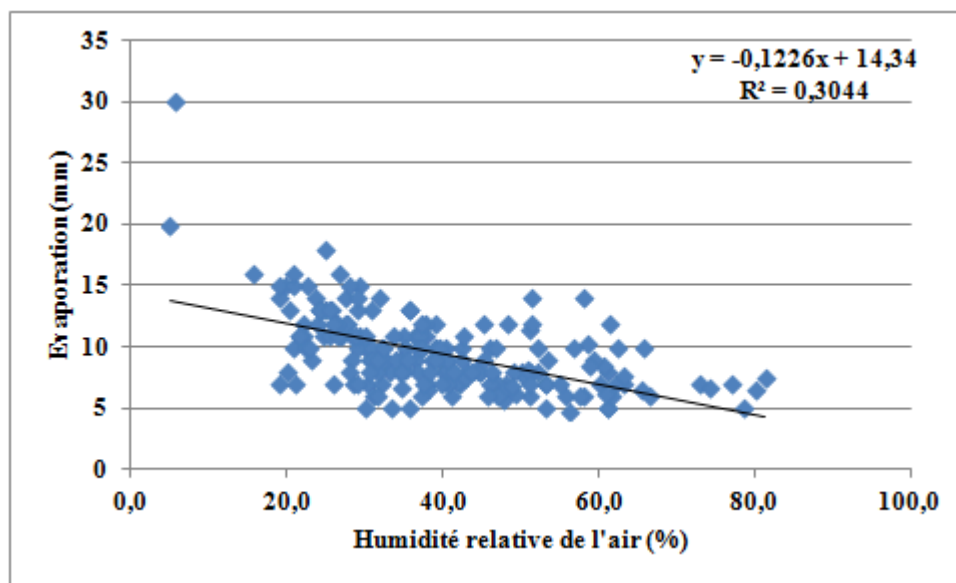


Figure 28. Variation de l'évaporation dans le bac témoin en fonction de l'humidité de l'air

Le graphe montre qu'il y a une relation inversement proportionnelle entre l'évaporation et l'humidité relative de l'air.

1.1.3. La vitesse du vent

Le vent est un autre facteur météorologique qui a été vérifié. Son influence sur la vitesse de l'évaporation et les résultats du suivi sont donnés dans le graphe suivant (figure 29).

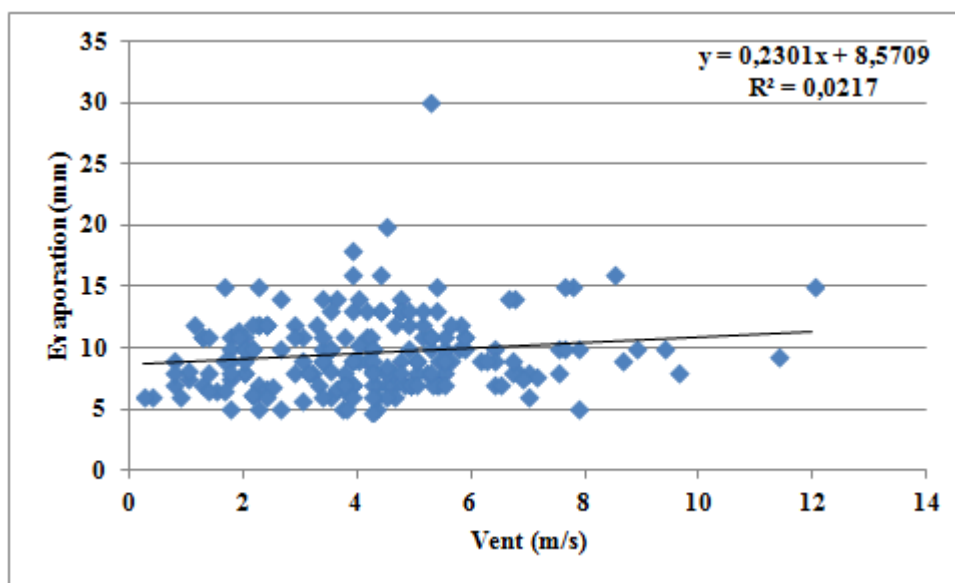


Figure 29. Variation de l'évaporation dans le bac témoin en fonction de la vitesse du vent

L'observation a montré qu'il y a une relation proportionnelle entre l'évaporation et la vitesse du vent.

L'évaporation est influencée par ces trois paramètres météorologiques mais à des degrés différents (voir le coefficient de détermination R^2 de chaque graphe)

1.2. Effet de la durée entre deux applications de l'Hexadecanol et de l'Octadecanol sur le taux de l'évaporation

Pour mieux visualiser l'effet des monocouches et les paramètres météorologiques sur l'évaporation, les résultats de la première expérience dans la station de l'ITDAS de Hassi Ben Abdellah qui ont fait le sujet de mon article intitulé « Réduction de l'évaporation des eaux dans les barrages : une stratégie pour augmenter le stockage de l'eau dans les régions arides algériennes » sont représentés par les graphes ci-après.

A noter que pour une bonne analyse, la durée de l'expérience est partagée en 10 décades : 05 décades (D1, D2, D3, D4 et D5) pour le cas de 0.336g/m²/3jrs durant la période estivale et 05 décades (D'1, D'2, D'3, D'4 et D'5) pour le cas de 0.336 g/m²/5jrs durant la période automnale. Par la suite, la moyenne de chaque paramètre pour une décade donnée est calculée.

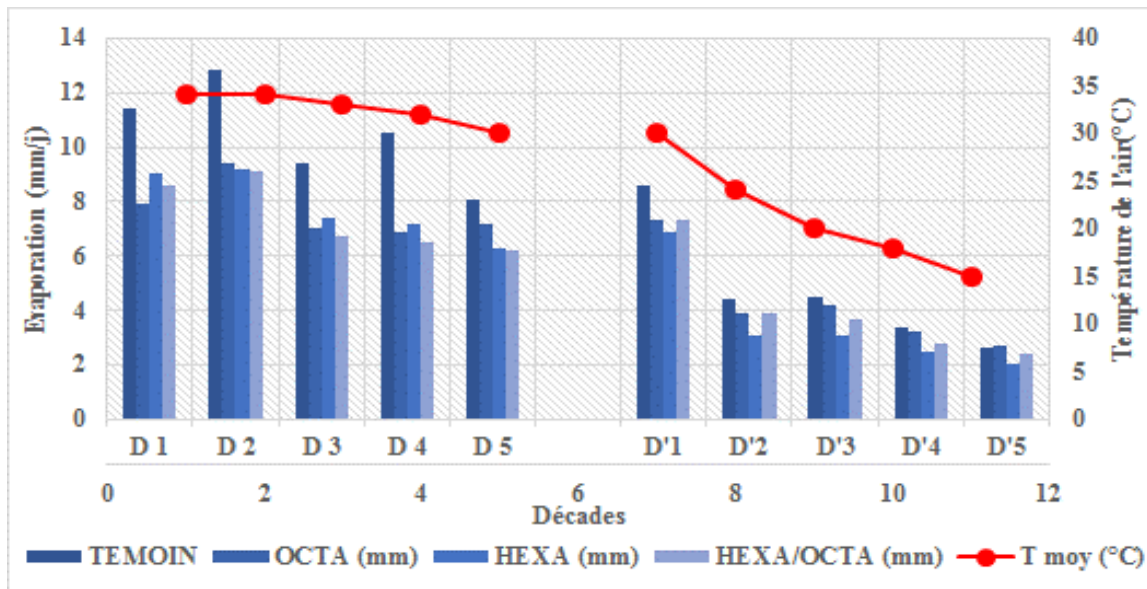


Figure 30. Variations de l'évaporation dans les quatre bacs par rapport aux variations de la température de l'air (HBA).

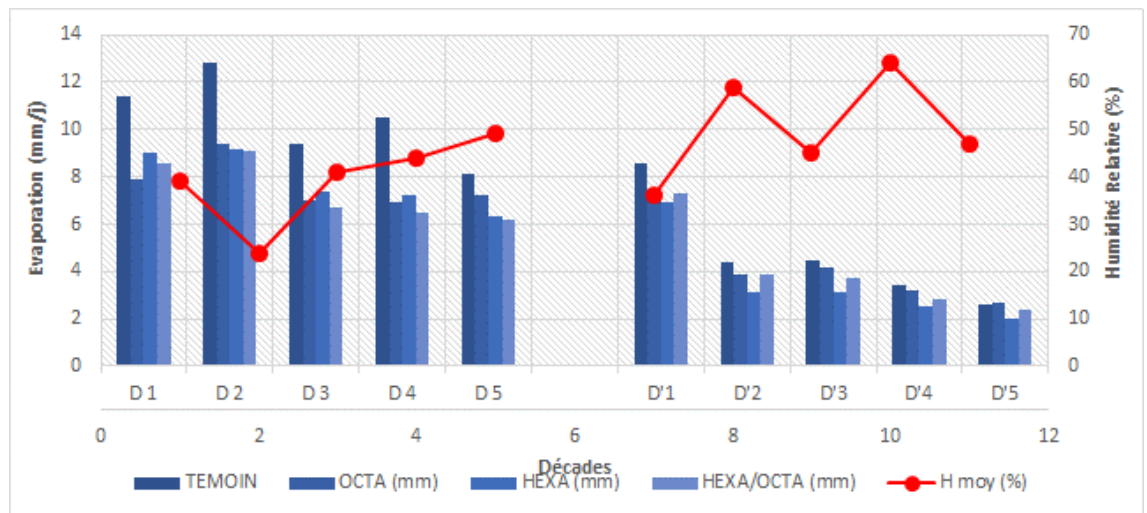


Figure 31. Variations de l'évaporation dans les quatre bacs par rapport aux variations de l'humidité relative (HBA).

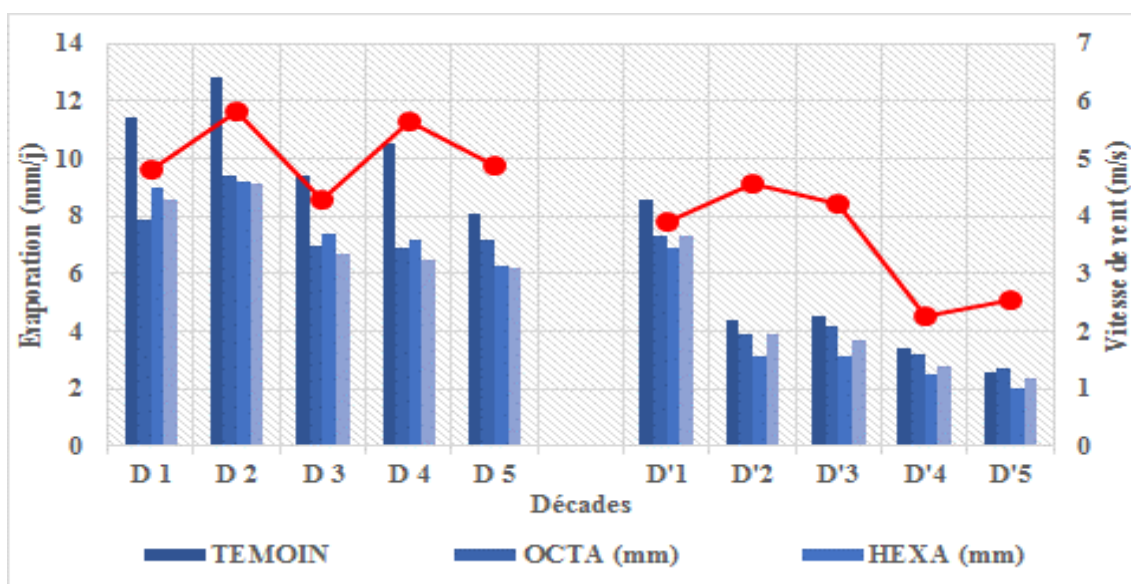


Figure 32. Variations de l'évaporation dans les quatre bacs par rapport aux variations de la vitesse du vent (HBA).

Les premières observations montrent que les pertes par évaporation sont les plus importantes dans le bac témoin. Ces pertes sont plus faibles dans le bac du film à base de mélange hexa/octa pour une fréquence d'application de 3 jours, et dans le bac du film à base d'Hexadecanol pour une fréquence d'application de 5 jours (voir les figures 29, 30, et 31). La valeur maximale de l'évaporation moyenne journalière est enregistrée dans la première période (D1) dans le bac témoin et elle est égale à 13,5 mm pour une température moyenne de l'air de 34°C, une humidité relative moyenne de l'air de 39% et d'une intensité moyenne de vent égale à 4,9 m/s.

Pour la valeur de l'évaporation moyenne journalière minimale enregistrée dans le bac témoin, elle est de 2,5 mm dans le point D'5 et elle correspond à une température moyenne de l'air de 15°C, à une humidité relative moyenne de 48% et une intensité moyenne de vent de 2,5 m/s.

L'écart entre les pertes par évaporation est important entre les bacs couverts et le bac témoin de D1 à D5. Il devient moins important et presque nul de D'1 à D'5. Pour les valeurs de l'évaporation dans les bacs couverts, il est bien observé que les courbes sont très proches entre elles dans la période de D1 à D5, dans la période de D'1 à D'5 l'écart devient un peu remarquable et alors que la courbe de film à base d'Hexadecanol est bien loin des deux autres courbes.

Les figures 30 et 31 font apparaître une relation proportionnelle entre l'évaporation et la température de l'air, et une autre inversement proportionnelle entre l'évaporation et l'humidité relative de l'air. Concernant le vent (figure 32), cette relation n'est pas claire, mais il existe une légère tendance d'augmentation de pertes par évaporation quand le vent est important.

Les gains en eau dans les bacs couverts par les films mono-moléculaires sont calculés par la relation (12) sont représentés dans le graphe suivant (figure33)

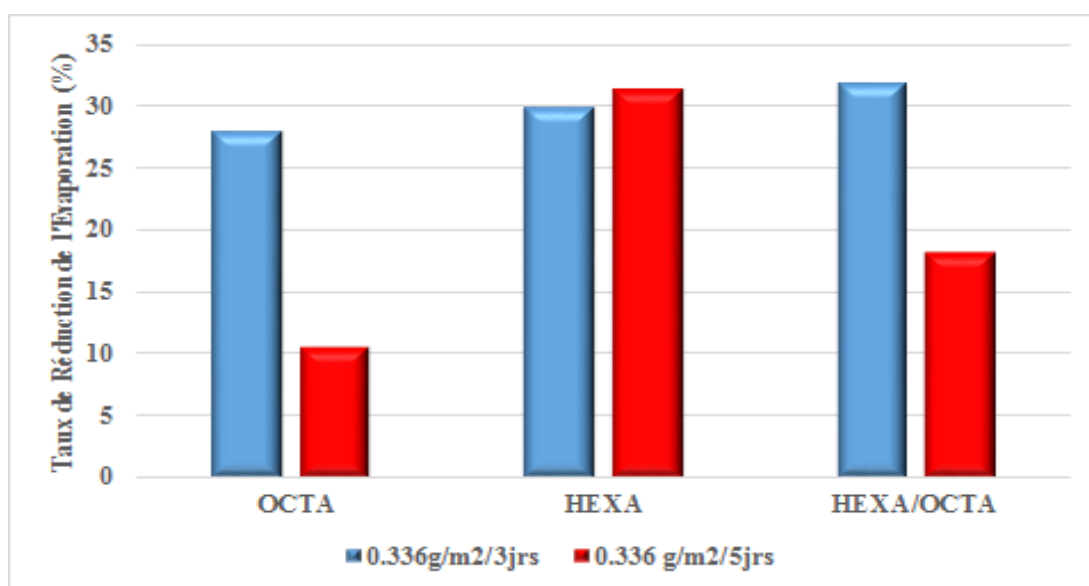


Figure 33. Taux de réduction de l'évaporation dans les bacs couverts par les monocouches de trois composantes chimiques (HBA) (Saggai et al., 2014).

Les taux de réduction de l'évaporation sont presque identiques (30% et 31%) pour les films mono-moléculaires à base d'Hexadecanol. Dans le cas du mélange Hexa/Octa le taux de réduction de l'évaporation est le plus important (32%) avec une fréquence d'alimentation de la surface de l'eau de 3 jours. Les taux de réduction de l'évaporation sont les plus faibles pour les fréquences d'alimentation (3 et 5 jours) pour les films mono-moléculaires à base d'Octadecanol.

Le tableau 8 vient montre statistiquement l'effet des films sur l'évaporation.

Tableau 8. Comparaisons multiples. Variable : Evaporation Test de Tukey ;
(Application de l'Hexadecanol, de l'Octadecanol et de leur mélange chaque trois jours)

(I) Bacs	(J) Bacs	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
ETémoin	EOcta	2,76000*	,87459	,028	,2578	5,2622
	EHexa	2,62000*	,87459	,039	,1178	5,1222
	EHex/Octa	3,02000*	,87459	,016	,5178	5,5222
EOcta	ETémoin	-2,76000*	,87459	,028	-5,2622	-,2578
	EHexa	-,14000	,87459	,998	-2,6422	2,3622
	EHexa/Octa	,26000	,87459	,991	-2,2422	2,7622
EHexa	ETémoin	-2,62000*	,87459	,039	-5,1222	-,1178
	EOcta	,14000	,87459	,998	-2,3622	2,6422
	EHexa/Octa	,40000	,87459	,967	-2,1022	2,9022
EHexa/Octa	ETémoin	-3,02000*	,87459	,016	-5,5222	-,5178
	EOcta	-,26000	,87459	,991	-2,7622	2,2422
	EHexa	-,40000	,87459	,967	-2,9022	2,1022

*. La différence moyenne est significative au niveau 0.05.

D'après le tableau 8, la comparaison entre les moyennes calculées dans les quatre bacs pour une application tous les trois jours a montré qu'il y a une différence significative. La différence entre la moyenne du bac témoin et les moyennes des bacs couverts par les films mono-moléculaires se situe entre 2,68 et 3,02.

Le tableau 9 vient montre statistiquement l'effet des films sur l'évaporation mais cette fois pour une application tous les cinq jours.

Tableau 9. Comparaisons multiples. Variable : Evaporation Testde Tukey ;
(Application de l'Hexadecanol, de l'Octadecanol et de leur mélange chaque cinq jours)

(I) Bacs	(J) Bacs	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
ETémoin	EOcta	,44000	1,26972	,985	-3,1927	4,0727
	EHexa	1,18000	1,26972	,790	-2,4527	4,8127
	EHex/Octa	,68000	1,26972	,949	-2,9527	4,3127
EOcta	ETémoin	-,44000	1,26972	,985	-4,0727	3,1927
	EHexa	,74000	1,26972	,936	-2,8927	4,3727
	EHexa/Octa	,24000	1,26972	,998	-3,3927	3,8727
EHexa	ETémoin	-1,18000	1,26972	,790	-4,8127	2,4527
	EOcta	-,74000	1,26972	,936	-4,3727	2,8927
	EHexa/Octa	-,50000	1,26972	,979	-4,1327	3,1327
EHexa/Octa	ETémoin	-,68000	1,26972	,949	-4,3127	2,9527
	EOcta	-,24000	1,26972	,998	-3,8727	3,3927
	EHexa	,50000	1,26972	,979	-3,1327	4,1327

Le tableau 9 montre qu'il n'y a pas de différence significative entre la moyenne de l'évaporation du bac témoin et les moyennes de l'évaporation dans les bacs couverts par les films mono-moléculaires.

1.3. Effet du mode d'application d'Hexadecanolsur le taux de l'évaporation

L'étude de l'effet du mode d'application des films mono-moléculaires sur l'évaporation fut l'objet d'une communication parue dans un proceeding avec la base de données 'EngineersAustralia'. Pour ce document nous utilisons des moyennes hebdomadaires pour voir la variation de l'évaporation dans les trois bacs en fonction de la variation des paramètres météorologiques (figures 34, 35 et 36). Pour information, les expériences se sont déroulées dans une période printanière.

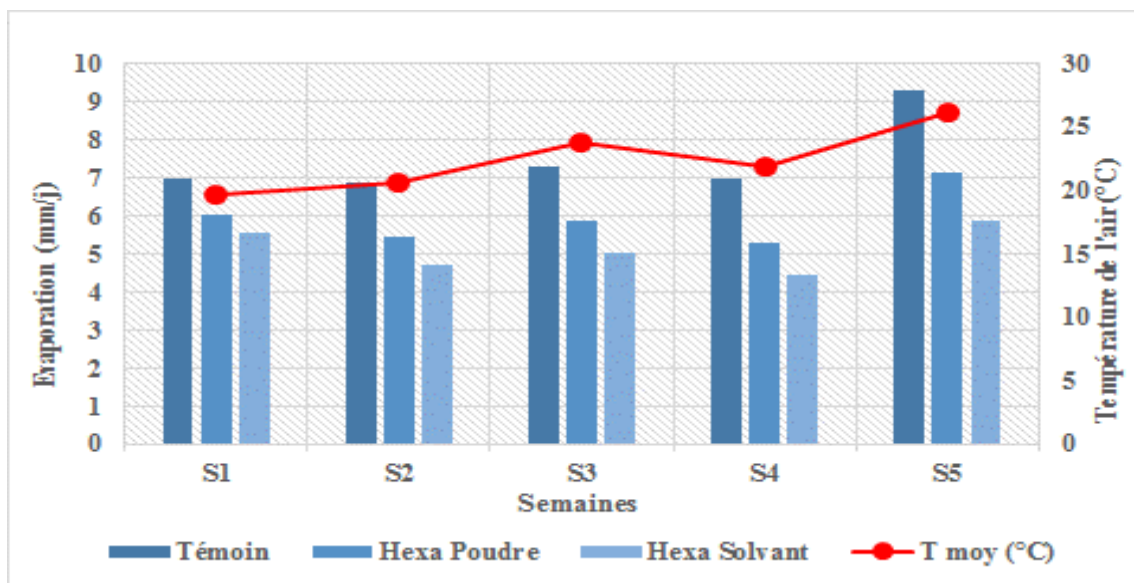


Figure 34. Variations de l'évaporation dans les trois bacs par rapport aux variations de la température de l'air (HBA)

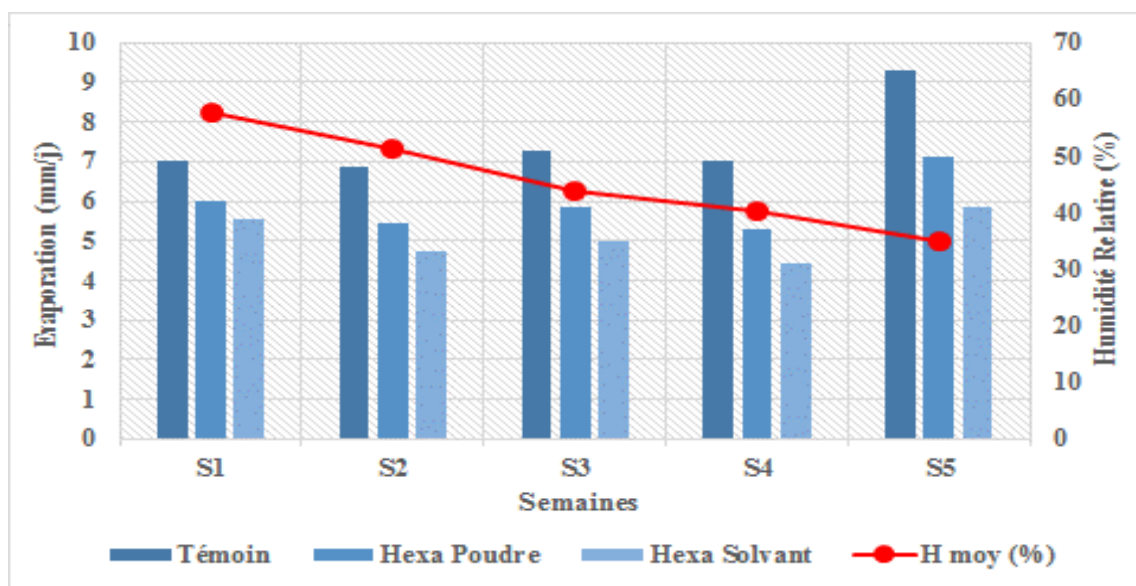


Figure 35. Variations de l'évaporation dans les trois bacs par rapport aux variations de l'humidité relative de l'air (HBA)

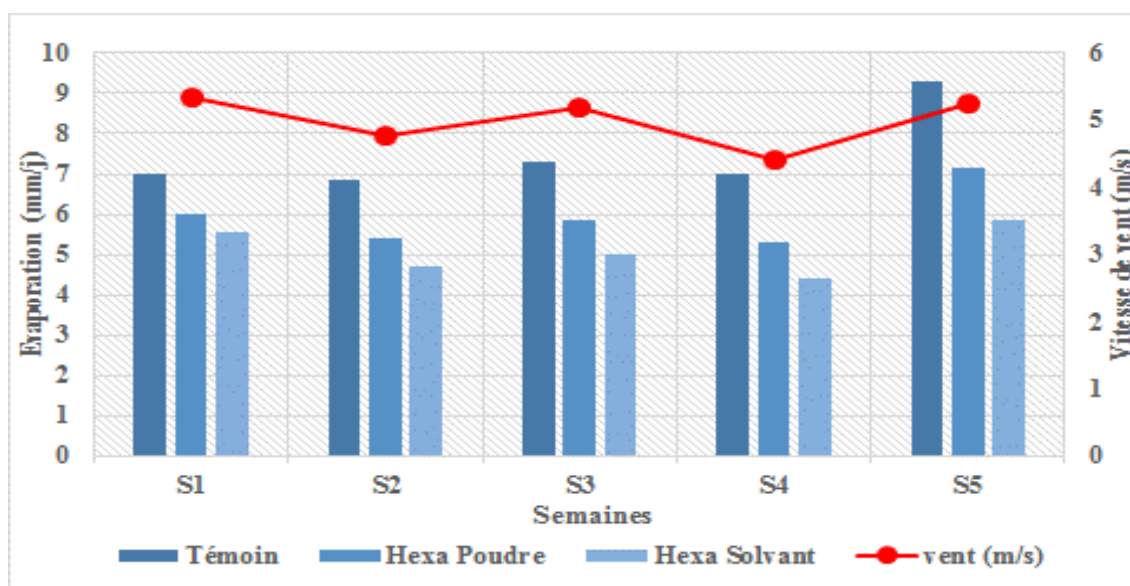


Figure 36. Variations de l'évaporation dans les trois bacs par rapport aux variations de la vitesse du vent (HBA)

Les graphes des figures 34, 35 et 36 montrent que les pertes par évaporation sont les plus importantes dans le bac témoin. Ces pertes sont plus faibles dans le bac du film à base d'Hexadecanol sous forme de solvant. La valeur maximale de l'évaporation moyenne journalière est enregistrée dans la dernière semaine où la température moyenne de l'air est la maximale (26°C) par rapport aux températures moyennes de l'air des autres semaines et où l'humidité relative moyenne était la minimale (35%) parmi les taux d'humidité enregistrée durant les quatre autres semaines. Pour la vitesse du vent la valeur moyenne enregistrée dans cette dernière semaine était proche de la valeur maximale.

L'écart entre les courbes de l'évaporation des trois bacs est observé dans le graphe entre la courbe du bac témoin et les courbes des bacs couverts par les films mono-moléculaires. Cet écart devient important vers la dernière semaine (S5).

En plus et d'après les figures 34 et 36, il est remarqué qu'il y a cette fois-ci une bonne relation proportionnelle entre l'évaporation et la température de l'air d'une part et entre l'évaporation et la vitesse de vent d'autre part ; cette relation de proportionnalité est inversé entre l'évaporation dans les trois bacs et l'humidité relative de l'air (figure 35).

Les gains en eau dans les bacs couverts par les films mono-moléculaires sont toujours calculés par la relation (12) et sont représentés dans le graphe suivant (figure 37)

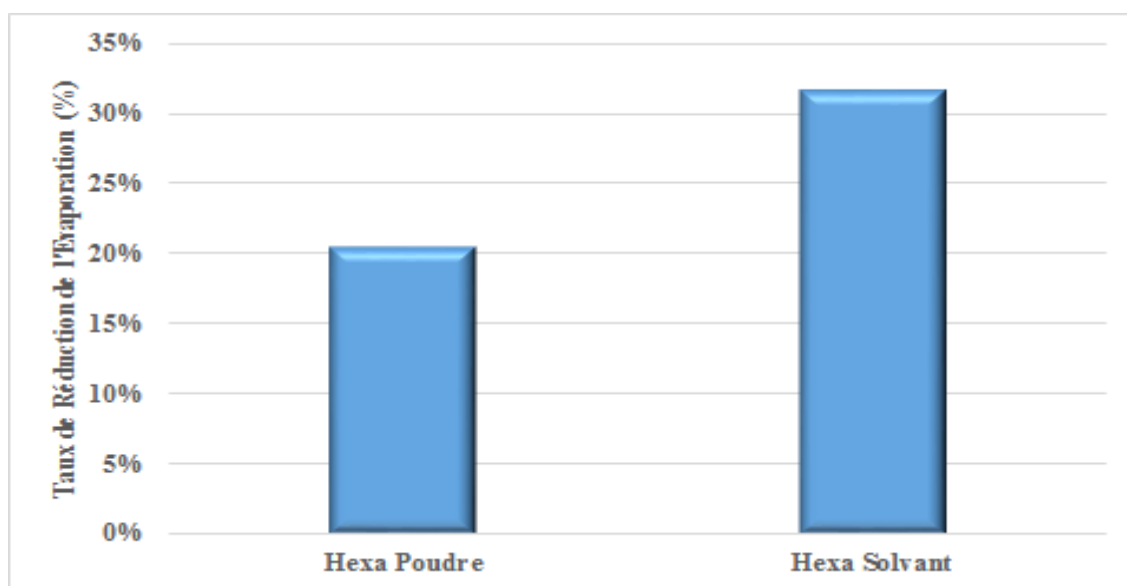


Figure 37. Taux de réduction de l'évaporation dans les bacs couverts par les monocouches de deux modes d'applications

Les valeurs des taux de réduction de l'évaporation sont supérieurs à 20%, mais avec un avantage très remarquable (différence de 11%) pour le mode solvant avec 32%.

Tableau 10. Comparaisons multiples. Variable : Evaporation Test de Tukey ;
(Application de l'Hexadecanol «mode poudre et mode solvant » chaque trois jours)

(I) Bacs	(J) Bacs	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
ETémoin	EHexapoud	1,54286*	,50656	,026	,1914	2,8943
	EHexasolv	2,37143*	,50656	,001	1,0200	3,7229
EHexapoud	ETémoin	-1,54286*	,50656	,026	-2,8943	-,1914
	EHexasolv	,82857	,50656	,269	-,5229	2,1800
EHexasolv	ETémoin	-2,37143*	,50656	,001	-3,7229	-1,0200
	EHexapoud	-,82857	,50656	,269	-2,1800	,5229

*. La différence moyenne est significative au niveau 0.05.

Le tableau 10 présente l'effet du mode d'application sur l'évaporation suivant une analyse statistique. Il est clair qu'il y a une différence significative entre la moyenne de l'évaporation du bac témoin et les moyennes des bacs couverts mais cette différence significative n'est pas remarquée entre les deux bacs couverts par les films mono-moléculaires des différents modes d'application.

1.4. Effet de la dose d'Hexadecanol sur le taux de l'évaporation

Les conséquences de la variation de la quantité de l'alcool aliphatique utilisé pour former les films mono-moléculaires étaient l'objet d'un article apparu dans l' « International Proceedings Chemical, Biological & Environmental Engineering » et d'une communication Orale présentée au « International Conference in Integrated Management of Environment ». Pour cette thèse on va utiliser des moyennes hebdomadaires des différents paramètres et les présenter dans des graphes pour voir la tendance des taux de l'évaporation dans les bacs par rapport aux variations des différents paramètres de la météo (voir figures 38, 39 et 40).

Les expériences ont été réalisées entre le mois d'avril et le mois de septembre.

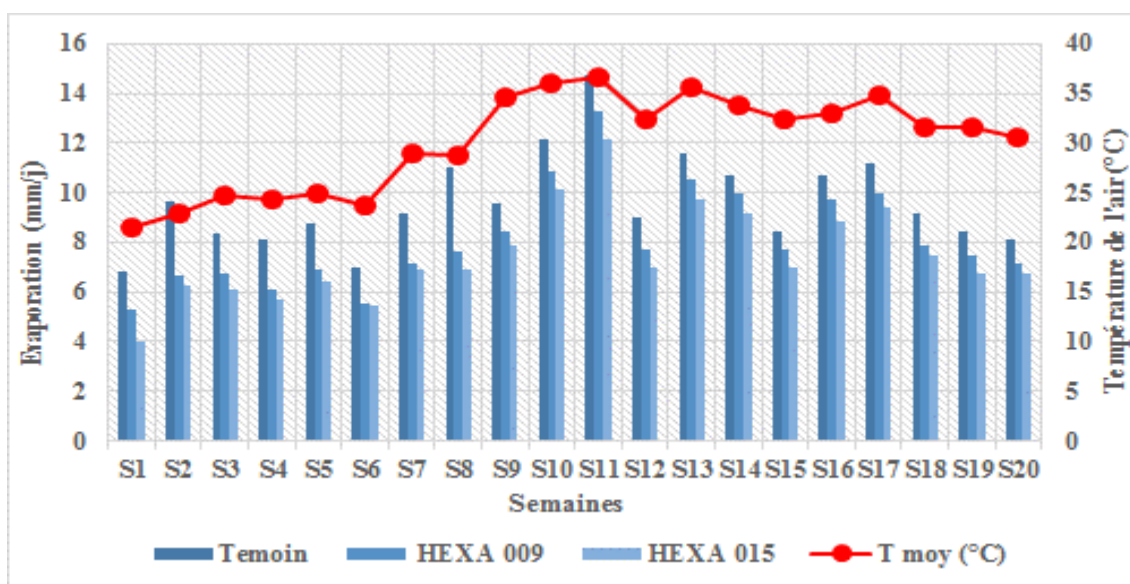


Figure 38. . Variations de l'évaporation dans les trois bacs par rapport aux variations de la température de l'air (NZL)

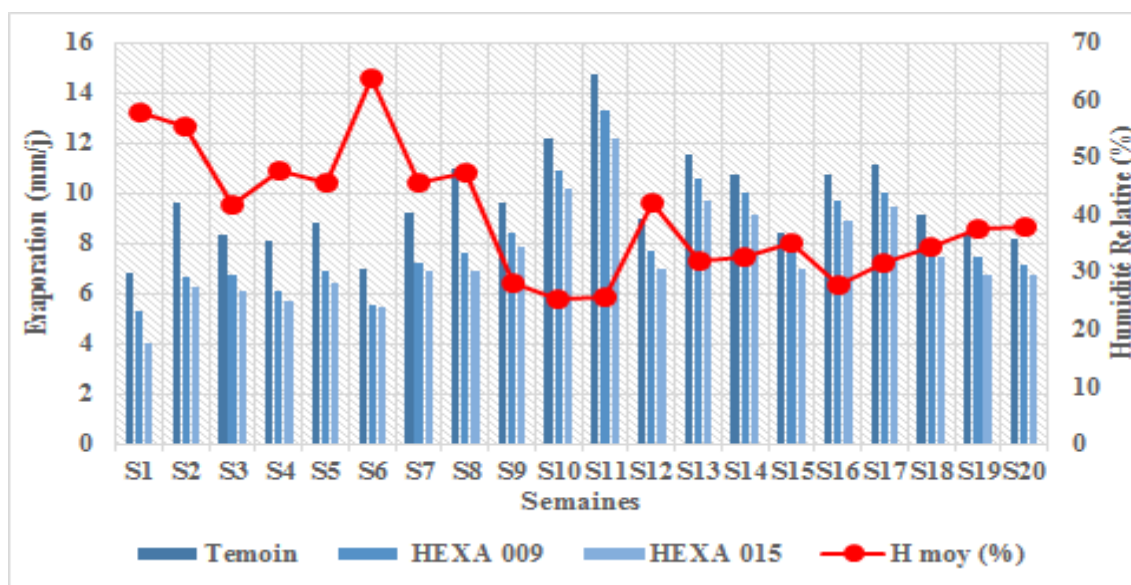


Figure 39. Variations de l'évaporation dans les trois bacs par rapport aux variations de l'humidité relative de l'air (NZL)

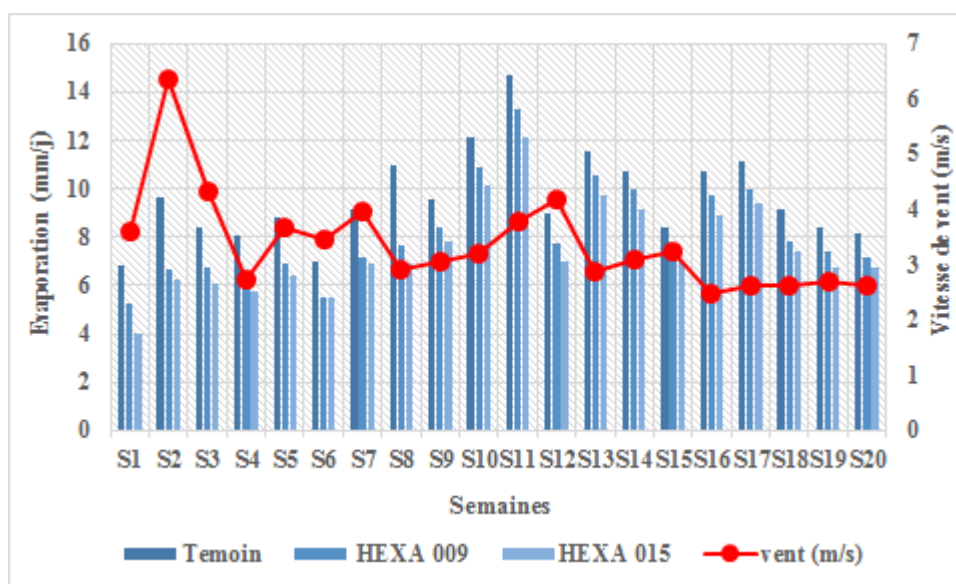


Figure 40. Variations de l'évaporation dans les trois bacs par rapport aux variations de la vitesse de vent (NZL)

D'après les figures, il est bien clair qu'il y a une bonne corrélation entre le taux de réduction de l'évaporation et les deux premiers paramètres météorologiques (la température et l'humidité). La relation entre la température de l'air et le taux de l'évaporation est proportionnelle par contre elle est inversement proportionnelle entre l'humidité et le taux de l'évaporation. Pour le vent et d'après les courbes, il n'y a pas de relation claire quoi que la logique dit que quand il y a des vents il y a une évaporation.

L'évaporation moyenne était maximale dans la 11^{ème} semaine où la température moyenne de l'air était de 37°C (la maximale de toutes les semaines), où l'humidité relative moyenne était de 26% et où la vitesse de vent était de 3,8 m/s.

Les taux de réduction de l'évaporation pour toute la période sont représentés par le graphe de la figure 49. Il est observé que la différence de taux est de l'ordre de 7% avec un avantage pour le cas de 0,15 g d'Hexadecanol.

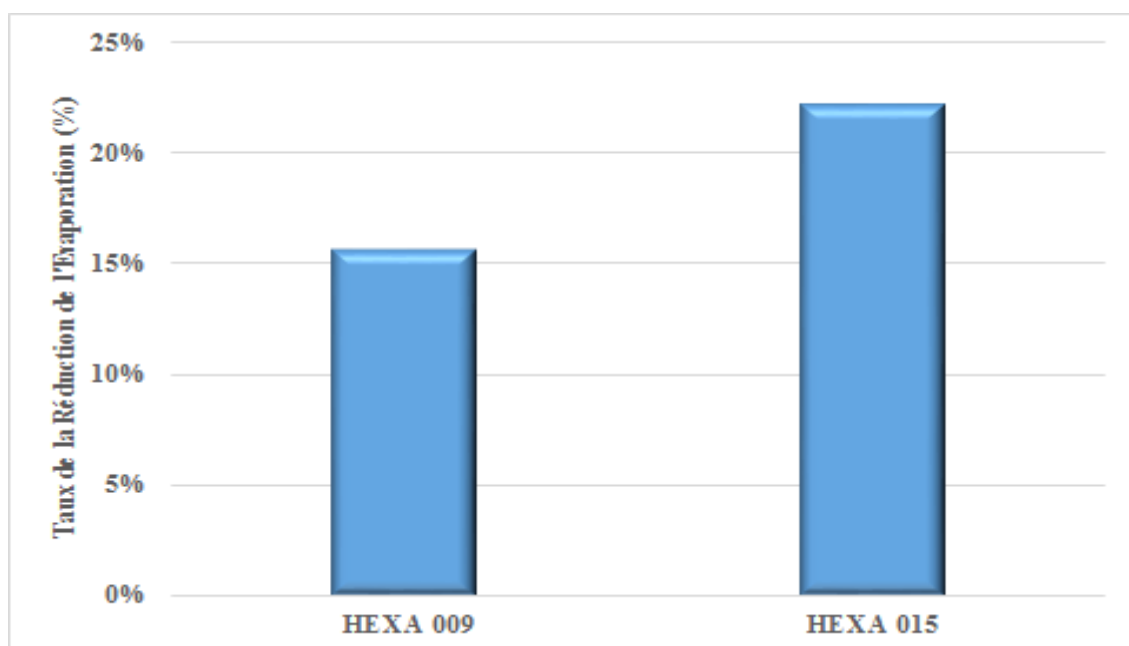


Figure 41. Taux de réduction de l'évaporation dans les bacs couverts par les monocouches de deux doses différentes

Tableau 11. Comparaisons multiples. Variable : Evaporation Test de Tukey
(Application de l'Hexadecanol «0,09g et 0,15g » chaque trois jours)

(I) Bacs	(J) Bacs	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
ETémoin	EHexa009	1,49196*	,61237	,047	,0183	2,9656
	EHexa015	2,13304*	,61237	,003	,6594	3,6067
EHexa009	ETémoin	-1,49196*	,61237	,047	-2,9656	-,0183
	EHexa015	,64107	,61237	,551	-,8325	2,1147
EHexa015	ETémoin	-2,13304*	,61237	,003	-3,6067	-,6594
	EHexa009	-,64107	,61237	,551	-2,1147	,8325

*. La différence moyenne est significative au niveau 0.05.

Le tableau 11 montre qu'il y a un effet statistiquement significatif des films mono-moléculaires sur le taux d'évaporation en comparant la moyenne de l'évaporation du bac témoin avec les moyennes des bacs couverts. Mais cette différence entre les deux bacs couverts n'est pas statistiquement significative.

1.5. Effet des films mono-moléculaires sur la température de l'eau

La présence des films mono-moléculaires sur la surface de l'eau entraîne une augmentation de la température de l'eau. C'est le résultat qui a été trouvé dans nos expériences et qui est représenté dans le graphe de la figure 50.

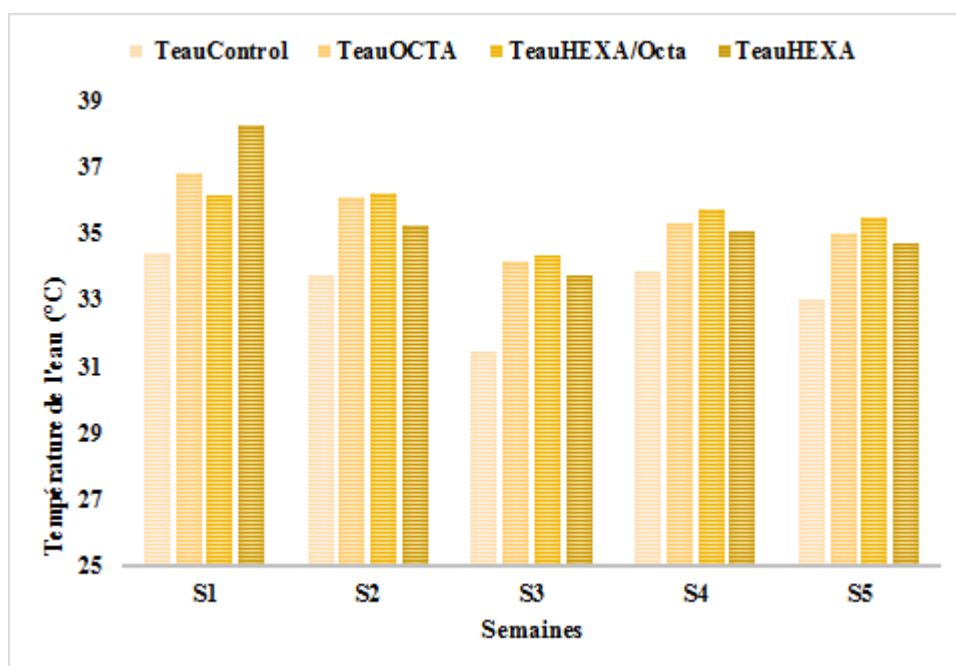


Figure 42. Variation temporelle de la température de l'eau dans les quatre bacs

D'après la figure, il est remarqué que les températures dans le bac témoin sont supérieures à celles enregistrées dans les bacs couverts par des films mono-moléculaires et elles varient d'un bac couvert à un autre selon la substance utilisée pour former les pellicules.

Durant la première semaine la température moyenne de l'eau était maximale dans le bac où la surface de l'eau est couverte par des films mono-moléculaires à base de mélange d'Hexadecanol et d'Octadecanol. Les valeurs maximales de la température moyenne de l'eau pour les quatre semaines restantes étaient enregistrées dans le bac de films à base d'Hexadecanol. La différence entre la valeur moyenne des températures de l'eau enregistrées durant toute la période dans le bac témoin et celles des bacs couverts est supérieure à 2°C.

Tableau 12. Comparaisons multiples. Variable : Température de l'eau. Test de Tukey (Application de l'Hexadecanol, de l'Octadecanol et leur mélange chaque trois jours)

(I) Bacs	(J) Bacs	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
T _{Témoin}	T _{Octa}	-2,19429*	,76150	,048	-4,3730	-,0156
	T _{Hexa/Octa}	-2,28929*	,76150	,038	-4,4680	-,1106
	T _{Hexa}	-2,11429	,76150	,059	-4,2930	,0644
T _{Octa}	T _{Témoin}	2,19429*	,76150	,048	,0156	4,3730
	T _{Hexa/Octa}	-,09500	,76150	,999	-2,2737	2,0837
	T _{Hexa}	,08000	,76150	1,000	-2,0987	2,2587
T _{Hexa/Octa}	T _{Témoin}	2,28929*	,76150	,038	,1106	4,4680
	T _{Octa}	,09500	,76150	,999	-2,0837	2,2737
	T _{Hexa}	,17500	,76150	,996	-2,0037	2,3537
T _{Hexa}	T _{Témoin}	2,11429	,76150	,059	-,0644	4,2930
	T _{Octa}	-,08000	,76150	1,000	-2,2587	2,0987
	T _{Hexa/Octa}	-,17500	,76150	,996	-2,3537	2,0037

*. La différence moyenne est significative au niveau 0.05.

D'après les tableau12, statistiquement la présence des films mono-moléculaires sur la surface de l'eau dans les bacs a un effet significatif dans le cas des films mono-moléculaires à base d'Octadecanol et du mélange d'Hexadecanol et d'Octadecanol.

1.6. Variation des taux de réduction de l'évaporation en fonction de quelques paramètres météorologiques

Pour voir l'effet des paramètres météorologiques sur le taux de la réduction de l'évaporation, nous avons procédé à l'établissement des graphes des taux de réduction de l'évaporation pour deux doses différentes de l'Hexadecanol pour une période de 20 semaines (voir figures 43, 44 et 45) :

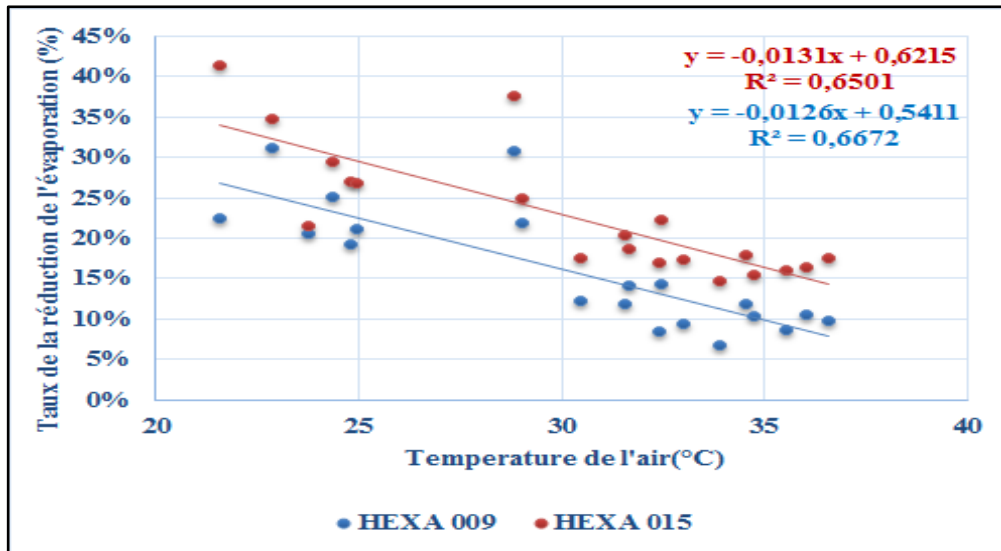


Figure 43. Variation des taux de réduction de l'évaporation en fonction de la température de l'air

La figure 43 montre qu'il y a une relation inversement proportionnelle entre le taux de réduction de l'évaporation et la température de l'air. Les coefficients de détermination sont supérieurs à 65%.

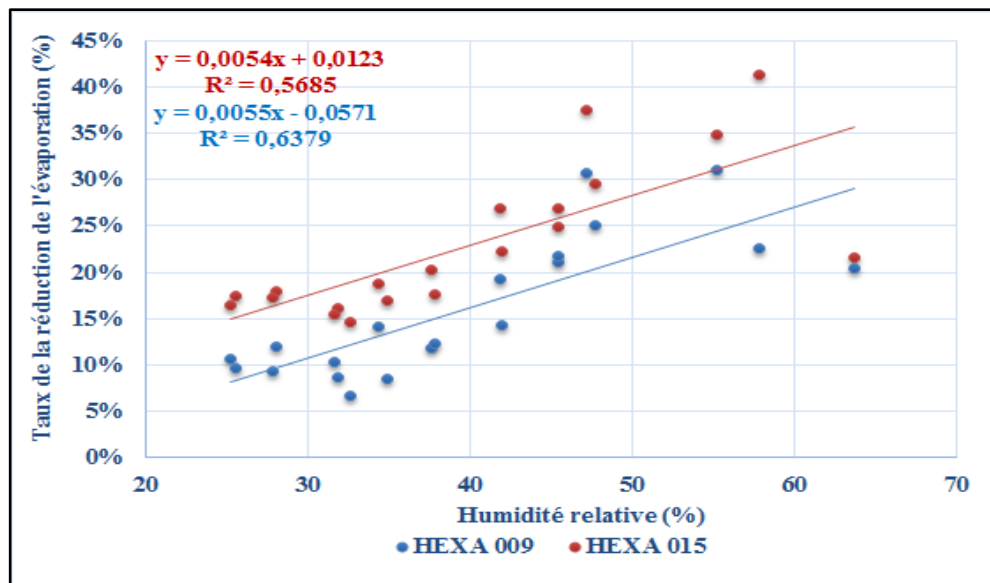


Figure 44. Variation des taux de réduction de l'évaporation en fonction de l'humidité relative

D'après la figure 44, on remarque que le taux de réduction de l'évaporation augmente quand l'humidité relative augmente. D'après la figure, les coefficients de détermination, d'après la figure, dépassent 56%.

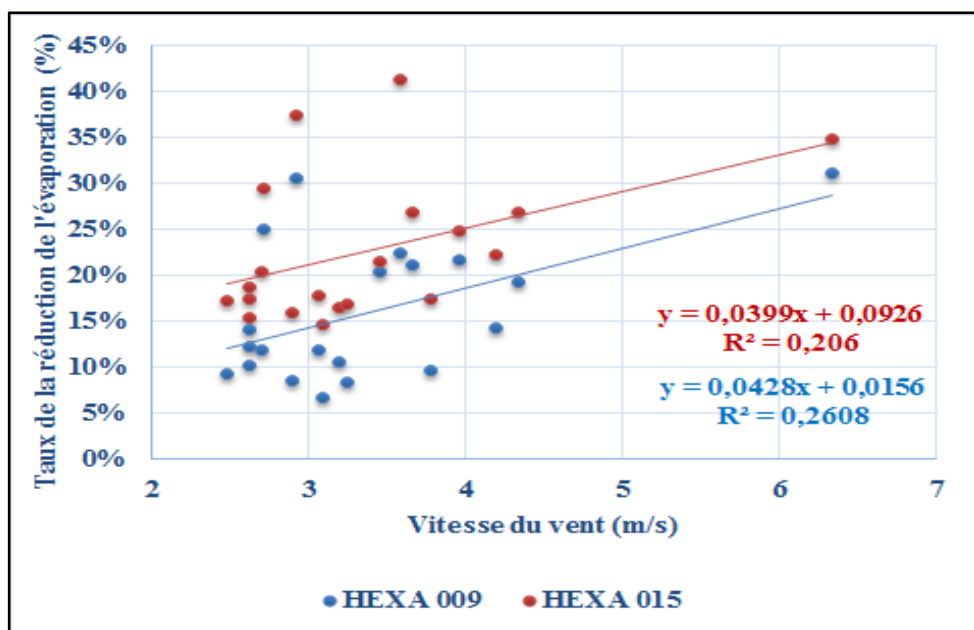


Figure 45. Variation des taux de réduction de l'évaporation en fonction de la vitesse du vent

D'après les courbes de tendance les taux augmentent que l'intensité du vent augmente. Mais les coefficients de détermination sont, cette fois-ci, très faibles car ils ne dépassent pas les 27%.

Discussion générale

Les eaux de surface dans les régions arides subissent des fortes pertes par évaporation. Cette évaporation intense est due à la conjugaison des paramètres météorologiques suivants, à savoir, durées d'insolation assez longues, températures de l'air très élevées, taux d'humidité relativement faibles, et des vents souvent chauds et secs.

Considérant les résultats de la variation de l'évaporation en fonction des paramètres météorologiques (température de l'air, l'humidité relative et la vitesse du vent, et, en analysant les coefficients de détermination (R^2) et par conséquent les coefficients de corrélation, et se référant au tableau de Pearson des valeurs critiques du coefficient de corrélation ; la température de l'air est le paramètre météorologique qui influence le plus sur la vitesse de l'évaporation. Ensuite vient l'humidité relative et enfin le vent qui a une moindre influence selon les résultats obtenus.

Pour tenter de remédier au problème de la réduction de l'évaporation, nous avons adopté une méthode dont les techniques se basent sur l'utilisation de substances chimiques capables de former une couche mince et invisible de l'épaisseur d'une molécule appelée film mono-moléculaire (Barnes, 2008).

Les résultats des différentes expériences antérieures ont confirmé l'efficacité de cette technique dans les régions arides. Le même constat est fait par Saggai et Boutoutaou (2011a, 2011b).

Les taux de la réduction de l'évaporation varient selon plusieurs paramètres regroupés en deux catégories à savoir : les paramètres météorologiques (la température de l'air, l'humidité relative et la vitesse du vent) ; et les paramètres inhérents aux propriétés des substances utilisées (la nature de la substance pour former les films mono-moléculaires, le mode d'application et la quantité d'alcool aliphatique appliquée pour former les films mono-moléculaires).

Les résultats de la variation des taux de réduction de l'évaporation en fonction des paramètres météorologiques (température de l'air, l'humidité relative et la vitesse du vent), permettent le constat d'une relation inversement proportionnelle entre le taux de la réduction de l'évaporation et la température de l'air qui était de $30,15 \pm 4,8$ °C durant l'expérimentation. Cette relation, en se référant au coefficient de détermination et par conséquent le coefficient de corrélation ($r > 0,8$) est statistiquement hautement significatif. Des températures élevées et des insulations intenses et prolongées contribuent à l'accélération du processus de l'évaporation, à la volatilisation des particules d'eau et ; à la dégradation des films mono-moléculaires (Ghumman, 1971). Ceci explique la chute des taux de réduction de l'évaporation à des grandes valeurs de la température de l'air.

Pour l'humidité qui était de $39,71 \pm 10,89\%$ durant les expériences, elle est en relation proportionnelle avec le taux de la réduction de l'évaporation, quand cette humidité augmente le taux de la réduction de l'évaporation augmente et inversement. Cette relation, en se référant au coefficient de corrélation ($r > 0,75$), est hautement significative. La présence d'une bande d'air humide directement au-dessus de la surface de l'eau renforce le rôle des films mono-moléculaires en empêchant les particules de l'eau de

s'échapper dans l'air. Ceci explique les valeurs élevées des taux de la réduction de l'évaporation pour des taux d'humidité relativement élevés.

Pour la vitesse du vent qui était de $3,37 \pm 0,89$ m/s pendant la durée des expérimentations, les courbes de tendances montrent qu'il y a une relation proportionnelle entre le vent et les taux de réduction de l'évaporation. Cette relation est illogique surtout que plusieurs auteurs affirment que l'augmentation de la vitesse du vent engendre une diminution des performances des films mono-moléculaires. Selon Fitzgerald and Vines (1963), quand les vents dépassent les 5 m/s, les taux de réduction de l'évaporation sont compris entre 10 et 20% ; et quand cette vitesse atteint 7 m/s ce taux devient nul et d'après McMahon et al. (2008), quand la vitesse du vent dépasse les 6 m/s, les films mono-moléculaires se contractent et ne couvrent que 30 à 35% de la surface totale du plan d'eau à couvrir. En plus de ça les coefficients de corrélation ($r < 0.5$) montrent qu'il n'y a pas une forte corrélation entre le taux de réduction de l'évaporation et la vitesse du vent et le nuage des points montre que la plus part des points représentent des taux élevés de la réduction de l'évaporation pour de faibles vitesses de vent.

Pour les propriétés des substances, une application des deux alcools aliphatiques (Hexadecanol et Octadecanol) tous les trois jours a permis d'enregistrer les valeurs journalières de l'évaporation suivantes : $10,4 \pm 1,8$ mm dans le bac témoin, $7,6 \pm 1,0$ mm dans le bac d'Octadecanol, $7,8 \pm 1,2$ mm dans le bac d'Hexadecanol et $7,4 \pm 1,3$ mm dans le bac du mélange Hexadecanol/Octadecanol. A la lecture de ces valeurs, il est remarqué que les monocouches à base d'Hexadecanol et du mélange Hexa/Octa sont les plus performants. Les taux de réduction d'évaporation enregistrés (31 % pour le cas d'Hexadecanol et 32% pour le cas du mélange Hexa/Octa) viennent le confirmer. Ces résultats correspondent à ceux de Gugliotti et al. (2005) qui rapporte que les monocouches à base du mélange Hexa/Octa donnent les meilleurs taux de réduction de l'évaporation. Ceci est expliqué par Barnes et La Mer (1962) par l'association des caractéristiques avantageuses des deux substances : un taux initial d'étalement très élevé et un taux élevé de l'auto-assemblage après rupture chez l'Hexadecanol, et une haute résistance spécifique à l'évaporation chez l'Octadecanol. Statistiquement parlant, la différence de moyennes de l'évaporation (entre $E_{\text{Témoin}}$ et les E_{FM}) est significative ; par

conséquence la présence des films mono-moléculaires sur la surface de l'eau a un effet significatif sur le taux de l'évaporation.

Pour une application des alcools aliphatiques tous les cinq jours, les valeurs obtenues sont : $4,7 \pm 2,3$ mm dans le bac témoin, $4,2 \pm 1,7$ mm dans le bac d'Octadecanol, $3,5 \pm 1,9$ mm dans le bac d'Hexadecanol et $4,0 \pm 1,9$ mm dans le bac du mélange Hexadecanol/Octadecanol. Ces valeurs montrent que la présence des films mono-moléculaires contribue à la réduction de la vitesse de l'évaporation. Les taux calculés de réduction de l'évaporation montrent que l'effet des films mono-moléculaires dans ce cas est faible surtout pour les bacs d'Octadecanol (11%) et du mélange Hexa/Octa (18%). Au plan Statistique et d'après les comparaisons multiples, l'application des alcools tous les cinq jours n'a pas d'effet significatif sur la réduction de l'évaporation.

D'après McJannet et al. (2008) la durée de vie des films mono-moléculaires sur la surface de l'eau, sous des conditions normales (vent calme), est de 3 jours ce qui explique la perte des performances de la réduction de l'évaporation par les films mono-moléculaires au-delà de cette période.

Pour le mode d'application, les valeurs de l'évaporation enregistrée sont : $7,4 \pm 1,0$ mm dans le bac témoin, $5,9 \pm 0,7$ mm dans le bac « mode poudre » et $5,1 \pm 0,5$ mm dans le bac « mode solvant ». D'après ces valeurs, le mode solvant est le plus avantageux pour réduire l'évaporation. Dans ce mode solvant et comme nous l'avons cité auparavant ; la substance est dissoute dans un solvant volatil. Le solvant contribue à l'étalement rapide des films mono-moléculaires sur la surface de l'eau puis il s'évapore pour laisser les films seuls sur la surface de l'eau (Barnes, 2008). Les taux de réduction de l'évaporation dans nos expériences sont : 32% pour le cas du mode solvant et 21% pour le cas du mode poudre. Ce résultat déjà rapporté par Saggai et al. (2013). Le kérosène est le solvant qui a été utilisé dans notre expérience et à cause de sa toxicité ce mode est, malgré ses avantages, déconseillé à cause du coût élevé et les inquiétudes environnementales. Statistiquement, les deux modes appliqués ont un effet significatif sur la vitesse de l'évaporation.

Les variations des quantités d'alcool utilisées constituent un autre paramètre qui influe sur les performances des films mono-moléculaires dans la réduction de l'évaporation. Les valeurs journalières de l'évaporation enregistrées sont : $9,6 \pm 1,8$ mm dans le bac témoin, $8,1 \pm 2,0$ mm dans le bac avec une dose de $0,09 \text{ g/m}^2$ et $7,4 \pm 1,8$ mm pour le bac avec une dose de $0,15 \text{ g/m}^2$. Donc, plus la dose est grande plus le taux de réduction de l'évaporation est important (Saggai et al, 2014 ; Al-Saud, 2010) et c'est le résultat obtenu dans nos expériences : 16 % pour le cas de 0,09g et 23% pour le cas de 0,15 g. D'après Frenkiel(1965), différentes doses d'Hexadecanol ont été examinées et les taux de réduction de l'évaporation augmentent quand les doses augmentent. Selon le même auteur, la quantité d'alcool utilisée représente un nombre de monocouches qui se superpose sur la surface de l'eau ce qui implique une pression sur l'eau. Par exemple, une dose de $0,022 \text{ g/m}^2/\text{j}$ représente 11 monocouches, et $0,084 \text{ g/m}^2/\text{j}$ représente 42 monocouches. Donc, selon cette explication $0,15 \text{ g}$ ($0,05 \text{ g/m}^2/\text{j}$) représente 25 monocouches et $0,09 \text{ g}$ ($0,03 \text{ g/m}^2/\text{j}$) représente 15 monocouches ce qui rend la vitesse de l'évaporation la plus faible pour le cas d'une dose de 0,15 g. Les comparaisons multiples entre les différences des moyennes montrent que les deux doses appliquées ont un effet, statistiquement, significatif sur la vitesse de l'évaporation.

Les valeurs de la température de l'eau enregistrées dans les bacs de l'évaporation sont comme suit : $33,2 \pm 1,1$ °C dans le bac témoin, $35,4 \pm 1,0$ °C dans le bac d'Octadecanol, $35,5 \pm 0,7$ °C dans le bac du mélange Hexadecanol/Octadecanol et $35,4 \pm 1,6$ °C dans le bac d'Hexadecanol. D'après ces valeurs, la présence des films mono-moléculaires sur la surface de l'eau a aussi une influence sur la température de l'eau. Ce résultat correspond à celui de plusieurs auteurs qui affirment que l'application des films mono-moléculaires sur la surface de l'eau entraîne une augmentation la température au voisinage de sa surface (Saggai et al, 2013 ; Wells et al, 2009 ; Jarvis et al, 1962). D'après Barnes (2008) les films mono-moléculaires ne réduisent pas la quantité d'énergie solaire que l'eau absorbe, mais ils réduisent la quantité de chaleur normalement perdue. Car en empêchant l'évaporation, ils empêchent aussi l'effet de refroidissement de la vaporisation. La différence entre la valeur moyenne de la température de l'eau dans le bac témoin et les

valeurs moyennes enregistrées dans les bacs avec films mono-moléculaires est supérieure à 2°C et elle est statistiquement, significative.

Economiquement, en Algérie, selon Benachenhou(2005), le prix réel d'un mètre cube d'eau varie entre 0,8 et 1 euro, et il peut atteindre 2,5 euros dans les zones rurales, selon Boukhari et al. (2008). Dans notre évaluation économique, nous considérons la valeur de 1 euro pour 1m³ d'eau. Le prix du kilogramme d'Hexadecanol ou d'Octadecanol est de 10 dollars australiens (McJannet et al, 2008), soit un équivalent de 7 euros.

Pour des taux de réduction de l'évaporation de 30 % (cas de 0,336g/m²/3jours), 22 % (cas de 0,15g/m²/3jours), et 16 % (cas de 0,09g/m²/3jours), les gains en eau pour une période de 20 semaines sont successivement de 0,41 m³, 0,3 m³ et 0,22 m³, soit des gains financiers de 0,41 euro, 0,3 euro et 0,22 euro. Les dépenses en matière de substances utilisées sont estimées à 0,13 euro pour le premier cas soit 30 % de réduction, 0,06 euro pour le deuxième cas soit 22 % de réduction, et 0,03 euro pour le troisième cas soit 16 % de réduction.

La différence entre les prix des eaux récupérées et les prix des quantités de substances utilisées, permet des gains, grâce à cette technique et ,pour une durée de 20 semaines et une surface d'eau de 1 m² ,estimés à 0,28 euro (0,21 DA/jour) pour le cas 30 % d'eau récupérée, 0,24 euro (0,18 DA/jour) pour le cas 22 % d'eau récupérée et 0,19 euro (0,14 DA/jour) pour le cas 16 % d'eau récupérée.

Chapitre V

1. Résultats

1.1 Effet des films mono-moléculaires sur la faune aquatique et son environnement (cas de *Tilapia nilotica*)

L'impact de l'utilisation des monocouches sur la faune aquatique et son environnement a été étudié en 2011 et publié en 2013, cas de *Tilapia nilotica*.

1.1.1. Paramètres physico-chimiques

Dans cette première partie on étudie l'influence des films mono-moléculaires sur les différents paramètres physico-chimiques de l'environnement aquatique des larves de *Tilapia nilotica*.

a) Température de l'eau

Les valeurs de la température de l'eau enregistrées durant l'expérience sont représentées dans le graphique suivant (figure 46). La valeur de chaque semaine est la moyenne des valeurs mesurées durant cette semaine

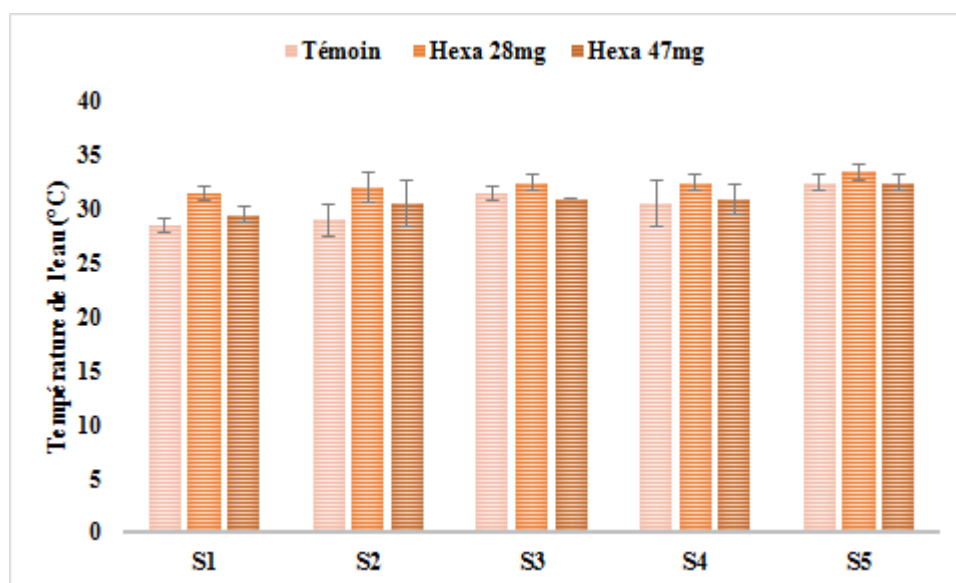


Figure 46. Variation spatio-temporelle de la température de l'eau du milieu des larves

Les températures de l'eau dans les trois aquariums sont comprises entre 28 et 34°C et elles augmentent en allant de la première semaine (S1) vers la dernière semaine (S5). Les valeurs maximales sont enregistrées dans l'aquarium où la surface est couverte par un film mono-moléculaire à base d'Hexadecanol avec une dose de 28 mg, et les valeurs minimales sont enregistrées dans l'aquarium témoin dans la majorité des semaines (S1, S2 et S4) ce qui laisse dire que la présence du film mono-moléculaire a une influence sur la température du milieu aquatique au voisinage de la surface de l'eau.

Tableau 13. Comparaisons multiples. Variable : Température de l'eau. Test de Tukey (Application de l'Hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Tilapia)

(I) Aqua	(J) Aqua	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Témoin	Hexa28mg	-2,0000*	,64233	,012	-3,5926	-,4074
	Hexa47mg	-,50000	,64233	,719	-2,0926	1,0926
Hexa28mg	Témoin	2,0000*	,64233	,012	,4074	3,5926
	Hexa47mg	1,50000	,64233	,068	-,0926	3,0926
Hexa47mg	Témoin	,50000	,64233	,719	-1,0926	2,0926
	Hexa28mg	-1,50000	,64233	,068	-3,0926	,0926

*. La différence moyenne est significative au niveau 0.05.

D'après le tableau numéro 13, et statistiquement parlant, la présence des films mono-moléculaires sur la surface de l'eau a un effet significatif sur la température de l'eau dans le cas d'une dose d'Hexadecanol de 28 mg. Par contre cet effet significatif n'est pas remarqué dans le cas d'une dose de 47 mg.

b) Le potentiel Hydrogène

Le pH est un autre paramètre qui a été suivi pendant l'expérience et les résultats sont représentés dans le graphe suivant (figure 47).

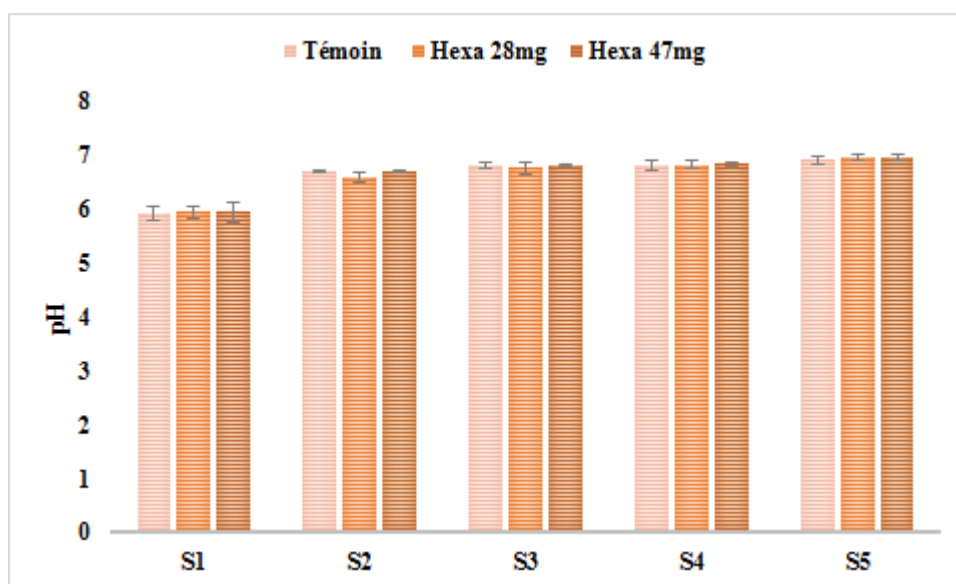


Figure 47. Variation spatio-temporelle du pH du milieu des larves

D'après le graphe les valeurs de pH ne dépassaient pas 7, donc un milieu acide. Elles augmentent en allant de la première semaine (S1) vers la dernière semaine (S5).

Les valeurs, d'un aquarium à un autre pour la même semaine sont presque identiques ce qui laisse dire que le film n'influence pas sur le pH du milieu.

Tableau 14. Comparaisons multiples. Variable : pH. Test de Tukey

(Application de l'hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Tilapia)

(I) Aqua	(J) Aqua	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Témoins	Hexa28mg	,00800	,17221	,999	-,4190	,4350
	Hexa47mg	-,02500	,17221	,988	-,4520	,4020
Hexa28mg	Témoins	-,00800	,17221	,999	-,4350	,4190
	Hexa47mg	-,03300	,17221	,980	-,4600	,3940
Hexa47mg	Témoins	,02500	,17221	,988	-,4020	,4520
	Hexa28mg	,03300	,17221	,980	-,3940	,4600

Le tableau 14 montre que l'application de l'Hexadecanol avec différentes doses sur la surface de l'eau du milieu aquatique de Tilapia engendre une très faible différence entre les moyennes et la présence des films n'a pas d'effet significatif sur le pH.

c) L'oxygène dissous

Vue son importance pour les êtres aquatiques, le taux de l'oxygène dissous dans le milieu aquatique a été contrôlé durant la période expérimentale, et les résultats obtenus sont représentés dans le graphe suivant (figure 48).

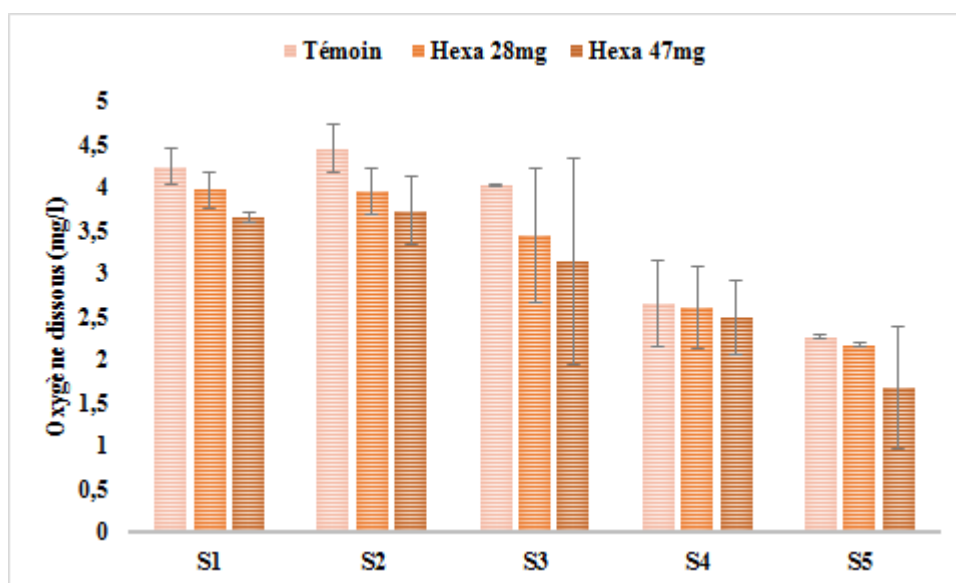


Figure 48. Variation spatio-temporelle de l'oxygène dissous du milieu des larves

Par une simple observation du graphe, il est bien claire que le taux l'oxygène dissous diminue en allant de la première semaine (S1) vers la dernière semaine (S2), la valeur maximale était de 4,46 mg/l dans l'aquarium témoin et la valeur minimale était de 1,68 mg/l dans l'aquarium Hexa 47 mg.

Les valeurs maximales sont remarquées dans l'aquarium témoin pour les cinq semaines et les valeurs minimales sont repérées dans l'aquarium où le milieu aquatique est couvert par un film mono-moléculaire d'hexadecanol d'une dose de 47 mg.

En résumé, la présence continue des films mono-moléculaires sur la surface de l'eau influence sur la température de l'eau et sur le taux d'oxygène dissous mais pas sur le potentiel hydrogène.

Tableau 15. Comparaisons multiples. Variable : Oxygène dissous. Test de Tukey
(Application de l'hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Tilapia)

(I) Aqua	(J) Aqua	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Témoin	Hexa28mg	,29400	,41025	,756	-,7232	1,3112
	Hexa47mg	,58800	,41025	,339	-,4292	1,6052
Hexa28mg	Témoin	-,29400	,41025	,756	-1,3112	,7232
	Hexa47mg	,29400	,41025	,756	-,7232	1,3112
Hexa47mg	Témoin	-,58800	,41025	,339	-1,6052	,4292
	Hexa28mg	-,29400	,41025	,756	-1,3112	,7232

En se référant au tableau 15, il y a une différence entre les moyennes de concentration de l'oxygène dissous mais cette différence n'est pas, statistiquement, significatif.

1.1.2. Les paramètres biologiques

Les paramètres biologiques examinés dans notre expérience sont la masse et la longueur donc la taille des larves de *Tilapia nilotica* et le taux de mortalité.

a) La masse

Les valeurs de la masse sont données pour une larve ; et elles sont représentées dans le graphe suivant (figure 49).

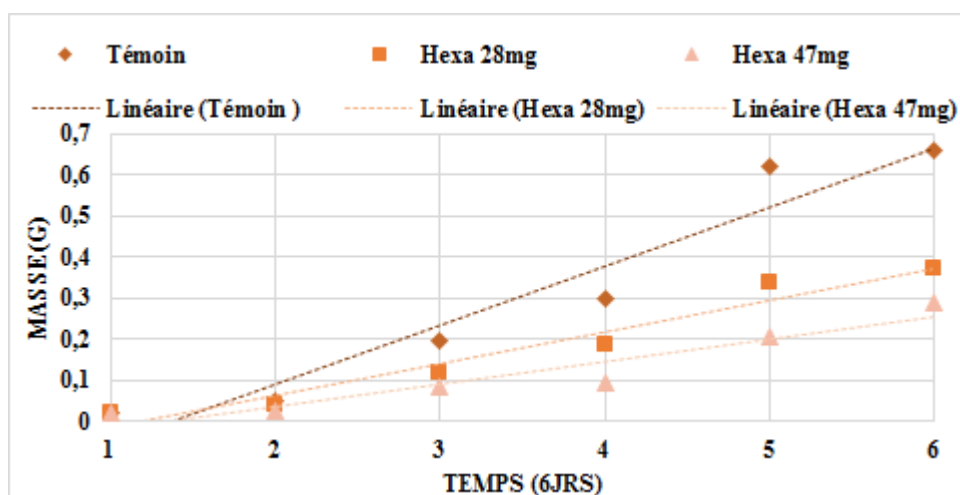


Figure 49. Variation de la masse des larves dans les trois aquariums

D'après le graphe, la masse des larves augmente d'une façon rapide dans l'aquarium témoin, cette vitesse d'augmentation de la masse est faible dans le cas des larves de l'aquarium où la surface est couverte par un film mono-moléculaire d'une dose de 47 mg.

A la fin de l'expérience, la masse de larve est 0,66 g dans l'aquarium témoin, 0,37g dans l'aquarium où la surface du milieu est couverte par un film mono-moléculaire d'une quantité d'Hexadecanol de 28 mg et 0,29 g pour l'aquarium de 47 mg d'Hexadecanol.

b) La longueur

La longueur des larves a été aussi contrôlée durant l'expérience, et les valeurs enregistrées sont représentées dans le graphe suivant (figure 50).

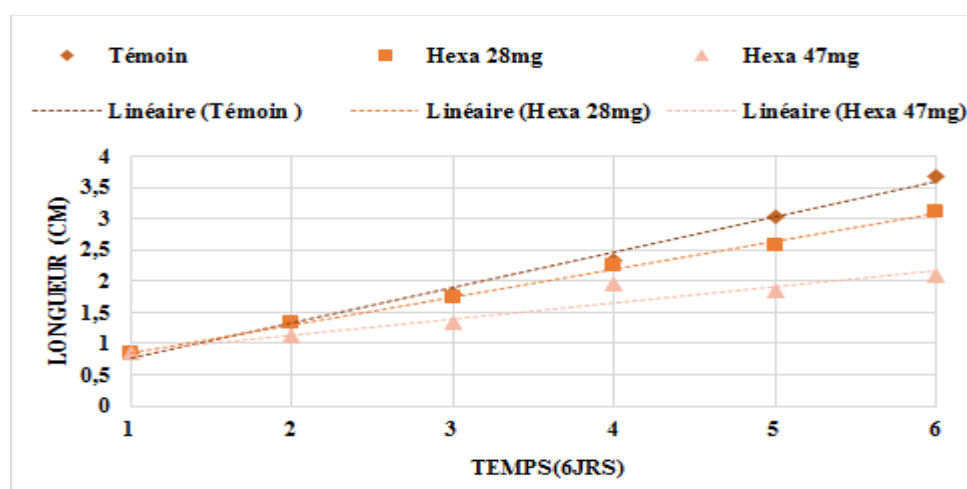


Figure 50. Variation de la longueur des larves dans les trois aquariums

A la fin de l'expérience, les larves de l'aquarium témoin sont plus longues que celles des aquariums couverts par les films mono-moléculaires.

La vitesse de l'augmentation de la longueur est bien supérieure à celle des deux aquariums avec films mono-moléculaires.

Les valeurs des longueurs dans les trois aquariums à la fin de l'expérience sont : 3,68 cm dans l'aquarium témoin, 3,11 cm dans l'aquarium avec film mono-moléculaire de 28 mg d'hexadecanolet 2,1 cm dans l'aquarium avec film mono-moléculaire de 47 mg d'hexadecanol.

c) La mortalité

Le suivi des taux de mortalité durant la période de l'expérience était indispensable pour connaître si les films mono-moléculaires sont la cause de cette mortalité.

Les résultats obtenus sont représentés par le graphe ci-après (figure 51).

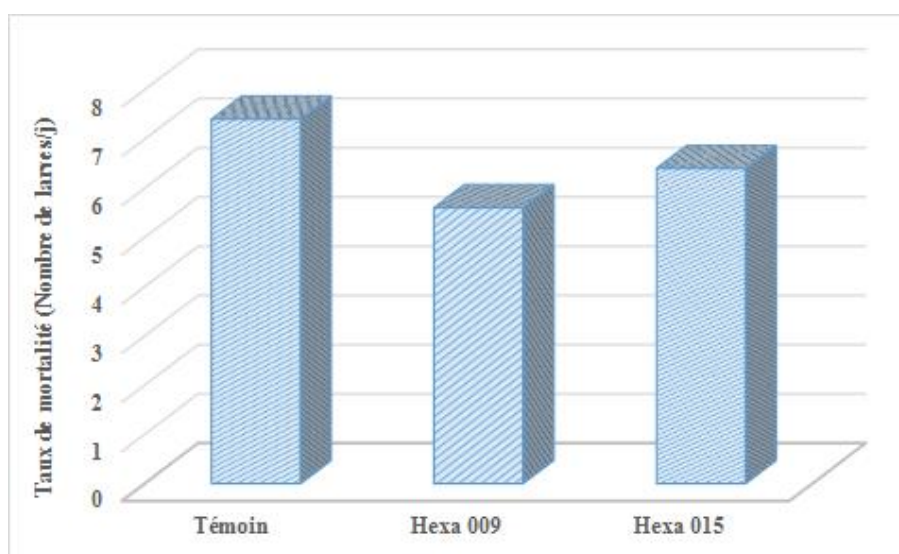


Figure 51. Moyenne de larves mortes par semaine

D'après le graphe, le nombre des larves mortes est important dans l'aquarium témoin par rapport à l'aquarium avec faible quantité d'Hexadecanol.

En résumé, sur le plan biologique l'application continue de l'hexadecanol sur la surface d'un milieu aquatique contenant des larves de *Tilapia nilotica*, influe sur le taux de croissance de ces dernières mais ne cause pas leur mortalité.

1.2. Effet des films mono-moléculaires sur la flore aquatique et son milieu (cas de Spiruline)

Les résultats des mesures faites pendant la période d'étude sont représentés par des moyennes hebdomadaires. Les résultats sont répartis en deux groupes : physico-chimiques et biologiques.

1.2.1. Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques contrôlés dans cette étude sont la température de l'eau, le pH, l'oxygène dissous et la salinité.

a) La température de l'eau

La température de l'eau, est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques. Elle agit sur plusieurs facteurs dans l'eau. Pour cela, elle est suivie dans cette expérience et les résultats sont représentés dans le graphe de la figure 52 suivante.

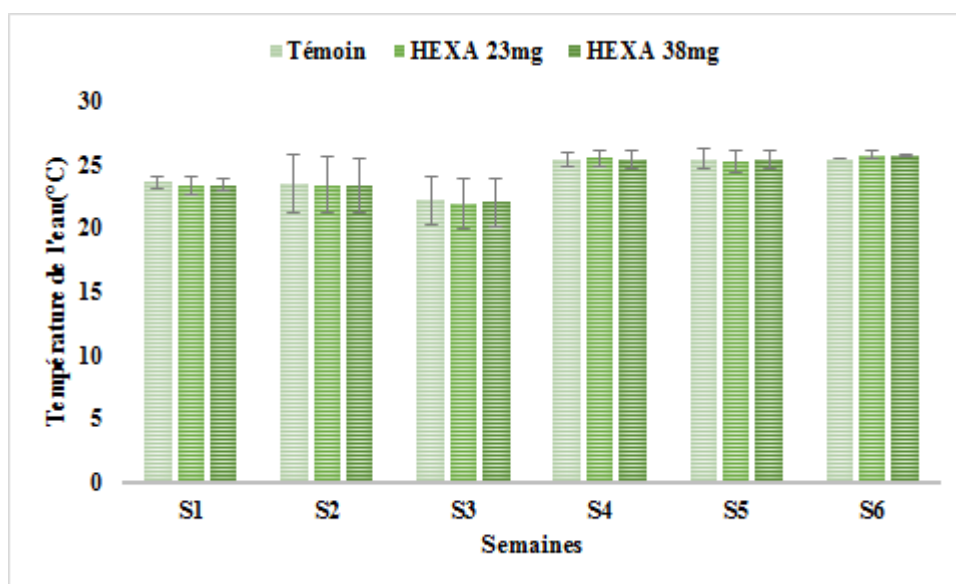


Figure 52. Variation spatio-temporelle de la température de l'eau du milieu de la spiruline

La première constatation à faire c'est que la température de l'eau dans les trois aquariums augmente en allant de la première semaine (S1) vers la dernière semaine (S6) et elle varie entre 22 et 24°C.

La température de l'eau n'est pas différente d'un aquarium à un autre pour la même semaine, ce qui ramène à dire que les films mono-moléculaires dans ce cas n'ont pas d'effet sur la température de l'eau.

Tableau 16. Comparaisons multiples. Variable : Température de l'eau. Test de Tukey
(Application de l'Hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Spiruline)

(I) Aqua	(J) Aqua	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Témoin	Hexa23mg	,08347	,85133	,995	-2,1278	2,2948
	Hexa38mg	,06003	,85133	,997	-2,1513	2,2713
Hexa23mg	Témoin	-,08347	,85133	,995	-2,2948	2,1278
	Hexa38mg	-,02344	,85133	1,000	-2,2347	2,1879
Hexa38mg	Témoin	-,06003	,85133	,997	-2,2713	2,1513
	Hexa23mg	,02344	,85133	1,000	-2,1879	2,2347

Dans un milieu aquatique de la spiruline, la présence ou l'absence des films mono-moléculaires n'a pas d'effet significatif, statistiquement parlant, sur la température de l'eau du milieu car la différence entre les moyennes est très faible.

b) Le potentiel hydrogène

En raison de son effet sur la production (croissance) de la spiruline, le pH a été aussi contrôlé et les résultats obtenus sont représentés dans la figure 53 qui suit.

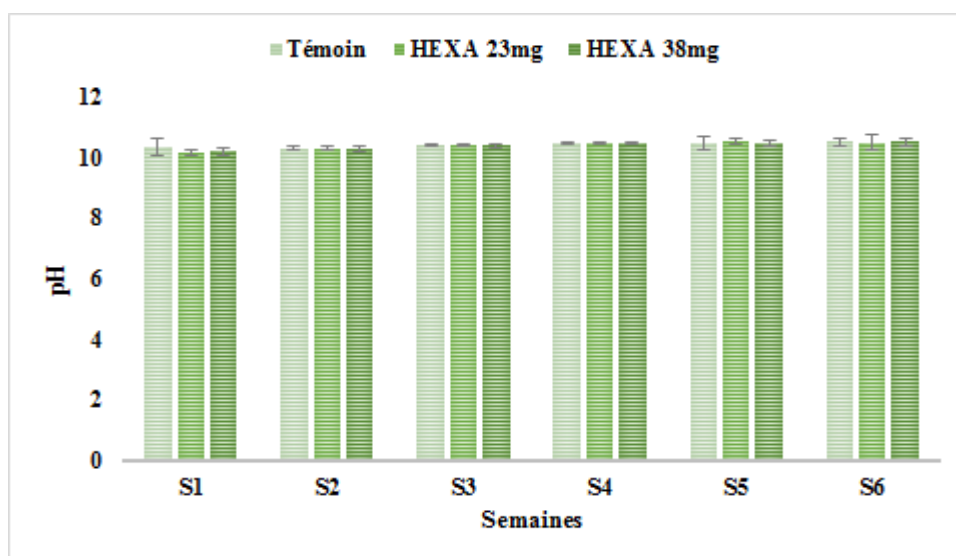


Figure 53. Variation spatio-temporelle de pH du milieu de la spiruline

D'après le graphe le pH varie entre 10 et 11 donc supérieur à 7 ce qui implique que le milieu aquatique est alcalin. La différence entre les valeurs enregistrées dans les trois aquariums pour la même semaine est presque nulle ce qui conduit à conclure que le film mono-moléculaire n'a pas d'influence sur le pH du milieu.

Tableau 17. Comparaisons multiples. Variable : pH. Test de Tukey (Application de l'hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Spiruline)

(I) Aqua	(J) Aqua	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Témoin	Hexa23mg	,03353	,06829	,877	-,1439	,2109
	Hexa38mg	,03867	,06829	,840	-,1387	,2161
Hexa23mg	Témoin	-,03353	,06829	,877	-,2109	,1439
	Hexa38mg	,00514	,06829	,997	-,1723	,1825
Hexa38mg	Témoin	-,03867	,06829	,840	-,2161	,1387
	Hexa23mg	-,00514	,06829	,997	-,1825	,1723

D'après le tableau 17, le pH des milieux aquatiques de la spiruline n'est pas influencé par la présence ou l'absence des films mono-moléculaires.

c) L'oxygène dissous

L'excès ou le manque de l'oxygène dans le milieu aquatique a une influence sur le comportement de la spiruline. La figure 54 qui suit montre la variation spatio-temporelle de l'oxygène dissous dans le milieu aquatique.

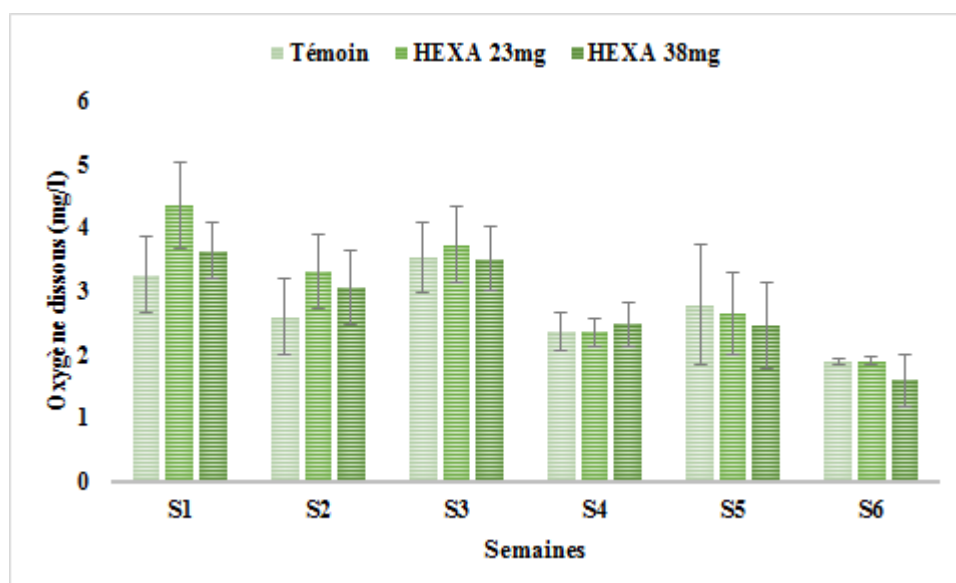


Figure 54. Variation spatio-temporelle de l'oxygène dissous du milieu de la spiruline

En allant de la première semaine à la dernière, le taux de l'oxygène dissous dans les trois aquariums diminue. La valeur maximale est enregistrée dans l'aquarium à faible dose d'alcool (23 mg) avec 4,4 mg/l dans la première semaine et la valeur minimale dans l'aquarium à forte dose d'Hexadecanol (38 mg) avec 1,6 mg/l dans la dernière semaine.

Dans la majorité des semaines (à l'exception de la semaine S4) le taux d'oxygène dissous était faible dans l'aquarium à grande dose d'Hexadecanol et dans la majorité des semaines les taux élevés étaient enregistrés dans l'aquarium à faible dose d'Hexadecanol. Ce résultat montre que la présence des films mono-moléculaires sur la surface des milieux aquatiques a un effet sur le taux de l'oxygène dissous dans le milieu aquatique.

Le tableau 18 qui suit vient pour présenter les comparaisons multiples entre les moyennes de la concentration de l'oxygène dissous dans les trois aquariums. D'après ces comparaisons, il est bien remarqué qu'il y a une différence des moyennes de

concentration de l'oxygène dissous causée par la présence des films mono-moléculaires. Mais cette différence n'a pas d'effet significatif sur la concentration de l'oxygène dissous.

Tableau 18. Comparaisons multiples. Variable : Oxygène dissous. Test de Tukey (Application de l'Hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Spiruline)

(I) Aqua	(J) Aqua	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Témoin	Hexa23mg	-,31300	,44869	,768	-1,4785	,8525
	Hexa38mg	-,05433	,44869	,992	-1,2198	1,1111
Hexa23mg	Témoin	,31300	,44869	,768	-,8525	1,4785
	Hexa38mg	,25867	,44869	,835	-,9068	1,4241
Hexa38mg	Témoin	,05433	,44869	,992	-1,1111	1,2198
	Hexa23mg	-,25867	,44869	,835	-1,4241	,9068

d) La salinité

La salinité est aussi un facteur qui influe relativement sur la culture de la spiruline. Sa détermination a un rôle dans l'interprétation du comportement de cette micro-algue.

Les résultats de suivi de la salinité durant notre expérience sont représentés dans le graphe de la figure 55.

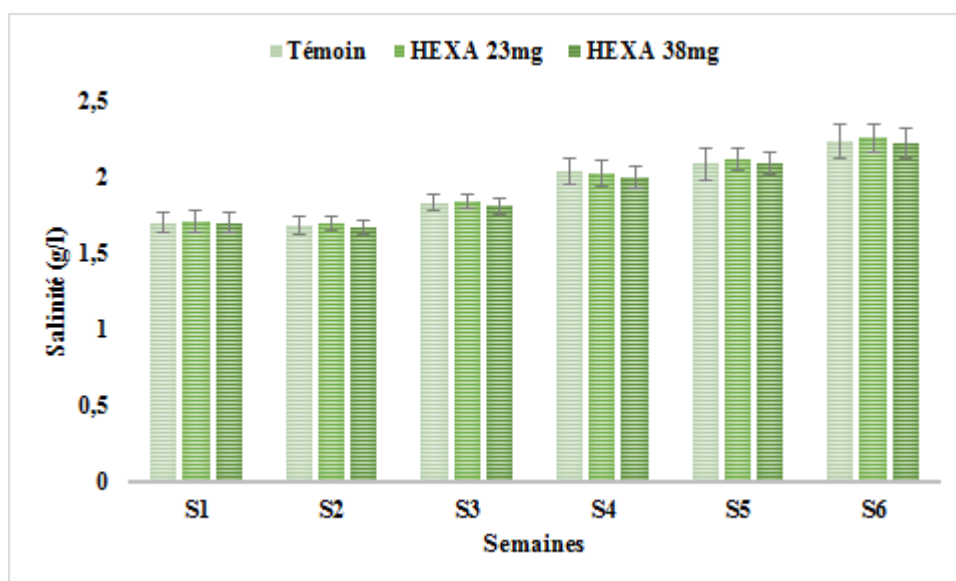


Figure 55. Variation spatio-temporelle de la salinité du milieu de la spiruline

La salinité, d'après la figure, croit avec le temps, et elle est comprise entre 1,7 et 2,3 g/l. D'un aquarium à un autre la salinité ne varie pas et cela durant toutes les semaines de l'expérience.

En résumé, la présence des films mono-moléculaires sur la surface d'un milieu aquatique contenant de la spiruline n'affecte pas la température de l'eau, le pH, et la salinité. Pour l'oxygène dissous l'application des films mono-moléculaires entraîne une variation du taux d'oxygène dans le milieu aquatique en l'augmentant par rapport à l'aquarium témoin dans le cas de faible dose d'Hexadecanol et en le diminuant toujours par rapport à l'aquarium témoin dans le cas d'une haute quantité d'Hexadecanol.

Tableau 19. Comparaisons multiples. Variable : Salinité. Test de Tukey
(Application de l'Hexadecanol à différentes doses sur les milieux aquatiques de Spiruline)

(I) Aqua	(J) Aqua	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Témoin	Hexa23mg	-,00978	,13049	,997	-,3487	,3292
	Hexa38mg	,01447	,13049	,993	-,3245	,3534
Hexa23mg	Témoin	,00978	,13049	,997	-,3292	,3487
	Hexa38mg	,02425	,13049	,981	-,3147	,3632
Hexa38mg	Témoin	-,01447	,13049	,993	-,3534	,3245
	Hexa23mg	-,02425	,13049	,981	-,3632	,3147

La différence des moyennes donnée dans le tableau 19 montre qu'il n'y a pas d'effet significatif des films mono-moléculaire sur la salinité des milieux aquatiques.

1.2.2. Paramètres biologiques

Les paramètres biologiques analysés durant notre expérience étaient la densité des individus (filaments) et la chlorophylle *a*.

Ces deux paramètres vont nous permettre d'évaluer la croissance de la spiruline en présence des films mono-moléculaires.

a) Densité des filaments

La spiruline se présente sous la forme d'un filament pluricellulaire bleu-vert, mobile, non ramifié et enroulé en spirale. La figure 56 représente l'évolution temporelle de la densité moyenne des micro-algues identifiées dans chaque aquarium (une période représente la moyenne de deux semaines).

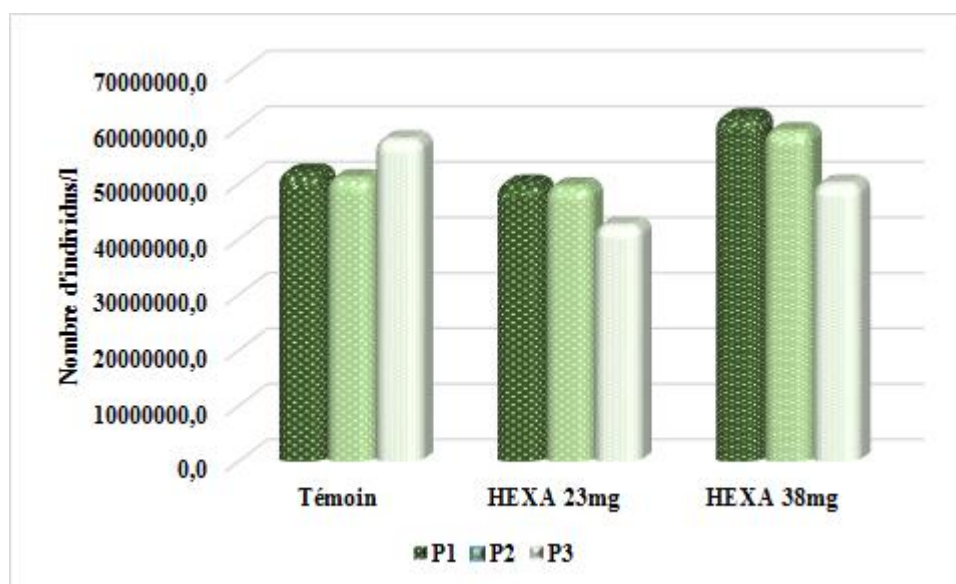


Figure 56. Variations spatio-temporelles de la densité moyenne des individus identifiés

D'après le graphe, en allant de la première période à la dernière le nombre des individus diminue dans les aquariums avec films mono-moléculaires et augmente dans l'aquarium témoin. Le taux de diminution est élevé dans le cas de l'aquarium couvert par un film d'une dose de 38 mg (23%). Pour l'aquarium témoin, le nombre des individus augmente mais avec un faible taux (9%).

b) Chlorophylle *a*

Les résultats du dosage de la chlorophylle *a* sont représentés dans les figures 57a et 57b, la première représente le dosage dans les trois aquariums après deux semaines du début des expériences, et la deuxième représente le dosage dans les trois aquariums à la fin des expériences.

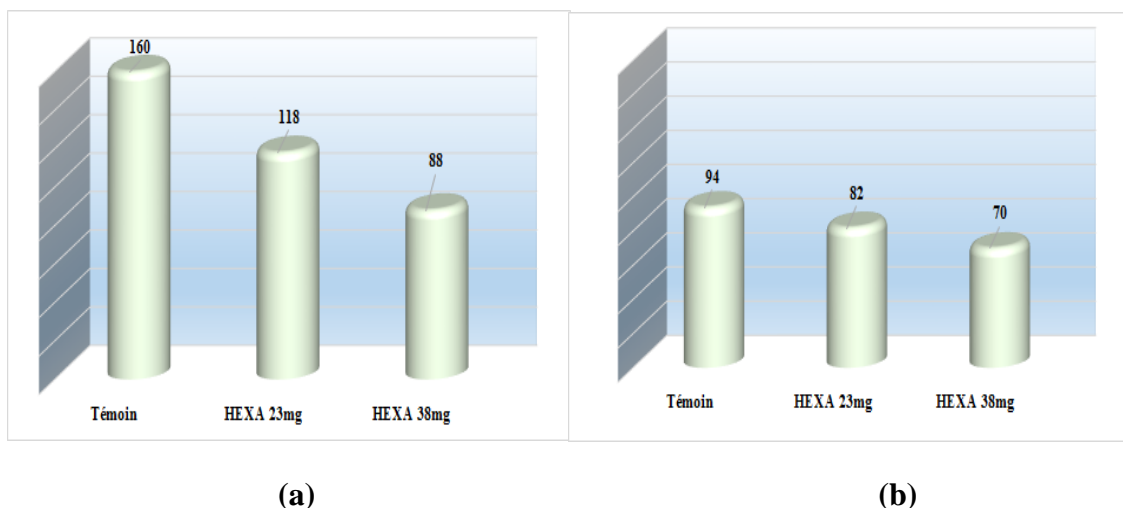


Figure 57. (a) Dosage de la chlorophylle *a* (mg/m^3) après deux semaines de début des expériences, (b) Dosage de la chlorophylle *a* (mg/m^3) à la fin des expériences.

Les figures 65(a) et 65(b) montrent qu'il y a un abaissement dans la dose de la chlorophylle *a* dans les trois aquariums. Le taux de diminution de la dose varie d'un aquarium à un autre (47% pour l'aquarium témoin, 30% pour l'aquarium de 23mg d'Hexadecanolet 22% pour l'aquarium de 38 mg d'Hexadecanol). Donc le taux de diminution est élevé dans l'aquarium témoin non couvert par le film mono-moléculaire d'Hexadecanol ($66 \text{ mg}/\text{m}^3$) et il est le plus faible dans le cas de l'aquarium où le film mono-moléculaire est à base de 38 mg d'Hexadecanol ($18 \text{ mg}/\text{m}^3$).

Pour résumer on peut dire que la présence des films mono-moléculaires sur la surface du milieu aquatique contenant la spiruline contribue à la diminution de la densité des filaments et l'affaiblissement de la vitesse de diminution de la dose de la chlorophylle *a*.

1.3. Effet des films mono-moléculaires sur la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine

Nos recherches ont porté sur les impacts des films mono-moléculaires sur la faune et la flore aquatiques pour répondre aux préoccupations des consommateurs, il était indispensable de faire des expériences pour vérifier l'impact des films mono-moléculaires sur la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine. Les paramètres vérifiés sont des paramètres physico-chimiques et biologiques pour une eau de robinet.

1.3.1. Paramètres physico-chimiques

Les paramètres physico-chimiques suivis dans notre expérience sont : la température de l'eau, le pH, l'oxygène dissous, la salinité et la turbidité.

a) La température de l'eau

Les résultats de suivi de la température de l'eau sont représentés dans la figure 58 suivante.

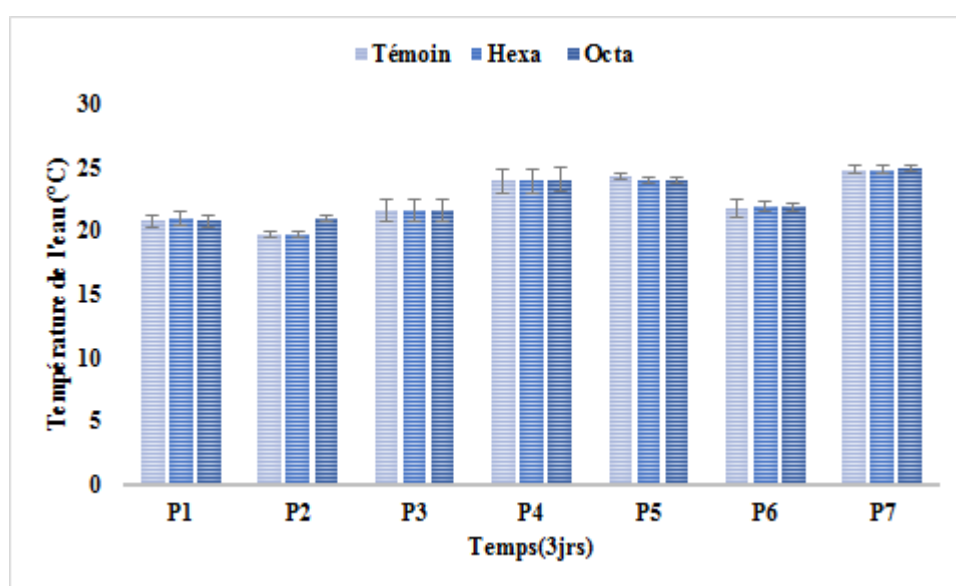


Figure 58. Variation spatio-temporelle de la température de l'eau

D'après le graphe, la température de l'eau augmente avec le temps et elle varie entre 20 et 25 °C. D'un aquarium à un autre pour la même période la température de l'eau ne varie pas. Ce qui veut dire que les films mono-moléculaires n'ont pas d'effet sur la température de l'eau.

Tableau 20. Comparaisons multiples. Variable : Température de l'eau. Test de Tukey (Application d'Hexadecanol et d'Octadecanol sur une eau destinée à la consommation)

(I) Aqua	(J) Aqua	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Témoin	Hexa	-,01429	,99130	1,000	-2,5442	2,5157
	Octa	-,18571	,99130	,981	-2,7157	2,3442
Hexa	Témoin	,01429	,99130	1,000	-2,5157	2,5442
	Octa	-,17143	,99130	,984	-2,7014	2,3585
Octa	Témoin	,18571	,99130	,981	-2,3442	2,7157
	Hexa	,17143	,99130	,984	-2,3585	2,7014

Selon le tableau 20, température de l'eau n'est pas influencée significativement par la présence des films mono-moléculaires.

b) Le potentiel Hydrogène

La détermination du pH et un moyen qui permet de déduire la qualité de l'eau, les résultats de suivi de ce paramètre sont représentés par le graphe de la figure 59 suivante.

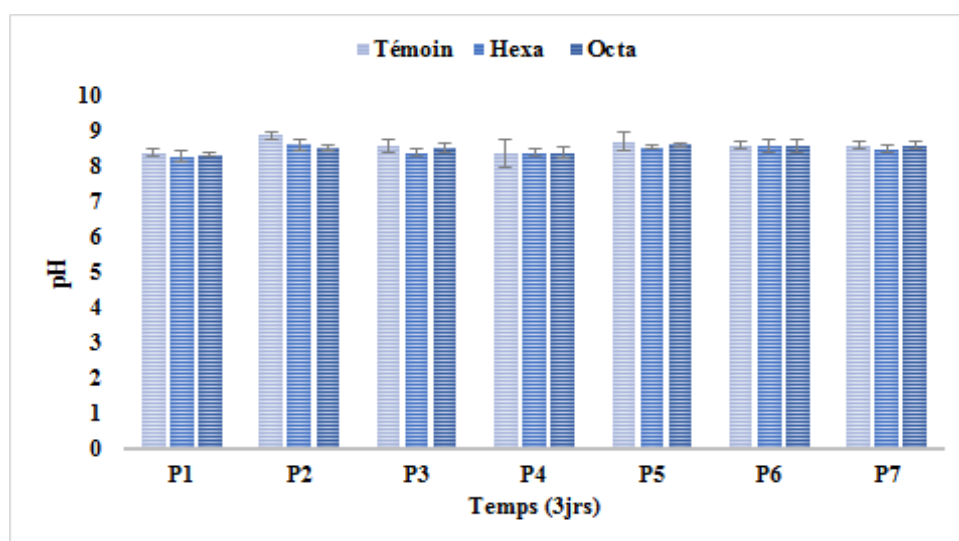


Figure 59. Variation spatio-temporelle de pH de l'eau

Les valeurs de pH enregistrées durant l'expérience sont entre 8 et 9. Le graphe montre que le pH ne varie pas trop ni dans le temps (de P1 à P7) ni dans l'espace (d'un aquarium à un autre), ce qui amène à dire que les films mono-moléculaires n'ont pas d'effet sur le pH de l'eau.

**Tableau 21. Comparaisons multiples. Variable : pH. Test de Tukey
(Application d'Hexadecanol et d'Octadecanol sur une eau destinée à la consommation)**

(I) Aqua	(J) Aqua	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Témoin	Hexa	,11667	,07385	,280	-,0718	,3051
	Octa	,08095	,07385	,529	-,1075	,2694
Hexa	Témoin	-,11667	,07385	,280	-,3051	,0718
	Octa	-,03571	,07385	,880	-,2242	,1528
Octa	Témoin	-,08095	,07385	,529	-,2694	,1075
	Hexa	,03571	,07385	,880	-,1528	,2242

Comme pour la température de l'eau, le tableau 21 montre que la différence de moyennes n'est pas significative, en présence et en absence des films mono-moléculaires, sur le pH.

c) L'oxygène dissous

D'habitude pour l'eau destinée à la consommation humaine, la détermination de l'oxygène dissous n'est obligée, mais dans notre expérience on avait besoin de le faire. Sa détermination va nous permettre de vérifier si la présence des films mono-moléculaires va engendrer d'autres phénomènes relatifs à la hausse ou la baisse de l'oxygène dans l'eau.

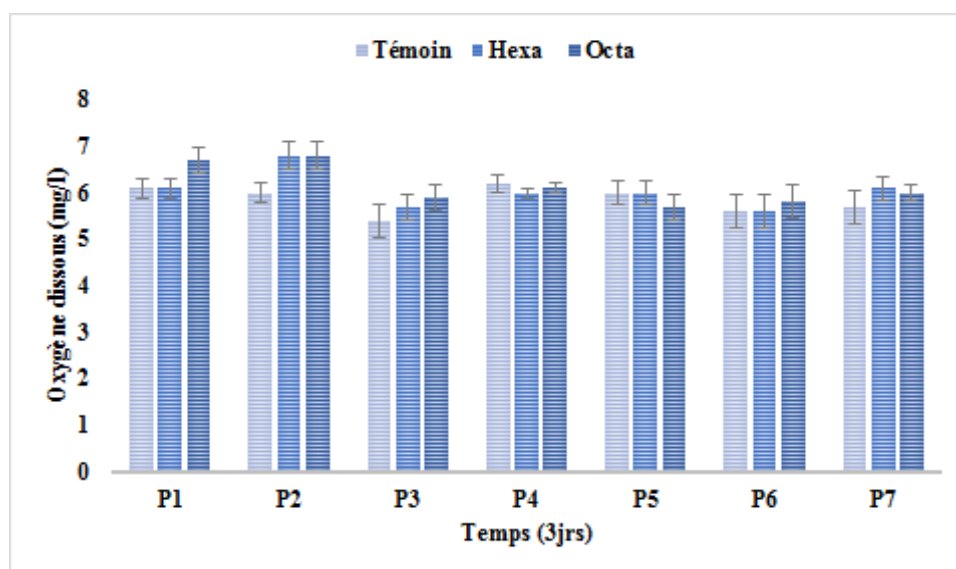


Figure 60. Variation spatio-temporelle de l'oxygène dissous dans l'eau

Le graphe montre que le taux de l'oxygène dissous dans tous les aquariums varie entre 5 et 7 mg/l ce qui montre qu'il n'y a pas de grandes différences dans le taux de l'oxygène. Donc, on peut dire que les films mono-moléculaires n'ont pas d'effet sur le taux de l'oxygène dissous.

Tableau 22. Comparaisons multiples. Variable : Oxygène dissous. Test de Tukey
(Application d'Hexadecanol et d'Octadecanol sur une eau destinée à la consommation)

(I) Aqua	(J) Aqua	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Témoïn	Hexa	-,18571	,20124	,633	-,6993	,3279
	Octa	-,28571	,20124	,352	-,7993	,2279
Hexa	Témoïn	,18571	,20124	,633	-,3279	,6993
	Octa	-,10000	,20124	,874	-,6136	,4136
Octa	Témoïn	,28571	,20124	,352	-,2279	,7993
	Hexa	,10000	,20124	,874	-,4136	,6136

D'après le tableau 22, les films mono-moléculaires n'ont pas d'effet significatif sur la concentration de l'oxygène dissous dans l'eau.

d) La salinité

Qui dit salinité de l'eau destinée à la consommation humaine dit goût indésirable par l'homme. A partir de ce principe, il est indispensable de vérifier la salinité de l'eau destinée à la consommation humaine couverte par des films mono-moléculaires.

Le suivi de ce paramètre a permis de tracer le graphe de la figure 61 suivante sachant que l'eau du robinet utilisée est une eau saumâtre.

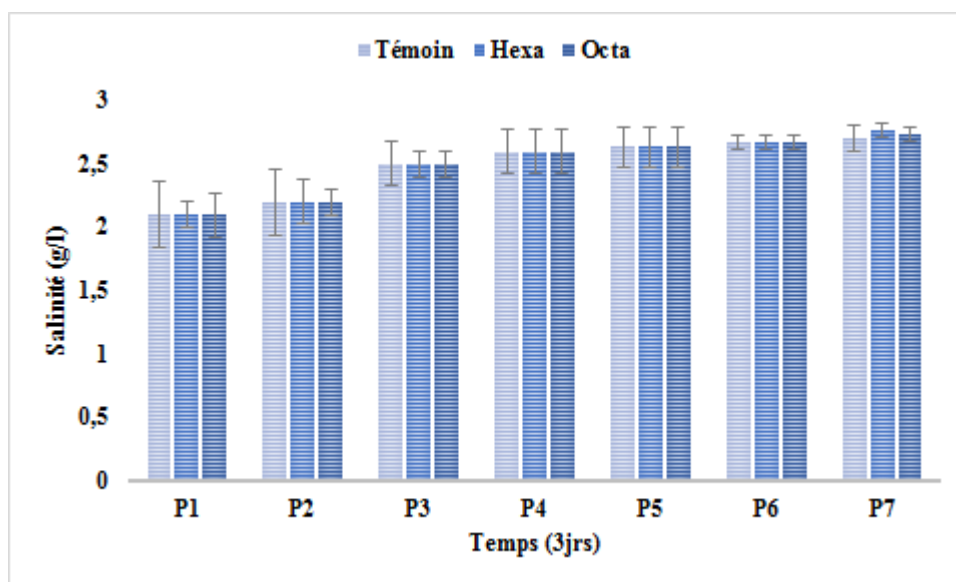


Figure 61. Variation spatio-temporelle de la salinité dans l'eau

D'après le graphe la salinité varie entre 2,2 et 2,7 mg/l, elle est minimale dans les trois premiers jours puis devient de plus en plus importante pour atteindre la valeur de 2,7 mg/l dans les trois derniers jours.

Tableau 23. Comparaisons multiples. Variable : Salinité. Test de Tukey
(Application d'Hexadecanol et d'Octadecanol sur une eau destinée à la consommation)

(I) Aqua	(J) Aqua	Différence de moyennes (I-J)	Erreur standard	Signification	Intervalle de confiance à 95%	
					Borne inférieure	Borne supérieure
Témoin	Hexa	-,00952	,13093	,997	-,3437	,3246
	Octa	-,00476	,13093	,999	-,3389	,3294
Hexa	Témoin	,00952	,13093	,997	-,3246	,3437
	Octa	,00476	,13093	,999	-,3294	,3389
Octa	Témoin	,00476	,13093	,999	-,3294	,3389
	Hexa	-,00476	,13093	,999	-,3389	,3294

La salinité elle aussi n'est pas influencée par la présence des films mono-moléculaire sur la surface de l'eau. La différence de moyennes mentionnée dans le tableau 23 montre qu'il n'y a pas d'effet significatif sur la salinité de l'eau.

e) La turbidité

La turbidité permet de définir le degré de l'opacité d'un milieu trouble. Les valeurs enregistrées de ce paramètre sont représentées par la figure 70 suivante.

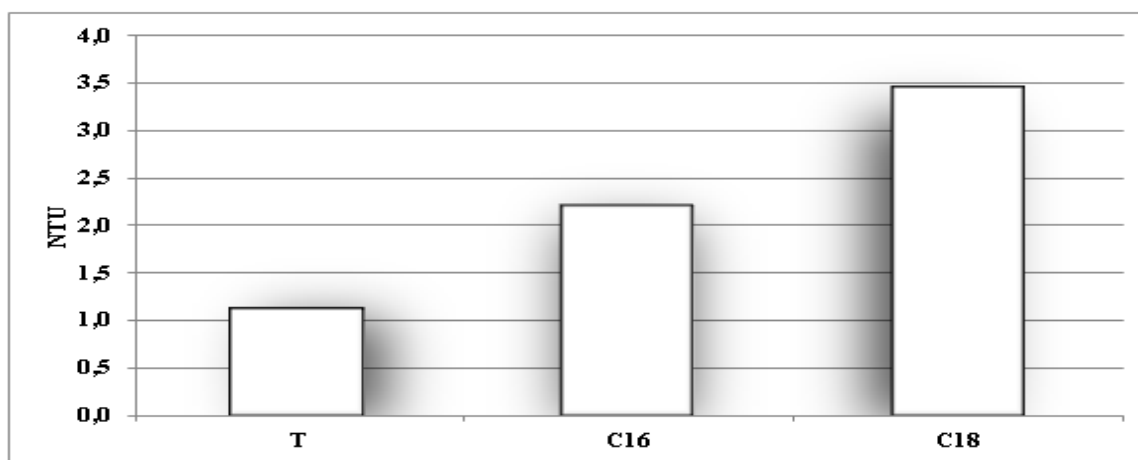


Figure 62. La turbidité dans les aquariums

D'après la figure, la turbidité est maximale dans l'aquarium avec films mono-moléculaires à base d'Octadecanol (3,4 NTU) et elle est la plus faible dans l'aquarium témoin (1,1 NTU).

1.3.2. Les paramètres biologiques

Les valeurs de la turbidité nous ont poussées à faire des analyses pour déterminer l'origine de la turbidité. Les deux paramètres examinés sont la chlorophylle *a* et le nombre des bactéries.

a) La chlorophylle *a*

L'examen de la chlorophylle *a* vers la fin des expériences nous a conduits à tracer le graphe de la figure 71 suivante.

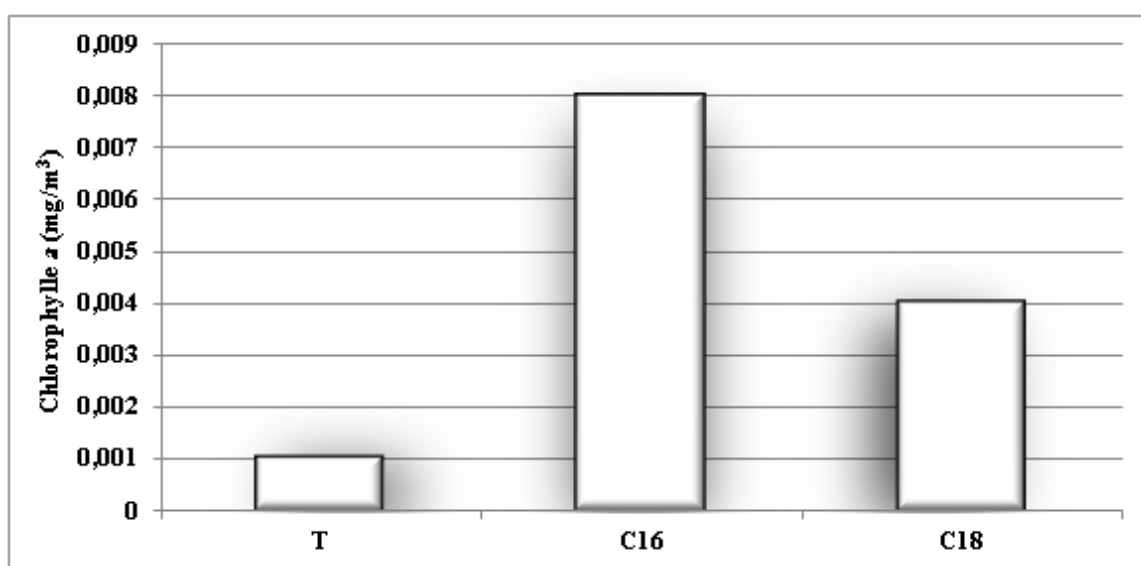


Figure 63. Le dosage de la chlorophylle *a*

Figure montre que le dosage de la chlorophylle est très faible (inférieur à 0,008 mg/m³). Ces valeurs, bien qu'elles soient presque négligeables, montrent qu'il y a des traces de la biomasse du phytoplancton. Ces constatations viennent pour dire que la présence des films mono-moléculaires contribue dans l'augmentation de la chlorophylle *a*.

b) Les bactéries

L'objectif de nos expériences est de déterminer le nombre de bactéries et ne pas de les identifier. Le résultat de la détermination du nombre de bactéries par la méthode de dénombrement en milieu solide a permis de tracer le graphe de la figure 64 suivante.

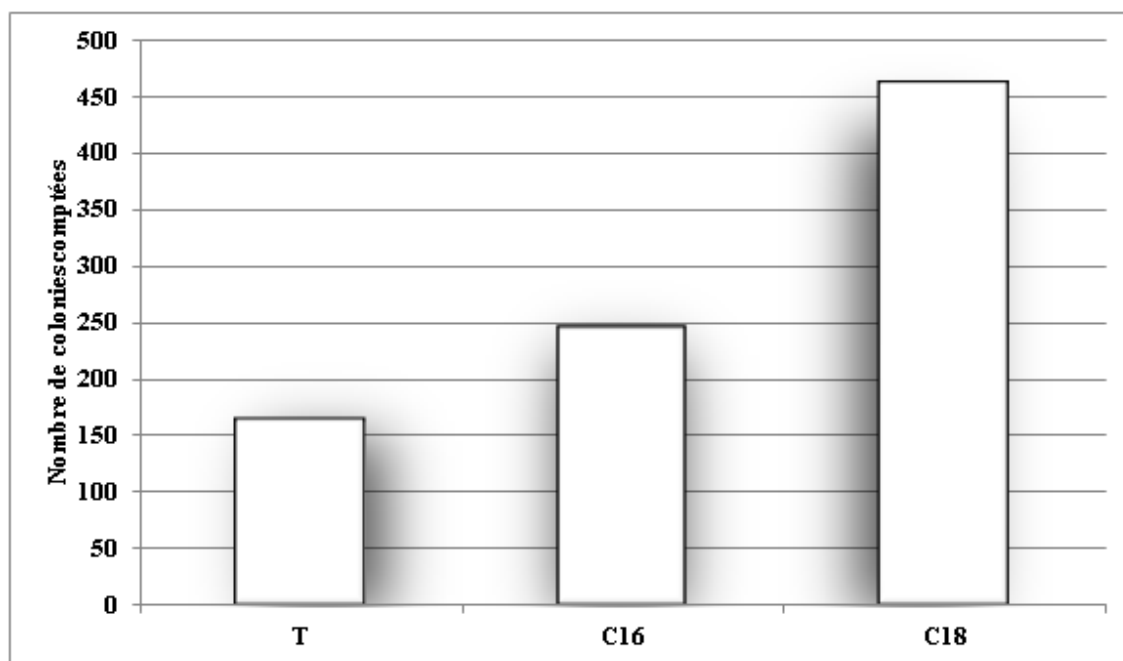


Figure 64. Le nombre de colonies comptées

D'après le graphe il est bien clair que les films mono-moléculaires contribuent à l'augmentation du nombre de bactéries dans l'eau.

Discussion générale

La technique de la réduction des films mono-moléculaires permet de récupérer des quantités considérables d'eau mais en contrepartie, elle contribue à des changements dans le milieu aquatique, les êtres aquatiques et la qualité de l'eau. C'est le résultat général obtenu pour les différentes expériences effectuées au niveau des laboratoires d'aquaculture et de microbiologie.

La température de l'eau est un facteur écologique qui entraîne d'importantes répercussions écologiques (Leynaud, 1968). Elle agit sur la densité, la viscosité, la solubilité des gaz

dans l'eau, la dissociation des sels dissous, de même que sur les réactions chimiques et biochimiques, le développement et la croissance des organismes vivants dans l'eau, particulièrement les microorganismes (OMS, 1987).

Dans le milieu aquatique des larves de *Tilapia nilotica*, la température de l'eau était de $30,4 \pm 1,8$ °C dans l'aquarium témoin, de $32,4 \pm 0,9$ °C dans l'aquarium avec 28 mg d'Hexadecanol et de $30,9 \pm 1,3$ °C dans l'aquarium de 47 mg d'Hexadecanol. Donc, elle est légèrement supérieure dans les aquariums avec films mono-moléculaires (Saggai et al, 2013), mais en général se trouvant dans l'intervalle de tolérance pour la croissance des larves (8°C à 42°C) (Sarig, 1969 & Mires, 1995). Bien qu'il y ait des différences entre les moyennes enregistrées dans les aquariums à cause de la présence des films mono-moléculaires mais, ces différences ne sont pas significatives dans le cas des films d'une dose de 47 mg.

Pour le milieu aquatique de la spiruline, la température de l'eau pour toute la période expérimentale était de $24,3 \pm 1,3$ °C dans l'aquarium témoin, $24,2 \pm 1,5$ °C dans l'aquarium de 23 mg d'Hexadecanol et $24,2 \pm 1,5$ °C dans l'aquarium de 38 mg d'Hexadecanol. La température de l'eau est presque identique dans les trois aquariums. Dans l'ensemble, les valeurs obtenues restent dans l'intervalle toléré pour la croissance de cette algue, compris entre 20 et 40°C (Jourdan, 2006). Statistiquement et en se référant aux valeurs de la différence des moyennes, la présence des films mono-moléculaires n'a pas d'effet significatif sur la température de l'eau.

La température de l'eau dans les aquariums avec et sans films mono-moléculaires pour le cas du contrôle de la qualité de l'eau était de $22,4 \pm 1,9$ °C dans l'aquarium témoin, de $22,4 \pm 1,8$ °C dans l'aquarium de 47 mg d'Hexadecanol et de $22,6 \pm 1,6$ °C dans l'aquarium avec 47 mg d'Octadecanol. Donc, la température de l'eau est presque identique dans les trois aquariums et la présence des films mono-moléculaires sur la surface d'une eau destinée à la consommation humaine n'a pas d'influence sur la température de l'eau dans les conditions de laboratoire, et c'est le même constat fait par Saggai et al. (2014). Statistiquement parlant, les valeurs dans la colonne de la différence des moyennes

montrent que la présence des films mono-moléculaires n'a pas d'effet significatif sur la température de l'eau.

Le pH (potentiel Hydrogène) mesure la concentration en ions H^+ de l'eau. Il traduit ainsi la balance entre acides et bases sur une échelle de 0 à 14, où 7 étant le pH de neutralité. Ce paramètre conditionne un grand nombre d'équilibres physico-chimiques, et dépend de facteurs multiples, dont la température et l'origine de l'eau. Il représente une indication importante en ce qui concerne l'agressivité de l'eau (aptitude à dissoudre le calcaire). Dans les eaux naturelles, les valeurs du potentiel Hydrogène se situent entre 6 et 8,5 (Chapman & Kimstach, 1996).

Dans nos expériences, le pH est acide et varie entre 5,82 et 7 dans le milieu aquatique des larves de *Tilapia* : $6,6 \pm 0,3$ dans l'aquarium témoin, $6,6 \pm 0,3$ dans l'aquarium avec 28 mg d'Hexadecanol et $6,6 \pm 0,3$ dans l'aquarium avec 47 mg d'Hexadecanol. Considérant les conditions de croissance, les valeurs enregistrées sont dans l'intervalle de tolérances (3,7 et 11), selon Ross (2000).

Pour le milieu aquatique la spiruline, la présence des films mono-moléculaires n'a pas d'effets sur le pH du milieu aquatique. Les trois milieux sont alcalins (pH compris entre 10 et 11). Ces valeurs sont selon certains auteurs favorables à la prolifération de la spiruline, dont la croissance est obtenue pour un pH de 8 à 11,5 (Charpy et al, 2008) ; Brock (1973) rapporte qu'un pH du milieu inférieur à 5, ce qui n'est pas notre cas, élimine la vie et la croissance des cyanobactéries.

Dans le cas de la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine, les valeurs du pH sont presque identiques dans les trois aquariums : $8,6 \pm 0,1$ dans l'aquarium témoin, $8,4 \pm 0,1$ dans l'aquarium de 47 mg d'Hexadecanol et $8,5 \pm 0,1$ dans l'aquarium de 47 mg d'Octadecanol ; et les valeurs de la différence de moyennes montrent qu'il n'y a pas d'effet significatif causé par la présence des films mono-moléculaires.

En plus de la température de l'eau, l'oxygène dissous est aussi affecté par la présence des monocouches sur la surface de l'eau (Wixson, 1966). Pittaway (2011) a rapporté qu'en présence des monocouches à la surface de l'eau, la concentration de l'oxygène dans l'air

près de cette surface est très élevée. Ces mêmes films mono-moléculaires réduisent la diffusion de l'oxygène dans le milieu aquatique, et cette réduction varie de 10 à 20% selon Wells et al. (2009).

Dans les milieux aquatiques des larves de *Tilapia* couverts par des films mono-moléculaires, les taux d'oxygène sont faibles par rapport à l'aquarium témoin, ce qui confirme l'hypothèse de la réduction de la diffusion de l'oxygène dans l'eau. Il faut ajouter ici, que plus la quantité d'alcool est grande, moins est le taux d'oxygène dissous ($3,5\pm 0,9$ mg/l dans l'aquarium témoin, $3,2\pm 0,8$ mg/l dans l'aquarium de 28 mg d'Hexadecanol et $2,9\pm 0,9$ mg/l dans l'aquarium de 47 mg d'Hexadecanol). Mais dans l'ensemble et statistiquement parlant, les différences entre les moyennes des concentrations de l'oxygène dissous ne sont pas significatives. Dans le temps, ces valeurs du taux d'oxygène dissous diminuent ; et ceci pouvant être expliqué par la croissance des larves, et par conséquent, la croissance de leurs besoins en oxygène. Les valeurs enregistrées restent supérieures aux valeurs recommandées pour la croissance de *Tilapia* (saggai et al, 2013 & Magid et Babiker, 1975).

Pour le milieu aquatique de la spiruline, le taux d'oxygène diminue dans le temps ; et d'un aquarium à un autre, les résultats sont différents : $2,7\pm 0,6$ mg/l dans l'aquarium témoin, $3,0\pm 0,9$ mg/l dans l'aquarium de 23 mg d'Hexadecanol et $2,7\pm 0,7$ mg/l dans l'aquarium de 38 mg d'Hexadecanol. Il est bien clair que la concentration de l'oxygène dissous est la plus élevée dans l'aquarium couvert par des films mono-moléculaires de 23 mg d'Hexadecanol. Pour pouvoir expliquer ce phénomène, il faut se rappeler que parmi les sources d'oxygène dans l'eau, selon Gajou(1995), il y a : l'activité photosynthétique des plantes aquatiques et la dissolution à partir de l'oxygène atmosphérique (diffusion de l'oxygène). Dans notre expérience, l'oxygène produit par la spiruline dans les aquariums couverts par des films mono-moléculaires ne s'échappe pas. A cause de cette barrière, l'oxygène atmosphérique ne passe pas convenablement vers le milieu aquatique, son taux de diffusion est lié à la quantité d'Hexadecanol utilisée. Plus cette quantité est grande, moins est la diffusion de l'oxygène dans le milieu aquatique. Ces deux actions font que l'oxygène ne s'échappe pas de l'aquarium des films de 23 mg d'Hexadecanol, et sa diffusion à partir de l'atmosphère est facile dans cet aquarium par rapport à l'aquarium

des films de 38 mg d'Hexadecanol, ce qui explique probablement le taux élevé d'oxygène dissous dans cet aquarium de 23mg d'Hexadecanol. Statistiquement parlant et d'après les valeurs de la différence de moyennes, la présence des films mono-moléculaires n'a pas d'effet significatif sur la concentration de l'oxygène dissous dans les trois aquariums.

Pour les eaux destinées à la consommation humaine, les concentrations d'oxygène sont : $5,8 \pm 0,2$ mg/l dans l'aquarium témoin, $6,0 \pm 0,3$ mg/l dans l'aquarium de 47 mg/l d'Hexadecanol et $6,1 \pm 0,4$ mg/l dans l'aquarium de 47 mg d'Octadecanol. Donc, il est bien remarqué que la concentration de l'oxygène dissous n'est pas significativement influencée par la présence des films mono-moléculaires et c'est la même constatation faite par Pittaway(2011).

La salinité est un paramètre qui conditionne l'aire de répartition des espèces vivantes dans un milieu en fonction de leur référendum (hormis les espèces euryhalines, supportant de grandes amplitudes de salinité). Si la salinité varie, la survie des organismes est fonction de leurs tolérances. Les valeurs de la salinité enregistrées dans les expériences de la spiruline et la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine ont montré que l'application des films mono-moléculaires n'a pas d'effets, et que les valeurs dans le cas de la spiruline ne dépassent pas la valeur de 3 g/l et dans le cas de la qualité de l'eau, les valeurs ne dépassent pas les 2,7 g/l.

Donc, sous les conditions de laboratoire, l'application continue des films mono-moléculaires sur la surface de l'eau a contribué à des petits changements, statistiquement parlant non significatifs, dans la qualité physico-chimique des milieux aquatiques. Mais malgré ça, ce sont des changements qui ont affecté la croissance des êtres aquatiques (Larve de Tilapia et la spiruline) examinés dans notre travail de recherche.

Pour les larves de *Tilapia nilotica*, la présence des monocouches affecte le vitesse de croissance des larves (la masse et la longueur) et le réduisant, mais ne les tue pas. Ce résultat concorde avec ceux de Saggai et al.(2013), Harbeck et Cruse(1960), et Eaton(1958), qui ont rapporté que la présence des monocouches à base d'Hexadecanol n'a pas d'effets toxiques sur les animaux aquatiques.

Pour la spiruline, et en ce qui concerne la chlorophylle *a*, le dosage effectué dans les trois aquariums a montré qu'avec le temps, la dose de la spiruline diminue dans les trois aquariums, mais à des taux différents et ceci est infiniment normale, car selon Elyah(2003), dans un environnement naturel, environ 1 milliard de tonnes de chlorophylle sont dégradées chaque année dans les mers et sur la terre ;et la majeure partie de la dégradation de la chlorophylle se produit probablement dans un environnement marin. Les organismes vivants dans les mers, les lacs et les rivières produisent environ 40 cycles annuels, durant lesquels, ils synthétisent et dégradent la chlorophylle (Folly, 2000). Ceci explique la diminution de la dose de la chlorophylle dans les milieux marins, mais pour les taux de diminution, ceci peut être expliqué par la possibilité de la formation des filaments d'autres algues due à la présence des films mono-moléculaires. Pour la densité des individus (les filaments de spiruline), la présence des films mono-moléculaires entraîne une diminution des filaments et le taux de diminution est important sous des films de 38 mg d'Hexadecanol.

L'application continue de l'Hexadecanol et de l'Octadecanol sur la surface de l'eau dans les aquariums au niveau de laboratoire pour former des films mono-moléculaires a engendré une apparition des filaments d'algues (dosage de la chlorophylle *a*), une augmentation du nombre de bactéries et une turbidité élevée du milieu aquatique.

Les composantes des films mono-moléculaires sont anthropogéniques et non volatiles. Classées comme linéaires, et non-ioniques surfactants, ces composantes sont considérées comme non-toxique (Dorn et al, 1993).

La présence des films mono-moléculaires entraîne aussi une augmentation du nombre de bactéries dans l'eau. C'est vrai que les bactéries se développent dans les trois aquariums, mais le nombre important est enregistré dans les aquariums avec films mono-moléculaires. Ce résultat va avec ceux de Silvey(1960) et de Ludzack et Ettinger(1957), qui ont rapporté que la présence des monocouches entraîne un accroissement de nombre de bactérie. Chang et al. (1962) et Ludzack et Ettinger(1957) ont rapporté que les bactéries sont l'une des causes de la dégradation des films mono-moléculaires, et que ces derniers servent comme un aliment pour les bactéries, ce qui explique leur nombre

important dans les aquariums couverts par les films mono-moléculaires par rapport à l'aquarium témoin.

L'application des films mono-moléculaires d'Hexadecanol et d'Octadecanol sur la surface de l'eau contribue à la réduction de sa tension superficielle contribue à une diminution de la tension superficielle de l'eau, la diminution de l'oxygène diffusé dans le milieu aquatique et l'augmentation de la température de l'eau (Pittaway, 2011 ; Bartholic et al, 1967 ; Wixson, 1966 ; Jarvis et al, 1962). Ces conditions augmentent le risque de la formation des filaments d'algues, et les dangers associés à la prolifération algale sont : les toxines, les odeurs, le changement de la couleur de l'eau, et la turbidité (Nudebaum et al, 2004). Ceci explique les résultats obtenus dans nos expériences.

Une eau sous ces conditions, et même en absence des films mono-moléculaires, nécessite un traitement pour être destinée à la consommation humaine. Comme nous l'avons cité, la présence continue des films mono-moléculaires accroît d'avantage la prolifération algale et cet accroissement peut affecter le système de traitement des eaux potables par le blocage des filtres à sable (Nadebaum et al, 2004). La solution à ce problème est d'inclure une étape de prétraitement par coagulation et floculation pour réduire la concentration des particules suspendues. Les substances qui forment les films mono-moléculaires (l'Hexadecanol et l'Octadecanol) et qui sont des surfactants non-ioniques, sont chimiquement compatibles avec les polymères cationiques qui sont recommandés pour la coagulation et la floculation. Après ce prétraitement et la filtration, l'eau subie une désinfection par chlorations.

D'après ces résultats et ces éclaircissements, il est possible de dire que les substances (Hexadecanol et Octadecanol) utilisées pour former les films mono-moléculaires ne vont pas probablement affecter la qualité de l'eau et le système de traitement de l'eau.

Conclusion

Conclusion générale

Les eaux des étendues en Algérie, qui est à 80% un pays aride, souffrent des pertes très considérables en eau par évaporation qui est causée par la réunion des facteurs météorologiques qui la favorisent. Pour remédier à ce problème, nous avons recouru à la technique de réduction de l'évaporation des plans d'eau par les films mono-moléculaires.

La vérification de l'efficacité, de l'effet et de la rentabilité de cette technique a été faite à travers plusieurs expériences effectuées sur terrain sous des conditions naturelles et au niveau des laboratoires de l'aquaculture et de la microbiologie.

Les résultats obtenus permettent de dire que l'application continue des alcools aliphatiques permet de former des films mono-moléculaires sur la surface du plan d'eau dans les conditions arides. Ces films mono-moléculaires réduisent le taux de l'évaporation d'une façon très remarquable, et permettent de récupérer des grandes quantités d'eau (10 l d'eau et plus pour 100 l d'eau normalement évaporée).

Le taux de la réduction de l'évaporation qui représente la quantité d'eau récupérée, varie selon plusieurs facteurs qu'on peut partager en deux groupes : facteurs relatifs à la substance et facteurs relatifs aux conditions météorologiques.

Pour le premier groupe, le premier facteur est l'effet de la substance utilisée, d'après l'étude les films mono-moléculaires de l'Hexadecanol et de mélange Hexadecanol/Octadecanol donnent les meilleurs taux de réduction de l'évaporation (30% et 32%). Le second facteur est la durée entre deux applications de l'alcool aliphatique pour former les films mono-moléculaires. Plus cette durée est importante (plus de trois jours) moins est l'efficacité des films mono-moléculaires dans la réduction de l'évaporation. Pour le troisième facteur qui est le mode d'application de la substance pour former la monocouche sur la surface de l'eau, les deux modes examinés (poudre et solvant) ont démontré qu'ils sont efficaces mais avec un avantage pour le mode solvant avec un taux de réduction de 32%. Mais ce mode, malgré cet avantage, est abandonné en faveur du mode poudre à cause de son coût et des inquiétudes environnementales. Le dernier facteur qui affecte le taux de l'évaporation est la dose (la quantité) d'alcool

aliphatique utilisé, les résultats obtenus permettent de dire que le taux de la réduction de l'évaporation devient important quand la quantité de l'alcool appliqué est importante.

Pour le deuxième groupe qui concerne les facteurs météorologiques, d'après les travaux de recherche, la température de l'air est le facteur qui influe le plus sur le taux d'évaporation et par conséquent sur le taux de réduction de l'évaporation. Une augmentation de la température de l'air engendre une accélération du processus de décollement des particules d'eau et des films mono-moléculaires et par conséquent la destruction des films mono-moléculaires et la diminution du taux de la réduction de l'évaporation. Le deuxième facteur qui affecte le taux de la réduction de l'évaporation est l'humidité relative. Quand l'air est humide au voisinage de la surface de l'eau, il forme une bande qui renforce les films mono-moléculaire dans son rôle de réduction de l'évaporation ce qui augmente la quantité d'eau récupérée par la technique de la réduction de l'évaporation. Pour le dernier facteur qui est le vent, une vitesse intense de ce dernier contribue à la destruction des films mono-moléculaires et/ou leur concentration dans un coin de la surface du plan d'eau suivant la direction du vent ce qui réduit la surface de l'eau couverte par les films mono-moléculaires et par conséquent une intense évaporation.

L'étude de l'effet des films mono-moléculaires sur le milieu aquatique, les êtres aquatiques et la qualité de l'eau a permis de déduire que les films mono-moléculaires, sous les conditions de laboratoire, affectent la concentration de l'oxygène dissous dans le milieu aquatique (élevée dans le cas de la spiruline et faible dans le cas des larves de TN), mais cet effet n'est pas, statistiquement, significatif. Pour la température de l'eau, la présence des films mono-moléculaires, toujours sous les conditions de laboratoire, engendre une augmentation de la température de l'eau qui n'est pas, en général et statistiquement, significative. Pour le pH et la salinité, l'application continue des films mono-moléculaires sur la surface de l'eau dans les aquariums ne génère pas une différence entre les moyennes des valeurs (des deux paramètres) enregistrées dans les aquariums avec films mono-moléculaires et celles enregistrées dans les aquariums sans films mono-moléculaires. En ce qui concerne les êtres aquatiques, les films mono-moléculaires décélèrent la croissance des larves de *Tilapia niloticas* (masse et longueur)

et cette décélération correspond à la dose d'Hexadecanol appliquée mais aucun effet néfaste n'a été enregistré. Pour le cas de la spiruline, les films mono-moléculaires affectent la densité des filaments d'algue et affaiblissent la vitesse de diminution du dosage de la chlorophylle *a*. Pour la qualité de l'eau, les eaux de surface, en général, sont polluées par rapport aux eaux souterraines à cause de l'action anthropique. La présence des films mono-moléculaires augmente cette pollution par l'accélération de la formation des filaments d'algue et la multiplication de nombre de bactéries d'où l'augmentation de la turbidité. Pour cela il est indispensable d'inclure dans le système de traitement une étape de prétraitement par coagulation/floculation pour réduire les particules en suspension. Dans cette étape on recommande d'utiliser des polymères anioniques et cationiques qui vont s'associer avec les composantes des films mono-moléculaires (Hexadecanol et Octadecanol) pour les précipiter et par conséquence éliminer ces alcools aliphatiques dans l'eau.

Sur le plan économique, la technique de la réduction de l'évaporation par les films mono-moléculaires permet de récupérer des quantités importantes d'eau et par conséquence une augmentation de la de la disponibilité en eau pour les différents secteurs. La différence entre le prix des quantités d'eau récupérées et le coût des quantités d'alcools utilisés montre qu'il y a un gain en argent qui entre 0,14 DA/m²/jour et 0,21 DA/m²/jour pour la période 20 semaines d'étude.

Ce modeste travail de recherche a permis de répondre à des préoccupations sur les effets de l'utilisation de la technique des films mono-moléculaires dans nos conditions arides, mais Il reste à compléter cette étude par d'autres travaux de recherche qui prennent en charge : la production locale d'une substance chimique capable de former des films mono-moléculaires qui restent sur la surface de l'eau pour des longues durées (plus de 72 heures) ; l'élargissement des essais pour des grandes étendues ; l'approfondissement des recherches sur les effets des films mono-moléculaires sur les êtres aquatiques ; l'établissent des recherches relatives au traitement de eaux de surface couvertes par des films mono-moléculaires ; et la vérification de l'effet de l'association de deux au plusieurs techniques sur le taux de la réduction de l'évaporation.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A

1. Abbe C. 1914. Prevention of fog. Monthly Weather Rev. (U.S. Weather Bureau), vol. 42, No. 2, p. 104.
2. Ahmed Sari A., 2009. L'hydrologie de surface. Ed. Houma, Alger.
3. Al-Hassoun S. A., Mohammed T. A. et Nurdin J. 2009. Evaporation reduction from impounding reservoirs in arid areas using palm leaves. Journal of Engineering and Applied Sciences, vol. 4, No. 4, pp. 247-250.
4. Al-Saud M. I. 2010. Reduction of evaporation from water surfaces-preliminary assessment for Riyadh region, Kingdom of Saudi Arabia. Research Journal of Soil and Water Management, vol. 1, No. 1, pp. 5-9.
5. Álvarez V. M., Baille A., Martínez J.M.M. et González-Real M. M. 2006. Effect of black polyethylene shade covers on the evaporation rate of agricultural reservoirs. Spanish Journal of Agricultural Research, vol.4, No 4, pp.280-288.
6. ANRH 2005. Zones humides au Sahara septentrional : caractérisation et propositions d'aménagement. Communication présentée lors du Colloque International sur les Ressources en Eau Souterraines dans le Sahara- CIRESS- Ouargla 12 et 13 Décembre.
7. APS 2006. 2 milliards de DA pour faire face à la remontée des eaux. Article publié par Le journal Liberté le 29 - 03 - 2006.
8. APS 2010. Projet de 10 stations de déminéralisation d'eau : OUARGLA. Article publié par Le journal Le Midi Libre le 27 - 03 - 2010.
9. Aquastat 2008. Données aquastat. Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO).
10. Archer, R. J., et Mer, V. K. L. 1955. The rate of evaporation of water through fatty acid monolayers. The Journal of Physical Chemistry, vol. 59, No.3, pp. 200-208.

B

11. Barlow M. 2009. Vers un pacte de l'eau, Ecosociété, , p.245.
12. Barnes G. T., & La Mer V. K. (Eds.). 1962. The Evaporation Resistances of Monolayers of Long-Chain Acids and Alcohols and their Mixtures. New York: Academic Press.

13. Barnes G.T., Bacon K.J., Ash J.M., 1980. The evaporation resistances of octadecanol–cholesterol mixed monolayers. *J. Colloid Interf. Sci.* vol. 76, pp. 263–264.
14. Barnes G.T., Hunter D.S., 1990. The Evaporation Resistance of Octadecanol Monolayers as a Function of Temperature. *J. Colloid Interf. Sci.*, Vol. 136, No. 1, pp. 198-212.
15. Barnes G.T. 2008. Review: The potential for monolayers to reduce the evaporation from large water storages. *Agricultural Water Management*, vol. 95, pp.339-353.
16. Barnes G.T., 1986. The effects of monolayers on the evaporation of liquids. *Adv. Colloid Interf. Sci.* vol. 25, pp. 89–200.
17. Barnes G.T., Gentle, I.R., 2005. *Interfacial Science: An Introduction*. Oxford University Press, Oxford.
18. Bartholic J., Runkles J. et Stenmark E. 1967. Effects of a monolayer on reservoir temperature and evaporation. *Water Resources Research*, vol. 3, pp.173-179.
19. Benachenhou A. 2005. *Le prix de l'avenir : Le développement durable en Algérie*. Ed.Thotm, Paris, pp. 55.
20. Benblidia M. 2011. *L'efficience d'utilisation de l'eau et approche économique. Etude nationale : Algérie », Plan Bleu*.
21. Benfetta H. & Remini B. 2008. La problématique du stockage des eaux de surface dans les régions arides : Cas du barrage de Ouizert (Algérie). *European Journal of Scientific Research*, vol. 23, No. 3, pp.380-391.
22. Bengoechea J.M., Pérez J., Pérez-parra J.,López J.G., 1991. Evaluación de las pérdidas de agua de Riego en el Campo de Dalías, Almería. III Symposium sobre el agua en Andalucía. Córdoba, Spain.
23. BoM. 2009. Average Annual, Monthly and Seasonal Evaporation. Australian Government Bureau of Meteorology Retrieved 4 Nov 2009 from:
24. http://www.bom.gov.au/jsp/ncc/climate_averages/evaporation/index.jsp?period=an,from
25. http://www.bom.gov.au/jsp/ncc/climate_averages/evaporation/index.jsp?period=an
26. Booth J. C. 1862. *The Encyclopedia of Chemistry, Practical and Theoretical*, p.429.
27. Bouchekima B. 2012. Une station de déminéralisation qui fait rêver : Alimentation en eau potable à Touggourt. Article publié par Le journal El Watan le 10 - 03 – 2012.

28. Boukhari S. Djebbar Y. and Abida H. 2008. Prix des services de l'eau en Algérie, un outil de gestion durable. 4ème conférence Internationale sur les ressources en eau dans le bassin Méditerranéen, 22-23 Mars 2008, Alger, Algérie.
29. Boutoutaou D. 1995. Evaporation des plans d'eau des retenues barrages en Algérie. Thèse doctorat d'état en Sciences techniques. Institut d'Hydraulique, Moscou.
30. Boutoutaou D., Saker M. L., Daddi Bouhoun M., Saggai S. et Ould El Hadj M. D. 2012. Détermination de l'évaporation des surfaces des plans d'eau pour les conditions climatiques de l'Algérie. Algerian journal of arid environment, vol 2, No.2, pp. 94-10.
31. Brock T.D. 1973. Lower pH limit for the existence of bleu green algae: evolutionary and ecological implications .science, Vol. 179, pp. 480 -483.
32. Brown, J. 1988. The Potential for Reducing Open Water Evaporation Losses: A review. Paper presented at the Hydrology and Water Resources Symposium, ANU Canberra.

C

33. Chaib W., Bouchahm N., Harrat N., Zahi F., Bougherira N. et Djabri L. 2013. Caractérisation hydrogéochimique des eaux géothermales de la nappe du Continental Intercalaire de la région de l'Oued Righ. Journal Algérien des Régions Arides N° Spécial 2013.
34. Chang S.L. McClanahan M.A. et Kabler P.W. 1962. Effect of bacterial decomposition of hexadecanol and octadecanol in monolayer films on the suppression of evaporation loss of water. In: La Mer, V.K. (Ed.), Retardation of Evaporation by Monolayers: Transport Processes. Academic Press, New York, pp. 119–131.
35. Chapman D. et Kimstach V. 1996. Selection of water quality variables. Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environment monitoring, Chapman edition, 2nd Ed. E & FN Spon, London, pp. 59-126.
36. Charpy L., Langlade M.J. et Alliod R. 2008. La Spiruline peut-elle être un atout pour la santé et le développement en Afrique ? Rapport d'expertise pour le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, 49 p.
37. Chitour C. E. 2004. Physico-chimie des surfaces. Edition OPU, Alger.
38. Claude J. et Albergel J. 2012. Comprendre le cycle de l'eau dans les régions sèches : L'eau dans les paysages arides. Table ronde « Terres arides et Oasis » animée par le

Comite Scientifique Français sur la Désertification, 6ème Forum Mondial de l'Eau, Marseille, 12-17 Mars.

39. Claude, J., 1998. La gestion de la ressource en eau en zones arides : contraintes naturelles et socio-économiques et programmes d'action. Actes du 1er Séminaire International sur les Ressources Naturelles de la Rive Sud de la Méditerranée-Centenaire INAT-, pp. 65-87.
40. Communautés européennes, 2002. L'eau, c'est la vie, Directive-cadre sur l'eau. Office des publications officielles des communautés européennes, imprimé en Belgique.
41. Costin I.S., Barnes G.T., 1975. Two-component monolayers. I, II, III. J. Colloid Interf. Sci. vol. 51, pp. 94–132.
42. Craig I., Green A., Scobie M. et Schmidt E. 2005. Controlling evaporation loss from water storages. National Centre for Engineering in Agriculture University of Southern Queensland Toowoomba & Rural Water Use Efficiency Initiative, Queensland Department of Natural Resources and Mines. NCEA Publication No 1000580/1 (June 2005).
43. Craig I, Aravinthan V, Baillie C, Beswick A, Barnes G, Bradbury R, Connal L, Coop P, Fellows C, Fitzmaurice L, Foley J, Hancock N, Lamb D, Morrison P, Misra R, Mossad R, Pittaway P, Prime E, Rees S, Schmidt E, Solomon D, Symes T & Turnbull D 2007. 'Evaporation, seepage and water quality management in storage dams: a review of research methods', Environmental Health, vol. 7, No. 3, pp. 84–97.
44. Craig I. P. 2008. Loss of storage water through evaporation with particular reference to arid and semi-arid zone pastoralism in Australia, DKCRC Working Paper 19, The WaterSmart™ Literature Reviews, Desert Knowledge CRC, Alice Springs.
45. Crow F. R. 1963. The effect of wind on evaporation suppressing films and methods of modification. In: General assembly of Berkeley, p. 26-37. Gentbrugge, Belgium, International Association of Scientific Hydrology. (Publ. No. 62.)

D

46. Daix F. 1956. Les nappes artésiennes de l'oued Rhir. Thèse de doctorat d'état, université d'Allien, faculté des sciences, vol. I et II, Avril.
47. Dalton, J. 1802. Experimental essays on the constitution of mixed gases; on the force of steam or vapour from water and other liquids in different temperatures; both in a

- Toricellian vacuum and in air; on evaporation; and on the expansion of gases by heat. *Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester*, vol. 5, No. 11, pp.535–602.
48. Dawood K.A., Rashid F. L. et Hashim A.2013. REDUCE EVAPORATION LOSSES FROM WATER RESERVOIRS *International Journal of Energy and Environmental Research* Vol.1, No 1, pp. 23-29.
49. De Marsily G. 2013. Les problèmes de l'eau en 26 questions. Livret sur l'environnement. Académie des sciences, Institut de France.
50. Deo, A. V., Kulkarni, S. B., Gharpurey, M. K., & Biswas, A. B. 1962. Rate of Spreading and Equilibrium Spreading Pressure of the Monolayers of n-Fatty Alcohols and n-Alkoxy Ethanol. *J. phys. Chem.*, vol. 66. No. 7, pp. 1361-1362.
51. Department of Water, 2007. Reducing farm dam evaporation. Rural Water Note 4. Department of Water, Government of western Australia.
52. Djabri L., Hani A. et Foufou A. 2010. La ressource en eau dans le sud algérien. *Revue des Régions Arides – Numéro spécial – 24 (2/2010) Actes du 3ème Meeting International "Aridoculture et Cultures Oasisennes : Gestion et Valorisation des Ressources et Applications Biotechnologiques dans les Agrosystèmes Arides et Sahariens"* Jerba (Tunisie) 15-16-17/12/2009.
53. Dorn P., Salanitro J., Evans S. and Kravetz L 1993. Assessing the aquatic hazard of some branched and linear non-ionic surfactants by biodegradation and toxicity. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 17, pp. 1751-1762.
54. DRE 2012a. Données de secteur hydraulique de la wilaya de Ouargla .Direction des Ressources en Eau In : *Annuaire statistique de la wilaya de Ouargla* tome 2.
55. Drummond C. J., Elliott P. et Furlong D. N.1992. Water permeation through monolayers of polymerised surfactants. *Thin Solid Films Journal*, 210/211, pp. 69-72.
56. Drummond C. J., Elliott P., Furlong D. N et Barnes G. T. 1992. Water Permeation through Two-Component Monolayers of Polymerized Surfactants and octadecanol. *Journal of Colloid and Interface Science*, Vol. 151, No. 1, pp. 189-194.
57. Dubief J. 1949. *Travaux de l'institut de recherches saharienne*, tome 6, université d'Alger.
58. Dubief J. 1959. *Le climat du Sahara*. Tome 1, Mémoire de l'institut Rech. Sahar., p.306.

59. Dubief J. 1963. Le climat de Sahara. Tome 2 Fascicule 1 , Mémoire de l'institut Rech. Sahar., p.270.
60. Dubost D. 2002. Ecologie, aménagement et développement agricole des Oasis Algériennes. Ed. Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides, CRSTRA., Biskra.
61. Durham K. et McArthur I. K. H. 1957. The influence of dosage on the efficiency of films of fatty alcohols for water conservation. Research, vol. 10, No. 7, pp. 291-292.

E

62. Eaton E.D. 1958. Control of evaporation losses. Washington, U.S. Govt. Printing Office. 44 p.
63. Elyah A. 2003. Quel avenir pour la spiruline ?, Mémoire bibliographique. Université de Montpellier II.

F

64. Fernandez S. (2007). L'eau virtuelle : un indicateur pour contribuer à l'analyse des questions de gestion et de répartition de l'eau en situation de pénurie ? Plan Bleu pour l'environnement et le développement en Méditerranée.
65. Fernandez S., Verdier J. (2004). La problématique de l'eau agricole en Méditerranée. Atelier international de l'IME, FAO & IPTRID, Montpellier, mars 2004.
66. Fitzgerald L.M. & Vines R.G. 1963. Retardation of evaporation by monolayers: practical aspects of the treatment of large water storages. Aust. J. Appl. Sci. vol. 14, pp. 340-346.
67. Folly P. 2000. Catabolisme de la chlorophylle b : structures, mécanismes et synthèses. Thèse de doctorat, Université de Fribourg. Imprimerie St-Paul Fribourg (Suisse), 192p.
68. Foulds E. L., et Dressler R. G. 1968. Performance of monolayer blends of odd and even carbon chain alcohols in water evaporation suppression. Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development, vol. 7, No. 1, pp.75-79.
69. Frenkiel J. 1965. Evaporation reduction: physical and chemical principles and review of experiments. Arid Zone Res. 27, Evaporation Reduction, UNESCO, Paris
70. Frerot A. 2009. L'eau : pour une culture de la responsabilité, Edition Autrement, Frontière, Paris, p.193.

71. Fukuda K., Kato T., Machida S., et Shimizu Y. 1979. Binary mixed monolayers of polyvinyl stearate and simple long-chain compounds at the air/water interface. *Journal of Colloid and Interface Science*, vol. 68, No. 1, pp.82-95.

G

72. Gaines, G.L., 1966. *Insoluble Monolayers at Liquid–Gas Interfaces*. Interscience Publishers, New York.
73. Galland F. 2008. *L'eau : géopolitique, enjeux, stratégies*, CNRS Edition, Paris.
74. Garrett, W. D., & Barger, W. R. 1970. Factors Affecting the Use of Monomolecular Surface Films to Control Oil Pollution on Water. *Environmental Science & Technology*, vol. 4, No. 2, pp. 123-127.
75. Gaujou S.D. 1995. *Pollution des milieux aquatiques (aide mémoire) 2ème édition*, Ed. Lavoisier, Cachan Cedex, 220 p.
76. Ghumman, M. A. 1971. *Study of Emulsions, Their Production and Industrial Uses; Chapter 2 "To check the evaporation of Water"* University Of The Punjab, Lahore, Pakistan.
77. Godard A., Tabeaud M. 1993. *Les climats- mécanismes et répartition*. Editions Armond Colin-Paris, p. 168.
78. Grundy F. 1962. Some problems of maintaining a monomolecular film on reservoirs affected by winds. In: La Mer, V.K. (Ed.), *Retardation of Evaporation by Monolayers: Transport Processes*. Academic Press, New York, pp. 213– 218.
79. Gugliotti M., Baptista M. S. et Politi M. J.,2005. Reduction of evaporation of natural water samples by monomolecular films. *J. Braz. Chem. Soc.*, Vol. 16, No. 6A, pp. 1186-1190.
80. Guilloteau J. 1959. *L'eau dans les zones arides*. UNESCO, Paris.

H

81. Hale, M., & Mitchell, J. 1997. Sea surface microlayer and bacterioneuston spreading dynamics. *Marine ecology progress series*. Oldendorf, vol. 147, No. 1, pp. 269-276.
82. Hamdi-Aissa B. et Girard M.C. 2000. Use of remote sensing to analyse and specially extrapolate soil landscapes in Saharan region. *Science planétaire/Sécheresse*, No 11, pp. 179-188.

83. Hammond D. and Kubo I. 1999. Structure-activity relationship of aliphatic alcohols as mosquito larvicides with novel findings regarding their mode of action. *Bioorganic and medicinal chemistry*, 7, pp. 271-278.
84. Harbeck E., Cruse R.R. 1960. *Evaporation control research, 1955-58*. Washington, U.S. Gov. Printing Office, 45p.
85. Hassan R.M.A., Hekal N.T.H. et Mansor N.M.S. 2007. Evaporation reduction from lake Naser using new environmentally safe techniques. Eleventh International Water Technology Conference, IWTC11 2007 Sharm El-Sheikh, Egypt, pp. 179-192.
86. Hayes, M.L. 1959. Biological effects of hexadecanol used to suppress water evaporation from reservoirs, Fort Collins Colorado, Colorado State University.
87. Helfer, F., Zhang, H., et Lemckert, C. 2009. *Evaporation Reduction by Windbreaks: Overview, Modelling and Efficiency*. City East Qld.: Griffith University.
88. Henry D. J., Dewan V. I., Prime E. L., Qiao, G. G., Solomon D. H., et Yarovsky I. 2010. Monolayer structure and evaporation resistance: A molecular dynamics study of octadecanol on water. *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 114, No. 11, pp. 3869-3878.
89. Herzig M.A., Barnes G.T. et Gentle I.R. 2011. Improved spreading rates for monolayers applied as emulsions to reduce water evaporation. *J. of Colloid and Interface Science*, vol. 357, pp. 239–242.
90. Hoekstra A. et Chapagain A. 2008. *Globalization of water*. Blackwell publishing, London, p.208.
91. Houot A. 2009. L'indice de pauvreté en eau et les principaux conflits pour l'eau dans le monde. Page web : [houot.alain.pagesperso-orange.fr/1399 × 900](http://houot.alain.pagesperso-orange.fr/1399%20x%20900)

J

92. Jarvis N., Timmons C. et Zisman W. 1962. The effect of monomolecular films on the surface temperature of water. pp
93. Jones F. 1992. *Evaporation water*. Ed Lewis publishers, Inc.
94. Jourdan J. P. 2006. *Cultivez votre spiruline ; Manuel de culture artisanale pour la production de spiruline*. Le Castanet, 30140 Mialet. p126. Disponible sur le site <http://www.antenna.ch/publications.htm>.
95. Jouve P. 2007, : Stratégies et pratiques de valorisation de l'eau par les cultures pluviales en zones arides au Maghreb et au Sahel. Conférence-débat « Valoriser l'eau

verte en zone aride» à Agropolis Museum le 19 décembre.
 Web : www.museum.agropolis.fr/pages/savoirs/eau.../jouve_eau_verte.pdf

K

- 96.** Kettab, A., 2001. Les ressources en eau en Algérie : stratégies, enjeux et vision. *Desalination J.* vol. 136, pp.25-33.
- 97.** Kettab, A., Mitiche R. & Bennaçar N., 2008. De l'eau pour un développement durable : enjeux et stratégies. *Revue des sciences de l'eau.* Vol. 21, No2, pp. 247-256.
- 98.** Khadraoui A. 2006. Ressources en eau au Sahara et leur impact environnemental. *Actes des journées internationales sur la désertification et le développement durable Biskra du 10 au 12 Juin*, pp. 49-54.
- 99.** Kubo L., Fujita T., Kubo A. and Fujita K. (2003). Modes of antifungal action of aliphatic alcohols against *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioorganic and medicinal chemistry* 11 pp. 1117-1122.

L

- 100.** La Mer V. K., & Aylmore L. A. (1961). Evaporation Resistance as a Sensitive Measure of the Purity and Molecular structure of Monolayers Paper presented at the Proceedings National. Academy of Science Columbia University.
- 101.** Laborde J. P. 2009. *Eléments d'hydrologie de surface.* Ecole polytechnique de l'université de Nice - Sophia Antipolis. 192 pp.
- 102.** Laborde J.P. 2009. *Eléments d'hydrologie de surface.* Ecole polytechnique de l'université de Nice - Sophia Antipolis, p. 192.
- 103.** Lahlou A. 2000. *Quel environnement pour l'Afrique du nord.* Ed. Dar El Qualam, Rabat, Maroc, 265 p.
- 104.** Langmuir I. 1916. The constitution and fundamental properties of solids and liquids. part i. solids. *Journal of the American Chemical Society*, vol. 38, No. 11, pp. 2221-2295.
- 105.** Langmuir, I., et Schaefer, V. J. 1943. Rates of evaporation of water through compressed monolayers on water. *Journal of the Franklin Institute*, vol. 235, No. 2, pp. 119-162.
- 106.** Lewis M. 1991. Chronic and sublethal toxicities of surfactants to aquatic animals: a review and risk assessment. *Water Research*, Vol.25, pp. 101-113.

107. Leynaud G. 1968. Les pollutions thermiques, influence de la température sur la vie aquatique. B.T.I. Ministère de l'agriculture, pp. 224-881.
108. Lorenzen C. J. 1967. Determination of chlorophyll and pheopigment spectrophotometric equation limol. *Oceanogr.*, vol. 12, pp. 343-346.
109. Ludzack F. J. et Ettinger M. B. 1957. Biological oxidation of hexadecanol under laboratory conditions. *J. Amer. Water Works Assoc.*, vol. 49, No. 7, pp. 849-858.

M

110. Magid A., Babiker M.M. 1975. Oxygen consumption and respiratory behaviour of three Nile fishes. *Hydrobiologia*, pp. 46, pp. 359-367.
111. Mamou A. 1990. Caractéristiques et évaluation des ressources en eau du sud Tunisien. Thèse de doctorat d'état es sciences, université de Paris -sud, centre d'Orsay, 426 p.
112. Mansfield W.W. 1959. The influence of monolayers on evaporation from water storages. IV. *Aust. J. Chem.* Vol. 12, No. 3, pp. 382– 393.
113. Mansfield W.W., 1955. Influence of monolayers on the natural rate of evaporation of water. *Nature*, vol. 175, pp. 247–249.
114. Mansfield, W.W. 1958. The influence of monolayers on evaporation from water storages. I. *Aust. J. Appl. Sci.* vol 9, No. 3, pp. 245– 254.
115. McJannet D., Cook F., Knight J. et S. Burn. 2008. Evaporation Reduction by Monolayers: Overview, Modelling and Effectiveness, Urban Water Security Research Alliance Technical Report No. 6, Australia, pp 25.
116. McMahon C., Craig I., Turnbull, D., Schmidt E., et Hancock N. 2008. Laboratory Study of Wind Stress on Surface Film Materials, Trials, 2007-2008. National Centre for Engineering in Agriculture, Publication 1002040/2, Toowoomba, Queensland, Australia.
117. McNamee C.E., Barnes G.T., Gentle I.R., Peng J.B., Steitz R., Probert, R. 1998. The evaporation resistance of mixed monolayers of octadecanol and cholesterol. *J. Colloid Interf. Sci.* vol. 207, pp. 258–263.
118. Messaïfa A. et Chaïche K. 2006. Bilan hydrologique de la cuvette de Ouargla (sud-est algérien). Application à la remontée des eaux et à la salinisation des sols. Actes des journées internationales sur la désertification et le développement durable Biskra du 10 au 12 Juin, pp. 339-350.

119. Mikail B. 2008. L'eau, source ou menace ?, Enjeux stratégiques, Dalloz, Paris, p.153.
120. Milly, P.C.D., K.A. Dunne and A.V. Vecchia, 2005: Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, vol.438, No. 7066, pp. 347–350.
121. Mires D. 1995. The tilapias In: Production of Aquatic Animals: Fishes (Eds Nash, C. E., and A. J. Novotony). Elsevier, New York, pp. 133-152.
122. Mohammedi K. 1995. Possibilité de production d'eau douce à partir de l'humidité atmosphérique. Actes du 2ème colloque national climat - environnement. L'eau, une réalité, une urgence, un déficit, Oran (Algérie), 24 -25 décembre.
123. Mohr J., Gribble G., Lin S., Eckenhoff R. and Cantor R. (2005). Anaesthetic potency of two novel synthetic polyhydric alkanols longer than the n-alkanol cut-off: evidence for a bi-layer mediated mechanism of anaesthesia. *Journal of medicinal chemistry*, vol. 48, pp. 4172-4176.
124. Monod T. 1992. Du désert. *Sécheresse*, vol. 3, No. 1, pp. 7-24.
125. Morel J. 2007. Les ressources en eau sur Terre : origine, utilisation et perspectives dans le contexte du changement climatique { un tour d'horizon de la littérature. Cahier de recherche LEPII ; 2/2007. <halshs-00134979>
126. Mouhouche B. Et Guemraoui M. 2004. Réhabilitation des grands périmètres d'irrigation en Algérie. Projet INCO-WADEMED. Actes du Séminaire Modernisation de l'Agriculture Irriguée Rabat, du 19 au 23 avril.
127. Mozas M. & Ghosn A., 2013. État des lieux du secteur de l'eau en Algérie. Institut de Prospective Economique du Monde Méditerranéen.
128. MRE 2012. La situation en matière de mobilisation de la ressource superficielle. Ministère des Ressources en Eaux, Algérie.
129. MRE 2013a. Note de synthèse sur l'hydraulique agricole 2013. Direction de l'hydraulique agricole. Ministère des Ressources en Eaux, Algérie.
130. MRE 2013b. Alimentation en eau potable : taux de raccordement et dotation en eau potable. Ministère des Ressources en Eaux, Algérie.
131. MRE 2014a. Campagne d'irrigation de la PMH et état signalétique des grands périmètres en exploitation. Ministère des Ressources en Eaux, Algérie.
132. MRE 2014b. Alimentation en eau potable : Evolution des indicateurs 1999 – 2014 et Besoins en eau 2010 – 2020. Ministère des Ressources en Eaux, Algérie.

133.MRE 2014c. Actualisation de l'inventaire du réseau national d'assainissement. Ministère des Ressources en Eaux, Algérie.

134.Musy A. 2004. Cours hydrologie générale. Ecole polytech. Fédérale, Lausanne.

N

135.Nadebaum P., Chapman M., Morden R. et Razik S. 2004. A guide to hazard identification and risk assessment for drinking water supplies. Research Report 11, Cooperative Reserch centre for water quality and treatment April 2004.

136.NAS 1974. More water for arid lands. National Academy Sciences, Washington.

137.Nordegren T. 2002. The A-Z Encyclopedia of Alcohol and Drug Abuse, Universal Publishers, p. 165.

138.Noweck K. et Grafahrend W. 2006. Fatty Alcohols. In Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Wiley-VCH, Weinheim.

O

139.Oliver J. E. 2006. Encyclopedia of world climatology, p 89.

140.OMM 1994. Guide to hydrological practices. 5th, WMO - No.168, Geneva.

141.OMM 1997. Estimation of areal evapotranspiration. Technical repports in hydrology and water resources No.56, WMO/TD-No. 785, Geneva.

142.OMM 2003. Manual on the global observing system. Volume 1, WMO- No. 544, Geneva.

143.OMS 1987. Global pollution and health results of related environmental monitoring. Global Environment Monitoring system, World Health Organization, UNEP.

144.ONESCO–WWAP, 2003. L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie, Résumé. Rapport mondial sur la mise en valeur des ressources en eau, Edition UNESCO.

145.ONM 2014. Données météorologiques.Office Nationale de Météorologie. Direction Régionale Ouargla.

146.OSS 2003. Système Aquifère du Sahara Séptentrional : Gestion commune d'un bassin transfrontière. 1^{ère} édition du Rapport de synthèse de l'Observatoire du Sahara et du Sahel. Imprimerie Finzi,Tunis.

147.Ozenda P. 1983. Flore du Sahara. Ed :centre national de la recherche scientifique, Paris.

148. Ozenda P. 2001. Flore et végétation du Sahara. 2ème Edition. Ed CNRS, Paris, p.622.

P

149. Paquerot S. 2005. Un monde sans gouvernail : Enjeux de l'eau douce, Athéna Editions, Balma, p.166.

150. Peirson W. L., Lee G. A. et Waite C. 2011. Evaporation mitigation by storage in rock and sand. Environmental problems related to air-water scalar transfer, pp.545-558.

151. Penman, H. L. 1948. Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass. Proc. Roy. Soc A, vol. 193, pp.120-145.

152. Pittaway P. 2011. Impact of artificial monolayers on water quality, potable water treatment, human health and lake ecology. Urban water security research alliance technical report N°57 Australia.

153. Plazzer M. B., Henry D. J., Yiapanis G., & Yarovsky I. 2011. Comparative study of commonly used molecular dynamics force fields for modeling organic monolayers on water. The Journal of Physical Chemistry B, vol. 115, No. 14, pp. 3964-3971.

154. Prime E. L., Tran D. N.H., Plazzer M., Sunartio D., Leung A. H.M., Yiapanis G., Baoukina S., Yarovsky I., Qiao G. G. and Solomon D. H. 2012. Rational design of monolayers for improved water evaporation mitigation. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects vol. 415, pp. 47– 58.

155. Prime E., Leung A., Tran D., Gill H., D. Solomon, Qiao G., et Dagley I. 2012. New technology to reduce water evaporation from large water storages, Waterlines report, National Water Commission, Canberra (definition evaporation).

156. Protos, Collectif 2009. L'eau et l'agriculture dans une perspective internationale, Protos Gand, Belgique, p.15.

R

157. Ramdas L. A. et Narasimhan S. 1957. Effect of temperature on the efficiency of monomolecular films in suppressing evaporation. J. sci. & indus. Res., vol. 16A, no. 8, pp. 357-358.

158. Rejsek F. 2002. Analyse des eaux : aspects réglementaires et techniques. CRDP d'Aquataine, Bordeaux, p. 360.

159. Réméniéras G. 1986. L'hydrologie de l'ingénieur. 2ème édition tirage de 1986, Ed. Eyrolles, p.451.
160. Réméniéras G. 1999. L'hydrologie de l'ingénieur. 2ème édition tirage de 1999, Ed. Eyrolles, p.451
161. Remini B. 1997. Envasement des Retenues de barrages en Algérie. Mécanisme et moyen de lutte par la technique du Soutirage. Doctorat d'état, E.N.P, Mars, 342 pages.
162. Remini B. 2006. La disparition des ghouts dans la région d'el oued (algerie) Larhyss Journal, pp.49-62.
163. Remini B. et Hallouche W. 2005. L'alluvionnement des retenues. Imprimerie Madani, Blida.
164. Remini B., Avenard J. M. & Kettab A. 2003. Envasement des barrages. Edition CEDOC.
165. Remini B., Hallouche W. 2004. Sédimentation des barrages en Algérie. Revue Internationale La Houille Blanche. N°1, pp.1-5.
166. Remini B., Hallouche W., 2003, Les barrages du Maghreb face au phénomène de l'envasement, Revue VECTEUR Environnement, Vol 36 No 6, pp. 27-30.
167. Remini, B., 2005a. L'évaporation des lacs de barrages dans les régions arides et semi arides : exemples algériens. Larhyss J. vol.4, pp. 81-89.
168. Remini, B., 2005b. La problématique de l'eau en Algérie. Imprimerie Madani.
169. Remini, B., 2010. La problématique de l'eau en Algérie du nord. Larhyss J.vol. 8, pp. 27-46.
170. Rideal E. K. 1925. On the influence of thin surface films on the evaporation of water. The Journal of Physical Chemistry, vol.29, No.12, pp.1585-1588.
171. Rio, B., 2006. L'eau et la vie, Edition du Dauphin.
172. Riou C. 1971. Evaporation en bac et évapotranspiration potentielle : Expression de l'évaporation d'une petite nappe d'eau en fonction des données sous abri. Bulletin of the International Association of Scientific Hydrology, XVI, 2.6, pp. 53-65.
173. Roch L. et Gendron C., 2005. Le commerce de l'eau virtuelle : du concept à la politique. Géocarrefour, vol. 80/4.
174. Roche M. 1963. Hydrologie de surface. ORSTOM, Paris.
175. Rognon P. 2000. Comment développer la recharge artificielle des nappes en régions sèches. Sciences et changements planétaires/Sécheresse. Vol. 11, No. 4, pp. 1-10.

176. Ross L.G. 2000. Environmental physiology and energetics. In: M. C. M. Beveridge and B. J. McAndrew (eds.) *Tilapias: Biology and Exploitation*, Fish and Fisheries Series 25, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, pp. 89–128.
177. Rouvilois-Brigol M. 1975. Le pays de Ouargla(Sahara algérienne) : variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Pub. Univ. Sorbonne, Paris, p.316.

S

178. Saggâi S. et Boutoutaou D. 2011a. Etude de l'influence des films mono-moléculaires dans la réduction de l'évaporation des eaux de surface. Sciences, Technologies et Développement. Ed. Agence de nationale développement de la recherche universitaire. N° 8 Vol. 2. pp 25-32.
179. Saggâi S. et Boutoutaou D. 2011b. Réduction de l'évaporation des plans d'eau par les films mono-moléculaires en zones arides (cas de Hassi Benabdellah). Annales des sciences et technologie UKMO, Vol. 3, N° 2, pp. 114-118.
180. Saggâi S. Saggâi M. M. et Hancock N. 2013 .Laboratory study of the effect of hexadecanol monolayer on the aquatic fauna (case of *Tilapia nilotica*). *Revue des BioRessources*, vol. 3, No. 2, pp. 1-7.
181. Saggâi S., Boutoutaou D., et Hancock N. 2013. Effect of the application methods of hexadecanol monolayer on the evaporation reduction of open water in the Algerian Sahara[online]. 2013 Society for Engineering in Agriculture Conference: Innovation Agricultural Technologies for a Sustainable Future.
182. Saggai S., Boutoutaou D., Bachi O.E.K., Karboua Z. et Touati H. 2014. Effet d'une monocouche d'hexadecanol sur la qualité de l'eau destinée à la consommation humaine. Communication présentée au 9ème Congrès International Qualité et des Produits et de l'Environnement : Traitement, Valorisation des Rejets et effets sur la santé humaine. 11-13 Avril, Mahdia, Tunisie
183. Saggâi S., Boutoutaou D., Hancock N. et Bachi O. E. 2014. Evaporation Reduction in Water Resources: Effect of Hexadecanol Concentration on Evaporation Rate under Algerian Arid Conditions. IPCBEE, IACSIT Press, Singapore, vol. 73, pp. 1-5
184. Saggâi S., Boutoutaou D., et Saker M. L. 2014. Réduction de l'évaporation des eaux dans les barrages: une stratégie pour augmenter le stockage de l'eau dans les régions arides algériennes. *Hydrological Sciences Journal*, DOI:

10.1080/02626667.2014.988156. To link to this article:
<http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.988156> .

- 185.** Saighi O. Helal F, Ourihane D. Benzaoui A. 2006. La nappe de l'albien et les problèmes techniques posés par son exploitation à Touggourt. Journal Algérien des Régions Arides numéro spécial. Colloque International « TERRE et EAU » Annaba, 21, 22 & 23 Novembre 2004, pp.203-206.
- 186.** Sarig S. 1969. Winter storage of tilapia. FAO Fish Culture Bulletin; vol. 2, pp. 8-9.
- 187.** Schouten P., Putland S., Lemckert C., Underhill I., Solomon D., Sunartio D., ... and Qiao, G. 2012. Evaluation of an evaporation suppressing monolayer system in a controlled wave tank environment: A pilot investigation. Australian Journal of Water Resources, vol.16, No.1
- 188.** Segal, L., & Burstein, L. 2010. Retardation of Water Evaporation by a Protective Float. Water resources management, vol.24, No1, 129-137.
- 189.** Shiklomanov I. A., Rodda J. C. 2003. World Water Resources at the Beginning of the 21st Century. Cambridge: Cambridge University Press.
- 190.** Silvey J. K. G. 1960. Physical, chemical and biological effects of hexadecanol on Lake Hefner, 1958, J. Amer. Water Works Assoc, vol. 52, No. 6, pp. 791-802.
- 191.** Simko, A. J. et Dressler R. G. 1969. Investigation of C20 to C25 Fatty Alcohols and Blends as Water Evaporation Retardants. Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development, vol. 8, No. 4, pp. 446-450.
- 192.** Singh, V., & Xu, C. 1997. Evaluation and Generalization of 13 Mass-Transfer Equations for Determining Free Water Evaporation. Hydrological Processes, vol. 11, No. 3, pp. 311-323.
- 193.** Sinha S.K., Kumar L., Srivastava R., Thangamani R., Kumar S., Jha S., et Luthra P.K. 2006. Evaporation Control in Reservoirs. Government of India Central Water Commission Basin Planning and Management Organisation. 96p.
- 194.** Skidmore, E., et Hagen, L. 1970. Evaporation in Sheltered Areas as Influenced by Windbreak Porosity. Agricultural Meteorology, vol.7, pp. 363-374.
- 195.** Smith, J. W. 1909. Recent Evaporation Investigations. The Ohio Naturalist, The Biological Club of the Ohio University.
- 196.** Smolinske S. C. 1992. Handbook of Food, Drug, and Cosmetic Excipients, CRC Press, pp.75-76.
- 197.** SNWA 2014. Lakes evaporative supressant study. Southern Nevada Water Authority. Web: <http://www.icwt.net/conference/2014/Urban-%201550.pdf>

198. Stewart P. H. C. 1960. Phase relationship and spreading behaviour of cetyl alcohol mixtures. *Austral. J. appl. Sci.*, vol. 11, No. 1, pp. 157-168.

T

199. Tandia C. T. 2007. Contrôle et suivi de la qualité des eaux usées protocole de détermination des paramètres physico-chimique et bactériologique, pp5-7.
200. Terra M., 2013. Les réalisations de l'Algérie dans le secteur de l'eau de 1962 à 2012. Journée d'étude, 14 Février Tamenrasset.
201. Timblin, L.O., 1957. Preliminary toxicity studies with hexadecanol reservoir evaporation reduction. Chemical Engineering Laboratory Report No. SI-10, U.S. Bureau of Reclamation.
202. Timblin L.O., Florey Q.L., Garstka W.U., 1962. Laboratory and field reservoir evaporation reduction investigations being performed by the Bureau of Reclamation. In: La Mer, V.K. (Ed.), *Retardation of Evaporation by Monolayers: Transport Processes*. Academic Press, New York, pp. 177-192.
203. Toumi A. & Remini B. 2004. Barrage de Fom ELGherza face au problème de fuites d'eau. *Laryss Journal*, vol. 3, pp. 25-38.
204. Tran D. N., Prime E. L., Plazzer M., Leung A. H., Yiapanis G., Christofferson A. J., ... & Solomon D. H. 2013. Molecular Interactions behind the Synergistic Effect in Mixed Monolayers of 1-Octadecanol and Ethylene Glycol Monoctadecyl Ether. *The Journal of Physical Chemistry B*, vol. 117, No.13, pp.3603-3612.
205. Turton A.R. 2000. A strategic decision-makers guide to virtual water. Papier présenté à l'atelier de travail sur l'eau virtuelle en Afrique du Sud, à Maseru. En ligne sur : <http://www.up.ac.za/academic/libarts/polsci/awiru>

U

206. UNESCO 2006. The 2nd UN World Water Development Report: « Water a shared responsibility ». Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO); New York: Berghahn Books. Chap. 4: The State of Resource.
207. UNESCO 2003. The 1st UN World Water Development Report: « Water for People. Water for life ». Paris: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization; New York: Berghahn Books. Chap. 4: The Natural Water Cycle.

208. UNESCO 1972. Projet ERESS : Etude des ressources en eau du Sahara Septentrional. Rapport final, Paris, p.79.

V

209. Vaillant J.R. 1977. Accroissement et gestion des ressources en eau. Paris :Eyrolles, p.246.
210. Vines R.G. 1962. Evaporation control: a method of treating large water storages. In: La Mer, V.K. (Ed.), Retardation of Evaporation by Monolayers: Transport Processes. Academic Press, New York, pp. 137–160.

W

211. Wells A., Cenedese C., Farrar T. et Zappa C. 2009. Variation in ocean surface temperature due to near-surface flow: straining the cool skin layer. *Journal of physical Oceanography*, vol. 39, pp. 2685-2710.
212. Wiltzius W. J. 1965. Evaluation of the influence of long-chain alcohol monomolecular films on insects, fish, and wildlife. U.S. Bureau of reclamation.
213. Wixson B.G. 1966. Studies on the ecological impacts of evaporation retardation monolayers. TR-6, Texas Water Resources Institute, Texas A & M University, Texas.
214. Wu, J. 1971. Evaporation Retardation by Monolayers: Another Mechanism. *Science*, New Series, American Association for the Advancement of Science, 174(No. 4006), pp.283-285.

Y

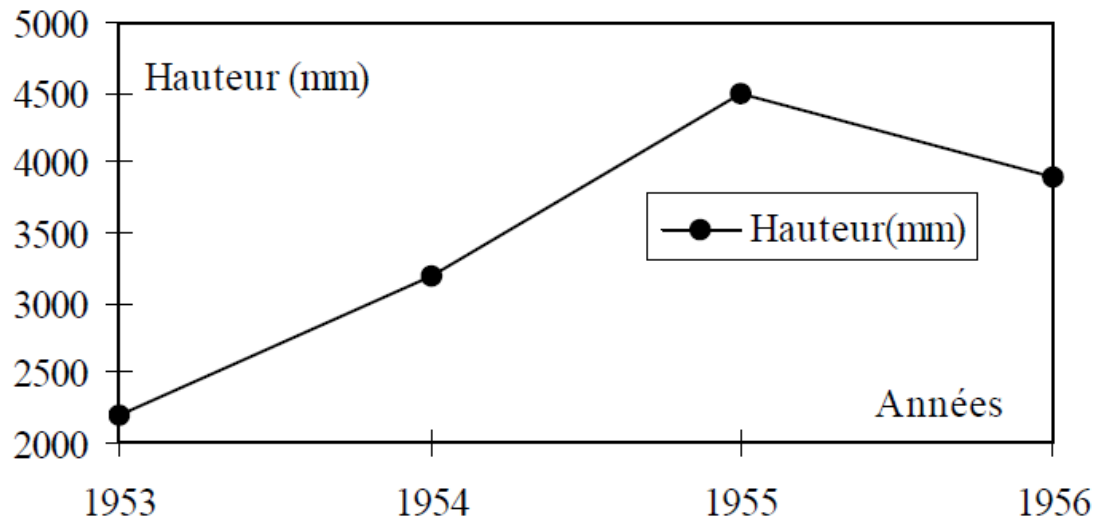
215. Yao X., Zhang H., Lemckert C., Brook A. et Schouten P. 2010. Evaporation Reduction by Suspended and Floating Covers: Overview, Modelling and Efficiency. Urban Water Security Research Alliance Technical Report No. 28.

Z

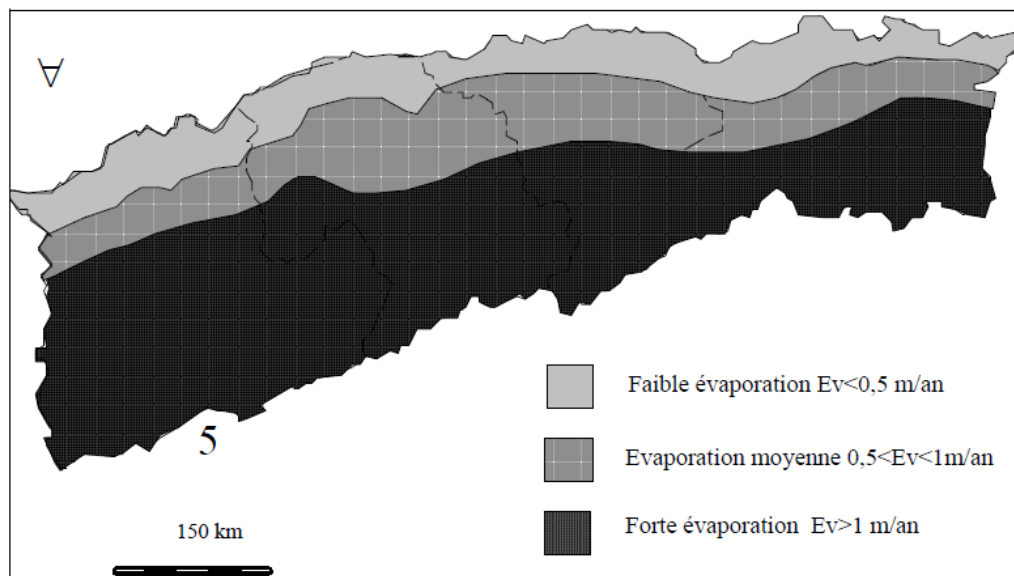
216. Zahi F., Drouichee A., Bouchahm N., Hamzaoui W., Chaib W. et Djabri L. 2011. The water upwelling in Oued Righ Valley: Inventory and Characterization. *J. Mater. Environ. Sci.* 2 (S1), pp. 445-450.

ANNEXES

Annexe 1



Evaporation annuelle près des chotts Melhrir et Merouane (Daix, 1956)



Carte de prévision de l'évaporation des lacs des barrages (Remini, 2010)

Annexe 2

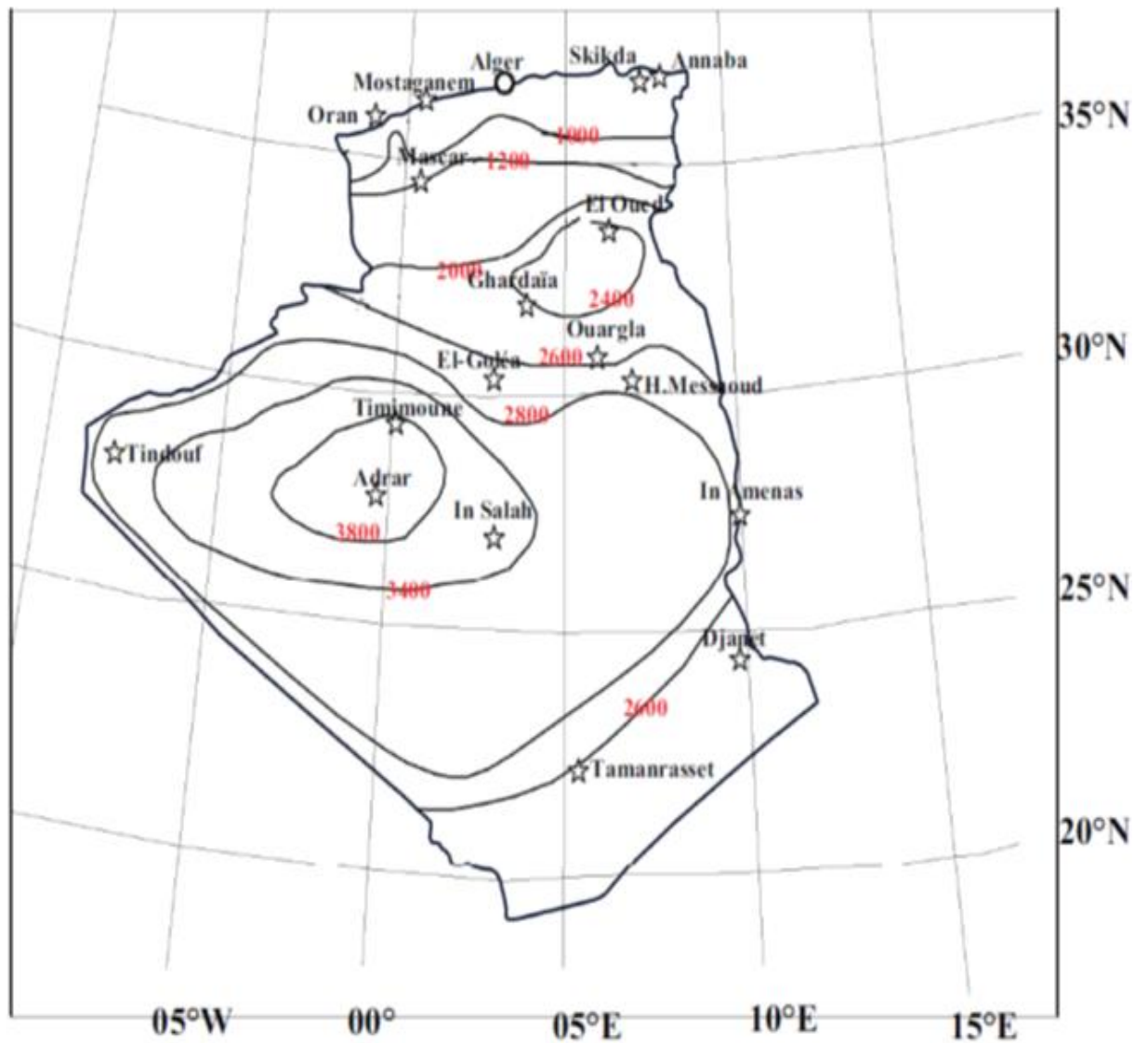
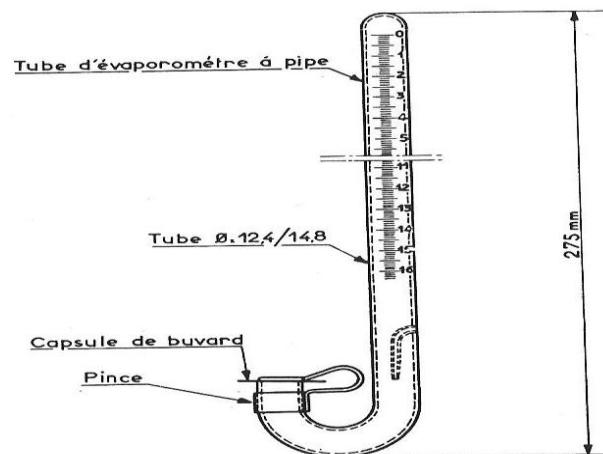
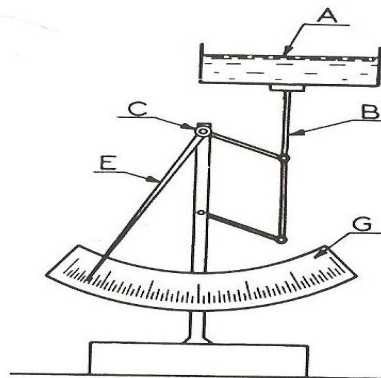


Figure 13. Carte de l'évaporation moyenne annuelle des plans d'eau en Algérie (mm)
(Boutoutaou, 1995)

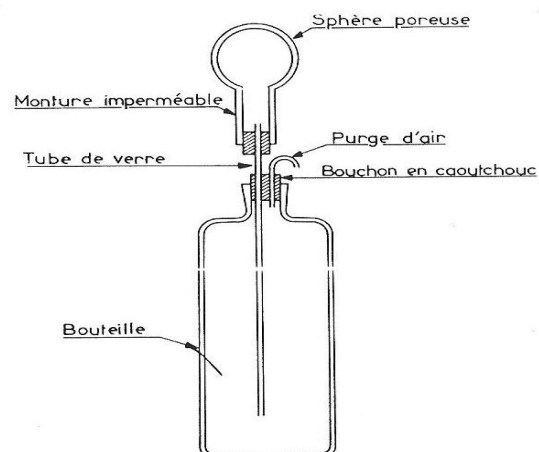
Annexe 3



Evaporomètre Piche



Evaporomètre Wild



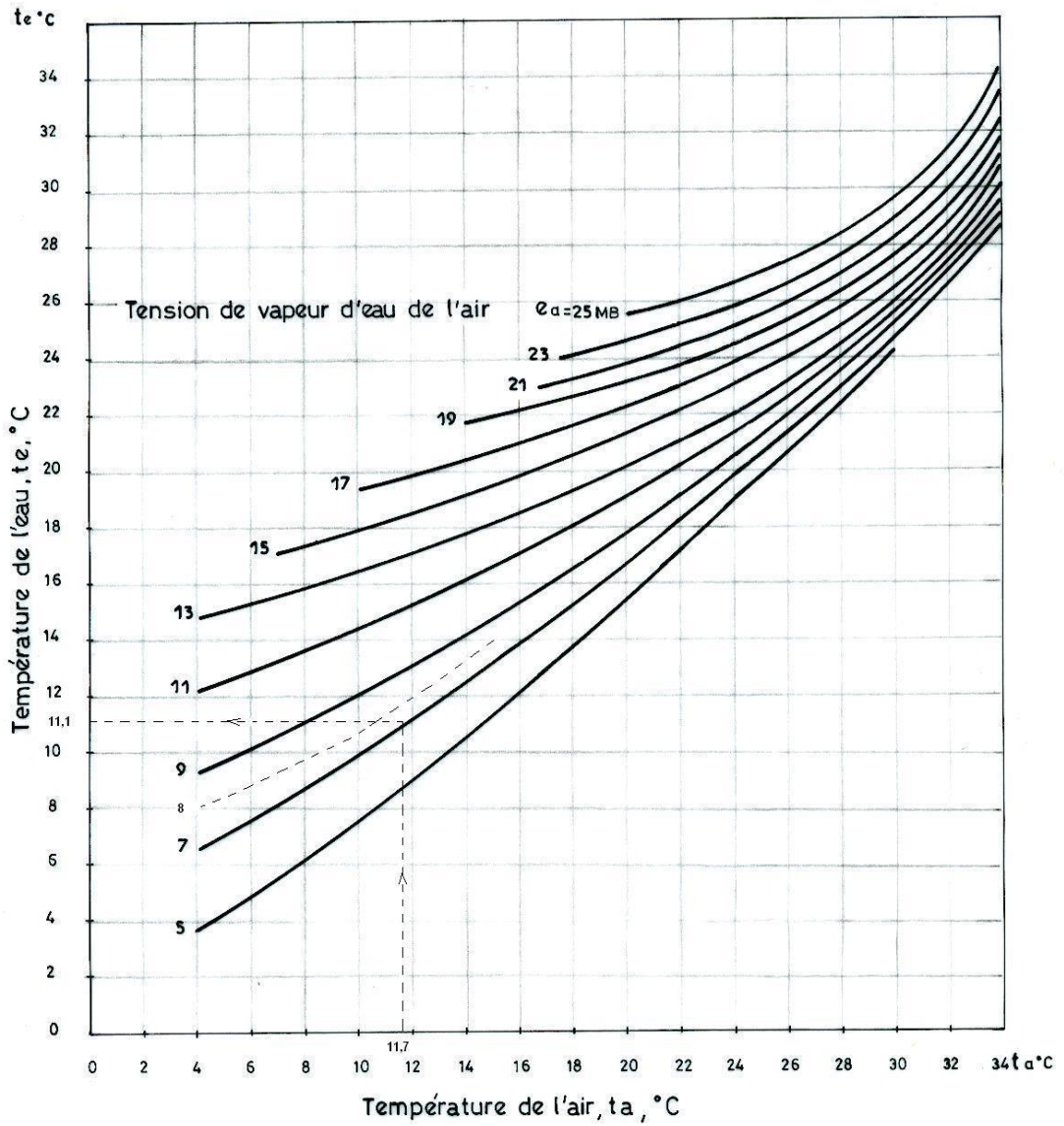
Evaporomètre à surface poreuse

Annexe 4**Tension de vapeur d'eau saturante (e_s) en millibar**

Température de l'eau (t_e), °C	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	6,1	6,2	6,2	6,2	6,3	6,3	6,4	6,4	6,5	6,5
1	6,6	6,6	6,7	6,7	6,8	6,8	6,9	6,9	7,0	7,0
2	7,0	7,1	7,2	7,2	7,3	7,3	7,4	7,4	7,5	7,5
3	7,6	7,6	7,7	7,7	7,8	7,8	7,9	8,0	8,0	8,1
4	8,1	8,2	8,2	8,3	8,4	8,4	8,5	8,5	8,6	8,7
5	8,7	8,8	8,8	8,9	9,0	9,0	9,1	9,2	9,2	9,3
6	9,4	9,4	9,5	9,5	9,6	9,7	9,7	9,8	9,9	10,0
7	10,0	10,1	10,2	10,2	10,3	10,4	10,4	10,5	10,6	10,6
8	10,7	10,8	10,9	11,0	11,0	11,1	11,2	11,2	11,3	11,4
9	11,5	11,6	11,6	11,7	11,8	11,9	12,0	12,0	12,1	12,2
10	12,3	12,4	12,4	12,5	12,6	12,7	12,8	12,9	13,0	13,0
11	13,1	13,2	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,9
12	14,0	14,1	14,2	14,3	14,4	14,5	14,6	14,7	14,8	14,9
13	15,0	15,1	15,2	15,3	15,4	15,5	15,6	15,7	15,8	15,9
14	16,0	16,1	16,2	16,3	16,4	16,5	16,6	16,7	16,8	17,0
15	17,1	17,2	17,3	17,4	17,5	17,6	17,7	17,8	18,0	18,1
16	18,2	18,3	18,4	18,5	18,7	18,8	18,9	19,0	19,1	19,3
17	19,4	19,5	19,6	19,8	19,9	20	20,1	20,3	20,4	20,5
18	20,6	20,8	20,9	21,0	21,2	21,3	21,4	21,6	21,7	21,8
19	22,0	22,1	22,3	22,4	22,5	22,7	22,8	23,1	23,1	23,2
20	23,4	23,5	23,7	23,8	24	24,1	24,3	24,4	24,6	24,7
21	24,9	25,0	25,2	25,4	25,5	25,7	25,8	26	26,1	26,3
22	26,5	26,6	26,8	26,9	27,1	27,3	27,4	27,6	27,8	27,9
23	28,1	28,3	28,5	28,6	28,8	29,0	29,2	29,3	29,5	29,7
24	29,9	30,0	30,2	30,4	30,6	30,8	31,0	31,1	31,3	31,5
25	31,7	31,9	32,1	32,3	32,5	32,7	32,9	33,0	33,2	33,4
26	33,6	33,8	34	34,2	34,4	34,6	34,9	35,1	35,3	35,5
27	35,7	35,9	36,1	36,3	36,5	36,8	37,0	37,2	37,4	37,6
28	37,8	38,1	38,3	38,5	38,7	39,0	39,2	39,4	39,6	39,9
29	40,1	40,3	40,6	40,8	41,0	41,3	41,5	41,8	42,0	42,2
30	42,5	42,7	43	43,2	43,5	43,7	44,0	44,2	44,5	44,7
31	45,0	45,2	45,5	45,8	46,0	46,3	46,5	46,8	47,1	47,3
32	47,5	47,9	48,1	48,4	48,7	49	49,2	49,5	49,8	50,1

ANNEXE 5

Abaque pour la détermination de la température de l'eau (t_e) en fonction de la tension de vapeur d'eau (e_a) et de la température de l'air (t_a)



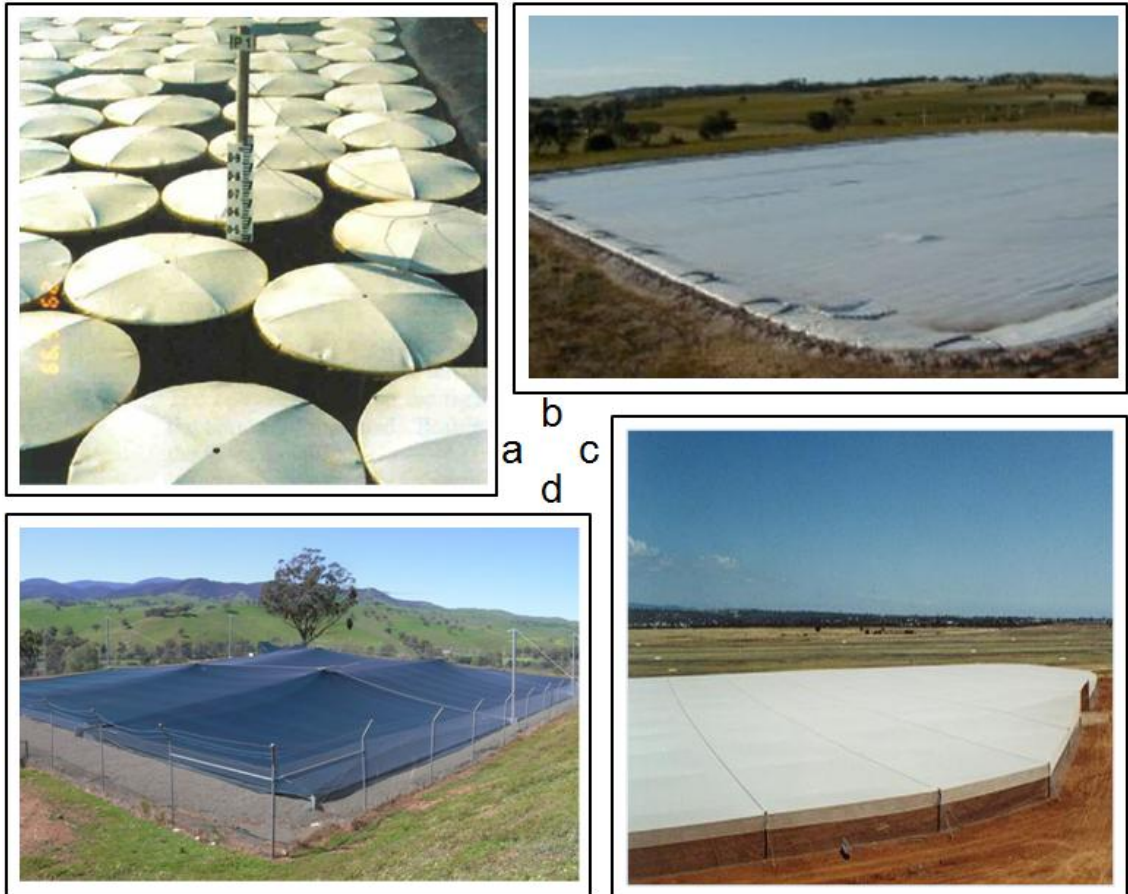
Exp: $t_a = 11,7^\circ\text{C}$ } $t_e = 11,1^\circ\text{C}$
 $e_a = 7,2 \text{ mb}$

Etabli par D.Boutoutaou

Annexe6

Régions	Mois												Année
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	%
Littoral I	6	5	7	7	8	10	13	12	10	9	7	6	100
Atlas Tellien II	4	4	6	6	8	12	17	16	11	7	5	4	100
Hauts plateaux et Atlas saharien III	3	4	5	7	9	14	18	16	10	7	4	3	100
Sahara IV	3	4	7	8	11	14	15	14	10	7	4	3	100

Annexe 7



(a) AquaCap floating modules;

(b) E-VapCap floating bubble wrap type sheets;

(c) Suspended permeable (shade cloth) covers; et

(d) SuperSpan suspended impermeable covers.

Annexe 8



Application de l'alcool aliphatique



L'étalement du film après 30 secondes



L'étalement du film après 60 secondes

Annexe 9

	1-Hexadecanol
Synonyme(s)	Alcohol C-16
Nom chimique	1-Hexadecanol
Numéro CAS	36653-82-4
Poids moléculaire	242.45
Formule chimique	C₁₆H₃₄O
Aspect physique/odeur	white solid/odourless
Solubilité	insoluble in water; soluble in ether
Solubilité dans l'éthanol	1 gm in 3ml 90% alcohol
Point d'ébullition (°C)	190 at 15 mmHg (~2.0 kPa)
Densité	0.8152 (55°C)

Annexe 10

1-Octadecanol

Synonyme(s)	Alcohol C-18
Nom chimique	1-Octadecanol
Numéro CAS	112-92-5
Poids moléculaire	270.50
Formule chimique	C₁₈H₃₈O
Aspect physique/odeur	white solid/odourless
Solubilité	Coefficient Water Solubility is 1.1E-3mg/l at 34C; Soluble in alcohol, acetone, ether, benzene, chloroform
Point d'ébullition (°C)	210 at 15 mmHg (~2.0 kPa)
Densité	0.8124 (59°C)